

Helenton Carlos da Silva  
(Organizador)

The background is a dark purple gradient with a white, wavy, mountain-like shape across the middle. It is filled with various white and light blue line-art icons representing mathematics and engineering, such as gears, a compass, a pencil, a ruler, a graph, a magnifying glass, a calculator, a book, and chemical structures. A central white-bordered box contains the title text.

Estudos (Inter)  
Multidisciplinares  
nas Engenharias

Helenton Carlos da Silva  
(Organizador)

# Estudos (Inter) Multidisciplinares nas Engenharias

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora  
Copyright © Atena Editora  
Copyright do Texto © 2019 Os Autores  
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora  
Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
Diagramação: Geraldo Alves  
Edição de Arte: Lorena Prestes  
Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Faria – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

### Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
E82	Estudos (inter) multidisciplinares nas engenharias 1 [recurso eletrônico] / Organizador Helenton Carlos da Silva. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019.  Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-697-3 DOI 10.22533/at.ed.973190910  1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. I. Silva, Helenton Carlos da.  CDD 658.5
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

A obra “*Estudos (Inter) Multidisciplinares nas Engenharias*” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora, em seu I volume, apresenta, em seus 25 capítulos, discussões de diversas abordagens acerca da importância da (inter) multidisciplinaridade nas engenharias.

O processo de aprendizagem, hoje em dia, é baseado em um dinamismo de ações condizentes com a dinâmica do mundo em que vivemos, pois a rapidez com que o mundo vem evoluindo tem como chave mestra a velocidade de transmissão das informações.

A engenharia praticada nos dias de hoje é formada por conceitos amplos e as situações a que os profissionais são submetidos mostram que esta onda crescente de tecnologia não denota a necessidade apenas dos conceitos técnicos aprendidos nas escolas.

Desta forma, os engenheiros devem, além de possuir um bom domínio técnico da sua área de formação, possuir domínio também dos conhecimentos multidisciplinares, além de serem portadores de uma visão globalizada.

Este perfil é essencial para o engenheiro atual, e deve ser construído na etapa de sua formação com o desafio de melhorar tais características.

Dentro deste contexto podemos destacar que uma equipe multidisciplinar pode ser definida como um conjunto de profissionais de diferentes disciplinas que trabalham para um objetivo comum.

Neste sentido, este livro é dedicado aos trabalhos relacionados aos estudos da (inter) multidisciplinaridade nas engenharias, com destaque mais diversas engenharias e seus temas de estudos.

Os organizadores da Atena Editora agradecem especialmente os autores dos diversos capítulos apresentados, parabenizam a dedicação e esforço de cada um, os quais viabilizaram a construção dessa obra no viés da temática apresentada.

Por fim, desejamos que esta obra, fruto do esforço de muitos, seja seminal para todos que vierem a utilizá-la.

Helenton Carlos da Silva

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
A IMPORTÂNCIA DA (INTER) MULTIDISCIPLINARIDADE NAS ENGENHARIAS PARA O DESENVOLVIMENTO E OPERAÇÃO DAS CIDADES INTELIGENTES	
Roberto Righi Roberta Betania Ferreira Squaiella	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9731909101</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>13</b>
ANÁLISE DOS MÉTODOS DE ENSINO E AVALIAÇÕES UTILIZADOS NA GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA FLORESTAL	
Elaine Cristina Lengowski Carla Cristina Cassiano	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9731909102</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>26</b>
AVALIAÇÃO ERGONÔMICA DE POSTO DE TRABALHO EM UM ATELIÊ DE SOUVENIRS COM USO DOS MÉTODOS OWAS E DE SUZANNE RODGERS	
Jordy Felipe de Jesus Rocha Maria Vanessa Souza Oliveira Leila Medeiros Santos Bento Francisco dos Santos Júnior	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9731909103</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>40</b>
AVALIAÇÃO ERGONÔMICA: ESTUDO DE CASO DE VIGILANTES	
Gustavo Francesco de Moraes Dias Diego Raniere Nunes Lima Renato Araújo da Costa Roberto Pereira de Paiva e Silva Filho Fernanda da Silva de Andrade Moreira Hugo Marcel Flexa Farias Jessica Cristina Conte da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9731909104</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>53</b>
ESTILO DE LIDERANÇA QUE O ENGENHEIRO DE PRODUÇÃO DEVE POSSUIR NA ÓTICA DOS ENGENHEIROS DE PRODUÇÃO DA FACULDADE PARAÍSO DO CEARÁ	
Emmanuela Suzy Medeiros José Valmir Bezerra e Silva Júnior	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9731909105</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>66</b>
EVOLUÇÃO DAS POLÍTICAS PÚBLICAS PARA A INDÚSTRIA NO BRASIL	
Lídia Silveira Arantes Thales de Oliveira Costa Viegas	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9731909106</b>	

<b>CAPÍTULO 7 .....</b>	<b>80</b>
<b>GOVERNANÇA, RESPONSABILIDADE SOCIAL E SUSTENTABILIDADE: ENTENDENDO OS FENÔMENOS DE GESTÃO ORGANIZACIONAL</b>	
Leonardo Petrilli Denize Valéria dos Santos Baia Juliana Fernanda Monteiro de Souza	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9731909107</b>	
<b>CAPÍTULO 8 .....</b>	<b>93</b>
<b>PERCEPÇÃO AMBIENTAL DOS ALUNOS DO ENSINO FUNDAMENTAL DE UMA ESCOLA DA REDE PÚBLICA MUNICIPAL DE PARAUAPEBAS</b>	
Diego Raniere Nunes Lima Renato Araújo da Costa Gustavo Francesco de Moraes Dias Roberto Pereira de Paiva e Silva Filho	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9731909108</b>	
<b>CAPÍTULO 9 .....</b>	<b>105</b>
<b>ANÁLISE DO RISCO DE ACIDENTE CAUSADO PELA ALTA TEMPERATURA EM ALTO-FORNO SIDERÚRGICO NO MUNICÍPIO DE MARABÁ – PA</b>	
Diego Raniere Nunes Lima Roberto Pereira de Paiva e Silva Filho Gustavo Francesco de Moraes Dias Renato Araújo da Costa	
<b>DOI 10.22533/at.ed.9731909109</b>	
<b>CAPÍTULO 10 .....</b>	<b>120</b>
<b>CONFECÇÃO DE BANCADA DIDÁTICA PARA SIMULAÇÃO DE SISTEMAS HIDRELÉTRICOS COM PERSPECTIVA À INTEGRAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0</b>	
Kariston Dias Alves Gustavo Catusso Balbinot Artur Vitório Andrade Santos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.97319091010</b>	
<b>CAPÍTULO 11 .....</b>	<b>131</b>
<b>DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DE TERMELÉTRICAS A BIOMASSA NO BRASIL</b>	
Beatriz Gabrielle de Carvalho Pinheiro Josiane do Socorro Aguiar de Souza Oliveira Campos Luciano Gonçalves Noletto Maria Vitória Duarte Ferrari Tallita Karolline Nunes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.97319091011</b>	
<b>CAPÍTULO 12 .....</b>	<b>143</b>
<b>DESENVOLVIMENTO DE UM REGULADOR AUTOMÁTICO DE TENSÃO MICROCONTROLADO UTILIZADO EM GERADORES SÍNCRONOS ISOLADOS</b>	
Guilherme Henrique Alves Lúcio Rogério Júnior Antônio Manoel Batista da Silva Wellington Mrad Joaquim	

**CAPÍTULO 13 ..... 157**

**DESPACHO ÓTIMO DAS UNIDADES GERADORAS DA USINA HIDRELÉTRICA  
LUIS EDUARDO MAGALHÃES**

Henderson Gomes e Souza  
Brunno Henrique Brito  
Vailton Alves de Faria  
Jabson da Cunha Silva

**DOI 10.22533/at.ed.97319091013**

**CAPÍTULO 14 ..... 170**

**DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE ÓPTICA E TÉRMICA DE UM COLETOR  
PARABÓLICO COMPOSTO COM E SEM EFEITO ESTUFA**

Joaquim Teixeira Lopes  
Ricardo Fortes de Miranda  
Keyll Carlos Ribeiro Martins  
Camila Correia Soares

**DOI 10.22533/at.ed.97319091014**

**CAPÍTULO 15 ..... 177**

**EFEITOS DO TRATAMENTO TÉRMICO DE ENDURECIMENTO POR  
PRECIPITAÇÃO NA MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES MECÂNICAS EM  
LIGAS DE AL-SI-MG FUNDIDAS**

Albino Moura Guterres  
Daniel Beck  
Cláudio André Lopes de Oliveira  
Juliano Poleze

**DOI 10.22533/at.ed.97319091015**

**CAPÍTULO 16 ..... 186**

**ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS  
FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A REDE PARA CONSUMIDORES DO GRUPO A**

Roberto Pereira de Paiva e Silva Filho  
Murilo Miceno Frigo  
Gustavo Francesco de Moraes Dias  
Diego Raniere Nunes Lima  
Renato Araújo da Costa  
Timóteo Gonçalves Braga

**DOI 10.22533/at.ed.97319091016**

**CAPÍTULO 17 ..... 199**

**GESTÃO AMBIENTAL: ESTUDO DE CASO DA GESTÃO DOS RESÍDUOS  
ELETRÔNICOS NA IMAGEM SOM ELETRÔNICA LTDA**

Carla Ruanita Pedroza Maia  
Leila Medeiros Santos  
Maria Vanessa Souza Oliveira  
Bento Francisco dos Santos Júnior

**DOI 10.22533/at.ed.97319091017**



<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>212</b>
INDICADOR DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA	
Jean Carlos da Luz Pereira Felipe Guimarães Ramos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.97319091018</b>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>225</b>
INVESTIGAÇÃO PRELIMINAR DE MODIFICAÇÕES NA CÉLULA FOTOVOLTAICA MONOCRISTALINA DE SILÍCIO	
Marcus André Pereira Oliveira Ana Flávia de Sousa Freitas Thiago Barros Pimentel Adão Lincoln Montel	
<b>DOI 10.22533/at.ed.97319091019</b>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>234</b>
UMA APLICAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E EFICIÊNCIA EXERGÉTICA DAS TURBINAS A VAPOR NAS INDÚSTRIAS SUCROALCOOLEIRAS	
Nancy Lima Costa Maria de Sousa Leite Filha Arthur Gilzeph Farias Almeida Jaciera Dantas Costa Antônio Daniel Buriti de Macêdo José Nunes de Oliveira Neto Jordany Ramalho Silveira Farias José Jefferson da Silva Nascimento	
<b>DOI 10.22533/at.ed.97319091020</b>	
<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>242</b>
THE STEAM GENERATION CENTERS AS A VECTOR FOR THE SUGARCANE MILLS EVOLUTION TO THE SUCRO-ENERGETICS PLANTS FORMAT	
Roque Machado de Senna Henrique Senna Rosimeire Aparecida Jerônimo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.97319091021</b>	
<b>CAPÍTULO 22</b> .....	<b>252</b>
ANÁLISE DE CERTIFICADOS DIGITAIS EM DOMÍNIOS BRASILEIROS	
Matheus Aranha Diogo Pereira Artur Ziviani Fábio Borges	
<b>DOI 10.22533/at.ed.97319091022</b>	
<b>CAPÍTULO 23</b> .....	<b>264</b>
ANÁLISE DO IMPACTO DO ROTEAMENTO ALTERNATIVO EM REDES ÓPTICAS ELÁSTICAS TRANSLÚCIDAS CONSIDERANDO DIFERENTES CENÁRIOS DE DEGRADAÇÃO DA QUALIDADE DE TRANSMISSÃO	
Arthur Hendricks Mendes de Oliveira Helder Alves Pereira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.97319091023</b>	

<b>CAPÍTULO 24</b> .....	<b>271</b>
SENSORIAMENTO ELETRÔNICO DE BAIXO CUSTO NO MONITORAMENTO HIDRÁULICO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS	
Lidiane Bastos Dorneles Samuel dos Santos Cardoso Samanta Tolentino Ceconello Jocelito Saccol de Sá	
<b>DOI 10.22533/at.ed.97319091024</b>	
<b>CAPÍTULO 25</b> .....	<b>283</b>
TUTORIAL SOBRE REPETIDORES DE DADOS MÓVEIS	
Carine Mineto Lyang Leme de Medeiros Helder Alves Pereira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.97319091025</b>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....	<b>295</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>296</b>

## A IMPORTÂNCIA DA (INTER) MULTIDISCIPLINARIDADE NAS ENGENHARIAS PARA O DESENVOLVIMENTO E OPERAÇÃO DAS CIDADES INTELIGENTES

### Roberto Righi

Universidade Presbiteriana Mackenzie, Faculdade  
de Arquitetura e Urbanismo  
São Paulo – S.P.

### Roberta Betania Ferreira Squaiella

Universidade Presbiteriana Mackenzie, Faculdade  
de Arquitetura e Urbanismo  
São Paulo – S.P.

**RESUMO:** O objetivo deste capítulo é caracterizar e analisar a relevância da (inter) multidisciplinaridade no estudo das engenharias para que os futuros profissionais da área possam responder aos desafios e ingressar em um novo mercado de trabalho, cada vez mais ligado às tecnologias digitais. Para isso, analisa-se o desenvolvimento e operação de cidades inteligentes (CI) que integram as infraestruturas urbanas para a melhoria da qualidade de vida da população. Por meio da integração entre as práticas inovadoras de gestão, as engenharias envolvidas e o urbanismo, visa-se o incremento da qualidade de vida nas cidades. A integração inteligente, mas isolada de cada serviço urbano não é suficiente para o sucesso desse processo. Ele envolve a rápida identificação e diagnóstico dos problemas urbanos para que possa ser adotada a melhor decisão e as correções ágeis e eficazes nas cidades. As normas ISO 37.120 e 18.091 devem ser empregadas para alcançar a qualidade das engenharias

visando o urbanismo ideal. Assim, diante das mudanças no mercado de trabalho cada vez mais globalizado e sofisticado, novos trabalhos irão crescer com as TIC, destruindo trabalhos não qualificados e criando muitos outros que demandam uma formação de profissionais cada vez mais capazes.

**PALAVRAS-CHAVE:** cidades inteligentes (CI), (inter) multidisciplinaridade, tecnologia da informação e comunicação (TIC), projetos urbanos, plano diretor.

### THE IMPORTANCE OF (INTER) MULTIDICIPLINARITY IN ENGINEERING FOR THE DEVELOPMENT AND OPERATION OF SMART CITIES

**ABSTRACT:** The objective of this chapter is to characterize and analyze the relevance of (inter) multidisciplinary in the study of engineering so that future professionals of the area can respond to the challenges and enter a new labor market, increasingly linked to digital technologies. For this, the development and operation of smart cities (SC) that integrate the urban infrastructures for the improvement of the quality of life of the population are analyzed. Through the integration of innovative management practices, engineering involved and urbanism, it is aimed at increasing the quality of life in cities. The intelligent but isolated integration of each urban

service is not enough for the success of this process. It involves the rapid identification and diagnosis of urban problems so that the best decision and the agile and effective corrections in the cities can be adopted. The ISO 37.120 and 18.091 standards should be used to achieve the quality of engineering for the ideal urban planning. Thus, in the face of changes in the increasingly globalized and sophisticated labor market, new jobs will grow with ICTs, destroying unskilled jobs and creating many others that demand the training of increasingly capable professionals.

**KEYWORDS:** smart cities (SC), (inter) multidisciplinary, information and communication technology (ICT), urban projects, master plan.

## 1 | INTRODUÇÃO

Este capítulo foca na importância da (inter) multidisciplinaridade no estudo das engenharias para os futuros profissionais, que devem estar contextualizados com o mercado de trabalho cada vez mais globalizado e sofisticado. Com base em outro artigo recente dos autores denominado *Cidades inteligentes: tecnologia da informação e comunicação (TIC) instrumentando o Planejamento urbano e Regional* (RIGHI; SQUAIELLA, 2019), analisa-se o desenvolvimento e operação de cidades inteligentes, evidenciando a importância da integração tecnológica no futuro profissional.

As cidades inteligentes, como elemento de integração urbanística das estruturas dos serviços urbanos, visam a melhoria da qualidade de vida da população, com o emprego das tecnologias de informação e comunicação (TIC). O assunto constitui-se hoje numa questão estratégica, diante situação crítica que atingem as grandes cidades e metrópoles, especialmente dos países periféricos, com desperdícios absurdos de tempo e recursos da população, que exige uma resposta adequada na sociedade do conhecimento contemporânea. No mundo atual, dado o crescimento da urbanização, 54% da população vive em cidades segundo da ONU (2014). Em 1950 somente 30% estavam nesta situação no mundo, enquanto se estima que em 2050 este número cresça para 66%. No caso brasileiro o problema é mais grave, pois a urbanização é mais intensa, instigando investigar novas propostas e sua aplicabilidade.

A sociedade contemporânea em rede possui uma multiplicidade de tecnologias emergentes do domínio das engenharias, que devem ser tratadas de forma (inter) multidisciplinar que revolucionam e transformam as relações sociais, econômicas, espaciais e técnicas, gerando temáticas essenciais para a construção de um urbanismo inovador, tais como: gestão e administração pública, redes de transportes e telecomunicações, estruturas de abastecimento e energia, diferenciações formais e espaciais regionais e urbanas, padrões de densidade, mistura de usos e ocupação do solo, cadeias de serviços e comércio, geração do teletrabalho e ensino a distância (EAD), dentre outros.

De forma panorâmica, esta incorporação técnica deve melhorar a qualidade de vida dos cidadãos, bem como auxiliar do crescimento econômico, dinamizando os

serviços públicos e criando novos empregos de qualidade voltados ao desenvolvimento, planejamento, projeto, construção e desempenho das cidades inteligentes. O raciocínio deve ser: em primeiro lugar é preciso conceituar e avaliar a importância da aplicação das TICs. A seguir, articular estas tecnologias com o conceito de sistemas integrados e avançados de gestão – SIG. Finalmente, compreender como as cidades inteligentes atraem investimentos e talentos fundamentais para alavancar o desenvolvimento econômico e social sustentável das comunidades, com atributos inovadores de destaque no cenário nacional e internacional.

## **2 | A TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO (TIC) E OS SISTEMAS INTEGRADOS DE GESTÃO (SIG) NA (CI)**

Desde os anos 1980 emergiram análises que enfocam as transformações das cidades e metrópoles decorrentes do surgimento das TIC (HARVEY, 2012; SANTOS, 1997; VIRILIO, 1993). Hoje se vive num ambiente de intensa competição nas empresas e na própria sociedade, resultante das profundas mudanças sociais, econômicas e culturais da globalização e do desenvolvimento tecnológico. Diante desta concorrência aguerrida há necessidade de inovar (PINTO; MAXIMILIANO, 2005). Neste contexto é preciso produzir uma revolução nos negócios, com aumento do fluxo da difusão e manipulação de informações, externas e internas, representando um recurso estratégico crítico, para gestão de recursos intangíveis e tangíveis, alinhado com os planos de negócios.

As TIC tornaram-se parte do cotidiano das empresas e da sociedade. Estas tecnologias são instrumentos essenciais na tomada de decisão e a gestão para os modelos de negócios adotados, promovendo o empreendedorismo e a inovação, essenciais a sobrevivência das empresas e da própria sociedade (CARNEIRO, 2017). Para conseguir sucesso nos projetos e promover o desenvolvimento é essencial realizá-los com a metodologia de gestão adequada e rigorosa (MONTEIRO; VALENTIM, 2008).

Um componente fundamental para a eficácia e sucesso de um TIC é a integração do sistema destas ferramentas ao capital humano, que é o usuário, criando o binômio TIC e a sua qualificação. O papel dos usuários é essencial para a adoção de tecnologia através do treinamento e o envolvimento na escolha e preparo para a implantação e mudança progressiva ou disruptiva, assumindo responsabilidades como aliados visando o sucesso (VALENTIM, 2002). As principais TICs envolvidas nas CI são: GPS, Bluetooth, computação em nuvem, GSM, NFC, RFID, código QR, entre outros (AIRES, 2016).

A simples presença das TICs não garante a existência de uma cidade inteligente, gerando apenas uma cidade digital. A inteligência de uma cidade decorre da integração entre a sociedade e a cidade digital, além da articulação entre as diferentes funções

e setores, através de sistemas adequados e um enfoque (inter) multidisciplinar das engenharias.

A utilização das TIC através de sistemas computacionais para a criação de CI sustentáveis e eficientes deve visar o provimento de serviços públicos de qualidade à população. Estes sistemas são desenvolvidos geralmente por empresas privadas, mais atualizadas; e projetados e vendidos para o setor público, sendo apenas secundariamente criados por este. Em ambos os casos são ainda raros os sistemas completamente integrados, sendo mais frequentes os sistemas projetados de forma isolada, setorial e não padronizada. Esta situação impede a comunicação e operação conjunta. É preciso integrar os sistemas, apesar das dificuldades técnicas e políticas inerentes a esta operação (LOSS, 2017).

Para superar tecnicamente este desafio da integração dos sistemas é importante o auxílio dos sistemas de informação e de gestão (SIG). Os SIG surgiram nas empresas e organizações privadas e públicas em meados do século XX, numa perspectiva microeconômica e se impuseram a partir da década de 1990, passando gradativamente de um elemento apenas de diferenciação para outro estágio, como recurso de competição e sobrevivência das empresas. Porém, apesar de sua importância estratégica, a adoção do SIG não garante por si só o sucesso do empreendimento, mas desempenha papel muito relevante. O SIG deve abranger: banco de dados, interface gráfica, protocolos e linguagem de informação; envolvendo o processo de coleta, armazenamento, recuperação e processamento de informação, segundo elementos tecnológicos, humanos e normativos. Nele o hardware e as redes são a infraestrutura de TI das organizações e é operado pelos softwares (BERTERO; VASCONCELOS; BINDER, 2003). Diante das vantagens diferenciais deste avanço organizacional, é essencial sua incorporação para a criação de cidades inteligentes, mediante a agregação de sistemas heterogêneos, formando o Sistema de Sistemas (SoS, *System-of-systems*). O SoS é definido como um conjunto de sistemas heterogêneos e independentes, que interoperam visando realizar uma missão global (KAZMAN et al., 2013).

Uma cidade inteligente deve ser um organismo complexo, composta de uma rede de serviços integrados e interoperáveis, gerando economicidade, eficiência e melhorando a qualidade de vida (LOSS, 2017). Nos empreendimentos devem-se compartilhar a mesma base de dados nas diferentes partes, níveis funcionais e gerenciais, permitindo uma visão ampla e integrada, de importância estratégica para a permanência e existência empresarial. Os SIG permitem obter informações internas e externas em curto intervalo de tempo, tornando mais ágil o processo decisório essencial para a sobrevivência da empresa no ambiente de mercado muito competitivo, além de superar a proliferação e fontes de informação, a dispersão geográfica, permitindo a redução de erros, atrasos e o retrabalho, nas redes atuais de móveis. Os SIG possuem três dimensões: humana, organizacional e tecnológica (PEROTTONI, 2001). A atuação do SIG deve apoiar a gestão estratégica, que é um

instrumento de crescimento por meio da expansão e da diversificação (BERTERO; VASCONCELOS; BINDER, 2003).

### 3 I CIDADES INTELIGENTES (CI)

A informática passou a desempenhar um papel crescente no ambiente cultural, denominado de cibercultura. Isto foi a partir dos anos 1970, quando despontou a cidade digital (LÉVY, 1993). Nas décadas seguintes, de 1980 e 1990, emergiu a cidade da informação e do conhecimento, quando apareceram os primeiros serviços de: *e-commerce*, *e-govern*, *e-learning*, *e-bank*, entre outros. Paul Virílio em *O Espaço Crítico* de 1993 caracteriza o novo espaço-tempo tecnológico, que permite mediar o espaço de tempo real e o representado pelas TIC. Ele propôs um conceito expandido para o novo urbanismo onde o espaço-tempo é transformado pela tele tecnologia, formando uma ecologia urbana destes arquipélagos de cidades inteligentes e interconectadas, num avanço do enfoque tradicional baseado no territorial e presencial (VIRÍLIO, 1993).

A Cidade Inteligente (CI) é uma forma inovadora de relacionamento do homem com o espaço urbano. A CI se constitui numa rede de nós urbanos de diferentes níveis e funções que se assemelham ao sistema nervoso da nova economia e sociedade, relativizando a importância das metrópoles, tornando o sistema urbano uma rede e não uma pirâmide, quebrando, portanto, as hierarquias (BORJA; CASTELLS, 1998).

No século XXI estes conceitos são continuamente aprofundados e tornam-se dominantes nos principais centros urbanos e países. A afirmação definitiva das cidades inteligentes, desdobramento da aplicação das novas tecnologias nas cidades, deu-se principalmente após a crise financeira internacional de 2008, quando as grandes empresas de TIC se voltaram para a venda de soluções urbanísticas digitais inteligentes para governos.

A CI não é uma cidade da ficção científica, com robôs e veículos voadores, mas sim uma cidade moderna, sustentável e eficiente, com uso massivo de dispositivos tecnológicos, em especial sensores. A CI é o estágio mais avançado da inserção do espaço urbano na lógica da economia globalizada, com tecnologia e infraestrutura, mobilidade e comunicação e informação (KAZUKAS, 2017).

As definições desenvolvidas para as CI ou *smart cities* são bastante diversificadas e ricas na literatura internacional, tendo mudado bastante em um breve intervalo de tempo. Como foco comum e de importância crescente destas abordagens está a presença de um enfoque inteligente como resposta às demandas urbanas. É dominante nas primeiras formulações a ideia de que as cidades inteligentes monitoram e integram as condições de operações das infraestruturas críticas, atuando para a correta continuidade das suas atividades (HALL, 2000). A evolução no tempo envolve o conceito de que as cidades inteligentes associam as potencialidades das TIC e da web 2.0, com o design e o planejamento para desburocratizar e acelerar soluções inovadoras, tornando viável o gerenciamento complexo das cidades (TOPPETA,

2010).

Mais recentemente, a *European Commition* em 2013 expressa que as cidades inteligentes devem realizar a utilização estratégica das infraestruturas de informação e comunicação, dentro de um processo de planificação e gestão urbana transparente, que traduz as necessidades culturais, sociais e econômicas (EUROPEAN COMMITION, 2013). Atualmente, o avanço dirige-se para novos conceitos como o de projetos colaborativos com o surgimento do *Living Lab* (LL) que utiliza uma metodologia de inovação aberta voltada à geração de soluções urbanas baseadas na cocriação feita com as partes interessadas através de testes em ambientes reais de uso.

Disto tudo emerge um novo urbanismo baseado em transformações físicas pontuais e estratégicas, feitas sob a imagem de cidade inovadora, produzida e gerida pela tecnologia digital. Na realidade constitui uma nova forma de operação para o urbanismo pós-moderno, surgido na crise do petróleo, resultante do impacto da elevação brusca no preço do petróleo nos anos 1970 e 1980. Naquela fase o modernismo moderno foi colocado de lado, junto com o Estado do bem-estar social. Assim, as empresas de tecnologia, como a IBM, criaram uma tendência tecnológica para as cidades pós-modernas, produto da reestruturação produtiva do final do século XX.

A oposição entre a cidade moderna e a pós-moderna é patente. Naquela moderna era priorizada a homogeneização, a racionalidade e a funcionalidade, enquanto que na pós-moderna busca-se a diferença, a identidade e o prazer; com espaços lúdicos de lazer e a crescente atividade terciária, de serviços e comércio (KAZUKAS, 2017).

Pode-se dizer que há apenas uma aparente contradição entre o emprego das novas tecnologias e o espaço almejado, mas isto é apenas superficial, pois as tecnologias digitais permitem a criação de situações customizadas e lúdicas. Tecnicamente, as soluções inteligentes para as cidades são baseadas na inteligência artificial, na internet das coisas, feita pela interconexão digital dos objetos cotidianos através de *smartphones*, além da análise e processamento de dados pelo *big data* (ORREGO, 2017).

Diante do cenário problemático do crescimento urbano desordenado, com engarrafamentos, poluição, crimes, desastres naturais e outros, surgem alternativas, ancoradas no desenvolvimento tecnológico. Constituem novas formas de governar as cidades, como resposta estratégica aos desafios, como as CI.

As diversas definições de CI afirmam que o seu objetivo é a melhoria da qualidade de vida do cidadão. A quantidade de trabalhos voltados ao assunto tem crescido exponencialmente a partir de 2009, privilegiando cada vez mais o conhecimento voltado a CI, traduzem a disponibilização de serviços integrados, incrementando sistematicamente o uso da inteligência da cidade para melhorar a qualidade de vida do cidadão, superando os enfoques mais setoriais e limitados (KON; SANTANA, 2016).

Uma CI pode ser definida de diversas maneiras. A visão expressa pela *European*



*smart cities*, 2007 mostra que as CI devem ser muito mais abrangentes que a simples aplicação de novas tecnologias. Hoje, a inovação pela convergência tecnológica e de mídias devem ser catalisadores da requalificação econômica, social, cultural, política e humana das cidades.

A *European Commition* em 2013, expressa uma definição que comporta conceitos amplos e inclusivos, como a sustentabilidade da cultura, política, economia, meio ambiente e urbanidade por meio do uso das tecnologias de informação e comunicação; extravasando os limites da arquitetura e urbanismo, abrangendo áreas como informática, engenharias e comunicação.

Apesar de tudo, existem críticos sobre o emprego das TIC para gerenciar as cidades e melhorar a qualidade de vida dos cidadãos. Acusam, principalmente, que esta abordagem é tecnocrática. Em geral, são críticas ideológicas e imobilistas, que também representam interesses de grupos tradicionais do poder político do clientelismo e populismo, comum principalmente nos países periféricos (OLIVEIRA; PINHAREZ, 2017).

As principais TICs utilizadas na CI são: a) Internet das Coisas (IC); b) Big Data; c) Sensoriamento Móvel Participativo; d) Computação em Nuvem (KON; SANTANA, 2017). Como indicador do desenvolvimento tecnológico já alcançado, é importante considerar o parecer de Michael Porter. Ele afirma que qualquer objeto pode ser equipado com tecnologias inteligentes e de conectividade integrado a internet das coisas, numa rede interativa por TIC (PORTER; HEPPELMANN, 2014).

## **4 | NORMAS TÉCNICAS, POLÍTICAS PÚBLICAS E EXPERIÊNCIAS DAS CIDADES INTELIGENTES (CI)**

As Cidades Inteligentes atraem investimentos e talentos para alavancar o desenvolvimento econômico e social sustentável das comunidades, inovadores no cenário nacional e internacional. O limite ideal da concepção e objetivo ideal da evolução das CI são duas normas internacionais recentes e avançadas do urbanismo, formuladas pela ISO (*International Organization for Standartization*): a ISO 37.120 e a ISO 18.091.

A ISO 37.120 reitera a importância de indicadores urbanos a serem usados como instrumentos críticos, por: administradores urbanos, políticos, técnicos, pesquisadores, líderes, planejadores, designers e outros profissionais; promovendo cidades habitáveis, tolerantes, inclusivas, sustentáveis, resilientes, economicamente atrativas e prósperas. Define indicadores de excelência para serviços e qualidade de vida para as cidades em 17 áreas temáticas, medidas por cerca de 100 indicadores.

Outra norma internacional a ser empregada é a ISO 18.091 de 2014, que tem o propósito de manter a confiança dos cidadãos em seus governos e suas instituições. Ela fornece aos governos locais diretrizes para conseguir obter a classificação

qualitativa dos serviços e processos da cidade em 39 atividades essenciais. Esta norma internacional promove a adoção de abordagem do processo para o desenvolvimento, com implantação e melhoria contínua de um sistema de gestão da qualidade para a satisfação dos clientes, a partir de suas necessidades baseado nos indicadores do sistema de qualidade de cidades inteligentes, formado por quatro atributos desenvolvimento: a) Institucional para um bom governo; b) Econômico sustentável; c) Social inclusivo; d) Ambiental sustentável. A ISO 18.091 foi traduzida, adaptada e publicada pela ABNT como: ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Guia de implementação – diretrizes para a aplicação da ABNT NBR ISSO 9001: 2008 em prefeituras. Rio de Janeiro: SEBRAE/ABNT, 2015 (ISO 18091, 2014).

Kazukas, 2017 afirma que o conceito das cidades inteligentes supera as utopias urbanas do passado, pois é real e envolve bilhões de dólares em equipamentos e programas digitais. Reflete a intervenção público/privada capitalista no espaço da cidade, com práticas tecnológicas globalizadas, voltadas principalmente a mobilidade, comunicação e operação de informações. Tudo isto ocorre, facilitando os fluxos monetários, de pessoas, mercadorias e informações.

As cidades inteligentes, não são um modismo, de marketing urbano, mas constitui sim, a etapa avançada da conjugação e integração tecnológica das cidades, qualidade de vida e competitividade econômica. O tema das cidades inteligentes (CI) ganhou projeção e valorização a partir da premiação em 1999 de Singapura por prêmio internacional (TRAPAZZON, 2009). O desafio do gerenciamento de cidades, complexas e populosas, exige maneiras inteligentes e novas para enfrentar os problemas. O princípio é o uso de TIC para interconectar infraestruturas e serviços críticos de uma cidade, com inovação em tecnologia, gestão e política, segundo enfoques (inter) multidisciplinares. Este processo envolve indivíduos, empresas, organizações governamentais ou não, instituições em geral interagindo de maneira integrada, em tempo real, compartilhando dados de forma segura (AZAMBUJA, 2016).

A análise preliminar das principais experiências de CI, com suas aplicações e serviços indicam potenciais e gargalos a serem superados. Hoje ainda predominam os sistemas mais especializados e específicos, mas no futuro estas atividades devem ser aperfeiçoadas, indo cada vez mais em direção aos princípios mais teóricos apresentados.

Os sistemas atuais envolvem especialmente: monitoramento e melhoria do trânsito, avaliação das condições da cidade, controle de emergências, monitoramento dos sistemas de coleta de lixo, saúde, segurança pública e de recursos, como água e energia elétrica traduzindo áreas específicas da engenharia, mas tenderão a visão (inter) multidisciplinar. A integração entre as aplicações ainda depende do incremento da potência, eficácia e robustez da plataforma do software empregado, que depende muito do avanço tecnológico.

Amplio estudo de mapeamento bibliométrico de publicações acadêmico-científicas de 146 autores em 23 países sobre as CI. Ele conclui que as TICs são uma

ferramenta fundamental para o desenvolvimento das CI, que geralmente são produto de iniciativas governamentais, envolvendo não só o desenvolvimento tecnológico, mas também social e humano (ANDERLE; FREITAS JUNIOR, 2013).

Um elemento importante nessa análise é verificar algumas das principais experiências internacionais e nacionais sobre a aplicação das CI, caracterizando sua escala, abrangência e principais resultados, que extrapola o objetivo deste artigo. Infelizmente, no Brasil são poucas as experiências de implantação e implementação de cidades inteligentes e de centros de operações, bem como as apresentações e avaliações destes casos. Dentre as áreas metropolitanas, destaca-se o Rio de Janeiro, sede dos Jogos Olímpicos, com o projeto de cidade inteligente de 2013, que teve o apoio do Banco Mundial e envolveu as empresas IBM e CISCO (MIRANDA, 2015).

De forma ampla e principalmente nas situações críticas há forte relação direta entre as CI e a qualidade de vida dos cidadãos, permite a melhoria na prestação dos serviços públicos com melhor governança (PEREIRA, 2016). Na metrópole de São Paulo, com seu gigantismo, pois abriga mais de 20 milhões de habitantes em 39 municípios, e no central abriga mais de metade da população, existem projetos em desenvolvimento como: portal de dados aberto, GeoSampa e o API Olho Vivo. O primeiro disponibiliza informações cartografadas e o segundo dá em tempo real a posição de todos os ônibus da cidade (KON; SANTANA, 2016).

O Brasil tem diversos casos de aplicação do conceito das CI em cidades pequenas e médias, como no caso de Barra do Piraí, no estado do Rio de Janeiro (FREITAS, 2016). As dificuldades para implementar cidades inteligentes no Brasil passam pelos enormes desníveis regionais, com o norte e nordeste apresentando profundas deficiências na infraestrutura de telecomunicações e de recursos humanos, enquanto o sul e sudeste, apesar de também não alcançar os padrões internacionais adequados, mostra maior viabilidade (JORDÃO, 2016).

## 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os avanços tecnológicos contribuem para a ubiquidade dos recursos que transformam a sociedade atual. A (inter) multidisciplinaridade nas engenharias passa a ser condição cada vez mais essencial, para que os profissionais possam responder aos desafios cada vez mais urgente do mercado de trabalho. Nesse sentido, os futuros profissionais devem desenvolver as competências que irão mobilizar os conhecimentos, os saberes, as atitudes e os valores necessários para que possam resolver os problemas reais, em rápida transformação, como a atual e futura demanda das cidades inteligentes.

Apesar das críticas existentes, que são apressadas, ideológicas e inconsistentes, as cidades inteligentes podem promover melhor ambiente econômico, social e cultural. Por meio das TICs, novos fluxos de informação, de comunicação, de transações, de

cultura dos cidadãos e das cidades passam a ser os elementos essenciais para a construção de uma CI. Entretanto, há desafios técnicos para aplicação dos programas que envolvem as TIC, além do elevado custo financeiro inicial e de manutenção do sistema.

Através da governança participativa e responsável, são realizados os investimentos de forma mais eficiente e eficaz, com avaliação rápida de resultados de desenvolvimento urbano, humano e social, sustentabilidade, recursos naturais e outros. Tudo isto promove a inclusão social, os serviços de qualidade e, os novos negócios e empregos. Com os dados integrados e sintetizados, os profissionais, bem como o cidadão, agilizam a atuação pública e privada.

A atuação correta e isolada de cada serviço urbano (transporte, energia, recursos, educação, saúde, infraestrutura técnica, abastecimento, segurança pública, lazer, meio ambiente, limpeza, edificações e outros) não é suficiente para as correções mais ágeis e eficazes dos problemas urbanos. Nenhum dos métodos abordados pode ser considerado como definitivo para a solução do problema, servindo apenas como ponto de partida para novos trabalhos na busca de um modelo que equacione o problema da CI.

Esse é um grande desafio contemporâneo, devido à dificuldade de aplicação, apesar de sua enorme importância demonstrada. A CI deve constituir um organismo complexo e com unidade, integrado e interconectado, formando um grande organismo cibernético.

## REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Guia de implementação – diretrizes para a aplicação da ABNT NBR ISO 9001**: 2008 em prefeituras. Rio de Janeiro: SEBRAE/ABNT, 2015.

AIRES, Joana M. F. **Utilização de tecnologias de informação no contexto das cidades inteligentes em grandes cidades – o caso de Lisboa**. Dissertação (Mestrado em gestão da informação) – ISGI, Universidade Nova de Lisboa, 2016.

ANDERLE, Daniel Fernando; FREITAS JUNIOR, V.; GAUTHIER, F. "A utilização da Tecnologia da Informação nas "Smart Cities" – um estudo bibliométrico." In: **Proceeding of the 3st International Congress of Knowledge and Inovation (CiKi)**, pp. 1-20. 2013.

AZAMBUJA, Luiza Schuch de. **Dados abertos em cidades inteligentes: portais de dados abertos possibilitando o acesso e uso da informação**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.

BERTERO, Carlos Osmar; VASCONCELOS, Flávio Carvalho; BINDER, Marcelo Pereira. Estratégia empresarial: a produção científica brasileira entre 1991 e 2002. **Revista de Administração de Empresas** v. 43, n. 4, 2003.

BORJA, Jordi; CASTELLS, Manuel. **Local y global**. La gestión de las ciudades em La era de La información. Madrid: Taurus, 1998.

CARNEIRO, Alexsandro Monteiro. **Sistemas integrados e avançados de gestão**. Campo Grande: UCDB/Portal Educação, 2017.

EUROPEAN COMMISSION. **European innovation partnership on smart cities and communities strategic implementation**, Plan, 2013.

FREITAS, João Alcantara. Búzios, cidade inteligente ou destino inteligente. **Cultur**, ano 10, nº 02, jun. 2016.

HALL, R. E. The vision of a smart city in: International Life Extension Technology Workshop, Paris, set. 2000.

HARVEY, David. **Condição pós-moderna**: uma pesquisa sobre as origens da mudança cultural. 23. ed. São Paulo: Loyola, 2012.

ISO 18.091, The International Organization for Standardization. **Quality management systems – Guidelines for the application of ISO 9001: 2008 in Local Government**, 2014.

ISO 37.120, The International Organization for Standardization. **The first ISO – internalization standard on city indicators**, 2014.

JORDÃO, Kelem C. P. **Cidades inteligentes: uma proposta viabilizadora para a transformação das cidades brasileiras**. Dissertação (Mestrado em sistemas de infra-estrutura urbana). Centro de Ciências Exatas, Ambientais e Tecnologia, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, 2016.

KAZMAN, R. et al. **Understanding patterns for system of systems integration**. In: IEEE. System of Systems Engineering (SoSE), 2013 8th International Conference on. [S.l.], 2013. p. 141–146.

KAZUKAS, Gabriel Pironcelli. Cidades inteligentes: da utopia ao concreto. **URBS – Revista de Estudos Urbanos y Ciencias Sociales**. 2017, V. 7, n. 1, p. 155 – 159.

KON, Fábio; SANTANA, Eduardo F. Z. **Cidades inteligentes: conceitos, plataformas e desafios**. CSBC 2016 – XXXVI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação. Porto Alegre: SBC/PUCRS/FACIN, 2016.

LÉVY, Pierre. **As tecnologias da inteligência e o futuro do pensamento na era da informática**. Rio de Janeiro: Editora 34, 1993.

LOSS, Stefano M. **Um serviço de especificação de sistemas de sistemas no contexto de cidades inteligentes**. Monografia – Departamento de Informática e Matemática Aplicada, UFRGN, Natal, 2017.

MIRANDA, Felipe Villela de. Cidades inteligentes para quem? Estudo do urbanismo high-tech no Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Media lab UFRJ, 2015.

MONTEIRO, Nabor Alves; VALENTIM, Marta Lúcia Pomim. Necessidades informacionais e aprendizagem no ciclo de um projeto. **Revista Digital de biblioteconomia e ciência da informação**, Campinas v.5, n.2, p. 53 – 66, jan. jun. 2008.

OLIVEIRA, Henrique Renan de; PINHAREZ, Monica. Parcerias Público-privadas e promoção de iniciativas de cidades inteligentes – insights do Rio de Janeiro. **PMKT – Revista Brasileira de Pesquisas de Marketing**. São Paulo, v. 10, n. 3, p. 389-402, set/dez. 2017.

ONU, Organização das Nações Unidas. **Departamento of Economic and Social Affairs. World urbanization prospects**, 2014.

ORREGO, Rodrigo B.S. **CORE-MM, um modelo de crowdsourcing para cidades inteligentes baseado em gamificação**. Dissertação (Mestrado em computação aplicada) – UNISINOS, São

Leopoldo, 2017.

PEREIRA, Gabriela V. **Contribuição de iniciativas de cidades inteligentes no desenvolvimento humano: uma análise de percepção de agentes de centros de operações municipais no Brasil.** Tese (Doutorado em administração) – Faculdade de Administração, Contabilidade e Economia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

PEROTTONI, Rodrigo et alli. Sistemas de informações: um estudo comparativo das características tradicionais às atuais. **REAd** edição 21, v. 7, nº 3, mai-jun, 2001.

PINTO, Ricardo Lopes; MAXIMILIANO, Antonio Cesar Amaru. Evolução da estrutura organizacional ao longo do ciclo de vida de um projeto. VII SEMEAD, Estudo de caso – política gestão tecnológica, FEA/USP, 2005.

PORTER, Michael; HEPPELMANN, James. A internet das coisas. In: Harvard Business Review Brasil. Edição nº 9211, Novembro, 2014.

RIGHI, Roberto; SQUAIELLA, Roberta Betania Ferreira. Cap. 3 Cidades inteligentes: tecnologia da informação e comunicação (TIC) instrumentando o planejamento urbano e regional. In BIANCA, Camargo Martins (org). **Planejamento Urbano e Regional**. Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019.

SANTOS, Milton. **A natureza do espaço**. São Paulo: Hucitec, 1997.

TOPPETA, Donato. The smart city vision: how innovation and ICT can build smart, “livable”, sustainable cities. **Think! The Innovation Knowledge Foundation**, 2010.

VIRILIO, P. **O espaço crítico e as perspectivas do tempo real**. Rio de Janeiro: Ed. 34, 1993.

VALENTIM, Marta Lúcia Pomin. Inteligência competitiva em organizações: dado, informação e conhecimento. **DataGramZero – Revista de Ciência da Informação**. V. 3, nº 4, agosto, 2002.

## ANÁLISE DOS MÉTODOS DE ENSINO E AVALIAÇÕES UTILIZADOS NA GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA FLORESTAL

### **Elaine Cristina Lengowski**

Universidade Federal do Mato Grosso, Faculdade de Engenharia Florestal  
Cuiabá – Mato Grosso

### **Carla Cristina Cassiano**

Universidade Federal do Mato Grosso, Faculdade de Engenharia Florestal  
Cuiabá – Mato Grosso

**RESUMO:** Há um alto índice de evasão e reprovação nos cursos de Engenharia. Diante disso esta pesquisa se propõe a avaliar os métodos de ensino e de avaliações empregados pelos docentes no curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Mato Grosso. Para isso, foi formulado um questionário no Google forms e disponibilizado aos docentes via e-mail. Foi observado que os maiores índices de reprovação ocorreram em disciplinas que utilizam apenas um método de ensino e que os maiores índices de desistência de alunos foram em disciplinas que utilizam a leitura e discussão sobre temas da aula e em aulas que utilizam apenas data show como método de ensino. A prova dissertativa individual é a metodologia mais utilizada na avaliação das disciplinas. Foi observado que as disciplinas que utilizam metodologias ativas no ensino e avaliação não apresentaram reprovações, indicando a necessidade do maior emprego

desta na construção do conhecimento dos discentes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Índice de aproveitamento, Metodologias ativas, Ensino universitário.

### ANALYSIS OF THE TEACHING AND EVALUATIONS METHODS USED IN THE GRADUATION OF FORESTRY ENGINEERING

**ABSTRACT:** There is a high rate of avoidance and disapproval in Engineering courses. Therefore, this research proposes to evaluate the teaching methods and evaluations used by the teachers in the Forest Engineering course of the Federal University of Mato Grosso. For this, a questionnaire was formulated in Google forms and available to teachers via email. It was observed that the highest failure rates occurred in disciplines that use only one method of teaching and that the highest indices of student dropout were in subjects that use reading and discussion about subjects of the class and in classes that use only data show as method education. The individual theory testis the methodology most used in the evaluation of the subjects. It was observed that the disciplines that use active methodologies in teaching and evaluation did not present disapprovals, indicating the necessity of the greater use of this method in the construction of students' knowledge.

**KEYWORDS:** Index of achievement, Active methods, University education.

## 1 | INTRODUÇÃO

Tradicionalmente os cursos de engenharia são conhecidos por serem difíceis, apresentarem elevados índices de desistência e reprovações. Essa definição nos leva a alguns questionamentos relacionados à dificuldade de ensino-aprendizagem dos alunos. Há diversas discussões que apontam que a deficiência de um ensino básico de qualidade afeta a qualidade do ensino superior (VICENTE, 2019; MIRANDA; MASSON, 2016; GOUVÊA, 2000). Segundo a Lei de Diretrizes e Bases da Educação o objetivo da educação básica é desenvolver o aluno, assegurar-lhe a formação comum indispensável para o exercício da cidadania e fornecer-lhe meios para progredir no trabalho e em estudos posteriores (BRASIL, 1996). No entanto é observado uma grande desigualdade quanto a qualidade do ensino nas mais diferentes regiões do país (VICENTE, 2019), o que resulta em alunos que acumulam deficiências de conteúdos oriundas do ensino fundamental e médio. Esse fato somado à falta do hábito do estudo compromete significativamente a aprendizagem no ensino superior (MIRANDA; MASSON, 2016).

No entanto, sob a ótica do ensino as reprovações estão diretamente relacionadas à motivação do estudante em função da metodologia de ensino empregada e a alta exigência dos docentes (KIECKOW et al., 2019; BARBOSA; MEZZANO, 2011). Segundo Perrenoud (2001), Inácio (2008) e Macedo (2012), para obter êxito atendendo todos os objetivos da educação, não se pode mais utilizar apenas aulas expositivas em quadro negro e data show. É necessário envolver os alunos em outros tipos de situações de aprendizagem, que solicitem um método de pesquisa, de identificação e de resolução de problemas, de forma prática e objetiva, mantendo-os motivados.

Dentro do processo de ensino as avaliações de aprendizagem podem ser vistas por alguns como um ato autoritário, ou um instrumento disciplinador de conduta social, utilizado para classificar os estudantes, tendo um aspecto mais quantitativo do que qualitativo, se tornando mais um processo desmotivador e solitário (FENILI et al., 2012), sendo a nota um instrumento de poder (OLIVEIRA; SANTOS, 2005). Práticas que priorizam a memória, onde o aluno permanece em uma atitude passiva acaba tornando a aprendizagem superficial, um exemplo é o uso de questões objetivas (teste de múltipla escolha) (GARCIA, 2009). Muitos estudantes se preocupam mais com a nota final do que com o conteúdo que está sendo ensinado (VILLAS BOAS, 2003; OLIVEIRA; SANTOS, 2005; MOREIRA et al., 2012). O sistema de avaliação não é inserido como uma forma de aprendizagem, sendo utilizado apenas para aferir a nota. Alguns docentes apenas reproduzem um modelo conhecido, não questionando ou refletindo sobre sua função no processo de aprendizagem (HOFFMANN, 2009).

O processo de avaliação deveria ser diário e contínuo, reforçando aos alunos seu compromisso em aprender, se tornando um instrumento para a promoção e



transformação do aluno, para isso deve se fazer uso de métodos diversificados, como seminários e trabalhos, que tenham relevância na nota final, para não desestimular sua realização (FENILI et al., 2012). A aprendizagem profunda é alcançada ao estimular a autonomia do aluno, ao fazer uso de processos interpretativos e da elaboração de conceitos, por meio de atividades contextualizadas e situações autênticas (GARCIA, 2009), permitindo aos estudantes a percepção e superação de suas dificuldades (OLIVEIRA; SANTOS, 2005) e contribuindo na formação de uma cidadania crítica (VILLAS BOAS, 2003).

Os novos conceitos de ensino e avaliação indicam necessidade de serem adotadas novas técnicas, onde o estudante passa a construir o conhecimento através de aprendizagem interativa, entre estudante e docente, em que o docente passa a ser apenas um mediador do processo ensino-aprendizado (HOLZMANN; KUCKLA, 2019). Nesse contexto esse artigo busca identificar as principais técnicas de ensino e avaliação que estão sendo empregadas no curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Mato Grosso e correlacionar com o índice de reprovação por notas e faltas nas disciplinas.

## 2 | DESENVOLVIMENTO

A pesquisa foi realizada em maio de 2019 através de um questionário *online* na plataforma Google Forms. No questionário haviam questões fechadas, em que o docente ficava restrito as opções dadas por esta pesquisa e duas questões abertas, relacionada à dificuldade de ministrar a disciplina e a escolha do método de avaliação de aprendizagem. O *link* de acesso ao questionário foi disponibilizado via e-mail aos docentes do curso de graduação de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Mato Grosso. As questões se referiram as disciplinas ministradas no semestre 2018/2, permitindo ao docente fornecer mais de uma resposta.

Para analisar as respostas dos docentes e seu impacto nos acadêmicos foram utilizados os índices de aprovação e reprovação por falta que foram obtidos diretamente com a coordenação do curso analisado.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O questionário apresentou 23 respostas referentes a disciplinas ministradas no semestre 2018/2 do curso de graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Mato Grosso, o que corresponde a aproximadamente 41% do número total de disciplinas ministradas neste semestre. A participação foi de aproximadamente 74% dos docentes consultados (17 docentes). Como muitos docentes ministram mais de uma disciplina em um mesmo semestre, a maioria dos docentes respondeu o questionário apenas uma vez.

Dentre as 23 disciplinas analisadas, o tempo de experiência do docente

responsável variou de um a mais de 20 anos, sendo que para 39% o tempo de experiência é de 3 a 5 anos e 26% possui experiência entre 1 e 2 anos. Apenas 4% dos participantes possuem mais de 20 anos de experiência profissional.

Foi levantada a capacitação dos docentes participantes da pesquisa quanto à didática. Todos os docentes participantes da pesquisa afirmaram não ter formação em licenciatura, mas 77,3% realizou alguma disciplina relacionada à prática de docência durante o mestrado e/ou doutorado. Campos (2012) pesquisando também sobre a docência na pós-graduação relata que 61% de mestrandos e doutorandos entrevistados disseram que os cursos de pós-graduação, nos quais estavam matriculados não ofereciam disciplinas pedagógicas ou correlatas à formação docente.

Apesar do preparo para a docência em ensino superior ser um dos focos da pós-graduação, observa-se que em sua maioria os mestres e doutores são mais capacitados para o desenvolvimento de pesquisas que para docência (PIMENTEL et al., 2007; VEIGA, 2006). Tempo sobre estudos sobre a prática e o próprio exercício da docência é extremamente reduzido (CAMPOS, 2012), fazendo com que o preparo didático-pedagógico seja o ponto mais carente dos docentes universitários (MASETO, 2003).

Quanto à realização de atividades de reciclagem voltadas ao aprimoramento da didática e docência nos últimos 24 meses, 60,9% dos docentes realizaram alguma atividade de aprimoramento e 39,1% não realizou nenhuma atividade. Nesta mesma questão, foi levantado se algum dos docentes acreditava não necessitar de aprimoramento em didática, porém nenhum dos participantes se enquadrou nesse critério.

Das atividades de aprimoramento listadas para os docentes participantes da pesquisa, 66,7% participou de cursos ou oficinas sobre educação, 11,1% de pesquisa individual ou em colaboração sobre um tópico de seu interesse profissional, 11,1% de outro tipo de formação, 5,5% tem participação em uma rede de docentes (network) formada, 5,5% de programa de qualificação, como pós-graduação, e, nenhum docente participou de conferência e ou seminário sobre educação.

Nesse questionário levou-se em conta a percepção do docente quanto à adequação da carga horária das disciplinas, 72,7% acredita que a carga horária é suficiente para a disciplina ministrada, 18,2% insuficiente e 9,1% mais horas que o necessário. O fato dos cursos de engenharia exigirem uma carga horária maior faz com que muitos alunos acabem não tendo tempo para se dedicarem as disciplinas, resultando em baixo rendimento acadêmico, maior índice de reprovação e, conseqüentemente, boa parte dos alunos acabam evadindo dos cursos (KIECKOW et al., 2019). Disciplinas que apresentam uma carga horária acima do necessário podem ocasionar o desinteresse do acadêmico, tendo em vista que muitas aulas podem apresentar pouco conteúdo novo, de forma que os alunos percam o interesse na disciplina.

Avaliando o índice de reprovação das disciplinas que afirmaram ter uma carga

horária além do necessário para o conteúdo, foi observado um dos maiores índices de reprovação (56,25%) sendo que 31,25% foram reprovações por falta. Em média as disciplinas que se enquadraram nesse quesito tiveram 41,46% de reprovação sendo que 21,51% foram por faltas, indicando a desmotivação dos acadêmicos.

Quanto aos métodos de ensino adotados na disciplina, cada docente participante poderia responder no máximo dois métodos de ensino adotados na disciplina. Os resultados estão apresentados na Figura 1. Foi constatado que a maioria utiliza aulas expositivas com uso de data show e quadro negro, prevalecendo o uso de data show, 28,95%. O uso de vídeos para auxiliar no ensino foi à segunda metodologia mais utilizada, com 15,79% de adesão. Um grande percentual dos docentes utilizaram a apresentação de seminários como forma de aprendizado (10,53%) e leitura e discussão sobre o tema da aula (10,53%). Muitos docentes utilizam apenas aulas expositivas somente em data show (10,53%) ou em quadro negro (10,53%). Aulas expositivas com uso de data show e quadro negro, prevalecendo o uso de quadro negro foi a metodologia de ensino menos empregada, com 5,26% apenas dos docentes. Metodologias ativas como o TBL são empregadas por apenas 7,89% dos docentes. A maior parte dos docentes ainda utiliza o método tradicional de ensino, fato que pode estar atrelado à cultura e comodidade do docente, que muitas das vezes já possui a aula preparada, sem ter que se preocupar em preparar uma nova metodologia/atividade.

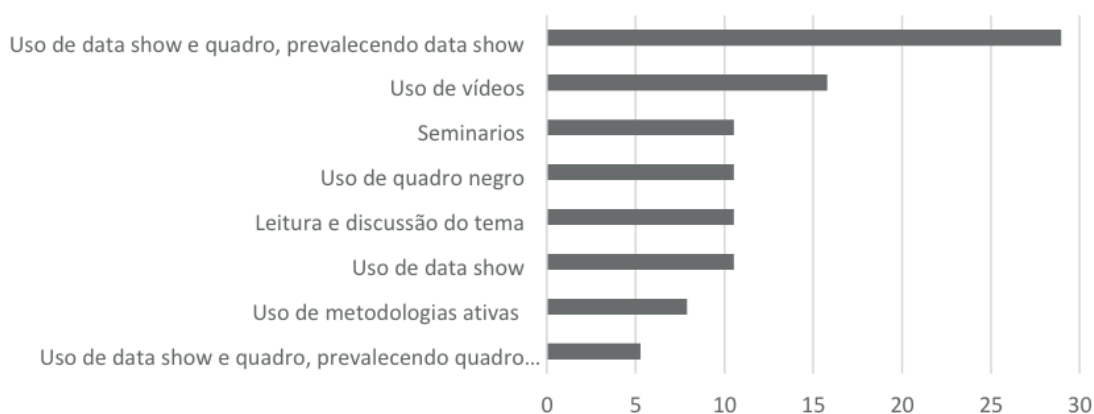


Figura 1 – Método de ensino adotado na disciplinas

Através dos índices de aprovação foi observado que as disciplinas que usam apenas quadro negro como método de ensino foram as que apresentaram os maiores índices de reprovação (36,49%), seguido das matérias que utilizam apenas data show (26,28%), mais quadro negro que data show (26,19%), uso de leitura e discussão sobre o tema (25,82%), uso de vídeos (15,43%), mais data show que quadro negro (11,89%), apresentação de seminários sobre os temas (4,65%) e uso de metodologias ativas (0,0%). O percentual das reprovações que aconteceram por frequência foi de 21,51% das disciplinas que utilizam leitura e discussão sobre o tema, 18,64% para as disciplinas ministradas apenas por data show, 13,38% das disciplinas que utilizam

apenas quadro negro, 11,90% das disciplinas que utilizam mais quadro negro que data show, 8,09% das disciplinas que utilizam vídeos, 5,88% das que utilizam mais data show que quadro negro, 4,55% dos que usam apresentação de seminários sobre temas da aula e 0,0% das que utilizam metodologias ativas.

Em relação à percepção quanto ao principal fator que está relacionado à aprendizagem dos alunos, 43,5% dos docentes acreditam que está relacionada à metodologia de ensino utilizada, 30,4% que está relacionada com as disciplinas feitas previamente durante a graduação (pré-requisitos), 13% acredita que é fortemente relacionada com a bagagem e disciplina que os alunos trazem do ensino básico e médio e 13% acredita ser particular de cada aluno, não sendo influenciada pela metodologia de ensino. Nenhum dos participantes acredita que o aprendizado depende exclusivamente da bagagem da faculdade, excluindo o aprendizado obtido no ensino básico e médio.

Elencando as principais dificuldades descritas pelos docentes ao ministrar as disciplinas, as respostas foram classificadas em cinco categorias: problemas relacionados aos “alunos: como interesse, falta de bagagem; problemas relacionados ao docente: como falta de especialização na área da disciplina, falta de tempo em preparar aulas mais atrativas, dificuldade em manter atenção dos alunos; problemas relacionados à estrutura: como falta de laboratórios e áreas para aulas de campo; problemas de planejamento: relacionados à carga horária da disciplina em relação à ementa do curso, falta de pré-requisito; e ausência de dificuldades.

Dentre as dificuldades apresentadas pelos docentes participantes, cinco problemas foram elencados como Aluno, indicando que a falta de interesse pelo curso e falta de matéria base, seja ela do ensino fundamental ou de matérias do próprio curso, fator que dificultou o andamento das disciplinas ministradas. Quanto a dificuldades elencadas como Docentes, oito respostas foram encontradas, entre elas falta de tempo para preparar aulas mais criativas, dificuldade em motivar e manter a atenção dos alunos e principalmente pelo docente não ser especialista na área que ministra a disciplina. Quanto à dificuldade em manter a atenção, um dos participantes sugere que aulas mais curtas poderiam ajudar a diminuir a dispersão dos alunos, sendo um problema relatado por outro docente, o qual ficou enquadrado como dificuldades quanto ao Planejamento. Cinco docentes relataram dificuldades em relação ao planejamento curricular, como efetuar aulas de campo sem prejudicar outras disciplinas, excesso de ementa para pouca carga horária da disciplina, falta de pré-requisito cursado pelos acadêmicos por conta da disposição da disciplina na grade curricular. Outros problemas elencados foram enquadrados como Estruturais, sendo estes relacionados à falta de estrutura laboratorial ou áreas próximas para aulas práticas e de campo. Apenas um participante disse não apresentar dificuldades quanto a disciplina ministrada, apesar de relatar que o excesso de especializações necessárias o deixa cansado.

Dos docentes que afirmaram ter dificuldades que se enquadram como Aluno o

percentual de reprovação foi de 37,97% sendo 14,02% por faltas. Quando a dificuldade foi enquadrada como Docente o índice de reprovação foi de 22,88% e destes 14,27% foi por faltas. Quando a dificuldade foi enquadrada como Planejamento o índice de reprovação foi 17,92% sendo 11,10% por faltas. Para docentes que tiveram suas dificuldades enquadradas como Estrutura o índice de reprovação foi de 22,62% sendo estes 7,98% de reprovações por faltas. Para o docente que afirmou não ter dificuldades nas disciplinas, o índice de reprovação foi 0,00%.

Em relação ao método de avaliação de aprendizagem foi questionado qual o embasamento o docente utiliza para estabelecer os critérios utilizados nas disciplinas. A maioria dos docentes, 60,9%, utiliza a sua experiência na hora de estabelecer o melhor método de avaliação, alterando os métodos ao longo da carreira docente visando adequá-los a cada disciplina. Segundo Chaves (2001) os docentes tendem a utilizar métodos de avaliação que tiveram contato em sua trajetória escolar, e a partir da experiência e bom senso, vão adaptando as metodologias. Houve apenas uma resposta envolvendo o estudo de métodos de avaliação na literatura (4,3%). As disciplinas cursadas na graduação e na pós-graduação também foram citadas como referência para o estabelecimento do critério de avaliação, identificada como vivência tiveram 17,4% de relevância na hora de selecionar o método de avaliação. Também surgiram outras respostas, com o uso de métodos novos, como o método de resolução de problemas, sendo responsáveis por 17,4% no embasamento na hora de selecionar o método avaliativo.

Quanto aos métodos de avaliação de aprendizagem, observou-se que há disciplinas que utilizam apenas um ou dois métodos de avaliações, enquanto em outras disciplinas são utilizados mais de dez métodos diferentes (Figura 2). O método de avaliação de aprendizagem mais utilizado pelos docentes é a prova dissertativa individual, que é utilizada em 78,3% das disciplinas analisadas. Diversos estudos demonstram a preferência dos docentes pela avaliação tradicional escrita (CHAVES, 2001; VILLAS BOAS, 2003; GARCIA, 2009; MOREIRA et al., 2012). Em seguida, os métodos mais utilizados foram a apresentação de seminário em grupo, a prova objetiva individual e o trabalho dissertativo em grupo.

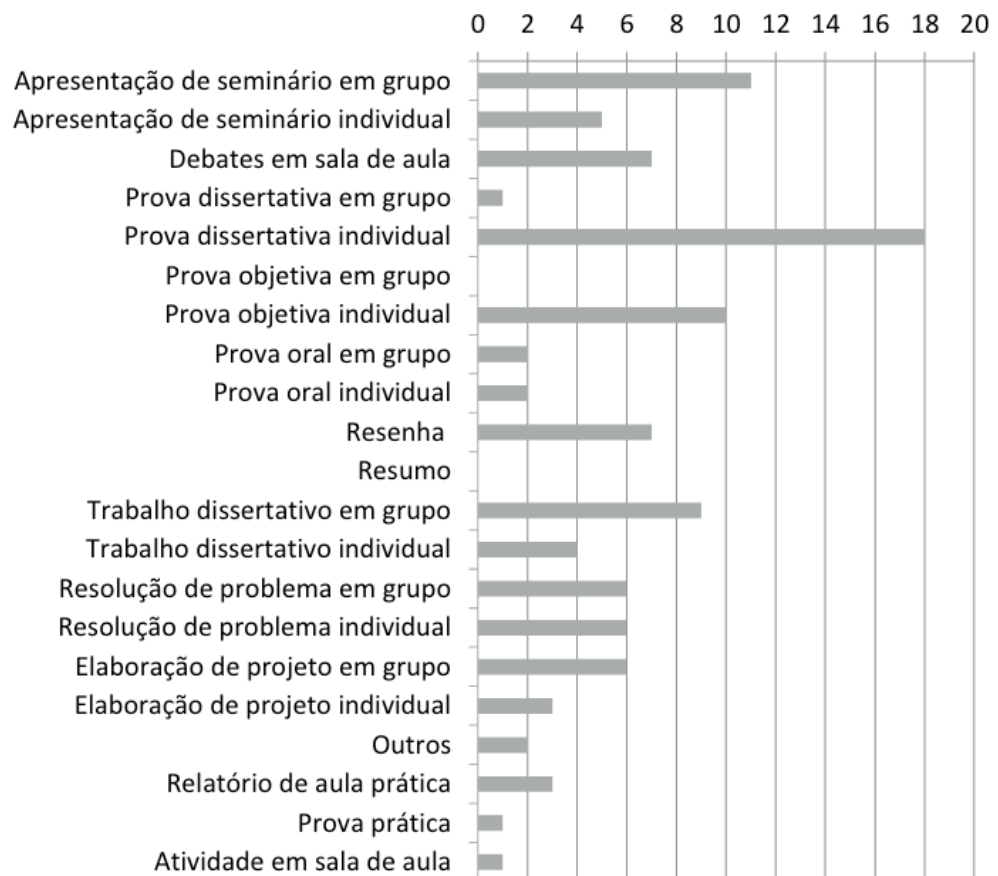


Figura 2 – Métodos de avaliação de aprendizagem adotados nas disciplinas

Em relação ao peso adotado pelo método de avaliação, a prova dissertativa individual também foi o principal método utilizada na maioria das disciplinas (69,6%). Foram citados mais cinco métodos de avaliação considerados como o principal método de avaliação de aprendizagem da disciplina: a resolução de problema individual (13%), a apresentação de seminário em grupo (4,3%), a apresentação de seminário individual (4,3%), a prova dissertativa em grupo (4,3%) e o trabalho dissertativo em grupo (4,3%).

Em 90,9% das disciplinas o principal método de avaliação corresponde a 50% ou a mais de 50% da nota final da disciplina. Em relação à prova dissertativa individual, que é o método de avaliação mais utilizado, o seu peso varia de 50% a 100% da nota final da disciplina, sendo em média de 76%. Enquanto a resolução de problema individual, segundo método mais utilizado, tem seu peso na nota final variando de 30% a 80%.

Dentre os seis métodos citados houveram reprovações por nota apenas nas disciplinas que utilizam prova dissertativa individual e em grupo. O maior índice de reprovação por nota em disciplinas que utilizam a prova dissertativa individual como o principal método de avaliação de aprendizagem foi de 36,4%. Entretanto, em 31,25% das disciplinas que utilizam prova dissertativa individual como o principal método de avaliação de aprendizagem não houve reprovação por nota. As reprovações por nota e faltas estão associadas aos diferentes métodos de avaliação de aprendizagem, dentre

os seis métodos citados como principais formas de avaliação adotadas pelos docentes apenas a metodologia de resolução de problemas não apresentou reprovações. As disciplinas com reprovações por nota e faltas têm índices de reprovação que variam de 4,55% a 56,25%. Os altos índices de reprovação por nota e falta podem estar associados ao abandono das disciplinas pelos alunos após as primeiras avaliações. Os resultados das avaliações fazem com que os alunos permaneçam ou não nos cursos de graduação (VILLAS BOAS, 2003).

Deve-se promover um equilíbrio entre as atividades individuais e em grupo, assim como, a utilização de diferentes metodologias que se complementem para a formação do conhecimento (GONÇALVES; NEY, 2010). Práticas baseadas em reflexão, construção, criatividade, parceria, autonomia e auto-avaliação devem ser utilizadas para estimular os estudantes a deixarem a postura passiva, de assistir aula, e passarem para uma postura participativa na construção do conhecimento (VILLAS BOAS, 2003). Os trabalhos em grupo e fora da sala de aula podem ser uma opção para esse estímulo. Entretanto, sabe-se que grupos muito numerosos não funcionam, pois alguns alunos acabam fazendo o trabalho de outros; esses alunos estão se preparando para o mercado de trabalho onde irão trabalhar em equipe (OLIVERIA et al., 2005), dessa maneira, o docente poderia demonstrar a importância do engajamento e entrosamento entre os alunos na realização do trabalho servindo como base para sua preparação para a atividade profissional.

Na Tabela 1 são apresentadas as respostas em relação à escolha do principal método de avaliação de aprendizagem das disciplinas. As avaliações (prova) são consideradas como uma opção para garantir a participação de todos os estudantes e verificar a conhecimento adquirido individualmente; os trabalhos são utilizados visando informações mais completas e complexas, envolvendo a resolução de problemas reais; e outros docentes acreditam que o ideal é mesclar diferentes formas de avaliação de aprendizagem.

Tipo	Qual você acredita ser o melhor método ou tipo de avaliação para disciplinas de graduação?
Avaliação (prova)	Prova dissertativa.
	Prova individual. Avalia de forma mais segura o aprendizado.
	Prova, pois os alunos estudam mais quando avaliação é realizada por meio de provas.
	Avaliação dissertativa individual, pois os alunos ainda não tem maturidade para realizar outro tipo de avaliação.
	Prova dissertativa individual, pois onde se percebe se o aluno entendeu os principais pontos da disciplina.
	Pelo número grande de alunos por turma, acredito que a avaliação dissertativa é o melhor método.
	Avaliação individual dissertativa por ser uma matéria baseada em cálculos.
	As provas individuais permitem uma avaliação mais justa para casa aluno. No entanto, acredito que os trabalhos permitam maior busca por outras fontes de informações.
	Trabalho em grupo, porém não temos como garantir a participação de todos, portanto opto pela prova dissertativa.

	<p>Prova oral. Talvez seja a forma mais fácil das pessoas se expressarem. De acordo com os questionamentos realizados e novas respostas sejam alcançadas, o nível das perguntas subsequentes poderá ser mais aprofundado. A prova oral daria a chance de reformular as perguntas, podendo evitar problemas de interpretação de texto, desde que atenda requisitos mínimos de qualidade e de quantidade e atenda o conteúdo proposto.</p>
Trabalhos	<p>Varia de acordo com a disciplina. Para disciplina optativa opto pelos trabalhos em grupos.</p> <p>Trabalhos individuais, pois a disciplina trata de temas que merecem reflexão.</p> <p>Por ser uma disciplina de cálculos, acredito que projeto com memorial de calculo seja uma boa forma de avaliação.</p> <p>Estudos dirigidos (individuais e em grupos) e avaliações dissertativas.</p> <p>Trabalhos práticos com dados reais. Aproxima o aluno a vivência como profissional.</p> <p>TBL (Team-Based Learning) – resolução de problemas.</p> <p>Mesclar provas tradicionais para fixação dos conceitos com posterior aplicação de uma situação prática para ser resolvida.</p> <p>Dentro do escopo da disciplina criar desafios e problemas para provocar a busca por soluções nos alunos.</p> <p>Focar em problemas reais que as indústrias/mercado de trabalho apresentam, isto ajuda a inserir os alunos na realidade de trabalho e a relacionar os conteúdos das disciplinas cursadas anteriormente.</p>
Outros	<p>Acredito no conjunto de métodos, um complementando o outro.</p> <p>Metodologias ativas. Eu mesclo: Aprendizagem baseada em projetos; Estudo de caso; Aprendizagem baseada em problemas; Aprendizagem entre pares ou times; além de metodologias ativas de Ensino Híbrido, Gamificação e principalmente Sala de aula invertida, que é meu método base.</p>

Tabela 1- Escolha do método de avaliação de aprendizagem pelos docentes

Todos os docentes concordam que o método de avaliação de resolução de problemas, individual ou em grupo, pode auxiliar na compreensão da disciplina pelos alunos. O método de resolução de problemas já foi utilizado em 19 das 23 disciplinas analisadas. Nas disciplinas em que o método já foi utilizado a maioria dos docentes acredita ser efetivo, sendo que um docente complementa dizendo que o método permite a construção do conhecimento. Entretanto, dois docentes discordam da efetividade do método, ambos relacionam essa ineficiência à falta de interesse dos alunos, sendo que um afirma que o método é parcialmente efetivo, uma vez que há a necessidade da cobrança de sua execução; e o outro acredita não ser efetivo, pela dificuldade dos alunos.

Dentre as justificativas informadas para a não utilização de métodos de resolução de problemas nas disciplinas a opção de que a metodologia utilizada na disciplina já permite sua compreensão foi citada três vezes, um docente declarou que não havia pensado nesta opção para a disciplina, outro justificou que por se tratar de uma disciplina básica (de início de graduação) há a apresentação de problemas e suas soluções aos alunos de forma expositiva, também foi levantado por um docente à falta de maturidade de parte dos alunos, onde ainda não constatou um bom *feedback* desta prática, e, por fim foi alegada a falta de tempo para sua preparação. O método de avaliação de aprendizagem de resolução de problemas pode parecer cômodo



para o docente, entretanto, exige um nível maior de preparação e conhecimento, pois leva o aluno a questionamentos inovadores (PROCHNOW et al., 1998).

A resolução de problemas pode ser inserida facilmente nas disciplinas de graduação através da problematização. A problematização baseia-se na resolução de uma situação real, pode ser introduzida a partir da observação da realidade, trabalhando pontos-chaves e conceitos teóricos para que os estudantes levantem hipóteses de solução, e finalizando com a tomada de decisão sobre a melhor opção apresentada (BERBEL, 1998). Entretanto, a resolução de problemas pode ser inserida de uma maneira mais abrangente nos cursos de graduação, como uma proposta curricular, através da metodologia conhecida como aprendizagem baseada em problema (ABP). Segundo Sisk (2011), em sua revisão de literatura sobre ABP, observa-se um envolvimento maior dos alunos em disciplinas que utilizam essa metodologia de ensino, assim como, notas maiores nas avaliações. A ABP é um processo desenvolvido ao longo da disciplina, que envolve estudos individuais, discussão e resolução de atividades direcionadas em grupo e participação ativa do docente guiando os alunos no decorrer dessas atividades, assim, consegue-se melhorar a capacidade do aluno de aplicar o conteúdo do curso, melhorando o aprendizado e promovendo o desenvolvimento de equipes autogerenciadas (MICHAELSEN; SWEET, 2008).

O conhecimento das diferentes metodologias de ensino e avaliação de aprendizagem é fundamental para que os docentes possam testá-las e determinarem a mais adequada para a sua disciplina. Em relação às avaliações, os docentes devem refletir sobre a influência que elas têm sobre a aprendizagem dos alunos (GARCIA, 2009), para que as avaliações sejam uma ferramenta de ensino para alcançar a aprendizagem profunda e não apenas um meio de aprovação ou reprovação.

#### 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa pesquisa demonstrou carência em relação ao preparo para a docência recebida durante a pós-graduação para a maioria dos docentes que responderam ao questionário. Muitos docentes também não fazem aperfeiçoamento quanto a sua didática e métodos de ensino após ingressarem na carreira docente. Ficou claro que a maioria dos docentes participantes da pesquisa opta por métodos tradicionais de ensino, baseando suas aulas em quadro negro ou data show. Os maiores índices de reprovação ocorreram nas disciplinas que se baseiam unicamente em um método de ensino, seja ele quadro negro ou data show, demonstrando que aulas que utilizam mais de uma metodologia de ensino contribuem para um melhor aprendizado. A maior quantidade de reprovação por faltas e/ou desistência de alunos ocorreu nas disciplinas que utilizam a leitura e discussão sobre temas da aula e em aulas que utilizam apenas data show. O uso de metodologias ativas como técnica de ensino se mostrou eficiente, contribuindo para os maiores índices de aprovação e menores índices de desistência. Os maiores índices de reprovação foram encontrados em disciplinas em que os

docentes participantes relataram dificuldades quanto ao domínio de conteúdo base cursado previamente pelos alunos. A prova dissertativa individual foi a metodologia de avaliação de aprendizagem mais utilizada nas disciplinas e com peso significativo na nota final. Apesar das reprovações nas disciplinas avaliadas estarem associadas a diversos métodos de avaliação de aprendizagem, não houve reprovações nas disciplinas que utilizam a metodologia de resolução de problemas como a principal forma de avaliação. Isso demonstra a importância do uso de metodologias diferentes das tradicionais para auxiliar na construção do conhecimento.

## REFERÊNCIAS

- BARBOZA, P.V.; MEZZANO, F. Motivos de evasão no curso de Engenharia Elétrica: realidade e perspectiva. In: Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2011, Santa Catarina. **Anais...** Blumenau, 2011.
- BERBEL, N.A.N. A problematização e a aprendizagem baseada em problemas: diferentes termos ou diferentes caminhos? **Interface - Comunicação, Saúde, Educação**, v. 2, n. 2, p. 139-154, 1998.
- BRASIL. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996. Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional. **Diário oficial da União**, Brasília, DF, n.248, 23 dez. 1996, Seção 1, p.27833.
- CAMPOS, V. T. B. Formar ou preparar para a docência no ensino superior? Eis a questão. **35ª Reunião Anual da ANPEd: Educação, cultura, pesquisa e projetos de desenvolvimento: o Brasil do século XXI, Porto de Galinhas**, 2012. Disponível em < [http://www.anped.org.br/sites/default/files/gt08-2528\\_int.pdf](http://www.anped.org.br/sites/default/files/gt08-2528_int.pdf)>. Acesso em 12 jun. 2019.
- CHAVES, S.M. **Avaliação da aprendizagem no ensino superior: realidade, complexidade e possibilidades**. Disponível em: <<http://www.anped.org.br/sites/default/files/t0412.pdf>>. Acesso em 4 jul. 2019.
- FENILI, R. M.; OLIVEIRA, M. E.; SANTOS, O.M. B.; ECKERT, E. R. Repensando a avaliação da aprendizagem. **Revista Eletrônica de Enfermagem**, v. 4, n. 2, p. 42-48. 2002.
- GARCIA, J. Avaliação e aprendizagem na educação superior. **Estudos em Avaliação Educacional**, v. 20, n. 43, p. 201-231, 2009.
- GONÇALVES, M.R.; NEY, M.G. Contribuições da avaliação mediadora para a melhoria da qualidade da Educação. **Agenda Social**, v. 4, n. 2, p. 96-98, 2010.
- GOUVÊA, G. F. P. Um Salto para o presente a educação básica no Brasil. **São Paulo em Perspectiva**, São Paulo, v.14, n.1, 2000.
- HOFFMANN, J.M.L. **Avaliação Mediadora: Uma Relação Dialógica na Construção do Conhecimento**. Disponível em: <<http://www.dn.senai.br/competencia/src/contextualizacao/celia-avaliacaomediadoraJussaraHoffmam.pdf>>. Acesso em 4 jul. 2019.
- HOLZMANN, H.A.; KUCKLA, M. **Possibilidades e Enfoques para o Ensino das Engenharias**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019.
- INÁCIO, S. R. L. **As competências para ensinar**. Web artigos, 2008. Disponível em: <<https://www.webartigos.com/artigos/as-competencias-para-ensinar/11326>>. Acesso em: 15 de abr. 2011.
- KIECKOW, F.; DE FREITAS, D.B.; LIESENFELD, J. O ensino e a aprendizagem na engenharia:

realidade e perspectivas. In: **Possibilidades e Enfoques para o Ensino das Engenharias**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019.

MACEDO, R. J. Novas metodologias de ensino e aprendizagem aplicadas ao curso de engenharia elétrica: o foco do ensino no século XXI. In: XL Congresso Brasileiro De Educação Em Engenharia, 2012, Pará. **Anais...** Belém, 2012.

MASETTO, M. T. **Competência pedagógica do professor universitário**. São Paulo: Summus Editorial, 2003.

MICHAELSEN; SWEET. The essential elements of Team-Based Learning. **New Directions for Teaching and Learning**, n. 116, p. 7-27, 2008.

MIRANDA, L. F.; MASSON, T. J. Projeto de Apoio para Melhoria do desempenho Acadêmico –PAMDA. In: XLIV CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 2016, Rio Grande do Norte. **Anais...** Natal, 2016.

MOREIRA, H.; GRAVONSKI, I.; FRAILE, A. As percepções dos alunos de engenharia sobre as práticas de avaliação da aprendizagem. **Revista Iberoamericana de Evaluación Educativa**, v. 5, n. 3, p. 276-290, 2012.

OLIVEIRA, K.T.; SANTOS, A.A.A. Compreensão em Leitura e Avaliação da Aprendizagem em Universitários. **Psicologia: Reflexão e Crítica**, v. 18, p.118-124, 2005.

PERRENOUD, P.; PAQUAY, L.; ALTET, M.; CHARLIER, E. **Formando Professores Profissionais**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2001. p. 232.

PIMENTEL, V.; DE FARIA MOTA, D. C.; KIMURA, M. **Reflexões sobre o preparo para a docência na pós-graduação em enfermagem**. Revista da Escola de Enfermagem da USP, v. 41, n. 1, p. 161-164, 2007. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/reeusp/v41n1/v41n1a21>>. Acesso em 9 jun. 2019.

PROCHNOW, L.I.; LOZANI, M.C.B.; KIEHL, J.C. Aplicação da teoria do construtivismo no ensino de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v. 22, p. 539-545, 1998.

SISK, R.J. Team-Based Learning: Systematic Research Review. **Journal of Nursing Education**, v. 50, n. 12, p. 665-669, 2011.

VEIGA, I. P. A. Docência universitária na educação superior. **Docência na Educação Superior. Brasília: Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Anísio Teixeira**, 2006. Disponível em < <https://www.unochapeco.edu.br/static/data/portal/downloads/2130.pdf>>. Acesso em 9 jun. 2019.

VICENTE, K.B. **Os reflexos do desempenho da educação básica no ensino superior**. 2019. Disponível em: <[http://www.conteudojuridico.com.br/artigo,os-reflexos-do-desempenho-da-educacao-basica-no-ensino-superior,591808.html#\\_ftn1](http://www.conteudojuridico.com.br/artigo,os-reflexos-do-desempenho-da-educacao-basica-no-ensino-superior,591808.html#_ftn1)>. Acesso em 9 jun. 2019.

VILLAS BOAS, B. Práticas Avaliativas no Contexto do Trabalho Pedagógico Universitário: formação da cidadania crítica. **Revista da Rede de Avaliação Institucional da Educação**, v. 8, p. 103-120, 2003.

## AVALIAÇÃO ERGONÔMICA DE POSTO DE TRABALHO EM UM ATELIÊ DE SOUVENIRS COM USO DOS MÉTODOS OWAS E DE SUZANNE RODGERS

### Jordy Felipe de Jesus Rocha

Faculdade de Administração e Negócios de Sergipe – FANESE  
Aracaju-SE

### Maria Vanessa Souza Oliveira

Faculdade de Administração e Negócios de Sergipe – FANESE  
Aracaju-SE

### Leila Medeiros Santos

Faculdade de Administração e Negócios de Sergipe – FANESE  
Aracaju-SE

### Bento Francisco dos Santos Júnior

Faculdade de Administração e Negócios de Sergipe – FANESE  
Aracaju-SE  
Instituto de Pesquisa, Tecnologia e Negócios – IPTN  
Aracaju-SE

**RESUMO:** Esse estudo buscou avaliar a exposição ergonômica dos colaboradores de um ateliê de souvenirs, tendo em vista que nunca foi realizada uma pesquisa e intervenção nesta área, dentro da empresa escolhida. Assim, tal trabalho almejou avaliar as condições ergonômicas dos colaboradores para descobrir se as mesmas encontravam-se dentro dos parâmetros aceitáveis. Dessa forma, foi realizado o mapeamento do processo,

a aplicação de ferramentas ergonômicas (método de Suzanne Rodgers, método OWAS e questionário nórdico), a proposição de melhorias para as divergências encontradas assim como avaliação das ações aplicadas. O estudo abrange desde a ergonomia, como base, passando pela exposição dos principais agentes ergonômicos, suas implicações na saúde do colaborador, além de ferramentas ergonômicas e da qualidade necessárias para uma análise satisfatória dos objetivos. O presente trabalho utilizou também métodos de pesquisa como questionário e observações *in loco*, além de pesquisas bibliográficas para fomentar as análises realizadas. Assim, foram observados fatores que influenciavam reclamações em partes do corpo como ombros, pulsos e mãos, tendo a realização de ginástica laboral e treinamento ergonômico, onde notou que o número de reclamações aumentou após tais intervenções. Por fim, o presente estudo obteve êxito quanto ao seu objetivo proposto, conseguindo realizar uma análise consistente das condições ergonômicas e apresentar, por um lado, as principais causas dos problemas ergonômicos, como também as aplicações de intervenções para tais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ergonomia. Método de Suzanne Rodgers. Método OWAS. Questionário nórdico. Saúde do colaborador

## ERGONOMIC EVALUATION OF WORK AT A SOUVENIRS WORKSHOP WITH OWAS AND SUZANNE RODGERS METHODS

**ABSTRACT:** This study sought to evaluate the ergonomic exposure of employees of a souvenir workshop, considering that a research and intervention in this area was never carried out within the chosen company. Thus, this work aimed to evaluate the ergonomic conditions of the employees to find out if they were within the acceptable parameters. Thus, the mapping of the process, the application of ergonomic tools (Suzanne Rodgers method, OWAS method and Nordic questionnaire), the proposition of improvements for the divergences found as well as evaluation of the applied actions were carried out. The study ranges from ergonomics, as a base, to the exposition of the main ergonomic agents, their implications for the employee health, as well as the ergonomic and quality tools necessary for a satisfactory analysis of the objectives. The present work also used research methods such as questionnaire and in-loco observations, as well as bibliographical researches to promote the analyzes carried out. Thus, it was observed factors that influenced complaints in parts of the body such as shoulders, wrists and hands, having performed work gymnastics and ergonomic training, where he noticed that the number of complaints increased after such interventions. Finally, the present study was successful in terms of its proposed objective, achieving a consistent analysis of the ergonomic conditions and presenting, on the one hand, the main causes of ergonomic problems, as well as the applications of interventions for such.

**KEYWORDS:** Ergonomics. Suzanne Rodgers Method. OWAS Method. Nordic Questionnaire. Employee Health

### 1 | INTRODUÇÃO

Vários fatores atuais exigem cada vez mais acompanhamento especializado por parte das empresas, como, por exemplo, clientes cada vez mais exigentes, um mercado globalizado e a preocupação com a saúde física e mental dos colaboradores. Desde a metade do século XX, existe muito mais uma abordagem humanista dentro da administração e gestão empresarial, tendo como pioneiro, o psicólogo e sociólogo Elton Mayo e a Experiência de Hawthorne. Nesse experimento, ele fez com que dúvidas fossem levantadas contra “[...] todas as afirmações dos autores clássicos, segundo as quais havia uma relação simples e direta entre as condições físicas de trabalho e a taxa de produção [...]”, segundo Etzioni (1980, p. 55) apud Matos et al. (2015, p. 10).

Assim, observa-se que organizações que se preocupam com seus colaboradores tendem a ter melhor desempenho e capacidade de enfrentar os desafios econômicos. Não só os comumente citados como globalização e clientes cada vez mais exigentes, mas também a situação que o país apresenta nos últimos anos, que é o recesso econômico. Dentro dessa preocupação com a saúde e segurança dos colaboradores se encaixa a ergonomia.

Dentre os tipos de Ergonomia, destaca-se a Ergonomia física, que lida com a resposta biológica do corpo humano para com as atividades desempenhadas durante o processo laboral. Seja levantamento de peso, forças de tração e compressão, até casos mais detalhados como vibração, repetição e a própria postura do trabalhador. Por fim, analisar e reparar situações que possam desenvolver doenças ocupacionais, como as musculoesqueléticas, que podem causar não só prejuízos e desconfortos para o empregado, como diminuição produtiva e indenizações por parte da empresa.

Os métodos de avaliação ergonômica são dos mais variados, podendo ser citados: Ovako Working Postures Analysing System (OWAS), para analisar a postura pelo tempo produtivo; e o Método de Suzanne Rodgers, para avaliar quais destes membros são os mais afetados durante o exercício das funções; entre outros.

## 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. Ferramentas de Análise de Risco e da Qualidade

Abaixo, estão descritas as principais ferramentas utilizadas para a análise do fluxo do processo, os riscos aos quais os colaboradores estão expostos, além de suas próprias reclamações e, por fim, propor possíveis soluções.

#### 2.1.1. Fluxograma

O fluxograma, segundo Seleme; Stadler (2012, p. 44), é uma ferramenta de representação visual, que auxilia na identificação de problemas no fluxo produtivo, utilizando formas e pequenos detalhes.

Realizar o mapeamento do processo é vital para a organização, pois, caso tal medida seja negligenciada, há o risco de que existam esforços duplicados no processo produtivo, sendo consequência de falta de visão sistêmica e falta de registro do conhecimento que foi desenvolvido, como afirmam Danilevicz; Serafim; Musse (2010, p. 1).

Para que possa seguir uma ordem lógica, Seleme; Stadler (2012, p. 47) definem que, o fluxograma deve ser feito seguindo o padrão vertical indo de cima para baixo, e horizontal indo da esquerda para a direita o tornando de fácil entendimento para quem tiver acesso ao mesmo.

Por fim, o fluxograma é uma ferramenta importante, pois permite, assim como apontado por Villela et al. (2000, p. 51), a melhoria do entendimento dos processos e, conseqüentemente, um aumento da satisfação do cliente e do desempenho dos negócios.

#### 2.1.2. OWAS

OWAS, abreviatura de *Ovako Working Postures Analysing System*, foi criado na

Finlândia, nos anos entre 1974 e 1978, numa empresa metalúrgica chamada *Ovako*. A ferramenta foi concebida, como Corlett; Wilson; Manenica (2003, p. 100) citam, para melhorar a atividade laboral utilizando de identificação e eliminação de posturas físicas que sejam prejudiciais ao colaborador. Tal medida foi concebida em vista da grande quantidade de afastamentos e aposentadorias prematuras naquela empresa causadas por doenças musculoesqueléticas. Na Figura 1, pode ser observada a interface do método no *software* Ergolândia.

Nesse método, foi catalogada, segundo Lida (2002) apud Motta (2009, p. 26), uma certa quantidade de posturas possíveis em que o colaborador pode encontrar-se, sendo quatro opções possíveis do dorso, três para os braços e sete para a posição das pernas. Além disso, Wilson (2005) apud Motta (2009, p. 27) aponta que, para chegar ao resultado final, as cargas de materiais devem ser consideradas para saber quando devem ser aplicadas medidas corretivas no processo.

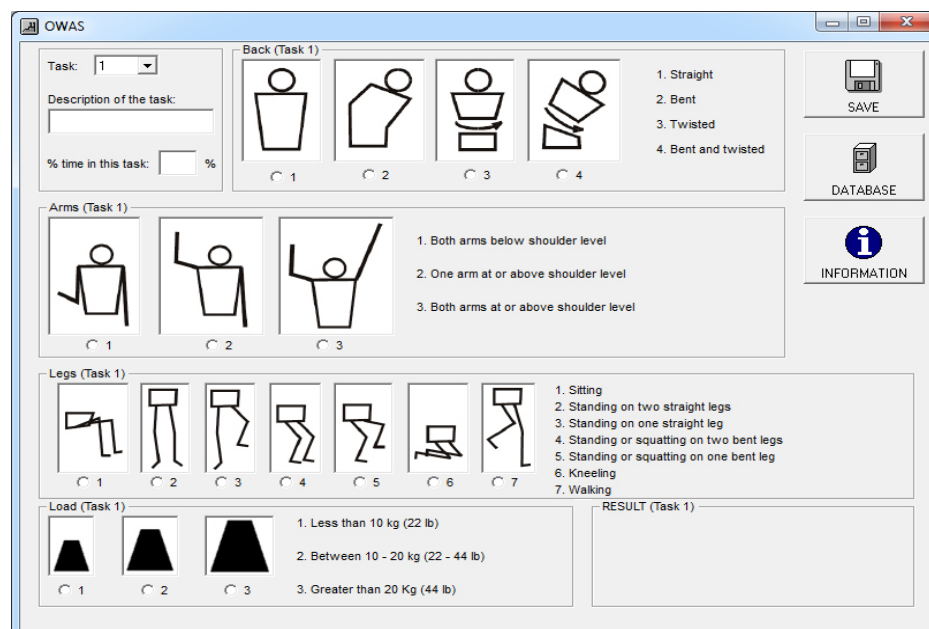


Figura 1 – Interface do OWAS

Fonte: FBF Sistemas (2018, S.p)

### 2.1.3. Método de Suzanne Rodgers

O Método de Suzanne Rodgers, como Da Silva; Gimack; Leite Junior (2016, p. 15) citam, identifica as principais posturas na realização da atividade, levando em consideração as partes do corpo separadamente, além da frequência e cargas utilizadas. O relatório analisa os principais grupos musculares do corpo humano com a finalidade de qualificar o esforço para cada um, e aponta aqueles que merecem atenção urgente pela gravidade dos aspectos e impactos envolvidos da tarefa.

Após o preenchimento, Demarchi et al. (2010, p. 347) apontam que, o resultado é apresentado através de cores em cada parte do corpo do colaborador, e que cada cor indica a prioridade de intervenção no trabalho.

### 2.1.4 Questionário nórdico de sintomas musculoesqueléticos

O Questionário Nórdico de Sintomas Musculoesqueléticos pode ser definido, segundo Suda et al. (2011, p. 271), como uma ferramenta de múltipla escolha que leva em consideração a ocorrência de sintomas por cada região do corpo. Assim, auxiliando na estratificação das principais regiões corporais que necessitam de intervenção profissional, evitando assim, futuras lesões ocupacionais. Além disso, torna a análise das necessidades de medidas ergonômicas a serem tomadas, juntamente com a atuação do especialista, mais eficiente, prevenindo e sanando possíveis desconfortos que venham a ser relatados no questionário. Na Figura 2, está disponível uma versão do formulário na língua portuguesa.

**DISTÚRBIOS MÚSCULO-ESQUELÉTICOS**  
 Por favor, responda às questões colocando um "X" no quadrado apropriado \_ um "X" para cada pergunta. Por favor, responda a todas as perguntas mesmo que você nunca tenha tido problemas em qualquer parte do seu corpo. Esta figura mostra como o corpo foi dividido. Você deve decidir, por si mesmo, qual parte está ou foi afetada, se houver alguma.

	Nos últimos 12 meses, você teve problemas (como dor, formigamento/dormência) em:	Nos últimos 12 meses, você foi impedido(a) de realizar atividades normais (por exemplo: trabalho, atividades domésticas e de lazer) por causa desse problema em:	Nos últimos 12 meses, você consultou algum profissional da área da saúde (médico, fisioterapeuta) por causa dessa condição em:	Nos últimos 7 dias, você teve algum problema em?
PESCOÇO	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim
OMBROS	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim
PARTE SUPERIOR DAS COSTAS	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim
COTOVELO	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim
PUNHOS/MÃOS	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim
PARTE INFERIOR DAS COSTAS	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim
QUADRIL/ COXAS	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim
JOELHOS	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim
TORNOZELOS/ PÉS	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim

Figura 2 – Questionário Nórdico de Sintomas Musculoesqueléticos

Fonte: Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares (2014, p. 19)

### 2.1.5. Plano de ação – 5W2H

Polacinski et al. (2012) apud De Avila Neto et al. (2016, p. 19) afirmam que a ferramenta da qualidade 5W2H é um plano de ação de atividades que necessitam ser desenvolvidas, além disso, deve ter clareza e auxiliar no mapeamento das medidas a serem implementadas, através de sete perguntas essenciais.

Por fim, Lisboa (2012) apud Martins et al. (2017, p. 16) menciona que, essa ferramenta provê um suporte para implementação de melhorias na empresa, garantindo que as informações básicas das mesmas estejam descritas de modo claro e que possa ser minuciosamente executadas. Barbosa et al. (2016) apud Martins et al. (2017, p. 16) cita que o 5W2H é útil em diversas situações, como, por exemplo, agregar valor para um produto, garantir a qualidade do processo e do produto,



aumentar vendas, desenvolvimento geral de setores, entre outras possibilidades.

### 3 | METODOLOGIA

Esse estudo pode ser classificado como pesquisa descritiva e explicativa, pois descreve o fluxo do processo selecionado, analisa e explica os resultados obtidos. Também pode ser classificado como pesquisa bibliográfica, por levantar informações de livros, artigos científicos e monografias, e pesquisa de campo por consistir na observação direta dentro da empresa analisada.

Por se tratar de um levantamento de dados e, após isso, observar e analisar as causas de fenômenos de cunho ergonômico, o presente estudo pode ser tratado como uma pesquisa quanti-qualitativa. Além disso, foram utilizados dois instrumentos para coleta dos dados, sendo eles: observação e questionário. A observação serviu para coletar dados necessários para a análise através das ferramentas de qualidade, e o questionário auxiliou na estratificação dos dados obtidos.

### 4 | ANÁLISE DE RESULTADOS

#### 4.1. Mapeamento da atividade no fluxo do processo de confecção das embalagens de doces

A matéria-prima, recortes de papéis e cola em bastão são coletadas na prateleira e levadas até a mesa de trabalho. Após isso, há a colagem entre os recortes de papel, e o material semiacabado é transportado para a mesa de modelagem, onde o material é moldado com hastes metálicas aquecidas por uma máquina.

Após a finalização das embalagens os itens são analisados e, aquelas que apresentam algum defeito são descartadas, e as que apresentam conformidade são ensacadas e, assim, ocorre a selagem das sacolas plásticas, que são posteriormente encaminhadas para o estoque.

Nesse contexto, com cada etapa bem definida pelo fluxograma, há um maior conhecimento do processo em cada seguimento do mesmo. Portanto, existe agora a possibilidade de realizar análises em cada procedimento e propor intervenções específicas, quando necessário.

Após análise e observação *in loco*, foi constatado que o processo de fabricação das embalagens para doces segue a ordem apresentada na Figura 3.

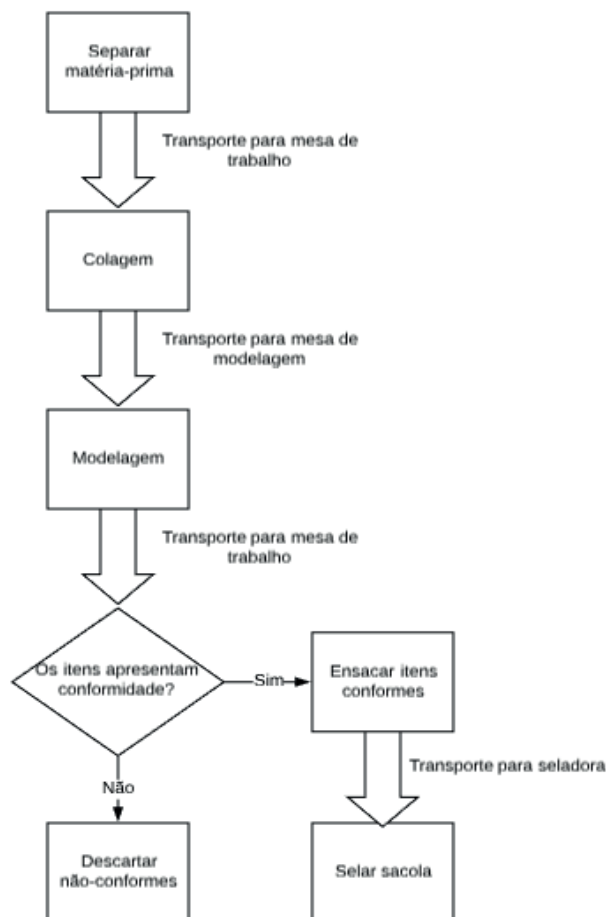


Figura 3 – Fluxograma do processo

Fonte: Autor (2018)

## 4.2. Aplicação de ferramentas para a determinação dos agentes ergonômicos

Na fase de aplicação de ferramentas para a determinação dos agentes ergonômicos o autor questionou aos colaboradores quais eram as etapas das quais mais há desgaste para os mesmos, como respostas foram apontadas tanto a fase de modelagem quanto a de colagem. Assim, essas duas tarefas foram selecionadas e analisadas nos métodos de OWAS e Suzanne Rodgers.

O primeiro método utilizado foi OWAS com o intuito de avaliar a posição corporal dos colaboradores e o tempo de exposição à mesma. Utilizando o cronômetro do *smartphone*, foi realizada a tomada de tempo dos dois principais processos. Assim, foram observadas as diferentes posições e atividades dos colaboradores analisados.

Por fim, através da média de tempo, foi extraído um padrão ou modelo para ser utilizado no *software* Ergolândia. O programa pôde ser alimentado com informações para o preenchimento da tabela do método. A saber, a coluna encontra-se inclinada na maioria do tempo, e muito pouco tempo na posição ereta, tendo em vista que essa última, apenas quando estão realizando o transporte do material.

Assim, o resultado, obtido através da cronometragem e observação, pode ser demonstrado na Figura 4.

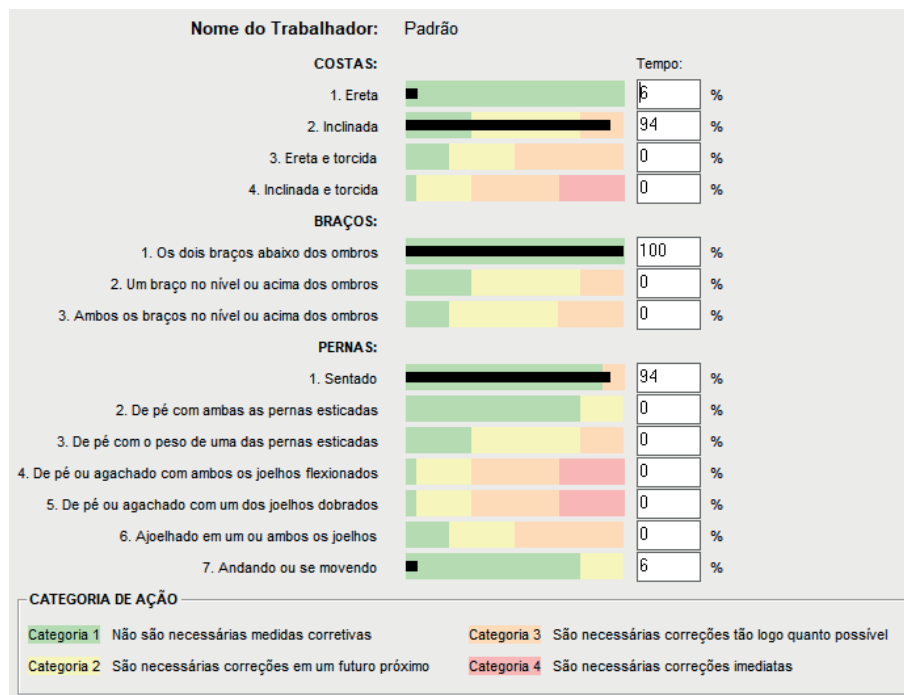


Figura 4 – Resultado do OWAS

Fonte: Autor (2018)

A partir da análise desses resultados, foi observado que as costas dos colaboradores ficam inclinadas em 94% do tempo, o que leva para a categoria 3, dita como correções tão logo quanto possível, os outros 6% do tempo, elas ficam eretas, o que não apresenta risco.

Quanto aos braços, em todo o tempo das tarefas, foi preenchido com os braços abaixo da linha dos ombros, algo recomendável por ser saudável e não apresentar riscos presentes e futuros.

Por fim, os colaboradores ficam sentados 94% do tempo, assim, também está incluso na categoria 3, onde são necessárias correções o quanto antes, segundo o próprio *software*. Enquanto 6% desse mesmo tempo é preenchido com os colaboradores andando ou se movimentando, logo, não se torna algo danoso à saúde.

A partir desse ponto, as etapas podem ser avaliadas individualmente, sendo a primeira delas, a etapa de modelagem, a qual, segundo os colaboradores, apresenta maior impacto e desconforto. O croqui obtido dessa etapa está representado na Figura 5.

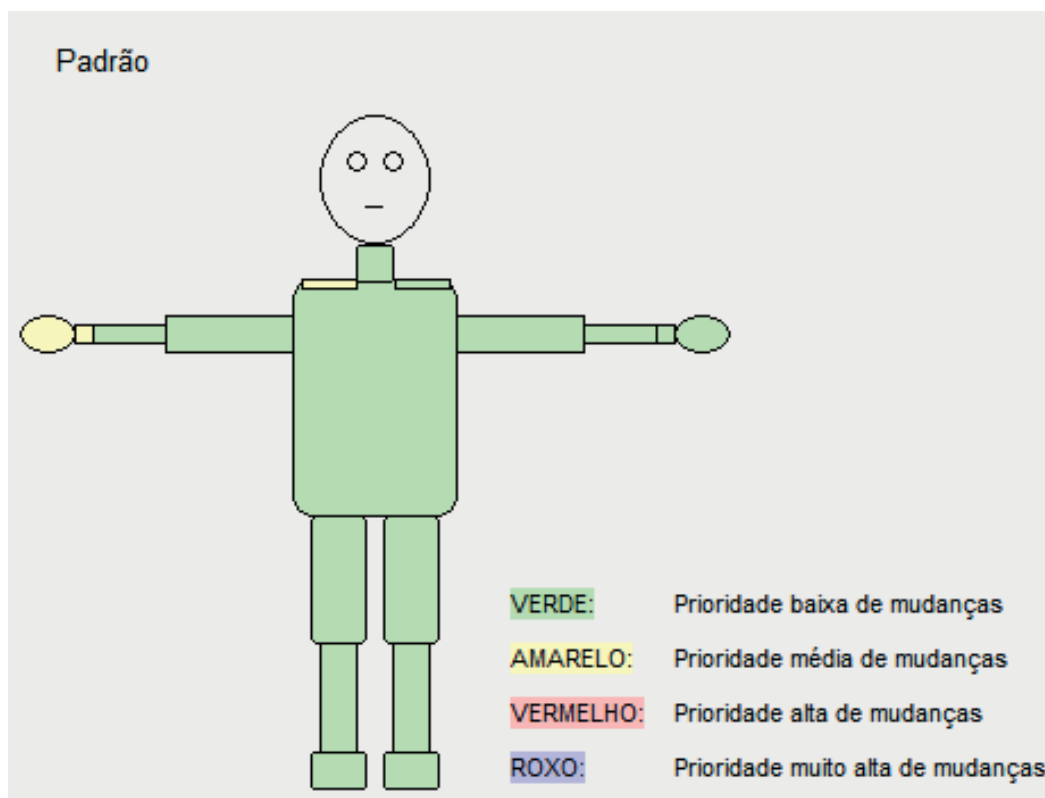


Figura 5 – Croqui para a etapa de modelagem

Fonte: Autor (2018)

Na colagem, pode ser observado que apenas o punho e a mão estão indicadas como prioridade média, isso ocorre em função da utilização da pistola de cola quente para aplicação nos retalhos de papel. Assim, o foco principal para proposição de melhoria é atuar na eliminação de riscos, por conta da inclinação da coluna e pernas, como demonstrado através do OWAS, e pelo fato do ombro, punho e mão serem afetados na produção, como apresentado pelo Método de Suzanne Rodgers.

Após essas observações, foi aplicado o Questionário Nórdico para confirmar as análises feitas pelo *software*. Houve a adaptação do autor ao questionário, alterando a quarta pergunta de “Nos últimos 7 dias, você teve algum problema em:” onde o tempo analisado passou de 7 para 30 dias, aumentando a margem para coleta de dados e buscando encontrar divergências. A questão intitulada “Nos últimos 12 meses, você teve problemas em:” busca averiguar a evolução das lesões no período. Os resultados estão discriminados no Quadro 1.

Assim, foi possível observar que a parte superior das costas apresenta quatro reclamações, seguidos por punhos, mãos e parte inferior das costas com três pontos. Os tornozelos e pés foram as regiões que menos receberam reclamações, apenas uma nos últimos doze meses.

Pergunta:	"Nos últimos 12 meses, você teve problemas em:"	
Parte do corpo:	PESCOÇO	2
	OMBROS	2
	SUPERIOR DAS COSTAS	4
	COTOVELO	2
	PUNHOS/MÃOS	3
	INFERIOR DAS COSTAS	3
	QUADRIL/COXAS	2
	JOELHOS	2
	TORNOZELOS/PÉS	1

Quadro 1 – Resultados em 12 meses

Fonte: Autor (2018)

### 4.3. Proposição de possíveis soluções

As medidas sugeridas foram obtidas através de debates entre o autor do estudo e a orientadora responsável, onde foi realizado o consenso para propor as soluções como, troca das cadeiras, para um modelo ergonomicamente favorável aos colaboradores, a fim de aliviar a carga pela jornada extensa na mesma posição.

Além disso, o autor, juntamente com o gestor responsável da área debateram sobre atividades para os colaboradores, assim, foi delineado que treinamentos na área de ergonomia e ginástica laboral, além da troca da mesa de modelagem, seriam propostos para a proprietária da organização.

Posteriormente, foi levado em conta, primeiramente, os responsáveis pela conclusão de cada medida, caso aprovada. Logo depois, o tempo para que seja implementada a melhoria, a fim de criar um planejamento interno da organização. Assim, como foi feita a explicação da importância de cada proposta para ser expressa à proprietária.

Dando prosseguimento ao preenchimento da ferramenta, foi descrito onde seriam realizadas tais mudanças, seja *in loco*, ou em meio externo. E em seguida houve o delineamento do passo a passo para cada implementação, de modo que ocorra tudo de maneira precisa e eficiente. Por fim, os custos envolvidos para a organização realizar as melhorias, tal medida é importante para que a proprietária tenha ciência do investimento que necessita ser realizado para que as medidas possam ser feitas. Assim, com todas as informações preenchidas, o Quadro 2 mostra as proposições dentro da ferramenta 5W2H.

É importante destacar que a fisioterapeuta responsável pela implementação da ginástica laboral ofereceu seu serviço gratuitamente por um mês, após isso seria realizada uma negociação com a proposta de valor pela sua intervenção junto a empresa.

O treinamento ergonômico é importante para dar ciência aos colaboradores sobre os riscos aos quais estão envolvidos, além de dar métodos e práticas para minimizar ou eliminar tais fatores. O conhecimento sobre as consequências de posturas e manuseios impróprios também será explorado, a fim de torná-los mais propensos a acatar tais intervenções.

O que? (why?)	Quem? (who?)	Quando? (when?)	Por que? (why?)	Onde? (where?)	Como? (how?)	Quanto? (how much?)
Treinamento ergonômico	Especialista da área	6 em 6 meses	Instruir colaboradores a evitar posições e métodos danosos	<i>In loco</i>	Contratar especialista para palestrar e organizar espaço para treinamento	R\$ 170,00 por treinamento
Troca de cadeiras	Proprietária	Imediatamente	Reduzir desconfortos através de uma cadeira ergonomicamente correta	<i>Tok &amp; Stok</i>	Realizar compra na internet de cadeiras acolchoadas e com regulagem de altura	R\$ 180,00 cada uma
Ginástica laboral	Fisioterapeuta	Duas vezes por semana	Administração de intervenções para prevenir ou aliviar lesões	<i>In loco</i>	Contratar fisioterapeuta e negociar parceria entre a mesma e a empresa	R\$ 100,00 por hora/aula
Troca da mesa de modelagem	Proprietária	Imediatamente	Facilitar aproximação do colaborador às máquinas sem deformar a postura	Mercado Livre	Encomendar e comprar mesa de madeira de maiores dimensões	R\$ 315,00
Medição dos agentes relacionados à condição de conforto	Especialista da área	Imediatamente	Para avaliar as condições ambientais conforme a NR-17	<i>In loco</i>	Contratar especialista para aferir os níveis de ruído, temperatura, velocidade e umidade do ar, e iluminação.	R\$ 180,00 por hora

Quadro 2 – Plano de ação – 5W2H

Fonte: Autor (2018)

A substituição de determinados móveis visa maior conforto à estrutura física dos colaboradores, de maneira para que tenham capacidade de desenvolver suas funções com qualidade e segurança. As cadeiras servirão para acomodar a coluna dos mesmos e reduzir posturas inapropriadas, evitando desconfortos e a criação de novas lesões. Quanto às mesas, para que obtenham mais espaço, tendo em vista, as colaboradoras não têm espaço para se aproximar das máquinas e ferramentas, pois a mesa é mais baixa do que o necessário.

Quanto a ginástica laboral, a fisioterapeuta responsável estabelecerá uma série de atividades focadas nas áreas corporais de maiores reclamações. Assim, contribuindo para o tratamento de possíveis lesões e aliviando tensões que existam em tais musculaturas.

Por fim, a medição de agentes relacionados ao conforto dos colaboradores,

como níveis de ruídos, temperatura, velocidade e umidade do ar, e iluminação, tem em vista, garantir que o ambiente de trabalho proporcione plenas condições para o seu uso por parte das pessoas presentes. Para isso, a NR-17 fornece dados ideais para que o ambiente seja capaz de abrigar os colaboradores para que possam desempenhar suas funções. Tais medições devem ser realizadas por um especialista da área e, após finalizada, comparada com os valores estabelecidos na norma, para que, existindo algum fora dos padrões, possa ser normalizado.

Além disso, quanto ao controle de tais medidas de melhoria, tendo em vista que devem ser reanalisadas, a luz das ferramentas expostas e adaptadas para qualquer mudança que ocorra, tornando as mesmas duradouras e eficientes.

#### 4.4. Avaliação das aplicações realizadas através das sugestões

Para fins comparativos, após o mês experimental de ginástica laboral, o autor aplicou novamente o Questionário Nórdico para averiguar possíveis ocorrências de mudanças nos últimos 30 dias, assim, englobando o tempo em que os colaboradores estavam sujeitos aos efeitos da ginástica. O questionário retornou após o preenchimento dos colaboradores no dia 18 de maio de 2018 e os resultados estão apresentados no Quadro 3.

Pergunta:	"Nos últimos 30 dias, você teve algum problema em:"		
		Antes	Depois
Parte do corpo:	<b>PESCOÇO</b>	1	0
	<b>OMBROS</b>	2	2
	<b>SUPERIOR DAS COSTAS</b>	1	1
	<b>COTOVELO</b>	0	2
	<b>PUNHOS/MÃOS</b>	1	2
	<b>INFERIOR DAS COSTAS</b>	1	2
	<b>QUADRIL/COXAS</b>	1	0
	<b>JOELHOS</b>	1	1
	<b>TORNOZELOS/PÉS</b>	0	0

Quadro 3 – Novos resultados nos últimos 30 dias

Fonte: Autor (2018)

Assim, observa-se que ocorreram mudanças tanto positivas quanto negativas. Apresentaram aumento de reclamações para os cotovelos, punhos/mãos e inferior das costas e houve redução de reclamações quanto ao pescoço e quadril/coxas. Ombros, superior das costas, joelhos e tornozelos/pés não sofreram alterações.

## 5 | CONCLUSÃO

Para intervenções, a fim de otimizar o processo no quesito da preservação da

saúde dos colaboradores, foi realizado o mapeamento para entender a atividade em si e, após isso, foi necessário avaliar as áreas de maiores reclamações por parte dos colaboradores. Assim, tornaram-se palpáveis as implicações ergonômicas atuais e, portanto, as possíveis soluções através do 5W2H, onde puderam ser delineados cada um dos detalhes das melhorias propostas.

Nesse aspecto, ficou a cargo da liderança da organização analisar as ações propostas, tendo assim, acatado duas melhorias para aplicar, como a ginástica laboral e o treinamento ergonômico. Quanto às outras intervenções, como troca de cadeiras e mesas, além da medição e adequação dos fatos ambientais ligados ao conforto, não foram aplicadas até o fim do presente estudo. As duas melhorias aplicadas, ginástica laboral e treinamento ergonômico, somaram para a empresa um custo total de 170 reais para serem implementados.

## REFERÊNCIAS

CORLETT, Esmond Nigel; WILSON, John R.; MANENICA, Ilija. **Ergonomics Of Working Postures: Models, Methods And Cases: The Proceedings Of The First International Occupational Ergonomics Symposium**, Zadar, Yugoslavia, 15-17 April 1985. CRC Press, 2003.

DANILEVICZ, Angela de Moura Ferreira; SERAFIM, Camila Fraga; MUSSE, Jussara Issa. **Mapeamento de processos para desenvolvimento organizacional em serviços de TI**. In: Workshop de Tecnologia da Informação das IFES. UNIRIO, 2010.

DA SILVA, Sirlen Monteiro; GIMACK, Worlen Ferreira; LEITE JUNIOR, Jandecy Cabral. **Ergonomic analysis at a workplace of a bicycle company using the Sue Rodgers tool**. ITEGAM-JETIA, 2016.

DE AVILA NETO, Clovis Antunes et al. **Aplicação do 5W2H para criação do manual interno de segurança do trabalho**. Revista ESPACIOS v. 37, n. 20, 2016.

DEMARCHI, Renata Santiago et al. **Risco para desordens músculo-esqueléticas em trabalhadores com atividade econômica domiciliar**. Revista de APS, v. 13, n. 3, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE SERVIÇOS HOSPITALARES – EBSEH. **Boletim de Serviço**. Nº 7, 01 de setembro de 2014. Disponível em: <[http://www.ebserh.gov.br/documents/16692/255387/boletim\\_de\\_servico\\_7\\_01\\_09\\_2014.pdf/2a838f4b-f6f8-49e2-8875-9ccde21ddb32](http://www.ebserh.gov.br/documents/16692/255387/boletim_de_servico_7_01_09_2014.pdf/2a838f4b-f6f8-49e2-8875-9ccde21ddb32)>. Acesso em: 19 out. 2018.

FBF SISTEMAS. **Imagens Ergolândia 6.0**. Disponível em: <<http://www.fbfsistemas.com/imagenserg.html>>. Acesso em: 26 set. 2018.

MARTINS, Maria Oliveira et al. **Aplicação do método 5W2H em uma microempresa de artefatos têxteis**. 2017.

MATOS, Fátima Regina Ney et al. **Serendipidade e Grounded Theory: um diálogo possível no cenário de Hawthorne**. Colóquio Internacional de Epistemologia e Sociologia da Ciência da Administração, V, 2015.

MOTTA, Fabrício Valentim. **Avaliação Ergonômica de Postos de Trabalho no Setor de Pré-Impressão de uma Indústria Gráfica**. 2009.

SELEME, Robson; STADLER, Humberto. **Controle da qualidade: As ferramentas essenciais abordagem gerencial**. 2. ed. Curitiba: Intersaberes, 2012.



SUDA, Eneida Yuri et al. **Relação entre nível geral de saúde, dor musculoesquelética e síndrome de burnout em professores universitários.** Fisioterapia e pesquisa, v. 18, n. 3, p. 270-274, 2011.

VILLELA, Cristiane da Silva Santos et al. **Mapeamento de processos como ferramenta de reestruturação e aprendizado organizacional.** 2000.

## AVALIAÇÃO ERGONÔMICA: ESTUDO DE CASO DE VIGILANTES

### **Gustavo Francesco de Moraes Dias**

Professor EBTT, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Campus Parauapebas. E-mail: gustavo.dias@ifpa.edu.br

### **Diego Raniere Nunes Lima**

Professor EBTT, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Campus Parauapebas.

### **Renato Araújo da Costa**

Professor EBTT, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Campus Parauapebas.

### **Roberto Pereira de Paiva e Silva Filho**

Professor EBTT, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Campus Parauapebas.

### **Fernanda da Silva de Andrade Moreira**

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido

### **Hugo Marcel Flexa Farias**

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

### **Jessica Cristina Conte da Silva**

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

**RESUMO:** Este estudo realizou a análise ergonômica de vigilantes das guaritas da Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA. Utilizaram-se os métodos Ovako Working

Posture Analyzing System (OWAS) e Diagrama de Áreas Dolorosas para estudar as principais posturas adotadas na realização da atividade e identificar os membros mais afetados pelas condições de trabalho. A amostra foi composta por oito vigilantes. Entre as posturas analisadas os resultados apontam categorias de ação 1 e 2, esta ocorreu na posição do vigilante sentado. Logo, verificou-se que essa posição necessita de ações corretivas. Com relação ao grau de desconforto em relação aos membros dos vigilantes, verificou-se que as regiões com maiores graus de desconforto ao final da jornada de trabalho são: o dorso inferior, no qual um funcionário registrou desconforto de nível 6 e pé, e no qual outro funcionário registrou nível 7. Os dois lados do corpo apresentaram resultados muito semelhantes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Segurança do trabalho. Ergonomia. Vigilância.

### ERGONOMIC EVALUATION: CASE STUDY OF VIGILANTES

**ABSTRACT:** This study carried out the ergonomic analysis of guards at the Rural Federal University of Amazonia - UFRA. Ovako Working Posture Analyzing System (OWAS) and Diagrams of Painful Areas were used to study the main postures adopted in the accomplishment of the activity and identify

the members most affected by the working conditions. The sample consisted of eight security guards. Among the postures analyzed, the results point to action categories 1 and 2, this occurred in the position of the seated security guards. Therefore, it has been found that this position requires corrective action. Regarding the degree of discomfort in relation to the members of the caretakers, the regions with the highest degrees of discomfort at the end of the working day were: the lower back, in which an employee registered level 6 and foot discomfort and in the which another employee recorded level 7. Both sides of the body presented very similar results.

**KEYWORDS:** Safety. Ergonomics. Surveillance.

## 1 | INTRODUÇÃO

Atualmente as instituições têm apresentado um comportamento diferenciado com relação às condições de trabalho, de modo que a prevenção de riscos e a qualidade de vida no trabalho têm se tornado fatores de destaque no processo de gerenciamento organizacional (GONÇALVES NETO et al., 2016). Nesse contexto, surge a ergonomia, definida por Quemelo et al. (2009) como o estudo da adaptação do trabalho às características fisiológicas e psicológicas do ser humano, tendo como principal função estabelecer normas e desenvolver leis para melhor poder formular as regras durante o trabalho, sendo diferenciada das outras áreas pela sua interdisciplinaridade.

Para se adaptar um local de trabalho condizente com as atividades a serem desempenhadas pelos trabalhadores é relevante que alguns critérios sejam estabelecidos, como a adaptação as características ergonômicas do trabalho, evitando danos físicos e psicológicos aos colaboradores (KASPER et al., 2012).

Segundo Pereira et al. (2011), “as posturas constituem um indicador complexo da atividade e dos constrangimentos que pesam sobre ela. São também um objeto de estudo em si, na medida em que são fontes de fadiga e podem gerar distúrbios vertebrais, articulares etc.”.

lida (2005, p. 165) definiu três situações principais, em que a má postura pode produzir consequências danosas: “trabalhos estáticos que envolvem uma postura parada por longos períodos; trabalhos que exigem muita força e trabalhos que exigem posturas desfavoráveis, como o tronco inclinado e torcido”.

Para Silva (2015), a Análise Ergonômica do Trabalho - AET visa humanizar o trabalho, evitar os acidentes e doenças do trabalho, melhorar a utilização dos recursos humanos e oferecer mais conforto, saúde, e satisfação ao trabalhador. Essa análise do trabalho abrange todos os aspectos da atividade, em todos os setores da empresa, gradualmente, nos quais as condições de trabalho não estejam de acordo com a Norma Regulamentadora NR-17 (BRASIL, 1990).

A NR-17, estabelece parâmetros que permitem a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, de modo a proporcionar

um máximo de conforto, segurança e desempenho eficiente (CARDOSO JÚNIOR, 2006).

Conforme Pereira et al. (2011), um dos métodos utilizados para avaliação postural durante o trabalho é o método Ovako Working Posture Analysing System (OWAS), que se baseia na observação, no registro, na classificação e na análise da postura de trabalho.

Neste sentido, esse método pode auxiliar a análise ergonômica proporcionando benefícios para a empresa, como: redução do índice de faltas, proteção legal, aumento dos lucros, diminuição dos acidentes de trabalho, das doenças profissionais, integração dos trabalhadores, baixo custo do programa, redução de afastamentos e substituição de pessoal. Já para o trabalhador, ocorre prevenção das Doenças Osteomusculares Relacionadas com o Trabalho (DORT), lesões, diminui tensões, ameniza fadiga muscular, previne estresse, reforça auto-estima, melhora o relacionamento interpessoal e a comunicação interna do grupo (QUEMELO et al., 2009).

Por outro lado, o trabalho inadequado e a falta de ergonomia em uma determinada empresa podem causar doenças ocupacionais, como as DORT ou Lesões por Esforço Repetitivo (LER), bem como alterações psicossociais que são atribuídas ao trabalho, por existir a relação com o uso excessivo das estruturas osteomusculares em situações inadequadas (QUEMELO et al., 2009).

Neste contexto, o estudo buscou realizar a análise ergonômica dos vigilantes das guaritas da UFRA-campus Belém. Dessa forma, utilizou-se os métodos OWAS e Diagrama de Áreas Dolorosas para estudar as principais posturas adotadas na realização da atividade e identificar os membros mais afetados pelas condições de trabalho, visando subsidiar a melhoria das condições de conforto, segurança e saúde dos trabalhadores.

## 2 | MÉTODOS

O estudo de caso foi o método escolhido para o artigo. Este método se caracteriza por um estudo intensivo, exaustivo e profundo de um ou de poucos objetos. Foi levada em consideração, principalmente, a compreensão como um todo do assunto investigado (MARCONI; LAKATOS, 2003).

### 2.1 Área de estudo

As avaliações foram realizadas com os vigilantes das duas guaritas da Universidade Federal Rural da Amazonia - UFRA. A população pesquisada foi composta pelo total dos vigilantes das guaritas, oito vigilantes, pois em cada guarita trabalham quatro vigilantes.

## 2.2 Diagrama de áreas dolorosas

Para a identificação das áreas que apresentam sintomas dolorosos, Corlett e Manenica (1980) criaram um diagrama que facilita a localização das áreas em que os trabalhadores mais sentiam dores, onde o corpo humano é dividido em 24 segmentos. Ao final da jornada de trabalho, os trabalhadores foram entrevistados e solicitou-se que identificassem, de acordo com a Figura 1, onde sentiam mais desconforto.

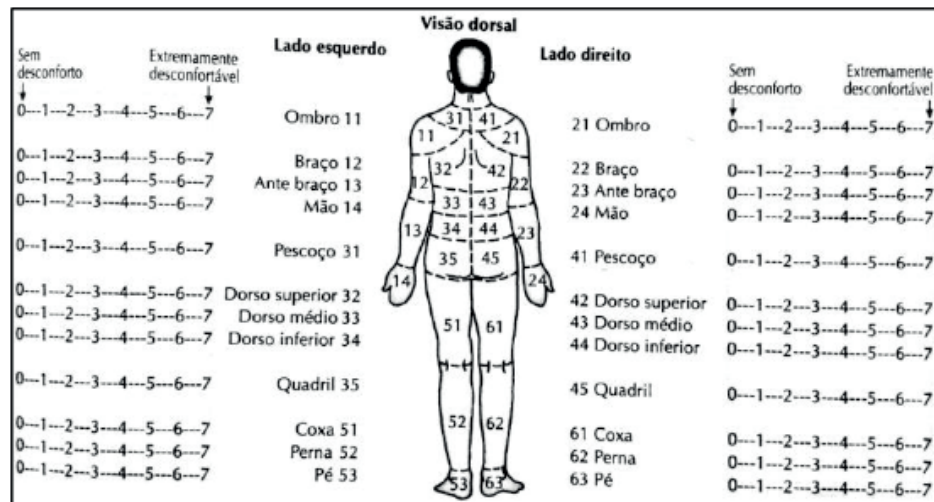


Figura 1 - Diagrama de áreas dolorosas.

Fonte: Corlett e Manenica (1980).

Após a identificação das áreas pediu-se aos vigilantes que avaliassem o grau de desconforto que eles sentiam em cada um dos segmentos indicados na figura 1. O diagrama mostra oito níveis de desconforto, que varia de zero (sem desconforto) até sete (extremamente desconfortável), marcados linearmente da esquerda para a direita (IIDA, 2005). Segundo esse autor, para cada tipo de tarefa existe uma postura que pode ser considerada a mais adequada.

## Avaliação postural Ovako Working Posture Analyzing System (OWAS)

O método Ovako Working Posture Analyzing System (OWAS) foi utilizado para a avaliação das posturas adotadas de cada trabalhador no momento em que se exerce a atividade. Para isto, foi realizado o levantamento fotográfico das atividades nos postos de trabalho com o intuito de identificar as principais posturas dos vigilantes.

Com o auxílio dos dados coletados, utilizou-se o software Ergolândia que possui 20 ferramentas ergonômicas para avaliação e melhoria dos postos de trabalho, aumentando sua produtividade e diminuindo os riscos ocupacionais (FBF SISTEMAS, 2012). Não obstante as posições das costas, braços e pernas, foram analisadas e postuladas no sistema de análise do software Ergolândia (Figura 2).

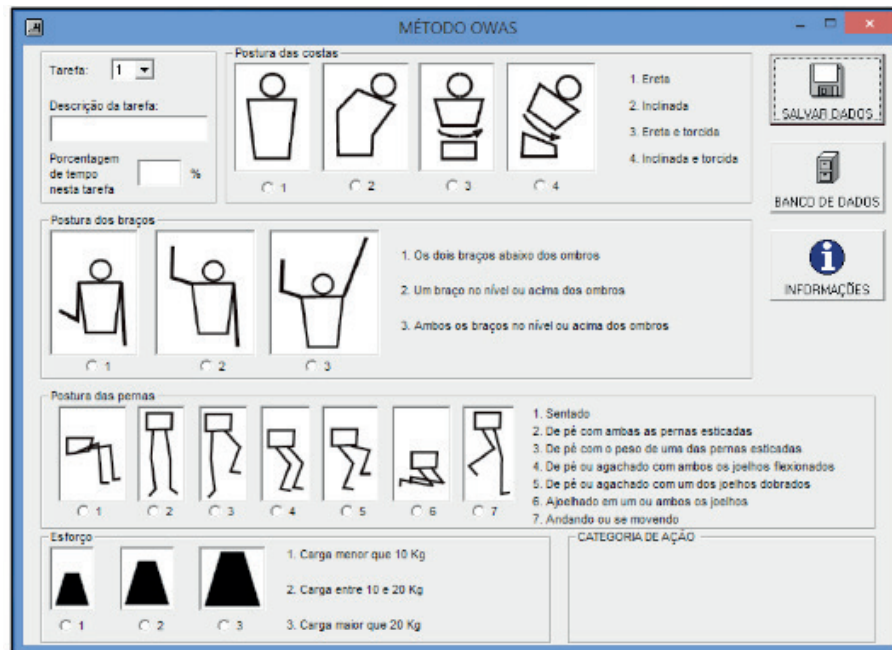


Figura 2 - Sistema de análise Ergolândia.

Fonte: FBF SISTEMAS, 2012.

Em seguida, foi gerada a categoria de ação de acordo com as posturas realizadas no trabalho. Para cada combinação de posições dos membros há uma categoria de ação. Ao final das análises, foi possível verificar os pontos críticos e classificar as posturas nas categorias de ações.

A participação dos vigilantes na pesquisa ocorreu de acordo com seu interesse e consentimento e os participantes receberam esclarecimentos sobre a metodologia e os objetivos do estudo, seguindo todas as recomendações éticas vigentes no Brasil, de acordo com a Resolução nº 466 de 2012 do Conselho Nacional de Saúde.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do questionário realizado com os trabalhadores identificou-se que eles possuem idade entre 31 e 49 anos e apresentam escala de atividade de 12 horas por 36 horas de folga.

Observa-se na Figura 3 as principais posturas dos vigilantes das guaritas da UFRA. Considerando a baixa variabilidade de posturas assumidas pelos vigilantes e por se tratar de posições prolongadas ao longo da jornada de trabalho, optou-se por selecionar as três posturas mais representativas dentro da atividade dos vigilantes da UFRA. Para a avaliação das posturas adotadas pelos funcionários durante o processo de trabalho, foi utilizado o método OWAS que utiliza a combinação das posições das costas, braços e pernas, para determinar níveis de ação para as medidas corretivas se necessárias.

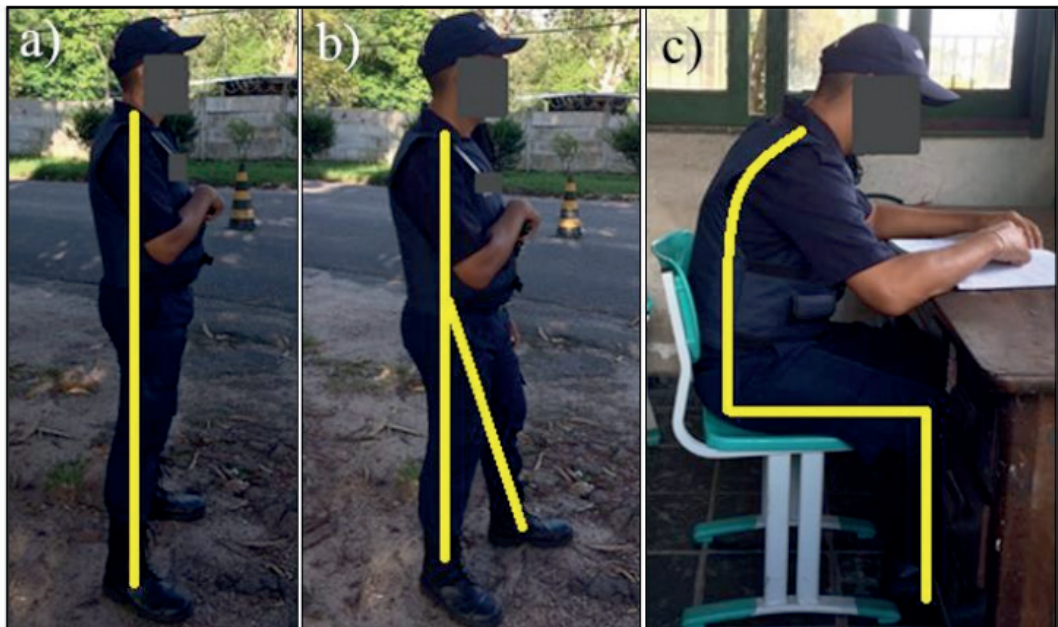


Figura 3 – a) Vigilante com a coluna ereta e equilibrando o peso nas duas pernas. b) Vigilante com a coluna ereta concentrando o peso somente em uma perna. c) Vigilante sentado com a coluna um pouco curvada.

A tabela 1 apresenta as posturas típicas adotadas pelos vigilantes na execução das suas atividades analisadas pelo método OWAS. A classificação das posturas em categorias de ação possibilita o desenvolvimento de novos métodos de trabalho e a adoção de medidas preventivas, evitando, principalmente, o risco de lombalgias e problemas posturais futuros aos trabalhadores.

Postura	Categoria de ação
Vigilante com a coluna ereta e equilibrando o peso nas duas pernas.	1
Vigilante com a coluna ereta concentrando o peso somente em uma perna.	1
Vigilante sentado com a coluna um pouco curvada.	2

Tabela 1 – Categorias de ação das três principais posturas dos vigilantes.

Verifica-se que os resultados obtidos das posturas dos vigilantes apontam categorias de ação 1 e 2. Logo, identifica-se que é necessária apenas a mudança de uma postura assumida pelos vigilantes, e não se identificou na atividade posturas críticas (classes 3 e 4). Tendo em vista isso, verificou-se que a postura do vigilante sentado com a coluna um pouco curvada necessita de ações corretivas, inclusive, considerando a urgência das ações de acordo com o preconizado pelo método OWAS.

Isso significa que o trabalhador deve tomar mais cuidado na sua posição quando está sentado, sempre permanecer com a coluna ereta, de forma que os desconfortos relatados sejam extinguidos ou mitigados. Porém identificou-se que os trabalhadores permanecem pouco tempo nessa posição devido a função de vigilância exigir atenção constante e o calor excessivo dentro da guarita, devido à falta de refrigeração.

Problemas relacionados a postura dos trabalhadores sentados também foi identificado por Neto et al. (2016), no qual os trabalhadores adotavam uma posição classificada como levemente prejudicial, exigindo modificações.

Segundo Kasper et al. (2012), o mobiliário improvisado (cadeira e mesa) leva os trabalhadores a adotarem posturas prejudiciais. Contribuem para isso, especificamente, a cadeira sem regulagens e a falta de apoio para os pés, levando a certa inclinação das pernas, à compressão da coxa e uma tendência da coluna ir para frente. Por isso, é fundamental a utilização de um assento ergonomicamente correto tornando a postura do vigilante ereta, além de confortável e adequada para o apoio de braço (NETO et al. 2016).

Conforme Lida (2005), deve-se utilizar cadeiras e bancadas com regulagens, prevendo-se medidas de alcance manual e visual apropriadas, considerando recursos de ajuste que permitam a utilização do mobiliário pelos vigilantes de forma a não comprometer as suas funções laborais.

Vale ressaltar que mesmo aqueles que afirmam utilizar a cadeira, “quando o trabalho permite” ou “durante as pausas”, podem estar expostos a longos períodos de trabalho na posição de pé, uma vez que, a maior parte dos vigilantes atua em postos onde há fluxo de pessoas, podendo, então, serem raras as oportunidades em que ‘o trabalho permite’ que se assentem (VIEIRA et al., 2010).

Na posição em que os vigilantes estão de pé, a postura foi classificada na categoria 1, sendo considerada normal e dispensando a adoção de medidas corretivas. Portanto, os trabalhadores poderão continuar adotando essa postura ao longo da jornada de trabalho, sem causar danos à sua saúde, apenas devem alternar essa posição com a de sentado com a coluna ereta.

De acordo com Neto et al. (2016), pelo fato do auxílio da armação, tal atividade exige que o vigilante realize na posição em pé durante praticamente toda a jornada de trabalho, o que acarreta desgastes e fadigas. Dessa forma, para amenizar o cansaço, o trabalhador alterna a perna de apoio para que seja menos fatigante seu trabalho. Logo, ou o trabalhador apresentará as duas pernas eretas ou uma das pernas flexionada, e a outra, esticada.

Durante toda a pesquisa, foi possível constatar que a permanência na posição de pé, durante longos períodos de trabalho, é uma das dificuldades mais comuns para os vigilantes, fonte de inúmeras queixas de dores nas pernas, na coluna, articulações e câibras entre esses trabalhadores (VIEIRA et al., 2010).

Na maior parte dos casos, os vigilantes cumprem jornadas de oito horas diárias ou mais, como ocorre nas escalas 12 horas de trabalho por 36 horas de descanso. Além de ficarem expostos a situações que podem provocar a fadiga geral como: intempéries climáticas, condições inadequadas para refeições, tensão e conflitos com o público esses trabalhadores ainda permanecem na postura de pé durante todo ou a maior parte do turno de trabalho (VIEIRA et al., 2010). A postura é uma das principais razões para a fadiga dos vigilantes, os quais afirmam ter de ficar em média 11 horas



em pé.

Ramazzini (2000), adverte que: “Nas funções que os trabalhadores têm de ficar de pé, os operários estão propensos, sobretudo, às varizes”. Além disso, esse autor afirma que o trabalho na posição de pé pode acarretar maiores consequências para a saúde dos trabalhadores, já que “as profissões que obrigam a permanência de pé também podem ocasionar úlceras nas pernas, fraqueza nas articulações, perturbações dos rins e urina sanguinolenta”.

Desse modo, acumulamos evidências suficientes para concluir que a obrigação de trabalhar de pé, por longos períodos, pode ser nociva para a saúde dos vigilantes, predispondo-os à fadiga e a outros problemas, como é o caso das doenças varicosas. Logo, trabalhadores que passam a maior parte do seu horário de pé devem quando possível se sentar, caminhar ou movimentar o seu corpo, a fim de interromper essa posição contínua.

Por último, não se pode deixar de dizer que, além das dores nas pernas, as dores na coluna, costas e pescoço são também queixas comuns entre os vigilantes e, ao contrário da ideia de que problemas como esses são causados por posturas incorretas, adotadas de forma negligente pelos trabalhadores, o nosso entendimento é de que, as condições de trabalho e as exigências da atividade dos vigilantes são os fatores responsáveis pela adoção dessas posturas, de modo que, é evidente que não basta apenas orientar os trabalhadores ou prescrever posturas corretas, devendo-se, portanto, modificar o próprio trabalho (VIEIRA et al., 2010).

Além disso, outro grande entrave presente na postura em pé para o vigilante são os coturnos oferecidos pelas empresas de vigilância, estes acarretam problemas para os vigilantes, tais como: ‘calosidade’, ‘dores nos pés’ e nos ‘membros inferiores’. De acordo com os depoimentos e análises feitas, os calçados são muito “duros”, o que obriga alguns vigilantes a comprar um coturno, de maior qualidade, ou adquirir palmilhas de silicone, a fim de aliviar as dores nos pés.

Silva (2015) ressalta que a principal vantagem do diagrama de áreas dolorosas é o seu fácil entendimento entre os trabalhadores. Além disso, esse método serve para se identificar quais equipamentos ou posturas apresentam maiores desvios, para a sua futura ou imediata correção. Tendo em vista as diversas queixas relatadas pelos vigilantes, essa se mostrou uma boa metodologia para se identificar as áreas com desconforto em decorrência das longas jornadas de trabalho.

Com relação ao grau de desconforto em relação aos membros dos vigilantes, ao final de um dia de trabalho, buscou-se também identificar o desconforto em relação ao lado esquerdo e direito do corpo (Tabela 2). Verificou-se que as regiões com maiores graus de desconforto ao final da jornada de trabalho são: o dorso inferior, no qual um funcionário registrou desconforto de nível 6 e pé, e no qual outro funcionário registrou nível 7 (desconforto máximo).

	Grau de desconforto							
	0	1	2	3	4	5	6	7
<b>Ombro</b>								
Lado esquerdo	50%	0%	13%	13%	13%	13%	0%	0%
Lado direito	50%	0%	13%	13%	13%	13%	0%	0%
<b>Braço</b>								
Lado esquerdo	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Lado direito	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
<b>Ante braço</b>								
Lado esquerdo	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Lado direito	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
<b>Mão</b>								
Lado esquerdo	88%	0%	0%	13%	0%	0%	0%	0%
Lado direito	88%	0%	0%	13%	0%	0%	0%	0%
<b>Pescoço</b>								
Lado esquerdo	88%	0%	0%	0%	13%	0%	0%	0%
Lado direito	88%	0%	0%	0%	13%	0%	0%	0%
<b>Dorso superior</b>								
Lado esquerdo	63%	0%	0%	13%	13%	13%	0%	0%
Lado direito	50%	0%	0%	13%	13%	25%	0%	0%
<b>Dorso médio</b>								
Lado esquerdo	63%	0%	0%	13%	13%	13%	0%	0%
Lado direito	63%	0%	0%	13%	13%	13%	0%	0%
<b>Dorso inferior</b>								
Lado esquerdo	50%	0%	13%	13%	0%	13%	13%	0%
Lado direito	50%	0%	13%	13%	0%	13%	13%	0%
<b>Quadril</b>								
Lado esquerdo	88%	0%	13%	0%	0%	0%	0%	0%
Lado direito	88%	0%	13%	0%	0%	0%	0%	0%
<b>Coxa</b>								
Lado esquerdo	75%	0%	0%	25%	0%	0%	0%	0%
Lado direito	75%	0%	0%	25%	0%	0%	0%	0%
<b>Perna</b>								
Lado esquerdo	63%	0%	0%	0%	25%	13%	0%	0%
Lado direito	63%	0%	0%	0%	25%	13%	0%	0%
<b>Pé</b>								
Lado esquerdo	38%	0%	0%	0%	13%	38%	0%	13%
Lado direito	38%	0%	0%	0%	13%	38%	0%	13%

Tabela 2 – Grau de desconforto em relação aos membros dos vigilantes.

Os dois lados do corpo apresentaram resultados muito semelhantes, sendo diferentes apenas na parte do dorso superior, na qual registrou-se um maior desconforto na parte direita, possivelmente sendo ocasionado pelo peso da arma nesse lado.

No tronco não foram registradas dores intoleráveis, no entanto as regiões do

ombro e dorsos (inferior, médio e superior) devem ser analisadas individualmente pois a maioria dos vigilantes relatou desconforto nessas regiões. Na região do ombro, dorsos, perna e pé registrou-se relatos de desconforto na maioria dos trabalhadores. Apenas o braço e antebraço não registraram nenhum grau de desconforto, pelo fato desses membros não terem uma utilização contínua como em outras profissões como por exemplo caixa de supermercado.

Diferente do relatado por Machado et al. (2012), para outras profissões como de bancários e operadores de caixa, não se identificou desconforto em relação ao braço e antebraço, havendo apenas um vigilante mencionando desconforto no punho. Esse desconforto possivelmente foi ocasionado por esse trabalhador ficar durante praticamente toda a jornada de trabalho segurando a arma, deixando o punho em posição desconfortável.

Segundo Santos et al. (2017), a dor lombar é a quinta razão mais comum para todas as consultas médicas nos Estados Unidos e a causa frequente de incapacidade para pessoas com idade inferior a 45 anos, assim como um dos problemas mais associados ao absenteísmo no trabalho. Indivíduos com dor lombar não sofrem apenas com o desconforto físico, mas também com a limitação funcional, que pode prejudicar a qualidade de sua vida.

A dor lombar foi relatada por dois vigilantes, esta é uma doença incapacitante que causa limitações funcionais que podem interferir na qualidade de vida dos trabalhadores. É caracterizada por um quadro de desconforto, fadiga ou rigidez muscular localizada na parte inferior da coluna vertebral. Sua intensidade varia de acordo com cada indivíduo (REINEH et al., 2008). A dor lombar é uma das razões mais frequentes para afastamentos do trabalho. Estima-se que cerca de 60% a 80% da população terá lombalgia em algum momento da vida (TOMÉ et al., 2012).

Conhecer as condições, as situações de exposição a agravos e os efeitos específicos que a dor lombar acarreta na saúde e na vida desses trabalhadores é imprescindível para que ações de intervenção e medidas de proteção à saúde possam ser adequadamente planejadas e executadas (SANTOS et al., 2017).

A situação dos vigilantes é agravada pela quantidade de itens portados por eles (colete à prova de balas, rádio, arma de fogo, cassetete), que, somada à longa duração da jornada de trabalho, pode caracterizar sobrecarga física.

Segundo Santos et al. (2017), devido ao fato de trabalhadores da área de segurança terem que usar constantemente o colete, esse equipamento de segurança deve estar perfeitamente adequado para ele. A atividade de segurança, como a exercida por vigilantes, apresenta uma predisposição natural a dores lombares, devido à jornada de trabalho, ao tempo na posição ereta, ao uso de equipamentos e ao estresse físico e emocional.

Os resultados apontaram que mesmo que os entrevistados considerem o modelo adequado para a atividade, relataram precisar de um modelo mais confortável, menos quente e mais leve. Uma parcela dos vigilantes apontou o seu uso como causa

determinante de problemas de saúde como dores nas partes do dorso superior, médio e inferior (VASCONCELOS; PORTO, 2009).

Além desses fatores, os trabalhadores da área da segurança sofrem um processo de precarização de seu trabalho, proveniente do uso de equipamentos e instrumentos inadequados, da restrição de recursos para manter esses aparelhamentos, de escalas exaustivas seguidas de horas extras de trabalho, de condições salariais desproporcionais e de treinamento insuficiente (SANTOS et al., 2017).

As elevadas cargas horárias de trabalho dos vigilantes evidenciam a importância do processo de adequação das ferramentas de trabalho a seus usuários. O uso constante e inadequado dos coletes gera desconforto, dificulta a movimentação, o que compromete a segurança e a eficiência e afeta a saúde, o bem-estar e a qualidade de vida do trabalhador (SANTOS et al., 2017).

Além disso, as solicitações diversas para a realização de atividades que extrapolam as funções típicas da vigilância levam o vigilante a permanecer mais tempo de pé, como, por exemplo, na organização do tráfego interno em instituições de ensino (VIEIRA et al., 2010). Esse problema foi identificado durante a coleta de dados junto aos vigilantes, constantemente os mesmos eram abordados por pessoas que adentravam na universidade e pediam informações.

Uma recomendação viável para diminuir as queixas de dores pelos vigilantes é a proposta de ginástica laboral, pois possui o efeito de amenizar as implicações nocivas do trabalho repetitivo e das posturas inadequadas (KASPER et al., 2012).

## 4 | CONCLUSÕES

O estudo buscou realizar uma avaliação ergonômica dos vigilantes das guaritas da UFRA. Pois é necessária mais atenção ao conforto desses trabalhadores, devido à importância de seu trabalho para a comunidade acadêmica e devido aos perigos aos quais estão expostos.

As posturas adotadas pelos trabalhadores na atividade da vigilância apontaram para as categorias de ação 1 e 2, de acordo com o método OWAS, sendo necessária a adoção de medidas ergonômicas apenas para a posição na qual os trabalhadores ficam sentados. Essa posição foi considerada a única postura inadequada, por causa do posicionamento das costas dos trabalhadores de forma curvada. Logo, verificou-se que essa posição necessita de ações corretivas.

Com relação ao grau de desconforto em relação aos membros dos vigilantes, verificou-se que as regiões com maiores graus de desconforto ao final da jornada de trabalho são: o dorso inferior, no qual um funcionário registrou desconforto de nível 6 e pé, no qual outro funcionário registrou nível 7. Os dois lados do corpo apresentaram resultados muito semelhantes. Sugere-se que a atividade da vigilância está diretamente relacionada com os desconfortos nessas regiões do corpo. Quando

relacionada à intensidade das dores nas regiões do corpo, nenhum operador afirmou sentir dores intoleráveis, no entanto, grande parte sente maior desconforto nos ombros, dorsos e pés.

Uma das limitações deste estudo é que a abordagem utilizada é a da ergonomia física, a qual foca nos riscos biomecânicos do posto de trabalho. Para analisar outros tipos de riscos, relacionados com outras condições de trabalho, carga horária ou exigências da atividade, seria necessário a realização de estudos com abordagens mais sistêmicas como as da ergonomia organizacional.

Por fim, pode-se relatar a contribuição deste estudo como forma de indicar as mudanças necessárias para prevenir os riscos ocupacionais a que os vigilantes estão expostos. Além disso, este estudo propiciou o destaque para a necessidade de realização de futuros trabalhos referentes às posturas adotadas nos demais postos de trabalhos dos vigilantes e às consequências das mesmas.

## REFERÊNCIAS

- BRASIL, Ministério de Trabalho e Emprego. Portaria MTPS n.º 3.751, de 23 de novembro de 1990. **Norma Regulamentadora 17 – Ergonomia**. Brasília: MTE, 1990.
- CARDOSO JÚNIOR, M. M. Avaliação Ergonômica: Revisão dos métodos para avaliação postural. **Revista Produção Online**, v.6, n.3, p. 133-154, 2006.
- CORLETT, E.N.; MANENICA, I. The effects and measurement of working postures. **Applied Ergonomics**, v.11, n.1, p.7-16, 1980.
- ERGOLÂNDIA. **Software ergolândia**. Versão 5.0. Brasil: FBF Sistemas, 2018. Disponível em: <<http://www.fbfsistemas.com/ergonomia.html>>. Acesso em: 23 out. 2018.
- GONÇALVES NETO, L. O.; SILVA, D. A.; CISTIA, R. A. D.; RAFIH, N. E.; BARBOSA, P. P. Análise ergonômica com aplicação do método OWAS em uma empresa do ramo têxtil. **Revista Tecnológica**, v. 25, n. 1, p. 81-90, 2016.
- IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção**. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.
- KASPER, A. A.; LOCH, M. V. P.; PEREIRA, V. L. D. V. Análise Ergonômica do Trabalho em um posto de trabalho com ênfase na aplicação do método OWAS. II Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção - Gestão do Conhecimento nas Engenharias, CONBREPPO, 2012. **Anais ...Ponta Grossa: APREPPO**, 2012.
- MACHADO, J. E. S.; JUNIOR SEGER, F. C.; TEIXEIRA, C. S.; PEREIRA, E. F.; MERINO, E. A. D. Queixas musculoesqueléticas e a prática de ginástica laboral de colaboradores de instituição financeira. **Revista Produção**, v.22, n.4, p.831-838, 2012.
- MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia científica**. 5.ed. São Paulo: Atlas, 2003.
- NETO, L. O. G.; SILVA, D. A.; CISTIA, R. A. D.; RAFIH, N. E.; BARBOSA, P. P. Análise ergonômica com aplicação do método OWAS em uma empresa do ramo têxtil. **Revista Tecnológica**, v.25, n.1, p.81-90, 2016.
- PEREIRA, N. F. S.; PINHEIRO, G. M.; VIRIATO, D. A.; SILVA, E. C. F. Melhoria ergonômica em postos de trabalho do setor de acabamento de uma fundição através do método OWAS de análise de

posturas. **Revista Eletrônica Produção & Engenharia**, v.4, n.2, p. 403-411, 2011.

QUEMELO, P. R. Avaliação ergonômica e prevalência das doenças relacionadas ao trabalho em empresas calçadistas. **Colloquium Vitae**, v.1, n. 2. 2009.

RAMAZZINI, B. **As doenças dos trabalhadores**. 2ª ed. São Paulo: FUNDACENTRO, 2000.

REINEH, F. B.; CARPES, F. P.; MOTA, C. B. Influência do treinamento de estabilização central sobre a dor e estabilidade lombar. **Fisioterapia em Movimento**, v.21, n.1, p.123-129. 2008.

SANTOS, M. M. A.; SOUZA, E. L.; BARROSO, B. I. L. Análise sobre a percepção de policiais militares sobre o conforto do colete balístico. **Fisioterapia e Pesquisa**, v.24, n.2, p.157-162. 2017.

SILVA, A. S. C. **Análise ergonômica de postos de trabalho de uma indústria química utilizando os métodos NIOSH e OWAS**. 2015. 75 f. Monografia (Especialização em Engenharia e Segurança do Trabalho). Universidade Tecnológica Federal do Paraná: Curitiba, 2015.

TOMÉ, F.; FERREIRA, C. B.; CORNELLI, R. J. B.; CARVALHO, A. R. Lombalgia crônica: Comparação entre duas intervenções na força inspiratória e capacidade funcional. **Fisioterapia e Movimento**, v.25, n.2, p.263-272. 2012.

VASCONCELOS, I. C.; PORTO, L. G. C. Análise ergonômica do colete à prova de balas para atividades policiais. Em: PASCHOARELLI, L. C.; MENEZES, M. S. (Orgs). **Design e ergonomia: aspectos tecnológicos**. São Paulo: Editora UNESP. 2009.

VIEIRA, C. E. C.; LIMA, F. P. A.; LIMA, M. E. A. (org.). **O cotidiano dos vigilantes: trabalho, saúde e adoecimento**. Belo Horizonte: FUMARC, 2010.

## ESTILO DE LIDERANÇA QUE O ENGENHEIRO DE PRODUÇÃO DEVE POSSUIR NA ÓTICA DOS ENGENHEIROS DE PRODUÇÃO DA FACULDADE PARAÍSO DO CEARÁ

**Emmanuela Suzy Medeiros**

(FAPCE)

emmanuela.suzy@fapce.edu.br

**José Valmir Bezerra e Silva Júnior**

(FAPCE)

josevalmirjr@aluno.fapce.edu.br

**RESUMO:** O referido artigo tem como temática "Estilo de liderança que o engenheiro de produção deve possuir na ótica dos engenheiros de produção da Faculdade Paraíso do Ceará". Tendo como objetivo geral analisar o estilo de liderança que o engenheiro de produção deve possuir no âmbito organizacional na visão dos docentes do curso de engenharia de produção, e específicos pesquisar e conhecer o conceito e as características dos líderes, identificar os tipos de líderes, e descrever qual o estilo de liderança o engenheiro de produção deve possuir. No que se refere a metodologia utilizou a pesquisa descritiva, bibliográfica e de campo, através de uma abordagem qualitativa onde foi aplicado um questionário estruturado baseado em Marras (2016), dividido em duas partes, na primeira parte contendo 6 perguntas fechadas sobre o perfil dos respondentes, e na segunda parte contendo 13 perguntas objetivas sobre as atitudes do engenheiro de produção. Os resultados obtidos foram que mais da maioria são do sexo masculino, possuindo entre 32

e 38 anos, concluíram a graduação há mais de 10 anos, lecionam no curso há menos de 5 anos e são doutores, é perceptível que são pessoas com certa maturidade, possuindo alto grau de instrução. Referente ao restante do questionário obteve como resposta que o estilo de liderança que o engenheiro de produção deve adotar é o democrático em que o líder estimula a participação dos funcionários na tomada de decisão, há participação ativa do líder, divide as tarefas, procura ser um membro do grupo dando feedback constantes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Liderança. Estilo de liderança. Engenheiro de produção.

**ABSTRACT:** This article has as its theme "Leadership style that the production engineer must have in the perspective of the production engineers of the College Paraíso do Ceará". Having as general objective to analyze the leadership style that the production engineer must possess in the organizational scope in the view of the teachers of the production engineering course, and specific to research and to know the concept and characteristics of the leaders, to identify the types of leaders, and describe which leadership style the production engineer should possess. Regarding the methodology, we used the descriptive, bibliographic and field research, through a qualitative approach where a structured questionnaire based on Marras

(2016) was applied, divided into two parts, in the first part containing 6 closed questions about the profile of the students. respondents, and the second part containing 13 objective questions about the attitudes of the production engineer. The results obtained were that most of them are male, between 32 and 38 years old, concluded their graduation more than 10 years ago, have been teaching in the course for less than 5 years and are doctors, it is noticeable that they are people with a certain maturity, having a high degree of education. Regarding the rest of the questionnaire, it was answered that the leadership style that the production engineer should adopt is the democratic one in which the leader encourages employee participation in decision making, there is active participation of the leader, divides the tasks, seeks to be a group member giving constant feedback.

**KEYWORDS:** Leadership. Leadership style Production engineer

## 1 | INTRODUÇÃO

Ao referir-se sobre o tema liderança, é possível perceber que é um assunto que atrai a atenção de estudiosos e curiosos desde os primórdios da humanidade, afinal os seres humanos são sociais por natureza, logo, sempre estiveram reunidos em grupos que de certa forma eram liderados por alguém. Com o passar dos anos, o referido tema tornou-se alvo de diversas publicações e, atualmente, vários autores versão sobre a temática.

É importante fazer menção a grandes clássicos que referem-se à liderança tendo destaque, por exemplo, os livros O Príncipe, de Maquiavel e A Arte da Guerra, de Sun Tzu, que servem de base e ou modelos para os diversos profissionais que desejam aprender sobre liderança, evidenciam que apesar dos anos seus ensinamentos são válidos até hoje. De acordo com Tzu (2007) comandar é uma arte em que tanto faz comandar poucos ou muitos, sendo uma questão de gestão, formação.

Na visão de Maquiavel (2008) um príncipe é estimado pelos exemplos, e pelas grandes obras feitas. Assim expõe que na administração interna um príncipe deve reconhecer o que os seus subordinados fazem – seja algo bom ou ruim, desse modo recompensando ou punindo.

O referido artigo intitula como “Estilo de liderança que um engenheiro de produção deve possuir na ótica dos engenheiros de produção da FAP” tem como objetivo analisar o estilo de liderança que o engenheiro de produção deve possuir no âmbito organizacional, na visão dos docentes do curso de engenharia de produção, e específicos pesquisar e conhecer o conceito e as características dos líderes; Identificar os tipos de líderes; e descrever qual o estilo de liderança o engenheiro de produção deve possuir.

É pertinente fazer menção que durante o período de formação acadêmica o engenheiro de produção entra em contato com diversos ramos do conhecimento científico que vão muito além da matemática, física, estatística, contabilidade, direito



e Informática, dentre outros, principalmente de temas relacionados a Administração.

Entretanto, pode-se dizer que é um profissional especialista e generalista, capaz de entender sobre diversos assuntos e da sua área específica, e analisar de forma global questões referentes ao seu entorno.

Todavia, é notório que o engenheiro da produção é um profissional que lida com sistemas, métodos e principalmente pessoas, e ao lidar com pessoas exige uma necessidade intrínseca do indivíduo, que é liderar.

Porém alguns estudiosos tentaram definir quais as características físicas e/ou psicológicas que um líder precisa ter, gerando discussões e teorias sobre o assunto. Onde a temática levantada é de suma importância como referência posterior para futuras pesquisas acadêmicas ou organizacionais, haja vista, o tema está sendo rapidamente difundido no país, sendo apontado como fator importante no desenvolvimento econômico nacional, trazendo informações relevantes para a sociedade em geral. Diante do exposto, faz-se necessário abordar sobre a temática, como forma de mensurar qual o estilo de liderança o engenheiro de produção necessita possuir.

## 2 | REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Conceitos de Liderança

O tema liderança é há muito tempo estudado, diversos autores discorrem sobre os possíveis conceitos de liderança e suas principais características. Alguns conceitos, apesar de desenvolvidos há anos, possuem, ainda hoje, grande relevância e são muitos utilizados, mesmo que com algumas adaptações.

Por isso, é oportuno examinar as diversas concepções sobre liderança, segundo o ponto de vista de alguns autores. Na visão de Soares (2015), visto que outrora a liderança era vista como forma de domínio, no qual a função do líder era dispor as metas que deveriam ser atingidas afim de se alcançar os objetivos, o foco não eram as pessoas e sim a execução do trabalho.

A par de conceitos clássicos, mais voltados para a consecução de um objetivo específico, existem, atualmente, definições sobre liderança, as quais tem se chegado à conclusão de que o papel do líder vai muito além do cumprimento de metas, hoje, mais que nunca, o líder deve ser capaz de influenciar pessoas, estabelecendo metas, focadas nas pessoas.

Logo, muito mais que um propagador de ordens, na perspectiva de autores contemporâneos como Bennett (2014) a liderança é vista como a habilidade e a perspicácia de desenvolver um ponto de vista que influencie outras pessoas e mais, ser capaz de convencê-los a empregarem sua habilidade e energia afim de alcançar o objetivo desejado. Ou seja, liderança vai muito além de uma simples relação de

poder. Ainda segundo o mesmo autor:

Liderança é um processo de influenciar as atividades de um grupo para alcançar objetivos comuns. Isso acontece de várias maneiras, algumas menos inspiradoras do que outras. Essa definição pode ser conduzida por um líder autoritário, um líder que acredite no poder compartilhado, um líder calmo e despretensioso ou qualquer outro tipo de líder. (BENNETT, 2014, p.25)

Por consequência, o conceito de liderança é variável, a depender do tipo de líder, que poderá se apresentar de diversas formas e provocar mudanças, sejam para o bem ou para o mal, no ambiente organizacional.

Conforme o pensamento de Caravantes (2005, p.505), “Pode-se definir liderança com um processo de influência dirigido para modelar o comportamento de outras pessoas. Várias táticas podem ser usadas quando se tenta influenciar outras pessoas.” Ou seja, na busca por influenciar pessoas, o líder pode utilizar-se de diversas estratégias.

Contudo, quando se fala sobre liderança pode-se dar a impressão que o líder precisa está presente para coordenar ou influenciar as pessoas sob sua supervisão, entretanto é necessário dissipar essa idéia, pois grandes líderes na história da humanidade como por exemplo: Jesus Cristo, Mahatma Gandhi, Padre Cícero, dentre outros, já morreram, mas seu legado e ou ensinamentos continuam até os dias atuais.

Independente do conceito de liderança adotado, fica evidente que a liderança é inerente a toda organização profissional e que o líder precisa ter o mínimo de capacidade de persuasão afim de ser capaz orientar a equipe sob seu comando.

Assim sendo, pode-se concluir que a liderança é muito valiosa aos que pretendem alcançar os objetivos e metas e mantendo um relacionamento saudável com seus colaboradores, influenciando-os a realizar todo o trabalho de maneira satisfatória, sendo preciso elencar as características de um líder, conforme a seguir.

## 2.2 Características do Líder

É perceptível que o líder é alguém diferenciado, devendo refletir sobre as seguintes indagações: Um líder já nasce pronto, ou seja, o líder é nato, ou pode ser moldado, transformado em líder? Ao fazer uma análise sobre os grandes líderes da história Mooney (2010) relata que é possível perceber quem eram pessoas de personalidade variadas, existem desde os defensores da paz como Jesus, Gandhi e Mandela que eram, também, pessoas extremamente resilientes, como também existiram grandes líderes manipuladores e defensores de Guerras como por exemplo Napoleão e Hitler.

Conforme Biazzi (2017) o líder é o entusiasta da equipe e o construtor, em que tanto delega quanto desenvolve, negocia - recursos, prioridades e prazos, mostram bravura e empenho, envolvimento, mobiliza, persuade e inspira, sendo a essência da liderança, que busca não apenas atingir metas, mas adaptar-se, quebrar paradigmas

e senso de inovação.

Do ponto de vista de Hunter, (2004), a liderança pode ser alcançada por qualquer um que tenha a vontade de aprender a arte de influenciar pessoas. Ou seja, o conceito de líder nato não é necessariamente verdadeiro, já que nada impede que alguém desenvolva suas próprias habilidades a fim de conseguir ser capaz de liderar com eficiência.

Todavia, o líder pode não possuir características pré-definidas, nada impede que uma pessoa introspectiva possa se tornar um grande líder, na verdade o que existe é um mito de que apenas pessoas extrovertidas conseguirão alcançar o patamar de liderança.

Podendo concluir que o líder pode ser nato ou moldado, a partir do esforço e vontade de tornar-se um líder. De tal modo que cada líder possui estilos de lideranças, estilos esses perceptíveis a partir de suas atitudes conforme exposto a seguir.

### 2.3 Estilos de liderança

Ao expor sobre os estilos de liderança, existe a teoria do estilo de liderança que é definida por Gracioso (2009), como a busca para entender as maneiras e os estilos de comportamento adotados por um líder.

Na visão de Maximiniano (2012), ele expõe sobre quatro estilos de liderança que segundo ele são estudados desde a Antiguidade clássica: a tirania, autocracia, democracia e demagogia. Sendo que a tirania está intimamente ligada ao excesso de poder que leva a constantes abusos de autoridade por parte do líder. Já a autocracia é um estilo no qual a decisão fica totalmente nas mãos de uma só pessoa, o chefe.

Contudo, no mundo moderno o estilo democrático tem se difundido bastante e quanto mais há a participação dos liderados mais democrática é a liderança. Por último, o estilo que ainda é muito popular nos dias atuais, mas que teve seu auge no século XX é o estilo demagogo, no qual o líder busca ser popular entre os liderados.

Segundo Chiavenato (2014), os estilos de liderança são três: autocrática, democrática e liberal. O conceito referente ao autocrático é o impositivo que utiliza a coerção para consecução dos objetivos, já o democrático é a participação nas decisões entre líderes e liderados e quanto ao conceito de estilo liberal Chiavenato ensina que se trata de uma forma de liderar na qual a participação do líder é bastante reduzida, é o grupo de liderados que são responsáveis pela tomada de decisão.

Já Blanchard (2011), incentiva que o líder tenha mais que um estilo de liderança bem definido, na visão deste autor o líder deve ser acima de tudo flexível capaz de se adaptar as diferentes situações que lhe serão apresentadas a fim de aumentar ainda mais a eficácia da liderança.

Segundo Marras (2016), a organização deveria oferecer o caminho a ser seguido pela liderança juntamente com valores essenciais na formação atitudinal do líder, porém, além disso, deve permitir que o líder possa acrescentar a liderança proposta pela

empresa junto com suas características pessoais. O autor ao tratar sobre estilos de liderança, as encaixa dentre uma das formas de motivação do pessoal, podendo este ser um líder autocrático, democrático ou liberal.

O estilo de liderança a ser escolhido pelo administrador não precisa ser necessariamente um único estilo específico, é perfeitamente possível, e, em alguns casos, é até recomendável que ocorra uma mistura entre os estilos a fim de se alcançar o objetivo almejado pelo líder, pois irá depender da motivação, da cultura da empresa em que este atua.

### **3 | ATUAÇÃO DOS ENGENHEIROS DE PRODUÇÃO NAS ORGANIZAÇÕES**

Ao mencionar sobre a atuação do engenheiro de produção Martins (2013), relata a engenharia de produção chegou ao Brasil na década de 1950 trazidas pelas montadoras de automóveis que trouxeram ao país toda a estrutura e hierarquia que já utilizava, em outros países. Logo, as instituições de ensino superior perceberam a necessidade do engenheiro de produção e a partir de então começaram a desenvolver os primeiros passos do curso, na Universidade de São Paulo e na Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Por ser um ramo de conhecimento tão amplo, a ABEPRO, (2019) subdivide a engenharia de produção em onze áreas, são elas: gestão da produção, gestão da qualidade, gestão econômica, ergonomia e segurança do trabalho, gestão do produto, pesquisa operacional, gestão estratégica e organizacional, gestão do conhecimento organizacional, gestão ambiental dos processos produtivos, educação em engenharia de produção e engenharia de produção, sustentabilidade e responsabilidade social.

O departamento de engenharia de produção da Universidade Federal da Paraíba-UFPB (2019), define o respectivo curso como a profissão que trata do desde o planejamento até a execução e a possível otimização dos sistemas de produção, visando integrar capital humano e instrumentos com o intuito de produzir um serviço e ou produto com o melhor custo-benefício possível, preservando valores sociais e recursos ambientais.

Segundo Neumann (2015), a engenharia de produção é responsável pelo desenvolvimento do projeto e pela gestão dos processos de produção com o intuito de criar bens e serviços buscando melhorar a utilização. Segundo Venanzi (2016, p.361) que estuda sobre o comportamento do profissional de engenharia de produção:

Um dos desafios do engenheiro de produção é selecionar uma tecnologia de fabricação que possa gerar um nível ótimo de custo, qualidade e flexibilidade. Uma peça pode ser obtida por um processo de solidificação ou usinagem (buchas, anéis etc.), porém, cada processo oferece condições técnicas e econômicas diferenciadas. Os processos de fabricação oferecem níveis diferenciados de:

- investimento inicial (máquinas, equipamentos e necessidades de periféricos);
- flexibilidade (produção de peças únicas ou múltiplas);
- produtividade;

- custo fixo;
- consumo de matéria-prima.

Ainda de acordo com o autor supracitado, o engenheiro de produção através da utilização de seus conhecimentos pode adaptar os procedimentos que serão empregados durante a fase de planejamento; reconhecer possíveis reduções de custos; aperfeiçoar a qualidade dos processos e melhorar a confiança na qualidade de produção, tudo isso só é possível através de pessoas, de uma equipe formada que trabalhe em consonância com o que o engenheiro de produção delegou, pois as máquinas por si só não funcionam, necessitam de pessoas que as operacionalizem, de forma correta, a partir das instruções recebidas.

Sendo perceptível que para o engenheiro de produção possa melhorar todas as fases do processo de produção é necessárias pessoas que contribuam para que saia tudo conforme planejado.

Conforme Alvarez (2008), o engenheiro de produção visa potencializar o uso dos ativos, tais como equipamentos, instalações principalmente as pessoas, da organização, otimizando a amplitude da produção, minimizando a adição de investimentos adicionais.

Assim sendo, a Engenharia de Produção almeja o aprimoramento da produção sem a perda da qualidade nos trabalhos de construção e no fornecimento de serviços, através das pessoas. Para que isso aconteça é preciso que ocorra um sincronismo entre todas as etapas do processo produtivo, desde a elaboração do projeto, durante todo o processo de execução e após para a correção de eventuais erros, tudo isso com a contribuição das pessoas no processo, para que os resultados saiam conforme planejado.

Conforme exposto é perceptível que o engenheiro da produção ele não lida apenas com máquinas e tecnologia, ele necessita de uma equipe de pessoas para operacionalizar. Desse modo é imprescindível que ele saiba lidar com pessoas, gerir pessoas, para que possam colocar em prática as estratégias traçadas, e obtenha sucesso na organização.

#### **4 | METODOLOGIA**

A pesquisa resultante deste artigo, conforme relata Vergara (2009), podem ser dividida em dois grupos: quanto aos fins e quanto aos meios. Com relação aos fins, a pesquisa é descritiva, por caracterizar determinada população ou fenômeno e instituir relações entre variáveis. Na visão de Gil (2017) Pesquisas descritivas estão aquelas que a finalidade de “estudar as características de um grupo”, utilizando técnicas padronizadas de coleta de dados e aprofundando as questões propostas, por meio da busca de fontes primárias no ambiente natural em que os fatos ocorreram.

Quanto aos meios, foram realizadas pesquisa bibliográfica e pesquisa de campo,

para a consecução deste trabalho. A pesquisa bibliográfica, segundo Gil (2017) são aquelas desenvolvidas a partir de trabalhos de pesquisas de diversos autores referente a determinado assunto. Nessa ótica, foi construído referencial teórico referente ao assunto em questão, a partir da pesquisa em livros, relatórios e publicações baseados em autores como Marras, Chiavenatto, Maximiniano, Blanchard, Hunter, Caravantes, Soares, Bennett, entre outros que relatam acerca da liderança.

Todavia a pesquisa de campo descrita por Vergara (2009) como sendo uma investigação empírica, desenvolvida em locais predeterminados. Neste contexto, ela foi utilizada neste estudo considerando que os sujeitos da pesquisa foram os docentes que possuem graduação em engenharia de produção, que ministram aulas no curso de engenharia da produção.

A pesquisa foi desenvolvida através da abordagem qualitativa, onde foi aplicado um questionário baseado em Marras (2016), que foi adaptado conforme apêndice 1 sendo estruturado da seguinte forma dividido em duas partes, a primeira parte contendo seis perguntas fechadas sobre o perfil das respondentes com respostas de múltiplas escolhas, e a segunda parte contendo 13 perguntas objetivas, sobre o estilo de liderança que o engenheiro da produção deve possuir na ótica dos docentes.

Posteriormente foi aplicado um pré-teste com três pessoas, não havendo dúvidas referente ao questionário, aplicou em seguida com os docentes. Richardson (2017) considera que por meio da pesquisa qualitativa há uma tentativa de se compreender detalhes dos significados e características de situações apresentadas pelos entrevistados.

O universo e a amostrada pesquisa foi composto de 100% docentes da Faculdade Paraíso do Ceará que possuem graduação na área de engenharia da produção. O levantamento dos dados ocorreu utilizando uma amostra não probabilística por acessibilidade. Os dados coletados foi utilizado o Google formulários Foi comparado com o quadro espelho sugerido por Marras (2016) e convertidos em gráficos com as referidas porcentagens.

## **5 | ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Um questionário foi elaborado no decorrer desse estudo com o intuito de descobrir o estilo de liderança que os engenheiros de produção devem possuir na ótica dos docentes do curso de engenharia de produção da Faculdade Paraíso do Ceará-FAP. Foi utilizado um questionário adaptado de Marras (2016) dividido em duas partes, a primeira visa descobrir o perfil do respondente, e na segunda parte tratou de perguntas referente ao estilo de liderança. Os resultados foram transformados em gráficos, com as referidas porcentagens.

Na primeira parte foi possível identificar o gênero, sendo 80% dos docentes são do sexo masculino, quanto a idade, pode-se observar que a maioria, ou seja, 60%

estão entre 32 a 38 anos, 20% entre os 27 a 31 e 20% com mais de 40 anos.

A respeito de quanto tempo são formados em engenharia de produção, 60% concluíram a graduação a mais de 10 anos, enquanto 40% formaram-se entre 5 a 10 anos. Sobre a quanto tempo lecionam no referido curso, 60% a menos de cinco anos e 40% entre 5 e 10 anos, sendo que 60% possuem a titulação de Doutor e os outros 40% de Mestre.

Pela a análise do questionário é possível perceber que o perfil do docente do curso de engenharia de produção da FAP é composto por homens, de até 38 anos, que são formados a mais de uma década no curso que lecionam, a maioria é professor do curso a menos de 5 anos e são doutores, ou seja, são pessoas adultas, que possuem um alto grau de instrução, isso mostra a preocupação com a qualificação profissional.

Além desses, outro fator considerado importante diz respeito ao fato de exercerem ou não efetivamente a profissão de engenheiro de produção em que 60% responderam que não, ou seja, a grande maioria utiliza-se dos conhecimentos adquiridos após anos de estudos para se dedicar à docência.

Quanto a segunda seção do questionário foi composta por treze questões baseadas no questionário elaborado por Marras (2016), sendo quatro questões para cada um dos perfis de liderança democrático, autocrático e liberal. A partir das respostas a essas perguntas foi possível fazer uma análise sobre qual o estilo de liderança que o engenheiro deve possuir na visão dos docentes.

Referente ao grupo de perguntas de caráter democrático ao qual correspondem as questões 07 a 10. A questão 7, perguntava se o engenheiro de produção deveria despende tempo explicando, antes de agir, o motivo de determinada decisão, 80% dos entrevistados responderam que “sim”, isso mostra a preocupação do engenheiro de produção em nortear sua equipe quanto ao trabalho a ser efetivado, ou seja, eles querem que sua equipe entenda a razão de determinadas escolhas, antes delas serem postas em prática.

Na questão 8, sobre se o pessoal necessitava saber sobre o progresso do grupo, a resposta “sim” foi escolhida de forma unânime, ou seja, isso evidencia características peculiares referente a liderança democrática, pois o líder convoca a equipe para informá-los a respeito dos progressos, dando feedback constantes. Na sequência, a questão 9 indaga a respeito se o engenheiro de produção acha que desenvolver uma relação de amizade com o grupo torna mais fácil liderá-los, apenas 20% escolheram a resposta afirmativa e 80% responderam “não”. A afirmativa é uma característica da liderança democrática, mas conforme exposto não é algo que os engenheiros de produção considerem essenciais para que possam exercer eficazmente o trabalho.

No item 10 foi questionado se os entrevistados deveriam responder se as decisões devem ser tomadas junto ao grupo ou não, 60% responderam que “sim”, isto é, a maioria importa-se em ouvir a opinião de seus subordinados, preocupando-se com a tomada de decisão coletiva.

A partir de uma análise preliminar é possível perceber que foi expressivo a

quantidade de respostas afirmativas obtidas por esse grupo de perguntas, que se tratava do líder democrático.

Já no segundo conjunto de questões, que é formado pelos quesitos 11 a 14, avalia o perfil de liderança liberal. A questão 11 indagou se após distribuir as atribuições determinando os objetivos, deixando os métodos a serem empregados a cargo de seus subordinados, 100% dos entrevistados responderam negativamente, logo os engenheiros de produção não acham que a equipe esteja pronta, nem possua autonomia para escolher os métodos.

Já na pergunta 12 indagava sobre se o engenheiro produção deve reduzir os contatos pessoais e tratar o grupo como autônomos, 100% dos entrevistados responderam “não”, por consequente, o contato humano é estimado e a equipe não deve, segundo a pesquisa não se deve deixar o grupo trabalhar sozinhos, devendo ter a orientação e supervisão dos engenheiros da produção.

No item 13 foi perguntado a respeito do engenheiro de produção deixar a critério dos subordinados a comunicação ou não das ocorrências de menor importância, assim como nas duas perguntas anteriores a resposta foi 100% negativa, isto posto, pode-se chegar à conclusão que as pessoas pesquisadas gostam de estar a par do que acontece no ambiente organizacional que comanda, ficando a par de tudo no processo produtivo, assim das ocorrências por menor que sejam.

Na última pergunta do grupo referente ao estilo de liderança liberal questionou-se sobre se os engenheiros de produção concordavam se as diferenças de opiniões dentro do local de trabalho seriam capazes de trazer soluções proveitosas, 100% dos engenheiros responderam que “sim”. Percebe-se que as diferenças de opiniões são bem vistas, ou recebidas pelo grupo pesquisado, de modo a enriquecer o grupo com idéias diversas.

O terceiro e último grupo, das questões 15 a 18, as perguntas trazem aspectos da liderança autocrática. Na primeira delas pergunta-se se a proximidade/ familiaridade com a equipe, com o tempo, pode acarretar falta de respeito, todos responderam de forma negativa, logo os entrevistados não se importam em ter uma certa proximidade com os membros da equipe que comandam, pelo contrário é bem visto, pois ao conhecer o colaborador, sua personalidade, seus anseios, seus desejos fica mais fácil lidar com os mesmos, de forma empática.

No item 16 é perguntado se um dos meios de manter a disciplina é aplicar punição todas as vezes que o regulamento for infringido, 40% responderam que “sim”, 60% não, é percebido que maioria não acha que a punição deve ser ocorrer, podendo ser resolvido numa simples conversa com os subordinados, pois muitas vezes a punição gera revolta pelo subordinado, assim como pelo grupo.

Na questão 17 foi indagado se para o engenheiro de produção é fácil demitir, não houve nenhuma resposta positiva, assim sendo todos os entrevistados acham difícil demitir algum membro da equipe, pois trata-se de indivíduos que possuem famílias, necessitam trabalhar, e reconheceram que não é fácil demitir os subordinados.



Referente ao quesito 18, foi questionado se os membros da equipe devem ser leais ao engenheiro de produção, 60% responderam afirmativamente, ou seja, a lealdade continua sendo um juízo de valor importante para os engenheiros de produção, desse modo, com uma equipe leal, o trabalho torna-se mais efetivo.

Na última pergunta a 19, foi questionado “Você acha que o engenheiro de produção deve ser um líder?”, e a resposta de todos os docentes foi “sim”, sendo assim pode-se chegar à conclusão que os profissionais graduados em engenharia de produção eles concordam que o engenheiro tem que ser um líder, ou seja, profissionais que venham persuadir as pessoas para trabalharem em prol das organizações.

Tal conclusão é extremamente relevante, conforme estudado no decorrer deste trabalho é importante na otimização dos processos produtivos a capacidade que o engenheiro de produção atingir o máximo do potencial humano presente na organização, logo é necessário que seja capaz de influenciar as pessoas afim de atingirem os objetivos e conseqüentemente as metas almejadas pela organização.

Quanto ao estilo de liderança adotado pelos pesquisados, pela mensuração dos resultados obtidos na pesquisa é possível perceber que a tendência é que os docentes do curso de engenharia de produção da FAP são mais suscetíveis de utilizarem os conceitos relacionados ao estilo de liderança democrático. Pois conforme Maximiano (2017), quando as decisões são tomadas com a participação dos integrantes do grupo, o comportamento do líder pode ser considerado como democrático.

Sendo assim, os professores que participaram da pesquisa entendem que o engenheiro de produção deve deixar os membros da equipe influenciarem na tomada de decisão, além de levarem em conta o bem-estar do grupo e também estarem acessíveis as idéias dos liderados.

## 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com Martins (2013) a graduação em engenharia de produção é relativamente nova no Brasil, surgiu na década de 1950, mas já se mostra de suma importância para o desenvolvimento das organizações, já que visa melhorar o desempenho dos processos produtivos, otimizando o uso de máquinas, recursos e de pessoal.

Para realizar os aperfeiçoamentos necessários o engenheiro de produção pode utilizar-se de uma arma valiosa, a liderança que como visto na análise dos resultados da pesquisa o engenheiro de produção deve ser um líder.

Através da liderança é possível fazer com que os membros do grupo trabalhem com afinco para que os objetivos e metas sejam cumpridos tornando o ambiente organizacional cada vez mais produtivo e de qualidade.

Todavia, é notório que o engenheiro de produção não trabalha apenas com tecnologia, com máquinas, com dados, conforme exposto no decorrer do artigo, para que seu trabalho seja efetivado é necessário a contribuição de pessoas e ou de

colaboradores que coloque em prática aquilo que foi planejado pelo engenheiro de produção, desse modo que ele faça usufruto da liderança.

Contudo a liderança não pode ser resumida apenas ao líder que manda e o funcionário que obedece e nem confundir-se a figura do gerente com a do líder. Como visto no decorrer deste trabalho ela é bem mais que isso, trata-se, na verdade, de uma forma de influenciar pessoas.

Porém o agir do líder não é algo estático e com fórmulas prontas, pelo contrário, liderar é ser, é agir, é ter a capacidade de influenciar, de ser dinâmico, de ser proativo e de ser perspicaz para entender tudo que acontece com os liderados e a organização.

É possível perceber que ao se estudar os estilos de liderança eles podem parecer antagônicos uns em relação aos outros, contudo, eles são complementares, pois ao dirigir uma equipe um líder não fica adstrito a usar apenas um dos estilos, em determinadas situações pode ser um misto dos três estilos.

O fato do estilo democrático ter sido a escolha da maioria não significa que os outros dois estilos não são utilizados, longe disso como houveram respostas afirmativas no mínimo em uma das questões de cada grupo, verifica-se que pelo menos em relação aos docentes de engenharia da FAP, o uso de um tipo específico de liderança não é unânime.

Desse modo é perceptível que os objetivos foram alcançados pois foi analisado o estilo de liderança que o engenheiro de produção deve possuir no âmbito organizacional na visão dos docentes do curso de engenharia de produção que obteve como resultado pela maior parte dos respondentes que seria o democrático, em que nesse tipo o líder estimula a participação dos funcionários na tomada de decisões, há uma participação ativado líder, em que o líder procura ser um membro normal do grupo, dividindo as tarefas, sem sobrecarregar-se, ele é "objetivo" e limita-se aos "fatos" em suas críticas e elogios, dá feedback constantes.

Assim como foi atingido os objetivos específicos, ao expôs de forma clara na ótica de diversos autores os conceito e as características dos líderes, assim como os tipos de líderes que são mais usuais: os autocráticos, os democráticos e os liberais.

Considerando todos esses fatores e de acordo com a pesquisa desenvolvida e analisada, este trabalho levantou informações específicas sobre o perfil e o estilo de liderança que o engenheiro de produção deve possuir na ótica dos docentes do curso de engenharia de produção da FAP, tais informações são relevantes e poderão ser utilizadas pelos futuros engenheiros de produção para refletirem e ou escolherem sobre o estilo de liderança que pretendem adotar.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **A Profissão**. Disponível em: <<http://portal.abepro.org.br/a-profissao/>> Acesso em: 30 de maio de 2019.

Bennett, Ronald. **Liderança para engenheiros**. Porto Alegre: AMGH, 2014.

Biazzi, Fabio de. **Lições essenciais sobre liderança e comportamento organizacional**. São Paulo: Labrador, 2017.

Blanchard, Ken. **Liderança de alto nível como criar e liderar organizações de alto desempenho**. Porto Alegre: Bookman, 2011.

Caravantes, G. R., PANNON, C., KLOECKNER, M. / **Administração: teorias e processos**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

Chiavenato, Idalberto. **Administração nos novos tempos: os novos horizontes da administração**. Barueri, SP: Manole, 2014.

Departamento de Engenharia de Produção UFPB. **O que é Engenharia de Produção?**. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/depufpb/ep>> acesso em: 07 de junho de 2019.

GIL, Antônio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. Rio de Janeiro: Atlas, 2017.

Gracioso, Luiz Francisco. **Liderança empresarial: competências que inspiram, influenciam e conquistam resultados**. São Paulo: Atlas, 2009.

Maquiavel, 1513-1516. **O príncipe**. São Paulo: Martin Claret, 2008.

MARRAS, Jean Pierre. **Administração de Recursos Humanos: Do operacional ao estratégico**. São Paulo: Saraiva, 2016.

MARTINS, R. A.; MELLO, C. H. P.; TURRIONI, J.B. **Guia para elaboração de monografia e TCC em engenharia de produção**. – São Paulo: Atlas, 2013.

Maximiano, Antônio Cesar Amaru. **Teoria Geral da Administração: da revolução urbana à digital**. São Paulo: Atlas, 2012.

Monney, Brian. **100 grandes líderes – Os homens e as mulheres mais influentes da história**. São Paulo: Madras, 2010.

Rancich N., VANIN J. **Administração estratégica**. Curitiba: Intersaberes, 2013.

RICHARDSON, Roberto Jarry. **Pesquisa Social: Métodos e Técnicas**. Rio de Janeiro: Atlas, 2017.

Sun, Tzu Século VI a.C. **A arte da guerra: os treze capítulos originais**. São Paulo: Jardim dos Livros, 2007.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e relatórios de pesquisa em Administração**. São Paulo: Atlas, 2009.

## EVOLUÇÃO DAS POLÍTICAS PÚBLICAS PARA A INDÚSTRIA NO BRASIL

**Lídia Silveira Arantes**

Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

**Thales de Oliveira Costa Viegas**

Dep. de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

### EVOLUTION OF PUBLIC POLICIES FOR INDUSTRY IN BRAZIL

**ABSTRACT:** This paper debates the role of industrial policy and analyze this policy since the 60s decade, from when we can see important changes in this policy in Brazil. This work evaluates to what extent the public investments contribute to the of industry capacity growth. This article shows that those investments are essential for regional and local economic development. They can help to enlarge companies' innovative capacity and competitive differentials. The conclusions indicate that the State should foment the industry by coordinating actions at the macro and microeconomic levels. The public policy needs encouraging innovations, which are the driving force behind the increases in productivity and competitiveness of the productive forces. However, Brazil do not have an adequate mix of economic policies yet.

**KEYWORDS:** Public Policy; Industrial Policy; Innovation.

### 1 | INTRODUÇÃO

A história econômica global é marcada pelo desenvolvimento e difusão de diferentes ideias sobre a relação entre Estado e mercado. A atuação do Estado no âmbito das atividades

**RESUMO:** O objetivo do presente trabalho é debater o papel da política industrial e analisar as suas manifestações desde a década de 60, a partir de quando é possível observar mudanças importantes nessa política no Brasil. Neste contexto, avalia-se em que medida as inversões públicas instigaram a expansão da indústria. Este trabalho defende a tese de que esses investimentos são imprescindíveis para que haja desenvolvimento econômico regional e local. Eles podem ampliar a capacidade inovativa das empresas e permitir que diferenciais competitivos aflorem. Conclui-se que o Estado deve fomentar a indústria articulando ações nos planos macro e microeconômico, em especial, incentivando as inovações, que são a força motriz do aumento de produtividade e de competitividade das forças produtivas, mas o Brasil ainda não empregou um *mix* adequado de políticas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Política Pública; Política Industrial; Inovação.

produtivas, por conseguinte, é uma questão controversa entre as diversas perspectivas teóricas e ideológicas existentes, manifestas em diferentes concepções a respeito do desenvolvimento industrial, por exemplo.

Na base do arcabouço teórico neoclássico, encontra-se a visão liberal da economia, que sustenta a ideia de que o livre mercado levaria a um equilíbrio de pleno emprego e a economia deveria ser deixada livre para se autorregular. Nesse contexto, o Estado precisaria atuar, essencialmente, na garantia da estabilidade monetária, na segurança pública e na composição de um aparato jurídico-institucional de um país. Deveria, portanto, se afastar das atividades econômicas produtivas. Cabe destacar que, na visão de cunho liberal, o mercado competitivo é o alocador eficiente de recursos. Supondo a existência de racionalidade substantiva e ilimitada, num contexto de informação perfeita e livre, supõe-se que todos os agentes têm acesso a informações sem custo relevante, as quais seriam inteligíveis para todos. Ademais, a reversibilidade das decisões seria feita sem ônus (FERRAZ, PAULA E KUPFER, 2013).

Na concepção denominada neoliberal, o mercado atuará como regulador através do mecanismo de preço, tendo como base a produtividade dos fatores e as preferências dos consumidores. Esta, que é a corrente principal nas ciências econômicas, prega que a livre concorrência torna as empresas mais produtivas e lucrativas e que cabe ao Estado dar aparato institucional e jurídico que favoreça a atuação do mercado. Partindo da análise de mercados competitivos que se autorregulam a política industrial, tornar-se-ia desnecessária.

A visão neo-schumpeteriana aponta a necessidade de incorporação de progresso técnico e a existência de racionalidade limitada, de informação imperfeita e de interesses múltiplos são os principais elementos que embasam a necessidade de atuação do Estado. De acordo com Gadelha (2002: 111), na visão evolucionista neo-schumpeteriana,

O Estado, como instância de arbitragem e de poder, constitui uma instituição decisiva que possui capacidade de interferir nas relações de interdependência entre as empresas e os mercados e destes com as demais organizações presentes nos sistemas nacionais de inovações, permitindo a formulação de estratégias convergentes pelos atores envolvidos na mudança estrutural. É a partir desta visão do Estado que se poderá pensar no seu papel sistêmico no âmbito da política de inovação.

Apesar de não haver consenso acerca do conceito de política industrial, esta pode ser entendida como as ações e os instrumentos utilizados pelos países para o fomento do setor industrial e aumento das taxas de crescimento econômico (CORONEL, AZEVEDO E CAMPOS, 2014). Na visão desenvolvimentista as funções do Estado na economia vão além das questões distributivas e correções de falhas no mercado. Com isso, pode definir as trajetórias econômicas locais e regionais. Neste sentido, é nítida a importância da intervenção direta do Estado para a promoção

do desenvolvimento econômico com a execução de planos de ações e políticas específicas (PEREIRA & DATHEIN, 2016).

A política industrial pode ser analisada de acordo com a natureza do instrumento e do alvo pretendido. Existem dois alvos prioritários. As chamadas políticas horizontais, de um lado, são fundadas em medidas de alcance global. De outro lado, as políticas verticais e seletivas, são formuladas para fomentar indústrias, cadeias produtivas ou grupos específicos de empresas. As políticas de caráter horizontal focam em melhoria do desempenho da economia em totalidade, sem privilegiar setor ou industrial específica. Esse tipo de política busca alterar os mecanismos de alocação provenientes dos recursos na produção. Na condição de políticas horizontais, cabe destacar que as políticas macroeconômicas (por exemplo, a política cambial) influenciam o desempenho da indústria. Tais políticas são tratadas como horizontais na medida em que se supõe que elas afetam todos os setores de modo semelhante. Contudo, na prática, um mesmo patamar de taxa de câmbio tem efeitos opostos quando comparados os setores exportador e importador, por exemplo (Ferraz, De Paula & Kupfer, 2013).

Há um significativo paradoxo entre o pensamento liberal e a prática das duas maiores potências econômicas mundiais (EUA e China), uma vez que ambas vêm adotando práticas de natureza keynesiana, com forte presença do Estado, manifestas no apoio a organizações. Tais países adotam práticas protecionistas em um mundo em que se prega e supostamente é regido por regras neoliberais (ALCÂNTARA, 2009). Na verdade, embora vários países “preguem” a liberalização econômica como forma de fomentar o comércio, promover o crescimento econômico e bem-estar social, a maioria dos países de fato implementa políticas industriais, protecionistas ou não.

Este artigo está estruturado em quatro seções. Esta primeira é a Introdução. A parte seguinte trata da Política Industrial no Brasil. A terceira seção aborda o papel da Inovação como Estratégia de Desenvolvimento, com vistas a englobar a apresentação da política industrial brasileira em perspectiva histórica. Por fim, a conclusão discute os resultados do trabalho.

## **2 | PERSPECTIVA HISTÓRICA DA POLÍTICA INDUSTRIAL NO BRASIL**

A fim de tratar do tema proposto, faz-se necessária uma análise da evolução da indústria brasileira, com enfoque na política industrial. Cabe, então, investigar a influência direta ou indireta do Estado nas atividades manufatureiras. O objetivo é apreender o caráter histórico do processo de desenvolvimento industrial, na medida em que os períodos da política industrial são específicos e há diferentes estratégias de desenvolvimento adotadas. Nota-se que coube ao Estado a efetivação de uma política industrial focalizada em diversos setores industriais, contribuindo assim dinamizar a economia.

A análise histórica da política industrial brasileira sugere que em determinados

momentos foram efetivados processos de expansão e diversificação da capacidade produtiva, os quais merecem destaque por ter políticas com planejamento e efetivação, como o Plano de Metas de Juscelino Kubitschek e o II Plano Nacional de Desenvolvimento, realizado no governo militar do presidente Ernesto Geisel. O governo de Getúlio Vargas também promoveu avanços na área industrial, como a fundação do BNDE e da Petrobrás (COSTA, 1994). Os principais direcionamentos da política industrial no Brasil, nas últimas décadas, serão descritos na sequência.

Entre 1968 e 1973, a indústria brasileira apresentou desempenho econômico superior ao verificado em períodos anteriores, embora não tenha havido mudanças estruturais no parque fabril do país. Neste período, observa-se crescimento acentuado do Produto Interno Bruto. As principais transformações foram propiciadas pelas reformas ocorridas através do PAEG (Plano de Ação Econômica do Governo), em especial as reformas estruturais (tributária, do sistema financeiro, do setor externo), com o intuito de eliminar os gargalos existentes na economia brasileira e propiciar que ocorresse neste período o “milagre econômico” (BASTIAN, 2012).

Já de 1973 a 1983 a economia se depara com uma crise no âmbito internacional. Precisamente em 1973 acontece a decretação unilateral do fim das paridades cambiais, tendo início outra institucionalidade com intensa volatilidade de juros e das taxas de câmbio. Ocorre também neste período o choque do petróleo, e o governo brasileiro fora estimulado a tomar medidas mais incisivas e com maior enfoque no âmbito industrial, já que o aumento de preços verificado provocou consequências danosas para a economia brasileira. Tais circunstâncias inseriram uma série de questionamentos nos países dependentes tanto do petróleo quanto de outras matérias primas a ele associadas (SUZIGAN, 1988).

O governo Geisel, ao optar por continuar a rota de desenvolvimentos com o II PND e adotar estratégia industrial, entendeu como possível, utilizando-se de política desenvolvimentista, contornar, simultaneamente, vários constrangimentos que estavam impostos para a economia brasileira. Entre eles se destacavam a crise do balanço de pagamentos, a aceleração inflacionária e a pequena dimensão do setor de bens de produção. Além disso, os novos investimentos, contemplados nessa opção de ajuste estrutural, eram identificados como pontos de estrangulamento que impactariam desfavoravelmente o crescimento econômico brasileiro, eram eles: infraestrutura, bens de produção (capital e insumos), energia e exportação (GIAMBIAGI & VILLELA, 2005).

Segundo Costa (1994), pode-se afirmar que para colocar em prática este grandioso processo de desenvolvimento foram criadas e reforçadas instituições para a política industrial. A exemplo disso, criou-se o Conselho de Desenvolvimento Econômico (CDE), com a ideia de promover maior centralização das políticas econômicas, órgão que contava com os principais ministros da área econômica. O Conselho de Desenvolvimento Industrial (CDI), foi criado como o nome de Comissão de Desenvolvimento Industrial, em 1964, com o intuito de ser órgão encarregado

da formulação e execução da política industrial. Nunca exerceu as suas funções, pois as suas atividades ficaram praticamente restritas à examinar projetos industriais que pleiteavam a isenção e a diminuição do imposto sobre Importações (II) e do imposto sobre produtos industrializados (IPI) para importação de bens de capital e componentes.

Cabe destacar aqui o papel fundamental do BNDE, que nesta época recebeu um incremento em seus fundos, com a poupança privada do PIS/PASEP (Programa de Integração Social). Neste período, era a única instituição que fornecia créditos de longo prazo com taxa de juros compatível aos custos e riscos do investimento na formação do capital industrial. Mesmo os recursos do BNDE não foram suficientes para o desenvolvimento do II PND. Dada a magnitude dos investimentos foi necessária a captação de recursos externamente. O governo, então, passou a praticar uma política de juros altos para incentivar as empresas a buscar crédito no exterior, mas é importante perceber que apenas as empresas de grande porte tinham facilidades de acessar estes recursos.

Uma análise dos resultados aponta que a execução deste Plano, entendido como desenvolvimentista, significou alterações quantitativas e qualitativas na economia brasileira, e foi uma das bases de sustentação que permitiu o aumento das exportações. Os projetos de responsabilidade do governo, tais como os investimentos de grande porte, com longo período de maturação e com retorno demorado, ligados principalmente à indústria de insumos básicos e infraestrutura econômica foram relativamente implementados, os de responsabilidade do setor privado, basicamente os ligados a investimentos na indústria de bens de capital não foram implementados devido à presença de capacidade ociosa e, mais importante, fatores relacionados à barreiras à entrada e acesso à tecnologia. Apesar do grande aumento do endividamento externo e interno, bem como de outros problemas de implementação, o II PND também apresentou resultados positivos, pois deu continuidade ao Processo de Substituição de Importações. Foi, então, verificada uma diversificação da estrutura produtiva, melhoria da matriz energética e diminuição da dependência do petróleo.

No governo de João Batista Figueiredo (1979-1984) a economia ainda estava sob vigência do II PND e sua execução representou mudanças de cunho quantitativo e qualitativo significativos na indústria brasileira, mesmo que várias metas não tenham se cumprido em totalidade. Como a indústria, nesta época, teve alterações substanciais e já poderia ser classificada como razoavelmente integrada, diversificada e completa, o diagnóstico base de uma nova política industrial deveria levar em consideração uma estrutura produtiva que não exigisse mais superação de grandes gargalos intersetoriais. Pode-se afirmar que a estrutura produtiva estava bastante desenvolvida, porém a indústria ainda apresentava problemas por causa da elevada heterogeneidade tecnológica no âmbito das cadeias produtivas. Por isso, a economia brasileira deveria atualizar-se tecnologicamente (COSTA, 1994).

Na década de 80 se observa uma crise da dívida para a os países periféricos,



deterioração global da situação econômica desses países e o racionamento do financiamento externo, fatores que em conjunto representaram a ruptura do financiamento externo. Segundo Costa (1994), a partir da segunda metade da década de oitenta o processo de industrialização apresentou inflexão. E isso fez com que o debate sobre a política industrial ganhasse mais importância. Um dos principais fatores indutores das discussões foi a ausência, no Brasil, de uma política industrial durante toda a década de oitenta. Essa inflexão se deveu também ao cenário internacional a partir de 1979, com o segundo choque do petróleo e o aumento da taxa de juros norte americana, o qual objetivava a recuperação da hegemonia do dólar forte. Diante disso, cabe mencionar que essa crise se entendeu, principalmente, aos países subdesenvolvidos da América Latina. Isso promoveu a elevação dos custos de produção industrial, advinda do aumento dos preços das matérias-primas e dos juros, bem como o acirramento da concorrência entre as nações e empresas, decorrente do menor crescimento da demanda e da crescente internacionalização dos mercados.

O que se percebe é que, até a década de 1980 o Brasil absorvia recursos do exterior. Em seguida, ocorreu uma mudança significativa nesse processo, já que passou a transferir recursos para o exterior com o fito de pagar o serviço e a amortização da dívida. O quadro geral era de estagnação tanto dos níveis de produção quanto do investimento, e não houve avanços em termos de modernização industrial. Por isso a indústria chegou ao final da década de 80 muito defasada em termos de tecnologias de processo e de produto. Um dos exemplos claros de defasagem foi a incapacidade de investimento em capital fixo, que é um dos elementos decisivos para dar sustentabilidade à indústria. Ele também é necessário para o crescimento da competitividade através da geração de economias de escala e escopo e da incorporação de gerações tecnológicas mais modernas.

Além dessas questões explicitadas, na década de 80 também foi verificado o desequilíbrio do setor público com a crise do padrão de financiamento, tendo como característica principal a restrição do financiamento externo. A redução drástica do crescimento combinada com a estagnação do produto *per capita*, a regressão do investimento e a transferência de recursos ao exterior são destaques da década de oitenta. A evidente relevância para a transferência de recursos reais como fator determinante da trajetória das demais variáveis econômicas. Esta obrigatoriedade de transferência para o exterior ampliou a dívida externa que culminou em constrangimento para trajetória de desenvolvimento da economia nacional.

No período da Nova República (1985-1989), podemos destacar medidas com a intenção de realizar uma política industrial, como o lançamento do I PND-NR (Plano Nacional de Desenvolvimento da Nova República). Entre 1985 e 1989, a política industrial foi tema de vários debates, porém sua efetiva implementação através da Nova Política Industrial (NPI) foi desarticulada das suas propostas iniciais.

A política industrial e de comércio exterior introduzida em 1990 se apresentou de forma diferenciada do que foi verificado nas décadas anteriores pelo descolamento

do seu eixo central da preocupação da expansão da capacidade produtiva para a questão da eficiência e competitividade. A prioridade, expressa em seus objetivos, era o aumento da produtividade e a redução de custos, combinados com a maior qualidade dos produtos e o devido repasse desses ganhos ao consumidor (GUIMARÃES, 1996).

A PICE dependia da estabilidade dos preços, a qual não foi alcançada nesse período, de modo a contribuir para o seu fracasso. Nesse contexto, foi abandonado o propósito de política industrial que pretendia acelerar e dirigir a transformação do aparato produtivo doméstico. O mercado conduziu, então a transformação. O fim da PICE indicou o acaso da agenda desenvolvimentista no âmbito governamental e a completa hegemonia liberal. As políticas públicas enfatizadas eram aquelas voltadas a estabilização de preços e às reformas institucionais que facilitassem a ação dos mercados (ERBER & CASSIOLATO, 1997).

Constata-se que a abertura comercial indiscriminada e a diminuição ou ausência de apoio ao desenvolvimento da indústria produziu resultados negativos para o parque manufatureiro. Cabe destacar que não houve avanços no desenvolvimento científico e tecnológico voltado para a busca de um novo patamar do processo de industrialização. “Em termos de aspectos positivos a PICE provocou uma maior conscientização dos empresários para a necessidade de incremento na eficiência, modernização, ganhos de produtividade, etc” (BOTELHO, 1999). Esse processo de liberalização comercial se intensificou em 1994 com o Plano Real, porém um dos aspectos mais importantes desse período foi a preocupação excessiva com a estabilização de preços, visto que a inflação desordenava o cenário econômico há décadas.

Segundo Kupfer (2003), com a concretização do Plano Real, uma nova fase teve início no Brasil com a crescente exposição internacional da indústria brasileira, derivada do binômio câmbio valorizado e taxa de juros elevadas, que constituíam dois típicos instrumentos para conduzir a estabilização. Essa situação reduziu os níveis de produção e provocou o acirramento da competição com produtos importados, de modo a resultar na deterioração da balança comercial. Isso decorre do fato de que, no Brasil, a maior parte das vantagens competitivas se encontram em indústrias intensivas em recursos naturais com baixo grau de processamento. A maior parte das empresas no país têm pequeno porte e pouco investem em processos de internacionalização, de modo que são mais vulneráveis no que diz respeito aos desafios do cenário internacional.

Segundo Erber e Cassiolato (1997), a solução proposta a partir da agenda neo-desenvolvimentista seria a de transformar a estrutura produtiva, introduzindo setores mais dinâmicos do ponto de vista dos aumentos sistêmicos de produtividade e de fluxos de comércio e investimento internacionais - notadamente os setores intensivos em tecnologia e produtores de bens de capital. Cabe ressaltar, que esses elementos estão ausentes na política de exportações brasileira dos anos 90, que aceitava a estrutura existente e esperava que melhorias incrementais introduzidas nesta estrutura viessem a promover o grande salto exportador que o crescimento explosivo

das importações (11,3% ao ano no período 1990/95) tornava necessário. Ao longo da década de 90, houve diversas propostas acerca da adoção de uma política industrial mais efetiva, nos moldes da proposta pela agenda desenvolvimentista, porém não foram adotadas, prevalecendo assim uma lógica pautada na agenda liberal.

Apesar disso, a necessidade de uma política industrial mais eficiente, capaz de gerar crescimento precisava ser perseguida. Segundo as Diretrizes da Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE), a indústria é um componente essencial do desenvolvimento da economia. Diversificada, a indústria brasileira é uma das maiores e mais importantes entre os países em desenvolvimento. O diagnóstico expresso naquele documento, motivou o governo Lula a retomar a trajetória do desenvolvimento da economia brasileira.

A PITCE buscou no médio e no longo prazo promover o desenvolvimento de atividades-chave para que o Brasil aumentasse a sua competitividade no cenário internacional. Visando esse objetivo, esta política procurou valorizar recursos e produtos brasileiros para potencializar as exportações, promover a capacidade inovadora das empresas, fortalecer e incentivar os arranjos produtivos locais com o objetivo de promover o desenvolvimento regional, etc. Conforme as Diretrizes de Política Industrial e de Comércio Exterior (2006), as linhas de ação que serão consideradas pelo Governo Federal na implantação da PITCE são: inovação e desenvolvimento tecnológico, inserção externa, modernização industrial, capacidade e escala produtiva, opções estratégicas. Ficou evidenciado naquele documento que o Brasil precisa ampliar a sua capacidade de inovar para elevar a competitividade dos produtos que fabrica.

De acordo com as Diretrizes das PITCE as empresas de menor porte devem ter tratamento diferenciado em que, a organização industrial e a dinâmica da inovação e difusão de tecnologias determinam comportamentos empresariais diferenciados. Desta forma, a política para um setor intensivo em capital, estruturado por grandes empresas, não pode ser a mesma que para outro setor, intensivo em trabalho e caracterizado por pequenas empresas. De forma análoga, setores industriais que geram inovação não podem ser tratados da mesma forma que setores que são mais receptores de inovações geradas em outros segmentos produtivos. A dinâmica de cada processo é diferente, o que exige tratamento diferenciado (DIRETRIZES DE POLÍTICA INDUSTRIAL E DE COMÉRCIO EXTERIOR, 2009)

A definição dessa política deve estar focada em conduzir as empresas a atingir os padrões de competitividade internacional, que estão associados à capacidade de inovação das organizações. Neste sentido, em 2008 foi anunciada pelo governo Lula, a Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP) que dá embasamento à sua Política Industrial. Segundo Lourenço (2008) a PDP foi uma versão nova e ampliada da PITCE (que foi lançada em março de 2004). Nela estão presentes iniciativas já esboçadas desde o começo do primeiro mandato presidencial de Lula, particularmente no campo de desoneração tributária. A PDP busca um tratamento simultâneo da oferta e da

demanda, com incentivos ao investimento e aos avanços da tecnologia. Tratava-se de uma política ancorada na concessão de incentivos fiscais, mas sem a especificação adequada do papel a ser desempenhado pelas compras governamentais. Nessa política é possível perceber a retomada do Estado como indutor do desenvolvimento. Contudo, nota-se uma dualidade quanto às escolhas, manifesta na “definição de prioridades setoriais e a formulação e implementação de planos de maior abrangência.”

Cabe ressaltar que a política foi lançada quando o contexto econômico interno se apresentava favorável, ou seja, havia crédito em expansão, crescimento da demanda, investimento privado, redução do desemprego, redução das desigualdades, entre outros. Com a crise internacional, foram necessárias medidas anticíclicas para redução dos seus impactos, como por exemplo, o programa “Minha Casa, Minha Vida”. Como resultado da sua formulação adequada, a PDP obteve avanços ao ampliar os instrumentos utilizados nos setores contemplados. Além disso, foi capaz de aprofundar a capacidade de planejamento, coordenação e gestão da política (CANO E SILVA, 2010).

### **3 | INOVAÇÃO COMO ESTRATÉGIA DE DESENVOLVIMENTO**

A partir da década de 30 o Brasil passou por uma transformação estrutural nas suas bases produtivas. Entre 1950 e 1980 foi verificada taxa elevada de crescimento econômico e um êxodo rural que tornou a população urbana majoritária, bem como promoveu a ampliação dos setores industrial e de serviços. Essas mudanças fizeram emergir necessidades de se pensar em políticas para desenvolvimento produtivo e tecnológico que possam reduzir condicionalidades conjunturais e estruturais do país, com o objetivo de fortalecer a competitividade, a eficiência e a qualidade da indústria. Neste sentido, é preciso reduzir os gargalos de infraestrutura, bem como é necessário maior adensamento tecnológico das cadeias produtivas, alcançadas por meio do incremento na capacitação para a inovação e com investimentos em pesquisa e desenvolvimento - que permanecem em nível extremamente baixo, segundo dados da PINTEC/IBGE (GADELHA, 2016).

O Governo Dilma, por seu turno, propôs o Plano Brasil Maior (PBM) - lançado em 2011, como tentativa de dar continuidade e aprofundar as políticas industriais anteriores já citadas, a saber: a PITCE e o Plano de Desenvolvimento Produtivo (PDP). O PBM traçou um panorama geral de ações que envolveu diversos Ministérios e agências federais, que são coordenados pelo Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC). Ele se propunha a realizar medidas tanto sistêmicas quanto setoriais: as primeiras envolviam ações horizontais para redução de custos, aumento de produtividade e defesa comercial e as últimas selecionavam setores, deliberativamente, por conselhos setoriais. As últimas incluem medidas diversas específicas aos setores selecionados (MENEZES FILHO et al, 2014).

O desempenho inovativo depende da articulação entre empresas, organizações

de ensino e pesquisa e incentivos do Estado. Além disso, a interação entre esses agentes é fundamental para definição de políticas que afetam o desenvolvimento dos sistemas, por isso a inovação é “um fenômeno sistêmico e interativo, caracterizado por diferentes tipos de cooperação” (CASSIOLATO E LATRES, 2005).

À luz da abordagem evolucionista se identifica uma relação entre hiato tecnológico e competitividade das indústrias. Neste particular, a política industrial cumpre um papel de apoiar a acumulação das competências tecnológicas, o *catching up* tecnológico e a constituição de diferenciais competitivos internacionais em determinadas áreas. Cabe destacar, que a competitividade pode ser entendida como a capacidade de concorrer, a qual pode ser visualizada por intermédio da participação crescente das exportações nos mercados internacionais de produtos dinâmicos. As indústrias fabricantes destes bens são caracterizadas pela busca constante por inovação, por fomento da capacitação tecnológica, a qual deve constituir a orientação central da política industrial (MELO, FUCIDJI, POSSAS, 2015).

A política industrial, então, pode ser entendida para além da internalização de setores ausentes na matriz industrial e incentivos para os já instalados, mas, principalmente, como o direcionamento dos investimentos para instalação de mecanismos específicos voltados ao desenvolvimento tecnológico. O objetivo é reduzir divergências competitivas, de modo a promover o emparelhamento tecnológico com países desenvolvidos. Se avaliarmos pela perspectiva evolucionista, iremos considerar, com inspiração schumpeterinana, o progresso técnico como motor de desenvolvimento em uma economia capitalista. Por isso, é necessário em uma economia em desenvolvimento, como a brasileira, maior dinamismo tecnológico, com expansão dos setores industriais nacionais para além da fronteira tecnológica (MELO, FUCIDJI, POSSAS, 2015).

Os dados sobre inovação no Brasil mostram que o investimento produtivo, que fomenta a demanda nacional, é necessário para manter o crescimento de forma sustentada, ou seja, reduzir a dependência e vinculação com a financeirização, desindustrialização e retrocessos de cunho social. Em retrospectiva, percebe-se que em 1980 a formação Bruta de Capital (Formação Bruta de Capital Fixo + Variação de Estoque) em proporção ao PIB foi de 25% (GADELHA 2016).

À análise do gráfico 1 abaixo permite identificar que a partir de 2013 há uma queda, significativa, da Formação de Capital Fixo, que caiu de 22%, em 2013, para 17% em 2016.

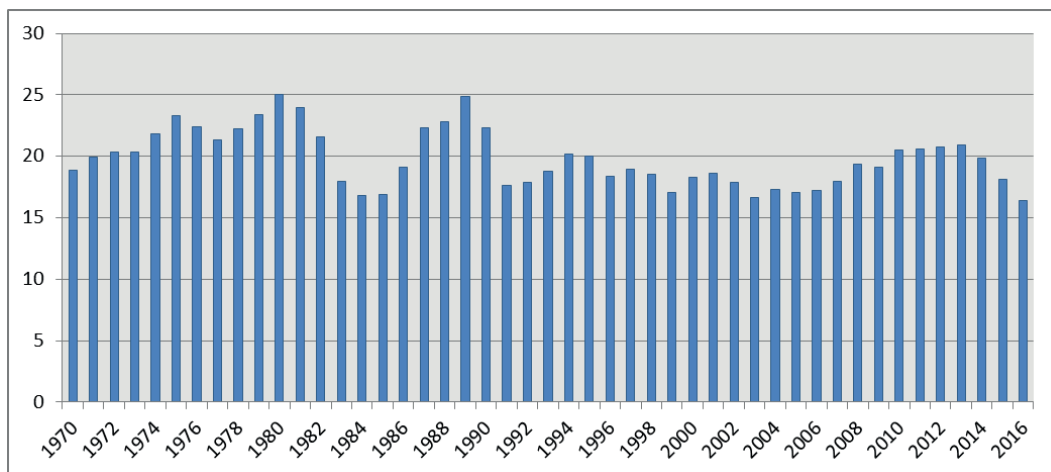


Gráfico 1: Formação de Capital Fixo – Período 1970 a 2016

Fonte: SECEX/MDIC. Disponível em: [http://unctadstat.unctad.org/wds/ReportFolders/reportFolders.aspx?sCS\\_ChosenLang=en](http://unctadstat.unctad.org/wds/ReportFolders/reportFolders.aspx?sCS_ChosenLang=en). Elaboração: própria.

A política industrial deve promover investimentos ligados à principalmente: i) programas que promovam o desenvolvimento do mercado interno; ii) ações que possibilitem a inclusão ou exclusão da população dos frutos do progresso técnico e iii) o aumento da competitividade externa, dentre outros. Ademais, o problema da competitividade internacional está concentrado no segmento de maior valor agregado (os manufaturados), e isso tem haver com a forma em que são utilizados os fatores internos, como o padrão de especialização produtiva e com fatores externos, como a entrada de novos competidores fortes como a China nos mercados que possuem maior valor agregado (GADELHA, 2016). Observa-se no gráfico 2 que o Brasil vem perdendo competitividade relacionada aos segmentos de alta e média tecnologia, o que constitui um dado agravante devido à importância do desenvolvimento tecnológico para a nação.

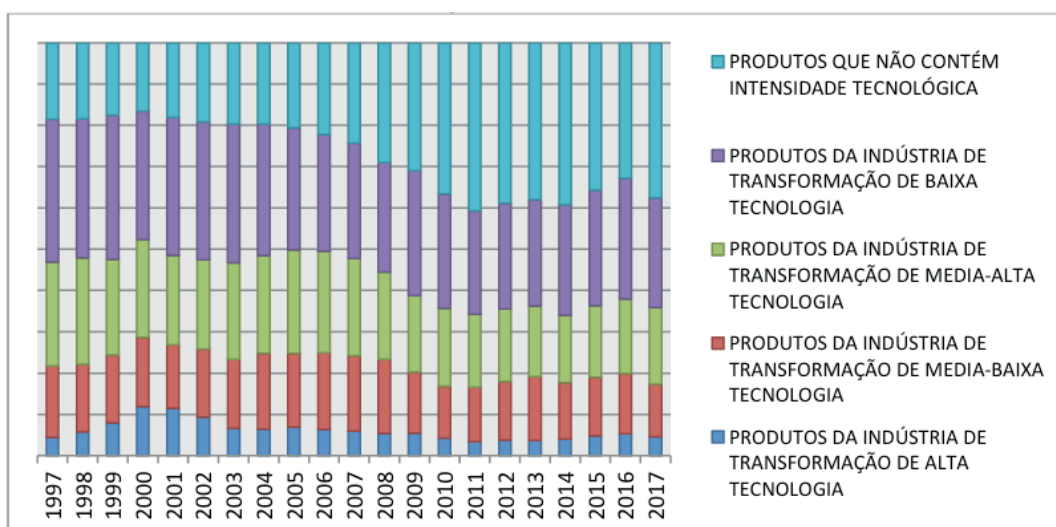


Gráfico 2: Produtos da Indústria de Transformação por Intensidade Tecnológica (US\$ milhões FOB)

Fonte: SECEX/MDIC. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/comercio-exterior/estatisticas-de-comercio-exterior/series-historicas>. Elaboração: própria.

Ao longo dos anos 2000 até meados de 2015 a economia brasileira presenciou transformações relevantes como as políticas de inclusão social, melhoria de distribuição de renda e estruturação do mercado de trabalho. Contudo, continua com desempenho competitivo insatisfatório quando analisado da perspectiva da estrutura produtiva e isso é em grande medida consequência da predominância em atividades ligadas à commodities, que possuem baixo valor agregado em contraste com atividades relacionadas às manufaturas que são compostas por alto valor agregado (CASSIOLATO E SZAPIRO, 2015).

De acordo com Alvarenga et al (2012), há três vias pelas quais o governo pode atuar em relação ao processo inovativo. Em primeiro lugar, ele pode estimular a realizar investimentos em infraestrutura básica de CT&I, com a formação de mão-de-obra e construção de laboratórios e estruturas de apoio à inovação. O segundo tipo de atuação seria de apoio indireto via incentivos fiscais, para a redução do custo de realização de P&D. O governo pode ainda realizar políticas de apoio direto, com medidas como subvenção direta às empresas, créditos com juros reduzidos e condições favoráveis e recursos não reembolsáveis para parcerias com instituições de pesquisa públicas ou sem fins lucrativos (MENEZES FILHO et al, 2014).

#### **4 | CONCLUSÃO**

Neste trabalho, foram abordadas diferentes políticas e programas de desenvolvimento e promoção da competitividade industrial, os quais objetivavam mitigar os pontos de estrangulamentos que dificultam o desenvolvimento econômico e industrial do país. Por isso, faz-se necessário estimular a modernização das empresas, baseada em esforços próprios de inovação, com o objetivo de potencializar o crescimento e a mudança estrutural da economia brasileira. Nesta lógica, este trabalho buscou salientar o debate acerca da política industrial e a sua evolução histórica, com destaque para a importância do incentivo ao processo inovativo.

No Brasil, a política de ciência, tecnologia e inovação foi ampla a partir de meados da década de 1970, tanto em termos de recursos quanto de instrumentos empregados. Foram implementadas políticas de apoio às atividades científicas e de P&D, mesmo que, essencialmente, voltadas à absorção de tecnologias importadas. Entretanto, nas últimas três décadas verificou-se um baixo dinamismo econômico (com exceção de curtos períodos de tempo), manifesto na redução da importância relativa da indústria de transformação, com desdobramentos importantes na trajetória de capacitação tecnológica. No período recente o país não avançou, significativamente, no processo de emparelhamento tecnológico.

Apesar da intensa e precoce diminuição da participação da indústria no produto interno bruto, a política industrial está sob a ameaça no Brasil. Ela foi associada às políticas anticíclicas recentes e enfrenta a velha polarização entre políticas verticais e horizontais. No entanto, na verdade, as políticas de natureza microeconômicas

devem estar associadas a um regime macroeconômico consistente, que mantenha a estabilidade monetária e fiscal, taxas de câmbio reais competitivas para a indústria, taxas de juros reais inferiores à média da rentabilidade industrial no país, bem como a taxas de salários que cresçam em conformidade com crescimento da produtividade.

É preciso criar novos padrões de intervenção no tecido industrial, que sejam embasados em uma visão de desenvolvimento sistêmica e estrutura, capazes de envolver elementos transversais combinados com estratégias seletivas. O fito destas ações estatais seria adensar e dinamizar a matriz produtiva do país, com vistas a promover o emparelhamento tecnológico e o desenvolvimento socioeconômico do país. Neste sentido, a institucionalidade da política industrial, quando bem desenhada e implementada, adquire caráter estratégico ao promover o desenvolvimento econômico de um país. Um dos aspectos centrais dessa política deve ser a coordenação e a execução de iniciativas públicas e privadas com objetivos convergentes. É preciso incentivar a realização de esforços de P&D e depósito de patentes como resultado da capacitação científica e tecnológica dos agentes (públicos e privados) envolvidos com a inovação, de modo a materializar o progresso técnico do país. Cabe lembrar que os países avançados contaram com políticas industriais efetivas, que induziram os agentes produtivos a investir em atividades que fomentem a inovação como alternativa para lidar com o ambiente econômico global competitivo e repleto de incertezas.

Por fim, cumpre notar que a política industrial ativa é um mecanismo utilizado para a superação de entraves ao crescimento industrial, bem como para potencializar a competitividade e o desenvolvimento econômico. Neste particular o Estado pode empregar uma gama de instrumentos para viabilizar tais políticas, quais sejam: exigência de conteúdo local mínimo, isenções fiscais, crédito facilitado e de longo prazo, subsídios, investimentos em infraestrutura, subvenções e incentivos aos processos de inovação e de desenvolvimento tecnológico, que envolvem incertezas significativas. Neste particular, os investimentos públicos são necessários para o desenvolvimento das empresas e do país. É imprescindível que o Estado intervenha e confira o direcionamento adequado para as políticas públicas, a fim de promover um padrão de desenvolvimento industrial que inclua na sua pauta de incentivos apropriados aos agentes privados. Por outro lado, a falta de articulação entre o plano micro e o macroeconômico é desastrosa e impede que os instrumentos de política industrial alcancem os efeitos esperados.

## REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, William Guimarães. Livros do Nosso Interesse. Disponível em <<http://web.observatoriodasmetrololes.net>>. Acesso em 27/07/2009.

ARRANJOS PRODUTIVOS LOCAIS. Disponível em <[www.mdic.gov.br](http://www.mdic.gov.br)> Acesso em 15/07/2017.

ARRUDA CORONEL, Daniel; DE AZEVEDO, André Filipe Zago; CARVALHO CAMPOS, ANTÔNIO.



Política industrial e desenvolvimento econômico: a reatualização de um debate histórico. **Brazilian Journal of Political Economy/Revista de Economia Política**, v. 34, n. 1, 2014.

BASTIAN, Eduardo F. O PAEG e o plano trienal: uma análise comparativa de suas políticas de estabilização de curto prazo. **Estudos Econômicos (São Paulo)**, v. 43, n. 1, p. 139-166, 2013.

BOTELHO, M. R. A., **Políticas de Apoio às pequenas Empresas Industriais no Brasil: uma avaliação a partir da experiência internacional**. Tese de Doutorado, IE/UNICAMP, Campinas, 1999.

CANO, Wilson; SILVA, Ana Lucia G. Política industrial do governo Lula. **MAGALHÃES et al. Os**, 2010.

CASSIOLATO, Jose Eduardo; SZAPIRO, Marina Honorio de Souza. **Os dilemas da política industrial e de inovação: os problemas da Região Sudeste são os do Brasil**. BNDES, Rio de Janeiro, 2015.

COSTA, C.A.N. **Política Industrial no Brasil 1974-1989**. Campinas: 1994.

DIRETRIZES DE POLÍTICA INDUSTRIAL E DE COMÉRCIO EXTERIOR, 2006; Disponível em <[www.inovacao.unicamp.br/politicact/diretrizes-pi-031212.pdf](http://www.inovacao.unicamp.br/politicact/diretrizes-pi-031212.pdf)> acesso em 25/10/2009.

ERBER, Fabio; CASSIOLATO, José Eduardo. **Política Industrial: teoria prática no Brasil e na OCDE**, Revista de Economia Política, vol. 17, nº 2 (66), abril-junho/ 1997.

FERRAZ, João Carlos; DE PAULA, Germano Mendes; KUPFER, David. Política industrial. In: **Economia industrial**. Elsevier Editora Ltda., 2013. p. 313-323.

GADELHA, C. Política industrial, desenvolvimento e os grandes desafios nacionais. **Lastres HMM, Cassiolato JE, Laplane G, Sarti F, organizadores. O futuro do desenvolvimento. Campinas: Editora Unicamp**, p. 215-351, 2016.

GADELHA, Carlos Augusto Grabois et al. **Estado e inovação: uma perspectiva evolucionista**. Revista de Economia Contemporânea 2002; 6:85-117.

GIAMBIAGI, Fabio; VILLELA, André Arruda. **Economia brasileira contemporânea**. Elsevier Brasil, 2005

GUIMARÃES, Eduardo Augusto; **A Experiência Recente da Política Industrial no Brasil: Uma Avaliação**. Abril de 1996.

LOURENÇO, Gilmar Mendes. **A política industrial do governo Lula**. Análise Conjuntural, v.30, n.5-6, maio/jun. 2008

MELO, Tatiana Massaroli; FUCIDJI, José Ricardo; POSSAS, Mario Luiz. Política industrial como política de inovação: notas sobre hiato tecnológico, políticas, recursos e atividades inovativas no Brasil. **Revista Brasileira de Inovação**, v. 14, p. 11-36, 2015.

MENEZES FILHO, Naercio et al. Políticas de Inovação no Brasil. **Policy Paper**, n. 11, 2014.

SUZIGAN, Wilson. Estado e industrialização no Brasil. **Revista de Economia Política**, v. 8, n. 4, p. 5-16, 1988.

## GOVERNANÇA, RESPONSABILIDADE SOCIAL E SUSTENTABILIDADE: ENTENDENDO OS FENÔMENOS DE GESTÃO ORGANIZACIONAL

**Leonardo Petrilli**

Universidade Federal Rural da Amazônia  
Parauapebas – PA

**Denize Valéria dos Santos Baia**

Universidade Federal Rural da Amazônia  
Parauapebas – PA

**Juliana Fernanda Monteiro de Souza**

Universidade Federal Rural da Amazônia  
Parauapebas – PA

**RESUMO:** A responsabilidade social, a sustentabilidade empresarial e a Governança corporativa são desdobramentos da atividade organizacional e proporcionam a interação entre organizações e sociedade. O entendimento inicial sobre responsabilidade social, na década de 1950, colocava a eficiência econômica das empresas como questão central para o conceito, delimitando à responsabilidade para com os acionistas. Anos mais tarde, o conceito recebeu novas contribuições teóricas que ampliaram o seu escopo. Na década de 2000, a sustentabilidade passa a ganhar relevância e deixa de estar atrelada apenas à esfera ambiental. Na evolução dos fenômenos é possível perceber características comuns aos dois conceitos e a difusão da sustentabilidade se sobrepondo à responsabilidade social. A governança corporativa surge como um mecanismo necessário de legitimação

e asseguuração empresarial, frente aos investidores e acionistas e também pode ser caracterizado como um fenômeno moderno de gestão, que é propiciado por forças de coerção da sociedade e partes interessadas. A pesquisa tem o objetivo de evidenciar a delimitação dos fenômenos e observar o escopo do entendimento teórico de cada um. Para tal, realizou-se uma revisão da literatura. Os resultados da discussão teórica apontam que a responsabilidade social vem sendo tratado conjuntamente com a sustentabilidade. O entendimento deste último, mais antigamente, era voltado à ações ambientais. Conclui-se que a sustentabilidade assumiu maior importância nos últimos anos, demonstrado pela teoria e através da apropriação do fenômeno pelas organizações, assim como, verificou que ambos os fenômenos possuem forças de legitimação e ganharam destaque muito recentemente no Brasil.

**PALAVRAS-CHAVE:** Responsabilidade Social; Sustentabilidade; Governança Corporativa; Fenômenos Organizacionais.

GOVERNANCE, SOCIAL RESPONSIBILITY  
AND SUSTAINABILITY: UNDERSTANDING  
ORGANIZATIONAL MANAGEMENT  
PHENOMENA

**ABSTRACT:** Social responsibility, corporate

sustainability and corporate governance are consequences of organizational activity and provide interaction between organizations and society. The initial understanding of social responsibility in the 1950s posed the economic efficiency of companies as central to the concept, limiting accountability to shareholders. Years later, the concept received new theoretical contributions that broadened its scope. In the 2000s, sustainability is gaining relevance and is no longer linked only to the environmental sphere. In the evolution of the phenomena it is possible to perceive characteristics common to both concepts and the diffusion of sustainability overlapping social responsibility. Corporate governance emerges as a necessary mechanism for corporate legitimacy and assurance, vis-à-vis investors and shareholders, and can also be characterized as a modern management phenomenon, which is provided by coercive forces from society and stakeholders. The research aims to highlight the delimitation of phenomena and observe the scope of the theoretical understanding of each. To this end, a literature review was performed. The results of the theoretical discussion indicate that social responsibility has been treated in conjunction with sustainability. The understanding of the latter, formerly, was focused on environmental actions. It is concluded that sustainability has become more important in recent years, demonstrated by theory and through the appropriation of the phenomenon by organizations, as well as verified that both phenomena have legitimation forces and have gained prominence very recently in Brazil.

**KEYWORDS:** Social responsibility; Sustainability; Corporate governance; Organizational Phenomena.

## 1 | INTRODUÇÃO

A responsabilidade social é um fenômeno que começou a surgir nos anos 1960, nos Estados Unidos e, desde então, se difundiu para outros países e foi adotada por inúmeras empresas, visto sua capacidade de comunicar ao mercado as ações de natureza social realizadas pelas organizações (TEIXEIRA, 2004). No Brasil, segundo Machado Filho (2006) a responsabilidade social começou a ser valorizada e ganhou forte impulso na década de 1990, por meio da ação de entidades não governamentais, institutos de pesquisa e empresas sensibilizadas para a questão.

As empresas perceberam o potencial de melhora da imagem institucional que essas ações possuem. A responsabilidade social encorajou mudanças no discurso empresarial. Nas últimas décadas, houve uma grande divulgação de iniciativas nessa área, o que, para alguns autores, configura uma prática de *marketing* social (OLIVEIRA, 2008). Os compromissos assumidos em função da responsabilidade social podem sinalizar a empresa como alvo de investimentos (KING 2008).

Além da imagem, para as organizações efetivamente interessadas, a responsabilidade social pode ajudá-las a se aproximar do seu público e da sociedade, ao considerar as demandas das comunidades do entorno e da sociedade em geral (FREEMAN, 1984; ASHLEY, 2005). Respondendo positivamente a essas demandas, a

organização mostra que não está preocupada apenas com a questão financeira e com os interesses de seus acionistas. As empresas percebem que há uma pressão para agirem dentro de padrões éticos e sustentáveis com seus públicos interno e externo, avaliando o seu desempenho socioambiental em suas estratégias e comunicando os investimentos que realiza nesse campo. Para Carroll e Hoy (1984), o processo de construção estratégica é incompleto sem a inclusão da Responsabilidade Social.

Nos últimos anos, um dos eixos da responsabilidade social, a questão ambiental, começou a ganhar mais destaque, assim como a divulgação de práticas de sustentabilidade, o que também tem se refletido nas publicações acadêmicas, como pode ser observado no levantamento bibliográfico apresentado adiante. Este indica um aumento na disseminação das práticas de sustentabilidade que não vem mais sendo observado nas práticas de responsabilidade social.

John Elkington (2004), pioneiro do tema, defende a ideia do *triple bottom line*, o “tripé” da sustentabilidade, segundo o qual uma organização deve ter resultados satisfatórios nas três esferas: econômica, social e ambiental. De acordo com essa formulação, a preocupação social está contida dentro do tema da sustentabilidade.

Bondy (2009) lembra que, em alguns casos, as organizações apenas refletem as expectativas da sociedade, sem um interesse autêntico em mudar suas práticas operacionais, dando origem ao que o autor chama de respostas desacopladas (*decoupled responses*). O engajamento das organizações em ações de responsabilidade social e sustentabilidade é alvo frequente de questionamentos sobre a veracidade dos seus esforços, devido aos ganhos de reputação e imagem que estas ações podem proporcionar. É o tipo de engajamento “pra inglês ver”, como apontam Caldas e Wood Jr. (2007).

Para Quelhas e Arruda (2010), o tema da Governança Corporativa surge como um dos mecanismos diante da ampliação do debate em torno do tema Sustentabilidade, no qual grandes empresas vêm se mobilizando na busca do alinhamento de suas práticas com valores socioambientais mais justos, promovendo uma abordagem de negócio onde se cria valor de longo prazo para o acionista.

A pesquisa contempla, a partir de uma revisão da literatura, os fenômenos centrais e contemporâneos de gestão organizacional, os quais permitem que a empresa estabeleça uma comunicação com os seus públicos. A responsabilidade social, a sustentabilidade empresarial e a governança corporativa diferenciam entre si pela abordagem e objeto central, mas convergem em seus objetivos: de resposta às partes interessadas.

## 2 | RESPONSABILIDADE SOCIAL

As preocupações com a responsabilidade social surgiram a partir da década de 1960, nos Estados Unidos, e em meados da década de 1970, na Europa. Gjolberg

(2010) lembra o compromisso da Europa com a responsabilidade social implícita, que incluem um extensivo Estado de bem estar social (*Welfare State*), fortes arranjos neocorporativistas e uma cultura política de participação. A presença de um extenso Estado de bem estar social deve conduzir a um compromisso mais forte com a responsabilidade social (GJØLBERG, 2010).

No Brasil, a responsabilidade social começou a ser valorizada e ganhou forte impulso na década de 1990, por meio da ação de organizações não governamentais (ONGs), institutos de pesquisa e empresas sensibilizadas para a questão. Machado Filho (2006) diz que o processo de redemocratização e a emergência da sociedade civil desde 1988 contribuíram para a mudança na conduta das organizações no Brasil. De acordo com Tenório (2006), a responsabilidade social tende a ganhar força quando a sociedade se mobiliza e pressiona governo e empresas para encontrarem uma solução para os problemas gerados pela sua atuação. Alledi Filho et al. (2013) ressaltam a pressão sobre as empresas para que estas estejam mais abertas e transparentes em sua relação com a sociedade.

Até a década de 1950, a responsabilidade social assumia uma dimensão estritamente econômica, sendo entendida como a capacidade empresarial de geração de lucros, criação de empregos, pagamento de impostos e cumprimento das obrigações legais (TENÓRIO, 2006). Bowen (1953) lembra que, nessa época, a visão do conceito era voltada às responsabilidades dos homens de negócio, questionando quais responsabilidades deveriam ser esperadas deles.

Um dos mais citados representantes dessa visão, o economista Milton Friedman (1970), dizia que a única responsabilidade social das empresas era gerar lucro para seus acionistas, dentro das regras sociais (leis), como fica claro no trecho a seguir:

“A responsabilidade social da empresa consiste em aumentar seus próprios lucros [...]. Será que os administradores - desde que permaneçam dentro da lei - possuem outras responsabilidades no exercício de suas funções além daquela que é aumentar o capital dos acionistas? Minha resposta é não, eles não têm” (FRIEDMAN, 1970, p.33).

Ainda na década de 1950, os tribunais de Nova Jersey deram ganho favorável aos diretores de uma indústria que queriam fazer uma doação de recursos a uma universidade, contrariando seus acionistas. Essa ação foi determinante para o reconhecimento de que as organizações podem agir também pela sociedade e não somente pelos seus acionistas. Dessa forma, a filantropia corporativa passou a ser reconhecida como lei (ASHLEY, 2005).

Lim e Tsutsui (2011) lembram que os esforços para institucionalizar a normas mundiais de responsabilidade social datam do início dos anos 1970. A Organização das Nações Unidas (ONU) estabeleceu o Centro de Empresas Transnacionais em 1974; a Organização para a Cooperação Econômica e Desenvolvimento (OCDE) teve suas diretrizes para empresas multinacionais aprovadas em 1976; e a Organização

Internacional do Trabalho (OIT) adotou a declaração de princípios sobre as empresas multinacionais e política social em 1977 (LIM e TSUTSUI, 2011).

Carroll (1979), um dos autores clássicos sobre o tema, insere o valor de ética e a prática de filantropia na definição do conceito, ressaltando que as empresas deveriam ter outras obrigações além das financeiras, pois, segundo o autor, a responsabilidade social engloba a totalidade de obrigações empresariais junto à sociedade. O autor divide a responsabilidade social em: responsabilidade econômica, legal, ética e discricionária, como é representada na Figura 1.

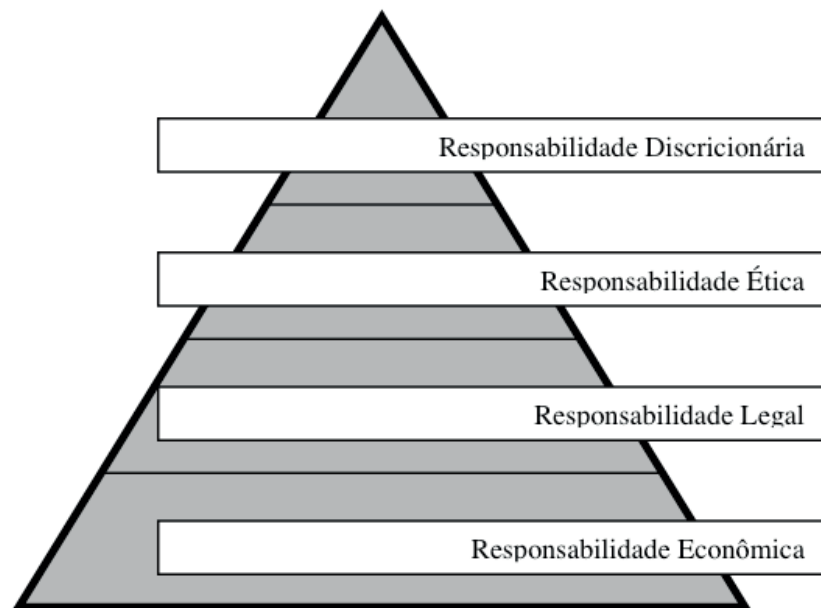


Figura 1 – Modelo Piramidal de Responsabilidade Social

Fonte: Adaptado de Carroll (1979).

A base da pirâmide refere-se aos lucros e ganhos financeiros de uma empresa, o qual Carroll esclarece que o motivo do lucro é historicamente a razão do empreendedorismo. Sobre a camada seguinte, chamada de “responsabilidade legal”, o autor ressalta que cumprir os aspectos legais, como leis e regulamentos impostos pelos governos à atividade empresarial é uma condição para a empresas existir e funciona como o cumprimento de um “contrato social” entre empresas e sociedade. Carroll coloca ainda as questões éticas em coexistência com a responsabilidade econômica, e ambas constituem preceitos fundamentais de um sistema de empresa.

O autor do modelo ressalta ainda que mais recentemente as questões éticas e filantrópicas conseguiram um lugar significativo na concepção de responsabilidade social para as empresas. As responsabilidades éticas, segundo Carroll (1979) incorporam as normas estabelecidas pelo âmbito econômico e legal como base para a preocupação com o consumidor, funcionários e acionistas e outros públicos da empresa, preocupando-se com o respeito e proteção a esses *stakeholders*. O movimento de ética nos negócios nas décadas de 1970 e 1980 estabeleceu a ética como um componente legítimo da responsabilidade social.

O Quadro 1 apresenta os componentes econômicos e legais da responsabilidade social que são considerados por Carroll na elaboração do seu modelo piramidal. Estes componentes estão agrupados, pois o autor lembra que eles são coexistentes.

<b>Componentes Econômicos</b>	<b>Componentes Legais</b>
1. Operar de maneira consistente com a maximização do lucro e compartilhamento	1. Operar de maneira consistente com a expectativa do governo e leis
2. Estabelecer o compromisso de ser o mais rentável possível	2. Obedecer as regulamentações federais, estaduais e locais
3. É importante manter uma forte posição competitiva	3. Ser uma empresa cidadã cumpridora da lei
4. Manter um alto nível de eficiência operacional	4. Uma empresa bem sucedida está associada àquela que cumpre suas obrigações legais
5. Uma empresa bem sucedida deve ser definida como aquela que tem uma rentabilidade consistente	5. Fornecer bens e serviços que cumpram minimamente os requisitos legais

Quadro 1 - Componentes Econômicos e Legais da Responsabilidade Social

Fonte: Adaptado de Carroll (1991), p. 05

O Quadro 2 agrupa os componentes éticos e filantrópicos que devem ser considerados pelas empresas para estabelecer os níveis de responsabilidade ética e discricionária, ou filantrópica da pirâmide de responsabilidade social.

<b>Componentes Éticos</b>	<b>Componentes Filantrópicos</b>
1. Operar de acordo com as expectativas da sociedade, costumes e normas éticas	1. É importante operar de acordo com as expectativas filantrópicas e de caridade da sociedade
2. Conhecer e respeitar as novas normas éticas e morais adotadas pela sociedade e aquelas que estão em evolução	2. Deve-se assistir às artes performáticas
3. Evitar que as normas éticas sejam comprometidas a fim de alcançar metas operacionais	3. É importante que gestores e funcionários participem de atividades voluntárias e de caridade em comunidades locais
4. A boa cidadania corporativa deve ser definida como fazer o que é esperado eticamente ou moralmente	4. Prestar assistência às instituições de ensino privadas e públicas
5. Reconhecer que a integridade corporativa e comportamento ético vão além do cumprimento de leis e regulamentos	5. Auxiliar voluntariamente projetos que melhorem a qualidade de vida das comunidades

Quadro 2 - Componentes Éticos e Filantrópicos da Responsabilidade Social

Fonte: Adaptado de Carroll (1991), p. 07

Desde então, seguindo a linha de Carroll, vários outros autores têm defendido um conceito que diverge do proposto por Friedman, ampliando ainda mais o escopo da responsabilidade social, inserindo a preocupação com todos que são afetados pelas

atividades das organizações, os chamados *stakeholders*. Tenório (2006) ressalta como “a orientação do negócio visando atender apenas aos interesses dos acionistas torna-se insuficiente, sendo necessária a incorporação de objetivos sociais” (p.20), integrando as empresas à sociedade.

Pensando na responsabilidade social nos moldes mais atuais, Tenório (2006) esclarece que a fase contemporânea da responsabilidade social está associada aos valores requeridos pela sociedade pós-industrial:

“Nessa nova concepção do conceito, há o entendimento de que as companhias estão inseridas em um ambiente complexo, onde suas atividades influenciam ou têm impacto sobre diversos agentes sociais, comunidade e sociedade” (p.20).

Segundo o Business for Social Responsibility (BSR) sediado nos Estados Unidos:

“O conceito de empresa socialmente responsável se aplicará àquela que atue no ambiente de negócios de forma que atinja ou exceda as expectativas éticas, legais e comerciais do ambiente social na qual a empresa se insere” (BSR, 2015, s.p.).

Essa visão contemporânea e bastante difundida opõe-se à visão utilitarista observada nas correntes econômicas do passado. Este ponto de vista aponta que os *stakeholders*, ou seja, os diferentes atores sociais que interagem com a empresa, também devem ser considerados nos programas de responsabilidade social, sejam eles internos, como funcionários, ou externos como fornecedores, clientes, parceiros, dentre outros.

### 3 | SUSTENTABILIDADE

Segundo DesJardins (1998), durante os anos de 1990, foi estabelecida uma ligação entre os conceitos de responsabilidade social e o desenvolvimento sustentável, que antes eram tratados de maneira separada. De acordo com Keijzers (2002), antes, a responsabilidade social referia-se à questões sociais e direitos humanos e a sustentabilidade apenas à questão ambiental. Lehtonen (2004) sinaliza que alguns pesquisadores consideram a sustentabilidade corporativa e a responsabilidade social como equivalentes.

Para Quelhas, Alledi Filho e Meirinõ (2007) todas as inquietações desenvolvidas no campo ambiental encontram paralelo no campo social.

Segundo Alledi (2002) apud Quelhas, Alledi Filho e Meirinõ (2007) a Sustentabilidade e a Responsabilidade Social são conceitos intimamente relacionados: a responsabilidade social tem como objetivo básico promover o bem-estar dos diversos públicos de uma organização e a sustentabilidade tem como regra fundamental o uso responsável dos fatores ambientais, sociais e econômico-financeiros.

Para Montiel (2008), apesar da abrangência das questões sociais e ambientais,



alguns gerentes podem continuar confusos sobre o significado de responsabilidade social ou de sustentabilidade. Definições e construções essenciais para a Responsabilidade Social e Sustentabilidade têm proliferado durante a última década, e isso só contribui para a incerteza dos gerentes. O conceito de Responsabilidade Social que integra dimensões ambientais e a tripla conceituação de Sustentabilidade que incorpora dimensões econômicas, sociais e ambientais são muito semelhantes (MONTIEL, 2008).

A sustentabilidade empresarial, segundo Coral, Rossetto e Selig (2003) considera três variáveis relacionadas ao desenvolvimento sustentável que engloba três princípios básicos: equidade social, crescimento econômico e equilíbrio ambiental. É a ideia do *triple bottom line*, o “tripé” da sustentabilidade, que defende a consideração dos aspectos sociais e ambientais e não apenas do econômico para o desenvolvimento (ELKINGTON, 2004).

O desenvolvimento sustentável, segundo Alledi Filho e Quelhas (2007) teve o seu conceito clássico apresentado em 1987 pela Comissão Mundial sobre meio ambiente e desenvolvimento da ONU, presidida pela ex-primeira ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland.

Para Alledi Filho e Meirinõ (2007) a sociedade vem percebendo que uma parcela das responsabilidades ambientais e sociais cabe às organizações. Além disso, os impactos negativos consequentes ao processo produtivo não podem ser simplesmente exteriorizados por elas.

O relatório *Brundtland* concluiu ser necessário um novo tipo de desenvolvimento, capaz de manter o progresso humano não apenas em alguns lugares e por alguns anos, mas em todo o planeta e por um futuro longínquo. Assim, o desenvolvimento sustentável é um objetivo a ser alcançado não só pelas nações em desenvolvimento, mas também pelas industrializadas (ONU, 1987, p.4).

Segundo Alledi Filho e Meirinõ (2007), a sociedade como um todo vem gradativamente ampliando a importância das responsabilidades social e ambiental atreladas aos processos produtivos de bens e serviços. Todo o movimento em prol da formulação de modelos de desenvolvimento mais equilibrados, capazes de viabilizar uma relação harmônica entre os fatores econômicos, sociais e ambientais vem se potencializando nos últimos anos.

O conceito de sustentabilidade parece estar fortemente relacionado à melhoria de processos, práticas e adoção de padrões na gestão das organizações que conseguem manter os seus resultados financeiros, está permanentemente engajada em soluções sociais e na busca pela proteção de recursos naturais (DELAI e TAKAHASHI, 2011).

Zhu e Sarkis (2004) observam que as empresas adotam práticas de gestão ambiental para melhorar seu desempenho. O surgimento de *rankings* de sustentabilidade e indicadores de responsabilidade social durante as últimas décadas impulsionou muitas empresas a começarem a medir e relatar seus resultados para

que todos pudessem ver (KIRON et al, 2012). Segundo Delai e Takahashi (2011), deve-se mensurar a sustentabilidade para considerá-la na tomada de decisão em todos os níveis organizacionais.

O surgimento de publicações como balanços sociais, relatórios de sustentabilidade e outros tipos de documentos elaborados por organizações da área também evidenciam o aumento da importância atribuída ao tema. Uma organização que atua internacionalmente em padronização e asseguarção de informações em relatórios dessa natureza é o Global Reporting Initiative (GRI). É observada uma crescente adoção de seus parâmetros para garantir consistência e confiabilidade aos relatórios de sustentabilidade.

Segundo Alledi Filho e Meirinõ (2007), as organizações brasileiras devem estar cientes da importância do Brasil no novo cenário mundial traçado para o desenvolvimento sustentável, em função de sua biodiversidade e da extensão do seu território.

#### **4 | GOVERNANÇA CORPORATIVA**

Para Quelhas e Arruda (2010), o tema da Governança Corporativa surge como um dos mecanismos diante da ampliação do debate em torno do tema Sustentabilidade, no qual grandes empresas vêm se mobilizando na busca do alinhamento de suas práticas com valores socioambientais mais justos, promovendo uma abordagem de negócio onde se cria valor de longo prazo para o acionista.

Ocasio e Joseph (2005) apontam que, no final da década de 1970, a Assembléia Americana lançou um livro sobre o conceito de Governança Corporativa, em que destaca que o conceito “está relacionado às necessidades e expectativas dos acionistas e outros interessados”. O tema virou uma “consciência nacional” após escândalos financeiros de grandes organizações na década de 80 nos Estados Unidos como a Enron e Worldcom (OCASIO e JOSEPH, 2005). A partir disso, acionistas de grandes empresas passaram a solicitar uma política de regulação do governo, fazendo pressão para a adoção de um meio de controle e aferição das ações das empresas.

No Brasil, segundo Quelhas e Arruda (2010), a partir da década de 1980 estabeleceu-se regras do jogo para a governança nacional condicionada a critérios, ainda que superficiais, de sustentabilidade. Ainda de acordo com Quelhas e Arruda (2010), diante da ampliação do debate em torno do tema Sustentabilidade, grandes empresas vêm se mobilizando na busca do alinhamento de suas práticas com valores socioambientais mais justos, promovendo uma abordagem de negócio onde se cria valor de longo prazo para o acionista

O IBGC (Instituto Brasileiro de Governança Corporativa) foi criado em 1995 no Brasil e é o órgão responsável pela difusão destas práticas no país. Para o instituto, a governança corporativa é definida da seguinte forma:

“Governança corporativa é o sistema pelo qual as empresas e demais organizações são dirigidas, monitoradas e incentivadas, envolvendo os relacionamentos entre sócios, conselho de administração, diretoria, órgãos de fiscalização e controle e demais partes interessadas”. (IBGC, 2016).

Sartore (2006) afirma que, ao contribuir para a perenidade da sociedade, a governança corporativa se insere no conceito de sustentabilidade, no qual ainda de acordo com a autora, também se insere a responsabilidade social. A governança e a responsabilidade social possuem em comum o objetivo de garantir a sobrevivência da empresa, só que a governança tem o objetivo de criação de valor para o acionista e a responsabilidade social para os *stakeholders* (SARTORE, 2006).

Dentre o trabalho do IBGC, destaca-se o código de melhores práticas de governança corporativa, criado em 1999. Marques e Alledi Filho (2012) ressaltam as mudanças ocasionadas através das práticas de governança e do trabalho do instituto:

“A partir do lançamento do código IBGC, observou-se que os principais modelos e práticas de governança corporativa passaram por intenso questionamento e houve uma acentuada evolução do ambiente institucional e empresarial em nosso país, representando a passagem de um período em que a expressão governança corporativa era praticamente desconhecida para um momento em que o tema passa a ser amplamente discutido” (MARQUES E ALLEDI FILHO, 2012, p.151).

O código de melhores práticas corporativas do IBGC está pautado em quatro valores, sendo: transparência, equidade, prestação de contas (*accountability*) e responsabilidade corporativa.

Um estudo revelou que 80% dos entrevistados estariam dispostos a pagar mais por empresas com boas práticas de governança e que 75% dos investidores consideram a governança tão importante quanto o desempenho financeiro. Foi apontado ainda que, na América Latina, a governança é considerada mais importante do que o desempenho financeiro (MCKINSEY & COMPANY, 2000).

## 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão da literatura realizada contempla a concepção inicial do fenômeno de responsabilidade social, as transformações ocorridas em seu escopo com as contribuições de inúmeros pesquisadores ao longo de décadas e a sua apresentação atualmente. Outro tema abordado pela pesquisa foi a sustentabilidade. As discussões teóricas da área evidenciam os desdobramentos de ambos os fenômenos, de forma que mais recentemente eles passaram a ser tratados em conjunto. Próximo ao final da década de 1990, o fenômeno organizacional da sustentabilidade, que recebia apenas abordagem ambiental no passado, passa a ser observado no meio empresarial. O seu surgimento e o aumento da sua importância está atrelado à necessidade de um novo modelo empresarial, pautado em atividades que tenham menos impacto. Esse novo modelo proposto pela sustentabilidade, o desenvolvimento sustentável,

une as questões ambientais e sociais ao desempenho econômico das organizações, o que é denominado de tripé da sustentabilidade. A junção das questões sociais e ambientais em busca do desenvolvimento sustentável demonstra o tratamento conjunto dos fenômenos. As questões sociais são abordadas também pelo tema da sustentabilidade, que além das questões ambientais, como no passado, agora tem um escopo mais amplo.

A governança corporativa, mecanismo caracterizado também como fenômeno organizacional, vem ganhando representatividade no Brasil, porém, o público de interesse é mais específico, já que se trata de um mecanismo voltado ao capital, asseguração dos investidores e à transparência ao tratar a informação contábil.

A responsabilidade social, a sustentabilidade empresarial e a governança corporativa tornaram-se fenômenos importantes para a legitimação da atividade empresarial e propiciados por mecanismos de cobrança além dos fatores normativos e legais as forças de coerção da sociedade civil.

## REFERÊNCIAS

ALLEDI FILHO, C. **A Ética da Sustentabilidade**. In: PEREIRA, T. S; OLIVEIRA, G. M; CAMPOS, A. M. (Org.). Cuidado e Sustentabilidade. São Paulo: Atlas, v. 1, p. 119-134, 2013.

ASHLEY, P. A. (Coord.) **Ética e responsabilidade social nos negócios**. São Paulo: Saraiva, 2005.

BONDY, K. **Isomorphism in the practice of corporate social responsibility: evidence of an institution and its decline**. Working Paper Series, University of Bath, School of Management, 2009.

BOWEN, H. R. **Social responsibilities of the businessman**. New York: Haper e Row, 1953.

BUSINESS SOCIAL RESPONSIBILITY INSTITUTE. **Social Responsibility**. Disponível em:<<http://www.bsr.org>>. Acesso em 12 Ago 2019.

CALDAS, M. P; WOOD JR. T. Empresas brasileiras e o desafio da competitividade. **Revista de Administração de Empresas**, vol. 47,n3, p. 66-78 Fundação Getulio Vargas São Paulo, 2007.

CARROLL, A. B. A Three-Dimensional Model of Corporate Performance. **Academy of Management Review** v. 4, p.497-505, 1979.

CARROLL, A.; HOY, F. Integrating corporate social policy into strategic management. **Journal of Business Strategic**, v. 4, n.3, pp.48-57, 1984.

COMITÊ PARA O DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. **Responsabilidade Social dos Negócios**. Disponível em:< <https://www.ced.org/reports/single/social-responsibilities-of-business-corporations>>. Acesso em 12 Agosto 2019.

DELAI, I., TAKAHASHI, S. Sustainability measurement system: a reference model proposal, **Social Responsibility Journal**, vol.7, n.30, p. 438-471, 2011.

DESJARDINS, J. Corporate Environmental Responsibility. **Journal of Business Ethics**, v.17, n.8, p.825-838, 1998.

ELKINGTON, J. **Enter the triple bottom line**. In: HENRIQUES, A.; RICHARDSON, J. (Eds.). The

triple bottom line: does it all add up? London: Earthscan, 2004.

FREEMAN, R. E. **Strategic management: A stakeholder approach**. Boston: Pitman, 1984.

FRIEDMAN, M. The Social Responsibility of Business is to Increase its Profits. **New York Times Magazine**. New York, Sept. 13: pp. 32-33, 1970.

GJØLBERG, M. The Origin of Corporate Social Responsibility: Global Forces or National Legacies?. **Socio-Economic Review**, V.7, p.605–637, 2010.

IBGC. **Governança Corporativa**. Disponível em:< <http://www.ibgc.org.br/inter.php?id=18161>> Acesso em 12 Jun. 2019.

KEIJZERS, G. The transition to the sustainable enterprise. **Journal of Cleaner Production**, v.10, n.4, p.349-359, 2002.

KING, B. G. “A Political Mediation Model of Corporate Response to Social Movement Activism.” **Administrative Science Quarterly**,. V. 53. p.395–421, 2008.

KIRON, D., KRUSCHWITZ, N., HAANAES, K., VELKEN, I.S. Sustainability Nears a Tipping Point. **MIT Sloan Management Review**, vol. 53, p. 68-74, 2012.

LEHTONEN, M. The environmental-social interface of sustainable development: Capabilities, social capital, institutions. **Ecological Economics**, v.49, n.2, p.199-214, 2004.

LIM, A; TSUTSUI, K. Globalization and Commitment in Corporate Social Responsibility: Cross-National Analyses of Institutional and Political-Economy Effects. **American Sociological Review**, p.69-77, 2011.

MARQUES, V. D. L.; ALLEDI FILHO, C. (org.). **Responsabilidade social: conceitos e práticas: construindo caminhos para a sustentabilidade nas organizações**. São Paulo: Atlas, 2012.

MCKINSEY & COMPANY. **Investor Opinion. Survey on Corporate Governance**. London, June 2000.

MONTIEL, I. Corporate Social Responsibility and Corporate Sustainability: Separate pasts, common futures. **Organization & Environment**. V. 21, n.3. p. 245 – 269, 2008.

OCASIO, W; JOSEPH, J. **Cultural adaptation and institutional change: the evolution of vocabularies of corporate governance**, 1972 – 2003. In POETIC 2005, 16 p. Disponível em:< [www.elsevier.com/locate/poetic](http://www.elsevier.com/locate/poetic)> Acesso em: 30 Jun. 2019.

OLIVEIRA, J. A. P de. **Empresas na sociedade: Sustentabilidade e responsabilidade social**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

QUELHAS, O. L. G; ARRUDA, L. Sustentabilidade: Um longo processo histórico de reavaliação crítica da relação existente entre a sociedade e o meio ambiente. **Revista Técnica Senac**. Rio de Janeiro, v. 36, n.3, 2010.

SARTORE, M. S. **A inserção da responsabilidade social do setor bancário no contexto da governança corporativa**. 2006. 105 p. *Dissertação* (Mestrado) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.

TEIXEIRA, L. da S. **Responsabilidade Social Empresarial**. Brasília: Consultoria Legislativa. Câmara dos Deputados, 2004.

TENÓRIO, F. G. **Responsabilidade Social Empresarial: Teoria e Prática**. Rio de Janeiro: Editora

FGV, 2006.

ZHU, Q; SARKIS, J. Relationships between operational practices and performance among early adopters of green supply chain management practices in Chinese manufacturing enterprises. **Journal of Operations Management**, v.22, n.3, p.265-289, 2004.

## PERCEPÇÃO AMBIENTAL DOS ALUNOS DO ENSINO FUNDAMENTAL DE UMA ESCOLA DA REDE PÚBLICA MUNICIPAL DE PARAUAPEBAS

### **Diego Raniere Nunes Lima**

Professor EBTT, Instituto Federal do Pará, E-mail:  
diego.lima@ifpa.edu.br

### **Renato Araújo da Costa**

Professor EBTT, Instituto Federal do Pará, E-mail:

### **Gustavo Francesco de Moraes Dias**

Professor EBTT, Instituto Federal do Pará, E-mail:

### **Roberto Pereira de Paiva e Silva Filho**

Professor EBTT, Instituto Federal do Pará, E-mail:

**RESUMO:** As questões ambientais na atualidade estão cada vez mais sendo discutidas devido a necessidade de mudanças em relação à degradação ambiental. Nesse sentido, a educação é um elemento fundamental para a transformação da sociedade, viabilizando o desenvolvimento de uma nova ética, distinta daquela pautada no consumismo. A Educação Ambiental deve ser trabalhada de forma transversal, contínua e permanente em todos os níveis e modalidades de ensino, como previsto nos Parâmetros Curriculares Nacionais os quais servem como subsídios para a prática pedagógica. Desta forma, o presente estudo tem como objetivo analisar como a educação ambiental é trabalhada na Escola Municipal de Ensino Fundamental João Prudêncio de Brito, situada em Parauapebas/PA. Foi desenvolvida uma pesquisa, com aplicação de questionários com o objetivo de notar se a escola, professores

e alunos estão ciente de que podem aplicar a educação ambiental no ambiente escolar através de temas transversais junto as disciplinas de sua base curricular bem como a realização de palestras com temáticas voltadas a práticas ambientais. Obtendo resultados positivos após a realização da pesquisa, percebendo que professores e alunos realmente se preocupam com as práticas ambientais sustentáveis e com os problemas ambientais existentes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Conscientização ambiental; Educação ambiental; Temas Transversais; Educação na escola.

### ENVIRONMENTAL PERCEPTION OF STUDENTS OF THE FUNDAMENTAL EDUCATION OF A SCHOOL OF THE MUNICIPAL PUBLIC NETWORK OF PARAUAPEBAS

**ABSTRACT:** Environmental issues today are increasingly being discussed because of the need for changes in relation to environmental degradation. In this sense, education is a fundamental element for the transformation of society, enabling the development of a new ethic, distinct from that based on consumerism. Environmental Education should be worked on transversally, continuously and permanently at all levels and modalities of teaching, as foreseen in the National Curricular Parameters

which serve as subsidies for pedagogical practice. In this way, the present study aims to analyze how the environmental education is worked in the Municipal School of Primary Education João Prudêncio de Brito, located in Parauapebas / PA. A research was developed with the application of questionnaires with the aim of noting if the school, teachers and students are aware that they can apply environmental education in the school environment through cross-curricular subjects along the disciplines of their curricular basis as well as the conducting of lectures with themes focused on environmental practices. Achieving positive results after conducting research, realizing that teachers and students really care about sustainable environmental practices and existing environmental problems.

**KEYWORDS:** Environmental awareness; Environmental education; Transversal Themes; Education at school.

## 1 | INTRODUÇÃO

O meio ambiente, engloba tudo que existe, e tem papel fundamental na existencia do homem, precisa ser preservado, para tanto torna-se necessário a implementação na sociedade das diretrizes da educação ambiental. Para Landulfo (2005, p. 9) o meio ambiente, “[...] envolve várias áreas do conhecimento, tais como geografia, meteorologia, engenharia, matemática aplicada, química e física; bem como outros saberes agrupados nas biociências, nas ciências exatas, nas geociências e nas ciências humanas”. Por isso a educação ambiental tem que ser trabalhada no ambiente escolar desde o ensino infantil até o nível superior.

Um conceito bem enfático de educação ambiental é a de formar indivíduos preocupados com os problemas ambientais existentes e que busquem a conservação e preservação dos recursos naturais evitando assim que os mesmo deixem de existir, considerando diversos assuntos, ou seja, abordando os seus aspectos econômicos, sociais, políticos, ecológicos e éticos. Para tanto, ela não deve ser confundida com ecologia, que é apenas um aspecto relacionado à questão ambiental. Portanto, falar sobre educação ambiental deve incluir a dimensão ambiental, contextualizada à realidade interdisciplinar, vinculada aos temas cotidianos locais e globais (MENEZES et al., 2018).

A educação ambiental tenta despertar, em todos, a consciência de que o ser humano é parte do meio ambiente, tentando superar a visão antropocêntrica, que fez com que o homem se sentisse sempre o centro de tudo, esquecendo a importância da natureza, da qual é parte integrante (PASSOS; ZITZKE, 2018).

A proposta da educação ambiental é de um componente essencial e permanente da educação dos brasileiros, devendo estar presente, de forma conjunta, em todos os níveis e modalidades dentro da conjuntura educativa do país, seja pelo caráter formal (dentro das disciplinas nas grades escolares, buscando a interdisciplinaridade entre elas) e a não formal (passando ao estudante os conceitos e diretrizes relacionando a



sua vida cotidiana) (VORPAGEL; UHMANN, 2018).

A escola é o espaço social e o local onde poderá haver sequência ao processo de socialização. O que nela se faz se diz e se valoriza representa um exemplo daquilo que a sociedade deseja e aprova. Comportamentos ambientalmente corretos devem ser aprendidos na prática, no cotidiano da vida escolar, contribuindo para a formação de cidadãos responsáveis. Assim a Educação Ambiental é uma maneira de estabelecer tais processos na mentalidade de cada criança, formando cidadãos conscientes e preocupados com a temática ambiental. (ROOS & BECKER, 2012).

Os professores devem nas suas aulas utilizar-se de ferramentas para discutir essa temática com os seus alunos. É preciso que o professor através das suas práticas metodológicas possa despertar em seus alunos uma consciência em relação ao meio ambiente, para que essas crianças sejam agentes transformadores e adquiram atitudes ambientalmente corretos em relação ao seu ambiente (LOUREIRO, 2006).

Desta forma, o presente estudo tem como objetivo analisar como a educação ambiental é trabalhada na Escola Municipal de Ensino Fundamental João Prudêncio de Brito, situada em Parauapebas/PA. Assim, identificaremos como a EA se faz presente no contexto dessa instituição de ensino a fim de subsidiar novas práticas educacionais adaptadas ao contexto local.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo tem por base verificar se a escola incentiva a prática da educação ambiental nas salas de aula, e se os professores trabalham com temas relacionados a educação ambiental em suas disciplinas, além de instruir alunos do 6º ao 9º ano do ensino fundamental da escola, através de palestras expositivas, tendo uma abordagem direta sobre a educação ambiental na vida cotidiana desses jovens. Para tanto foram selecionadas as principais temáticas da relação do homem e o meio ambiente.

O plano de trabalho foi realizado em seis etapas das quais estão listadas abaixo:

- a) Selecionar a escola;
- b) Escolher os temas;
- c) Preparar o material didático que será utilizado;
- d) Passar questionários aos professores e alunos, antes da realização das palestras;
- e) Realizar as palestras dentro das salas de aula;
- f) Passar um questionário após a realização das palestras aos alunos.
- g) Para a realização da pesquisa e das palestras foi escolhida a Escola Municipal de Ensino Fundamental João Prudêncio de Brito que fica localizada na Rua 1, S/N, Primavera, na Cidade de Parauapebas, Estado do Pará.

A escola possui as seguintes estruturas: salas de aulas, laboratórios de

informática, laboratório de língua portuguesa, laboratório de artes, cantina, quadra de esportes e salas administrativas. Mas a escolha dela para a pesquisa foi pelo fato da mesma está rodeada de temas que podemos aborda na sala de aula como pode ser visto na Figura 1, pois está ao lado do Rio Parauapebas e da Floresta Nacional de Carajás e ainda em um bairro residencial que possui uma lagoa para despejo de esgoto.



Figura 1 – Localização da EMEF João Prudêncio de Brito  
Fonte: Os autores (2019).

Realizou-se uma pesquisa de caráter quantitativa e como instrumento de obtenção de dados usou-se questionários com perguntas fechadas (TEIXEIRA, 2011), aplicados aos professores e alunos.

O questionário 1, foi aplicado aos professores para informa se os mesmos conhecem a Lei Federal Nº 9.745/1999, se a escola incentiva a prática da educação ambiental no ambiente escolar, se é utilizado nas suas disciplinas temas transversais como a da educação ambiental e conhecer qual a sua opinião sobre a relevância da prática da educação ambiental na escola.

No questionário 2 foi direcionado aos alunos da escola antes de assistirem o ciclo de palestras, onde foram perguntados se os professores abordam temáticas voltadas para a educação ambiental em suas disciplinas e se já tinham ouvido falar de educação ambiental ou outro assunto referente as questões ambientais.

Após a aplicação dos questionários 1 e 2 foram realizadas as palestras, no período de 07 de Fevereiro de 2018 à 09 de Maio de 2018, com um total de 10 (dez) encontros, sendo 1 (uma) vez na semana com atendimento de 3 (três) turmas da escola. Cada turma recebeu no total 3 (três) palestras de 1 (uma) hora ao longo dos quase 4 (quatro) meses da pesquisa com os seguintes temas: Educação Ambiental,

Resíduos Sólidos e Reaproveitamento/Reciclagem.

Já no questionário 3, procurou saber se os alunos gostaram dos temas das palestras, se eles mudarão seus hábitos para ajudar o meio ambiente e dizer qual das temáticas mais se interessam durante as apresentações.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos estão descritos de acordo com as perguntas realizadas e suas respostas nos três momentos em que foram aplicadas e serão apresentadas a seguir.

O questionário 1 foi aplicado há 9 (nove) professores que responderam da seguinte forma:

A primeira pergunta que teve o objetivo de saber se eles conhecem a Lei federal Nº 9.795/1999 que dispõe sobre a educação ambiental nos diversos níveis de ensino no país, verificamos os Figura 2.

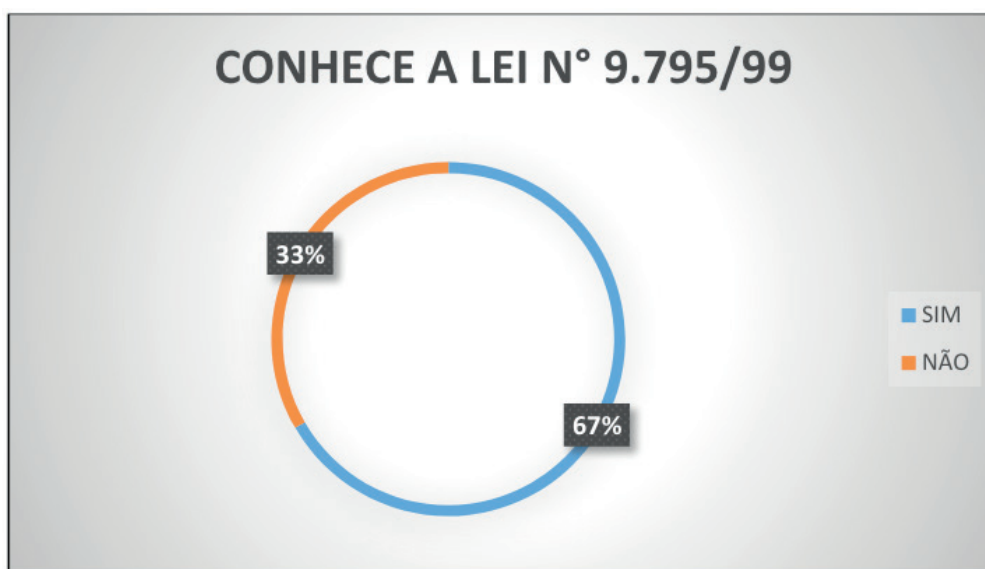


Figura 2 – Você conhece a Lei Federal Nº 9.745 de 27 de Abril de 1999, que dispõe sobre a educação ambiental.

Fonte: Os autores (2019).

A maioria dos professores, ou seja, 67 % deles conhece a legislação vigente de que trata da educação ambiental nas instituições de ensino e 33 % desconhecem a sua existência.

A segunda pergunta que teve a finalidade de evidenciar por parte dos professores se a escola incentiva à abordagem da educação ambiental como tema transversal nas salas de aula. O resultado está mostradono Figura 3.

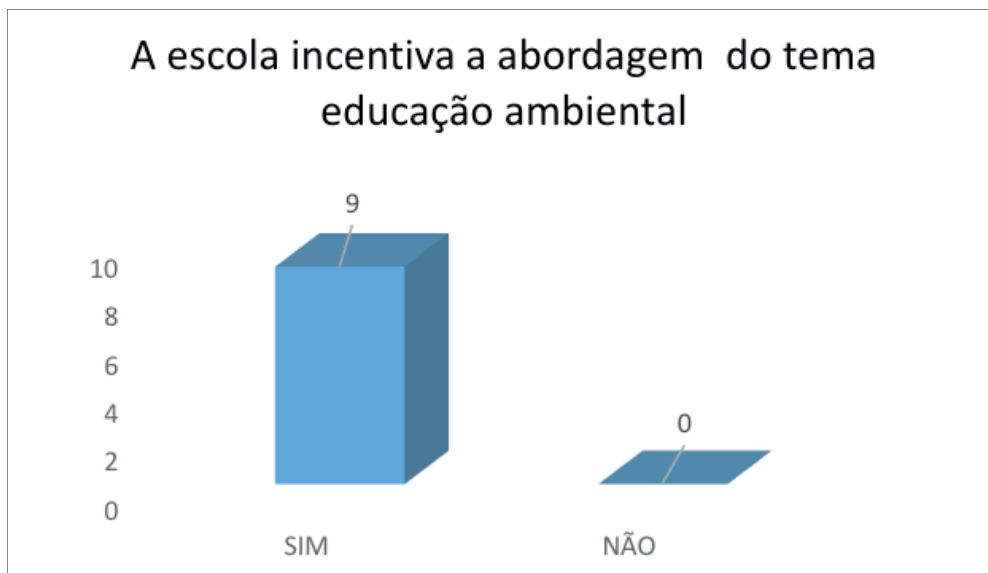


Figura 3 - A escola incentiva a abordagem da educação como tema transversal nas salas de aula.

Fonte: Os autores (2019).

Todos os professores responderam que são incentivados, pela escola, a abordarem temáticas da educação ambiental em sala de aula.

Na terceira pergunta foi questionado se os professores aplicam nas salas de aula temas transversais como a educação ambiental, as respostas são mostradas no Figura 4.

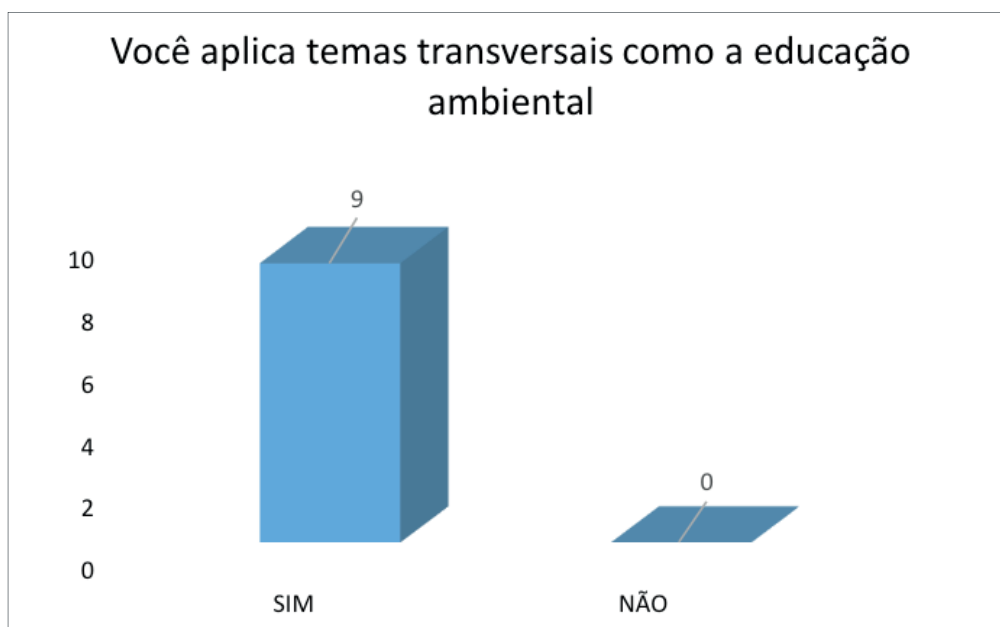


Figura 4 - Você aplica na sala de aula temas transversais a sua disciplina, como a educação ambiental.

Fonte: Os autores (2019).

Assim como na segunda pergunta todos os professores informaram que

trabalham com a educação ambiental na sala de aula através de temáticas transversais as suas disciplinas.

A quarta pergunta que faz referência a questão da relevância da educação ambiental no ambiente escolar, os resultados são mostrados no Figura 5.

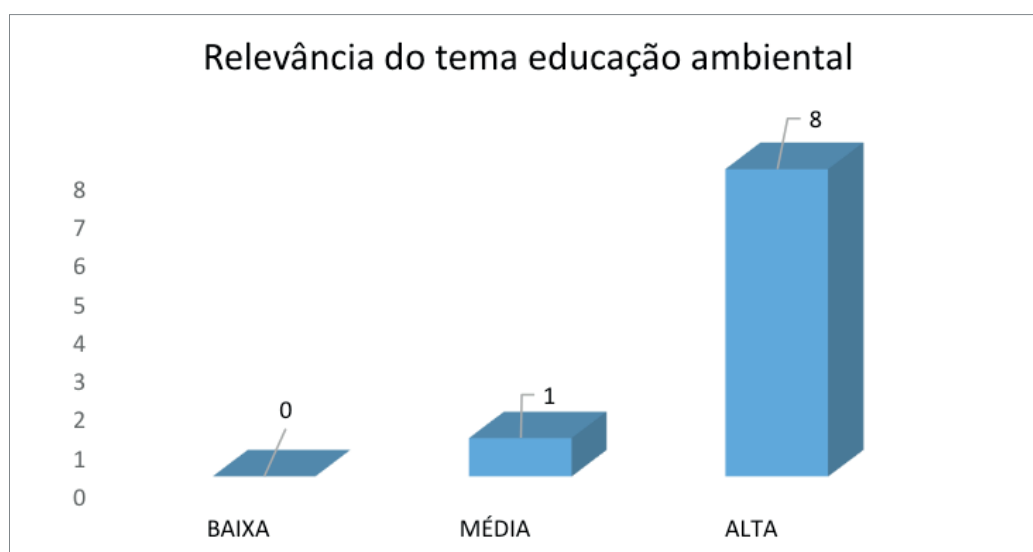


Figura 5 - Qual a sua opinião sobre a relevância do tema educação ambiental no ambiente escolar.

Fonte: Os autores (2019).

A resposta a essa pergunta mostra que 8 docentes acham uma relevância alta trabalhar com a educação ambiental na sala de aula, 1 acha média e nenhum informou que é baixa, mostrando o interesse do corpo docente dessa escola em atender a legislação de que se trata da educação ambiental e além disso, usa como uma maneira de conscientizar as crianças e adolescente sobre as questões ambientais, tão importante nos dias atuais.

O questionário 2 foi aplicado para os alunos do 6º ao 9º ano antes de serem apresentadas as palestras com o intuito de saber se os professores realmente trabalham com a educação ambiental e se eles já têm algum conhecimento de assuntos relacionados ao meio ambiente. Dos 350 (trezentos e cinquenta) alunos que estão matriculados na escola, 229 (duzentos e vinte e nove) responderam o questionário da seguinte forma:

Logo na primeira pergunta pedimos para informar se os professores trabalham com o tema educação ambiental na sala de aula e obtivemos os dados descritos no Figura 6.



Figura 6 - Os seus professores abordam o assunto sobre a educação ambiental na sala de aula.

Fonte: Os autores (2019).

Como podemos observar 95 % dos alunos informaram que seus professores realmente abordam os temas na sala de aula concordando com as respostas dos professores obtidos no questionário 1.

Na segunda pergunta os alunos responderam se já tinham ouvido falar de educação ambiental ou assuntos que envolvem as questões ambientais e conforme os dados do Figura 7, também confirmamos que os professores aplicam nas suas aulas estas temáticas, além de outras formas que podem chegar até eles como palestras, projetos, entre outras maneiras.

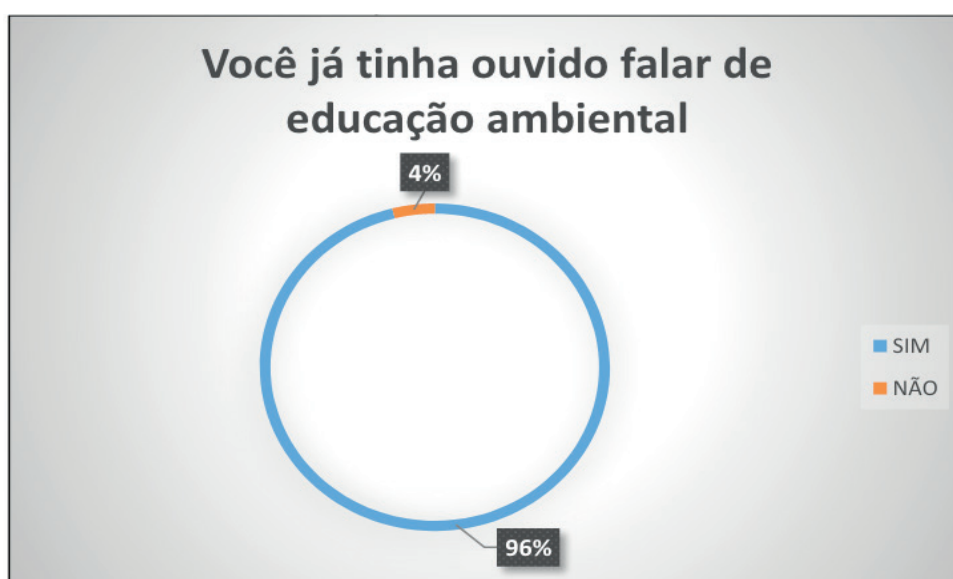


Figura 7 - Você já tinha ouvido falar de educação ambiental ou qualquer tipo de assunto sobre as questões ambientais.

Fonte: Os autores (2019).

No questionário 3 foi aplicado a 132 (cento e trinta e dois) dos 350 (trezentos e cinquenta) alunos, depois que finalizou o ciclo de palestras e teve como meta saber como foram as palestras realizadas, cujo os temas foram (Educação Ambiental, Resíduos Sólidos e Reaproveitamento/Reciclagem), onde buscamos ver se os alunos gostaram, se eles mudaram seus hábitos e qual das temáticas chamou mais atenção.

Na primeira pergunta que fala se o aluno gostou das palestras expostas, temos o Figura 8.



Figura 8 - Você gostou dos assuntos expostos nas palestras.

Fonte: Os autores (2019).

Nota-se que 98 % dos alunos gostaram das palestras realizadas e isso revela que em todos os ambientes escolares, deveria ser colocado em pauta assuntos referentes a educação ambiental.

Enquanto que na segunda pergunta pedimos para responder se o aluno mudará seus hábitos após as palestras para ajudar o meio ambiente. Temos as respostas mostradas no Figura 9.

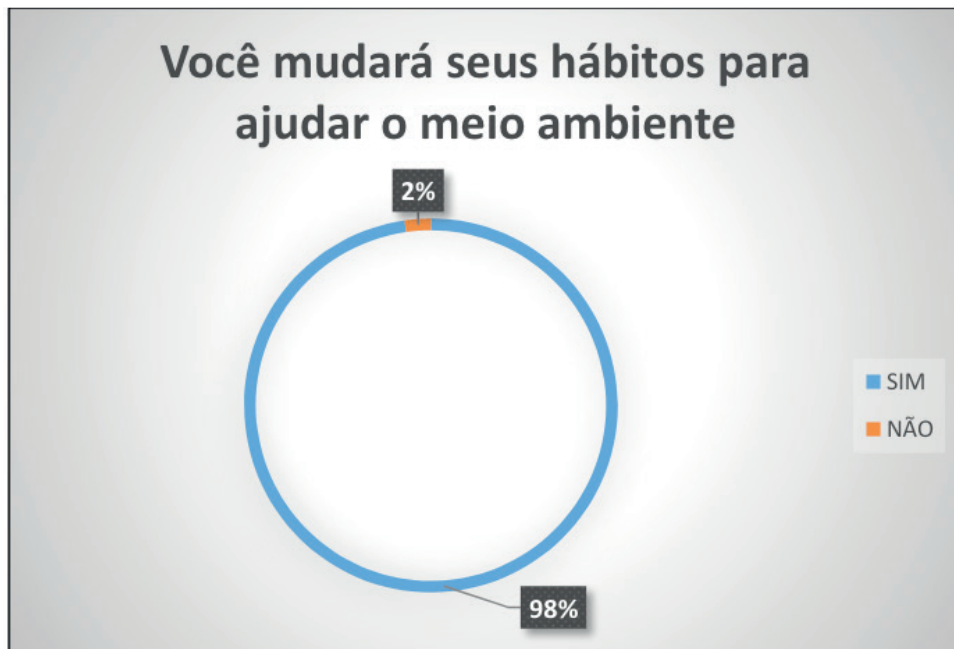


Figura 9 - A partir de hoje você mudará seus hábitos para ajudar o meio ambiente  
 Fonte: Os autores (2019).

Assim como na primeira 98 % dos alunos responderam que mudaria seus hábitos para ajudar o meio ambiente, isso nós faz entender que a conscientização dos indivíduos logo nos seus primeiros anos escolares pode ajudar a nascer um cidadão com preocupação para com os problemas ambientais.

Na terceira pergunta quissemos saber quais das três temáticas expostas eles gostaram mais e se identificaram com ela, então obtemos o Figura 10.

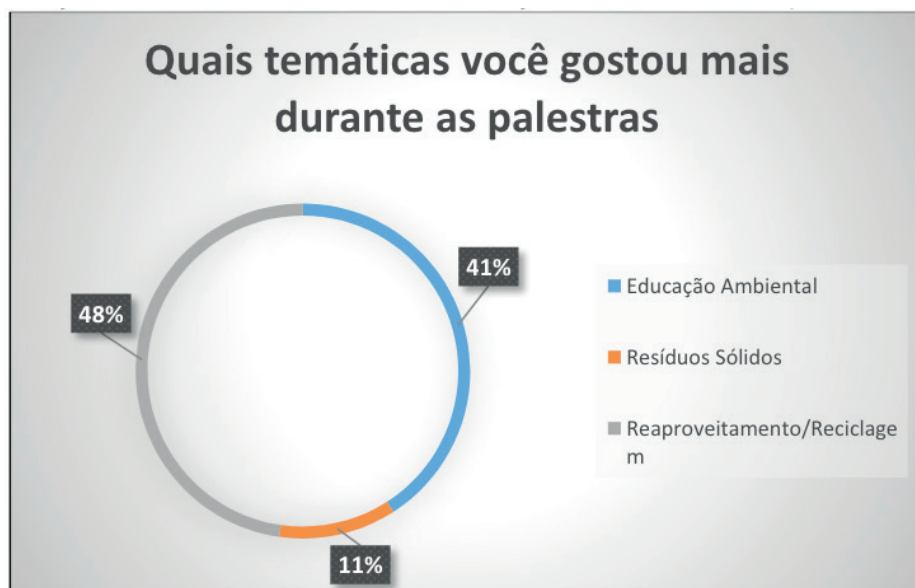


Figura 10 - Quais das três temáticas você gostou mais durante as palestras.  
 Fonte: Os autores (2019).

Podemos ver que reaproveitamento/reciclagem com 48 % e educação ambiental



com 41 % foram as palestras que os alunos mais gostaram nesses meses de pesquisa e resíduos sólidos com 11 % teve a menor aceitação. Isso se deve forma de abordagem das palestras onde as duas mais votadas tiveram maior dinâmica que a menos votada, portanto não é somente realizar e aplicar à educação ambiental, mas sim ver qual a melhor forma de abordagem para pode atingir a curiosidade do aluno.

#### 4 | CONCLUSÕES

Com os resultados dessa pesquisa, percebeu-se que a Escola Municipal de Ensino Fundamental João Prudêncio de Brito nos mostrou que seus professores e alunos realmente se preocupam com as práticas ambientais sustentáveis e com os problemas ambientais existentes. Seus alunos possuem conhecimento sobre as questões ambientais, evidenciando que seus professores atuam em suas disciplinas temas pautados na educação ambiental.

Portanto aquilo que foi preposto no início do trabalho em saber se há práticas de ensino e aprendizagem que usam como temas transversais a educação ambiental teve um resultado positivo por parte da escola que estão de parabéns por trazerem essa forma de mostrar aos seus alunos que podemos fazer mais pelo equilíbrio ecológico do planeta. No entanto é necessária buscar não somente em uma escola, mas em todas a prática da educação ambiental para que tenhamos mais pessoas preocupadas com os problemas ambientais e lutarem para que tais problemas sejam diminuídos e até sanados. Além disso, o trabalho buscou potencializar o professor que acompanhou a palestra para que não só conscientize os seus alunos, mas os transformem para que sejam capazes de levar os conceitos adquiridos para suas comunidades, pois a população municipal, assim como a do Estado do Pará em modo geral não possuem uma orientação sólida sobre a educação ambiental.

Este trabalho desenvolvido, buscou alocar em torno do problema ambiental existente em todo o mundo, e principalmente em comunidades carentes. O objetivo foi fazer este levantamento para saber o nível de conscientização das crianças e adolescentes, pois as mesmas têm um extremo potencial de absorverem hábitos ambientalmente corretos, e além disso, disseminar o conhecimento adquirido no ambiente escolar em suas casas, e entre seus colegas.

#### REFERÊNCIAS

BRASIL. **Lei no 9.795 de 27 de abril de 1999**. Dispõe sobre a Educação Ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 abr. 1999. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9795.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9795.htm)>. Acesso: 17 abr. 2017.

LANDULFO, Eduardo. **Meio Ambiente & Física**. São Paulo: Senac, 2005.

LOUREIRO, C. F. B. **Trajectoria e Fundamentos da Educação Ambiental**. 2. ed. São Paulo: Cortez, 2006.

MENEZES, J. B. L.; NOGUEIRA, P. A.; PAIXÃO, G. C.; PONTE, F. L.; PEREIRA, L. M. G. Conceitos, práticas de educação ambiental e formação cidadã na escola. **Ambiente & Educação: Revista de Educação Ambiental**, v. 23, n. 1, p. 185-197. 2018.

PASSOS, A. B. T.; ZITZKE, V. A. A abordagem da Educação Ambiental na Educação Profissional publicizada na REMEA. **Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, [S.I.], p. 167-181, nov. 2018.

ROOS, A.; BECKER, E. L. S. Educação ambiental e sustentabilidade. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 5, n. 5, p. 857-861, 2012.

TEIXEIRA, E. **As três metodologias: acadêmica, da ciência e da pesquisa**. 8ª ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2011.

VORPAGEL, F. S.; UHMANN, R. I. M. Práticas e Concepções de Educação Ambiental e Meio Ambiente em contexto não formal. **Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, Ed. Especial EDEA, n. 1, p. 63-74, nov. 2018.

## ANÁLISE DO RISCO DE ACIDENTE CAUSADO PELA ALTA TEMPERATURA EM ALTO-FORNO SIDERÚRGICO NO MUNICÍPIO DE MARABÁ – PA

### **Diego Raniere Nunes Lima**

Professor EBTT, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Campus Parauapebas. E-mail: diego.lima@ifpa.edu.br

### **Roberto Pereira de Paiva e Silva Filho**

Professor EBTT, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Campus Parauapebas.

### **Gustavo Francesco de Moraes Dias**

Professor EBTT, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Campus Parauapebas.

### **Renato Araújo da Costa**

Professor EBTT, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Campus Parauapebas.

**RESUMO:** Este trabalho apresenta uma avaliação da situação e das condições de ambiente de trabalho em uma empresa siderúrgica em áreas onde os funcionários estão expostos a altas temperaturas, durante a sua jornada de trabalho, ao desenvolver suas atividades no Alto Forno Siderúrgico de Produção de Ferro Gusa. Para tanto foram definidos dois pontos específicos, onde os trabalhadores exercem suas atividades. Por meio do uso de uma máquina digital para a captura de imagens e visitas aos locais, verificaram-se as condições dos ambientes e o desenvolvimento das atividades dos

colaboradores. O local está exposto a altas temperaturas em função da transformação do minério de ferro em ferro gusa no alto forno siderúrgico, portanto, as atividades exercidas podem ocasionar acidentes graves que colocam a vida dos funcionários em risco. Porém, existe uma política de segurança na empresa que fornece treinamento e equipamentos de proteção individual para evitar possíveis acidentes e manter uma condição de trabalho efetivo à atividade, evitando ao máximo que seus funcionários sejam prejudicados.

**PALAVRAS-CHAVE:** temperatura, prevenção a acidentes, alto forno.

### ANALYSIS OF THE RISK OF INJURY CAUSED BY HIGH TEMPERATURE IN BLAST FURNACE STEEL IN THE CITY OF MARABÁ - PA

**ABSTRACT:** This paper presents an assessment of the situation and conditions of the workplace in a steel company in areas where employees are exposed to high temperatures during their workday, in developing its activities in the Blast Furnace Steel Production of pig iron. Therefore, we defined two specific points where workers carry out their activities. Through the use of a digital camera to capture images and site visits, there were the conditions of environment and development activities of

employees. The site is exposed to high temperatures due to the transformation of iron ore into pig iron in blast furnace steel, therefore, the activities carried out can cause serious accidents that put employees' lives at risk. However, there is a security policy in the company that provides training and personal protective equipment to prevent possible accidents and maintain an effective working condition of the activity, so as to avoid adversely affecting their employees.

**KEYWORDS:** temperature, accident prevention, blast furnace.

## 1 | INTRODUÇÃO

A temperatura é uma variante física existente e muito importante no processo de transformação do Minério de Ferro em Ferro-Gusa, e através do calor com o consumo de carvão que ocorre a redução do número de oxigênio (Nox) do ferro, possibilitando formar dois elementos: o ferro-gusa e a escória (rejeito do processo siderúrgico), ambos saem em estado de fusão, ou seja, fluídos, que são direcionados para o rodeio no caso do produto ferro-gusa que é resfriado com jatos de água e para uma bacia de resfriamento no caso da escória.

No que envolve os riscos com acidentes e saúde dos trabalhadores que atuam no alto-forno, a temperatura é o fator mais relevante, pois em se tratando de processo siderúrgico, ele está diretamente envolvido com energia térmica, já que é a mesma é utilizada na produção. No ambiente que envolve o alto-forno existem alguns pontos que podem ser caracterizados como zona de riscos na ação do calor sobre os trabalhadores.

Os pontos de influência direta da temperatura são a boca do alto-forno por onde saem o material fundido, com uma temperatura em média de 900°C, no rodeio onde ocorre o resfriamento do ferro-gusa que proporciona a emissão de vapores de água a uma temperatura elevada e na bacia de resfriamento da escória que também gera vapores de água com elevada temperatura ao entrar em contato a escória fundida e a água.

O ferro-gusa após sair do alto-forno é direcionado para o rodeio através de canaletas, mas é preciso que seja rompido o local por onde sai o material fundido, e em seguida é feita a remoção de partes sólidas das canaletas que ao entrarem em contato com a temperatura ambiente solidificarão. Estes processos ocorrem manualmente. Essa área fornece risco de acidentes, e também é um local insalubre devido à temperatura elevada, sendo necessária a utilização de roupas e máscaras especiais que suportam elevadas temperaturas. O rodeio é a área responsável pelo resfriamento e modelagem do ferro-gusa. Este resfriamento ocorre com a aplicação de jatos de água que ficam por cima do rodeio e diminuem a temperatura tornando o produto sólido. No entanto são gerados vapores de água com temperatura elevada que podem afetar o operador do rodeio, sendo necessário o uso de um ventilador para dispersar os vapores impedindo que atinja o colaborador.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

A forma utilizada para a aquisição de dados foi embasada em pesquisa bibliográfica sobre o tema em questão, o uso da internet para coleta de dados e localização da área através do software Google Earth. A pesquisa feita dentro da empresa siderúrgica é o ponto de maior relevância. Com o auxílio de uma máquina digital para captura de imagens possibilitou mostrar os locais de interesse onde funcionam as áreas que mais sofrem a ação de altas temperaturas e como funciona o modo de trabalho dos funcionários que estão expostos a esse risco físico.

### 2.1 Localização da área de estudo

A empresa siderúrgica onde foi realizada a pesquisa está localizada na Rodovia PA 150, Km 422, Distrito Industrial, Marabá – Pará. O empreendimento possui um alto-forno siderúrgico que produz em média 500 toneladas de ferro-gusa dia.

### 2.2 Pontos críticos de riscos de acidentes envolvendo temperatura

No que envolve a produção do Ferro-Gusa temos duas áreas distintas que possivelmente podem se tornar pontos onde ocorram acidentes com ação direta da temperatura como o agente de risco. As áreas são as seguintes: Plataforma (local onde existe a boca do alto-forno siderúrgico que extravasa o ferro fundido), Rodeio (ponto onde o ferro fundido é movimentado para promover o seu resfriamento. A figura 1 ilustra as áreas de estudo.

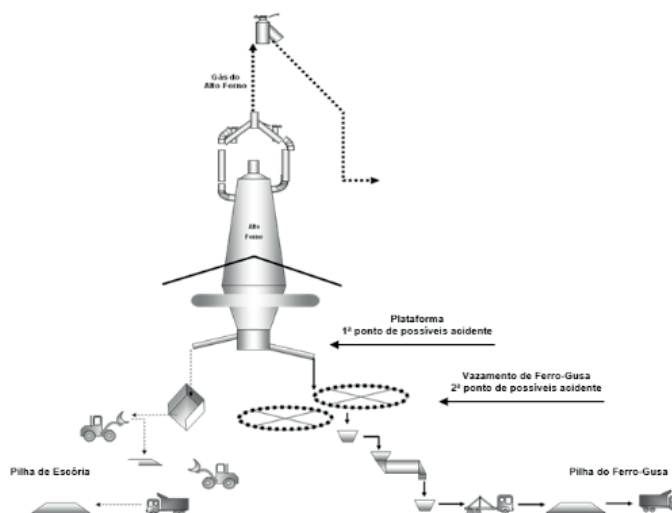


Figura 2 - Esquema dos pontos de risco de acidentes envolvendo a temperatura

SETOR	FUNÇÕES EXISTENTES	Nº DE FUNCIONÁRIOS	DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES	DESCRIÇÃO DO LOCAL DE TRABALHO
Rodeio	Auxiliar de produção	01	Execução dos serviços operacionais	plataforma em alvenaria, existência de iluminação natural, e artificial e ventilação forçada
Plataforma	Auxiliar de produção	01	Execução dos serviços operacionais	plataforma suspensa, cobertura em telhas de metal existência de iluminação e ventilação natural

Tabela 1 - Setores por onde serão realizados os estudos

### 2.2.1 Área de Risco na Plataforma

É uma área que fica na base do alto-forno onde circulam vários funcionários responsáveis pela perfuração, vazamento do forno e deslocamento do ferro fundido até o rodeio por meio de canaletas. A figura 2 mostra o desenvolvimento do trabalho na plataforma.

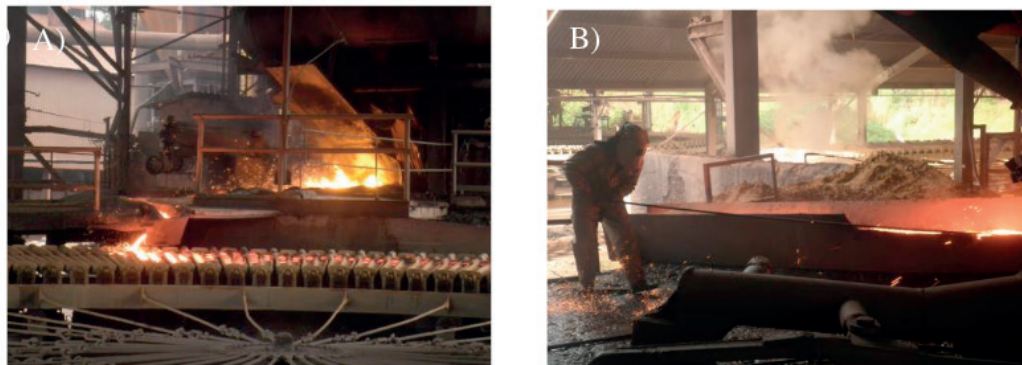


Figura 2 – A) Plataforma onde se encontra o alto-forno da siderúrgica. B) Funcionário perfurando a boca do alto forno

### 2.2.2 Área de Risco no Rodeio

No rodeio o ferro-gusa toma a sua forma ao ser depositado em lingoteiras (fôrmas) para dar o molde e também é o ponto de resfriamento do material que chega com uma temperatura acima de 900 °C. Esse resfriamento ocorre através de uma canalização que jorra água e causa assim o rápido resfriamento passando de ferro fundido para ferro-gusa (Figura 3).



Figura 3 – A) Funcionário redirecionando o ferro fundido para o rodeio. B) Ferro fundido direcionado para o rodeio.

### 2.3 Cálculos térmicos usados na medição da temperatura

Conforme a Norma Regulamentadora N° 15 que dispõe sobre “Atividades e Operações Insalubres”, diz que “entende-se por Limite de Tolerância, para os fins desta Norma, a concentração ou intensidade máxima ou mínima, relacionada com a natureza e o tempo de exposição ao agente, que não causará dano à saúde do trabalhador, durante a sua vida laboral” (MTE, 2011).

Os cálculos que serão realizados terão como base identificar a intensidade e o tempo de exposição do funcionário ao agente físico temperatura no ambiente de seu trabalho. De acordo com a NR N° 15 “a exposição ao calor deve ser avaliada através do “Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo” - IBUTG definido pelas equações que se seguem” (MTE, 2011).

- Ambientes internos ou externos sem carga solar:

$$\text{IBUTG} = 0,7 \text{ tbn} + 0,3 \text{ tg}$$

- Ambientes externos com carga solar:

$$\text{IBUTG} = 0,7 \text{ tbn} + 0,1 \text{ tbs} + 0,2 \text{ tg}$$

onde: tbn = temperatura de bulbo úmido natural, tg = temperatura de globo e tbs = temperatura de bulbo seco.

O ambiente de trabalho do seguinte estudo se enquadra na primeira opção, como ambiente externo sem carga solar. E para o cálculo do IBUTG será usada a seguinte fórmula:

$$\text{IBUTG} = 0,7 \text{ tbn} + 0,3 \text{ tg}$$

Os aparelhos que devem ser usados nesta avaliação são: termômetro de bulbo úmido natural, termômetro de globo e termômetro de mercúrio comum e as medições devem ser efetuadas no local onde permanece o trabalhador, à altura da região do corpo mais atingida (MTE, 2011).

Para complementar as análises serão usados os anexos 1, 2 e 3 da NR 15, que

estão descritas abaixo:

Para os Limites de Tolerância para exposição ao calor, em regime de trabalho intermitente com períodos de descanso no próprio local de prestação de serviço (MTE, 2011).

1. Em função do índice obtido, o regime de trabalho intermitente será definido no Quadro 1.

Regime de Trabalho Intermitente com Descanso no Próprio Local de Trabalho (por hora)	TIPO DE ATIVIDADE		
	LEVE	MODERADA	PESADA
Trabalho contínuo	até 30,0	até 26,7	até 25,0
45 minutos trabalho 15 minutos descanso	30,1 a 30,6	26,8 a 28,0	25,1 a 25,9
30 minutos trabalho 30 minutos descanso	30,7 a 31,4	28,1 a 29,4	26,0 a 27,9
15 minutos trabalho 45 minutos descanso	31,5 a 32,2	29,5 a 31,1	28,0 a 30,0
Não é permitido o trabalho sem a adoção de medidas adequadas de controle	acima de 32,2	acima de 31,1	acima de 30,0

Quadro 1 – Regime de trabalho

2. Os períodos de descanso serão considerados tempo de serviço para todos os efeitos legais.

3. A determinação do tipo de atividade (Leve, Moderada ou Pesada) é feita consultando-se o Quadro 3.

Para os Limites de Tolerância para exposição ao calor, em regime de trabalho intermitente com período de descanso em outro local (local de descanso) (MTE, 2011).

1. Para os fins deste item, considera-se como local de descanso ambiente termicamente mais ameno, com o trabalhador em repouso ou exercendo atividade leve.

2. Os limites de tolerância são dados segundo o Quadro 2.

M (Kcal/h)	MÁXIMO IBUTG
175	30,5
200	30,0
250	28,5
300	27,5
350	26,5
400	26,0
450	25,5
500	25,0

Quadro 2 – Limites de tolerância



Onde: M é a taxa de metabolismo média ponderada para uma hora, determinada pela seguinte fórmula:

$$M = \frac{(M_t \times T_t + M_d \times T_d)}{60}$$

Sendo: Mt - taxa de metabolismo no local de trabalho, Tt - soma dos tempos, em minutos, em que se permanece no local de trabalho, Md - taxa de metabolismo no local de descanso e Td - soma dos tempos, em minutos, em que se permanece no local de descanso.

IBUTG é o valor IBUTG médio ponderado para uma hora, determinado pela seguinte fórmula:

$$IBUTG = \frac{(IBUTG_t \times T_t + IBUTG_d \times T_d)}{60}$$

Sendo: IBUTGt = valor do IBUTG no local de trabalho, IBUTGd = valor do IBUTG no local de descanso e Tt e Td = como anteriormente definidos.

Os tempos Tt e Td devem ser tomados no período mais desfavorável do ciclo de trabalho, sendo Tt + Td = 60 minutos corridos.

3. As taxas de metabolismo Mt e Md serão obtidas consultando-se o Quadro 3.

4. Os períodos de descanso serão considerados tempo de serviço para todos os efeitos legais.

TIPO DE ATIVIDADE	Kcal/h
<b>SENTADO EM REPOUSO</b>	100
<b>TRABALHO LEVE</b>	125
Sentado, movimentos moderados com braços e tronco (ex.: datilografia).	150
Sentado, movimentos moderados com braços e pernas (ex.: dirigir).	150
De pé, trabalho leve, em máquina ou bancada, principalmente com os braços.	
<b>TRABALHO MODERADO</b>	180
Sentado, movimentos vigorosos com braços e pernas.	175
De pé, trabalho leve em máquina ou bancada, com alguma movimentação.	220
De pé, trabalho moderado em máquina ou bancada, com alguma movimentação.	300
Em movimento, trabalho moderado de levantar ou empurrar.	
<b>TRABALHO PESADO</b>	440
Trabalho intermitente de levantar, empurrar ou arrastar pesos (ex.: remoção com pá).	550
Trabalho fatigante	

Quadro 3 – Taxas de Metabolismo por tipo de atividade

As amostragens para as devidas funções serão feitas em um número de quatro para o Forneiro I que desenvolve sua atividade na plataforma e três para o Auxiliar de Produção que desempenha sua atividade no rodeio.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Observou-se que a empresa siderúrgica mantém medidas de segurança necessárias para que seus funcionários possam desenvolver suas atividades com o máximo de segurança mantendo a sua integridade física. Nos pontos de estudos foi identificada a intensa exposição dos funcionários ao agente físico temperatura, sendo imprescindível o uso de equipamentos adequados para o serviço, devido ao alto risco de exposição a altas temperaturas.

#### 3.1 Análise das medições de temperaturas

As funções avaliadas são:

- Forno I;
- Auxiliar de produção;

##### a) PLATAFORMA

A função avaliada na plataforma denominada de Forno I, tem a seguinte descrição das atividades realizadas onde foram feitas as quatro amostragens:

- Amostragem 1 Plataforma (AF-04): Furar o forno utilizando PPL (Vara Metálica), oxigênio e ferramentas manuais (pá e enchada), manusear canhão de transferência do ferro gusa.
- Amostragem 2 Glendons (AF-04): Realizar inspeção visual.
- Amostragem 3 Tocha (AF-04): Realizar atendimento.
- Amostragem 4 Sala de descanso: Descansando.

##### • Cálculo do IBUTG

Ambiente interno ou externo sem carga solar

$$\text{IBUTG} = 0,7 \text{ tbn} + 0,3 \text{ tg}$$

Eq. 01

##### Amostragem 1 (Atividade Desenvolvida PESADA)

$T_g = 65,8$  ,  $T_{bn} = 39,7$  e  $T_{bs} = 54,2$

$\text{IBUTG} = 0,7 \times 39,7 + 0,3 \times 65,8$

$\text{IBUTG} = 47,53$  ou  $47,5$

##### Amostragem 2 (Atividade Desenvolvida MODERADA)

$T_g = 38,3$  ,  $T_{bn} = 30,8$  e  $T_{bs} = 37,2$

$\text{IBUTG} = 0,7 \times 30,8 + 0,3 \times 38,3$

$\text{IBUTG} = 33,05$  ou  $33,1$

##### Amostragem 3 (Atividade Desenvolvida MODERADA)

$T_g = 37,6$  ,  $T_{bn} = 28,1$  e  $T_{bs} = 35,6$

$\text{IBUTG} = 0,7 \times 28,1 + 0,3 \times 37,6$

$\text{IBUTG} = 30,95$  ou  $31,0$

#### Amostragem 4 (Atividade Desenvolvida LEVE)

Tg = 34,4 , Tbn = 25,1 e Tbs = 33,4

IBUTG = 0,7 x 25,1 + 0,3 x 34,4

IBUTG = 27,89 ou 27,9

- **Cálculo do Metabolismo Média Ponderada**

Obs: Será usado a tabela do quadro 3 da NR 15

Metabolismo 1	440
Metabolismo 2	175
Metabolismo 3	175
Metabolismo 4	100

Tempo 1	40
Tempo 2	2
Tempo 3	3
Tempo 4	15

$$M = \frac{MtxTt + MdxTd}{60}$$

$$M = \frac{440x40 + 175x2 + 175x3 + 100x15}{60}$$

$$M = 332,9 \text{ Kcal / h}$$

Eq. 02

- **Cálculo do IBUTG Média Ponderada**

IBUTG 1	47,53
IBUTG 2	33,05
IBUTG 3	30,95
IBUTG 4	27,89

Tempo 1	40
Tempo 2	2
Tempo 3	3
Tempo 4	15

$$IBUTG = \frac{IBUTGtxTt + IBUTGdxTd}{60}$$

$$IBUTG = \frac{47,53x40 + 33,05x2 + 30,95x3 + 27,89x15}{60}$$

$$IBUTG = 41,3$$

Eq. 03

#### Resultado da primeira análise:

Agente Físico Calor

	IBUTG	Metabolismo (Kcal/h)
Limite de Tolerância	26,5 °C	332,9
Avaliado	41,3 °C	

Obs: Para estipular o limite de tolerância usamos o quadro 2 da NR 15.

Do Quadro N° 2

M (Kcal/h)	MÁXIMO IBUTG
300	27,5
350	26,5

Como a taxa de metabolismo foi 332,9 Kcal/h, o limite de tolerância determinado a partir do quadro é de 26,5.

### b) - RODEIO

A função avaliada no rodeio denomina-se Auxiliar de produção, tem a seguinte descrição das atividades realizadas onde foram feito as quatro amostragens:

- Amostragem 1 Sobre o Rodeio: Realizar limpeza da forma lingotaria utilizando vergalhão.
- Amostragem 2 Sob o Rodeio: Engatar e desengatar a caçamba do caminhão bruck, realizar o recolhimento do ferro gusa utilizando ferramentas manuais (pá e enchada).
- Amostragem 3 sob o Rodeio: Retirar a sucata que se encontra-se no interior do rodeio com a utilização de ferramentas manuais (carro de mão, pá e enchada).

#### • Cálculo do IBUTG

Ambiente interno ou externo sem carga solar

$$\text{IBUTG} = 0,7 \text{ tbn} + 0,3 \text{ tg}$$

Eq. 01

#### **Amostragem 1 (Atividade Desenvolvida PESADA)**

$Tg = 52,2$  ,  $Tbn = 30,8$  e  $Tbs = 42,3$

$\text{IBUTG} = 0,7 \times 30,8 + 0,3 \times 52,2$

$\text{IBUTG} = 37,22$  ou  $37,2$

#### **Amostragem 2 (Atividade Desenvolvida MODERADA)**

$Tg = 41,2$  ,  $Tbn = 30,1$  e  $Tbs = 41,8$

$\text{IBUTG} = 0,7 \times 30,1 + 0,3 \times 41,2$

$\text{IBUTG} = 33,43$  ou  $33,4$

#### **Amostragem 3 (Atividade Desenvolvida PESADA)**

$Tg = 43,4$  ,  $Tbn = 29,9$  e  $Tbs = 36,7$

$\text{IBUTG} = 0,7 \times 29,9 + 0,3 \times 43,4$

$\text{IBUTG} = 33,95$  ou  $34,0$

#### • Cálculo do Metabolismo Média Ponderada

Metabolismo 1	440
Metabolismo 2	220
Metabolismo 3	440

Tempo 1	30
Tempo 2	10
Tempo 3	20

Obs: Será usado a tabela do quadro 3 da NR 15

$$M = \frac{MtxTt + MdxTd}{60}$$

Eq. 02

$$M = \frac{440 \times 30 + 220 \times 10 + 440 \times 20}{60}$$

$$M = 403,3 \text{ Kcal / h}$$

• **Cálculo do IBUTG Média Ponderada**

IBUTG 1	37,22
IBUTG 2	33,43
IBUTG 3	33,95

Tempo 1	30
Tempo 2	10
Tempo 3	20

$$IBUTG = \frac{IBUTGtxTt + IBUTGdxTd}{60}$$

$$IBUTG = \frac{37,22 \times 30 + 33,43 \times 10 + 33,95 \times 20}{60}$$

$$IBUTG = 35,49 \text{ ou } 35,5$$

Eq. 03

**Resultado da segunda análise:**

Agente Físico Calor

	IBUTG	Metabolismo (Kcal/h)
<b>Limite de Tolerância</b>	25,5 °C	403,3
<b>Avaliado</b>	35,5 °C	

Obs: Para estipular o limite de tolerância usamos o Quadro 2 da NR 15.

Do Quadro N° 2

M (Kcal/h)	MÁXIMO IBUTG
400	26,0
450	25,5

Como a taxa de metabolismo foi 403,3 Kcal/h, o limite de tolerância determinado a partir do quadro é de 25,5.

### 3.2 Análise dos resultados

Através dos resultados obtidos, percebemos que existe uma variação de temperatura entre o limite de tolerância e o avaliado nas funções em estudo, pois para a Função de Forno I a variação é de 14,8 °C e na Função de Auxiliar de Produção essa variação foi de 10 °C, como mostra o Figura 4.

Após análise das avaliações realizadas nos diversos ambientes de trabalho, constatamos que as ocupações possuem exposição ocupacional ao agente físico Calor superior ao limite de tolerância, conforme a NR 15.

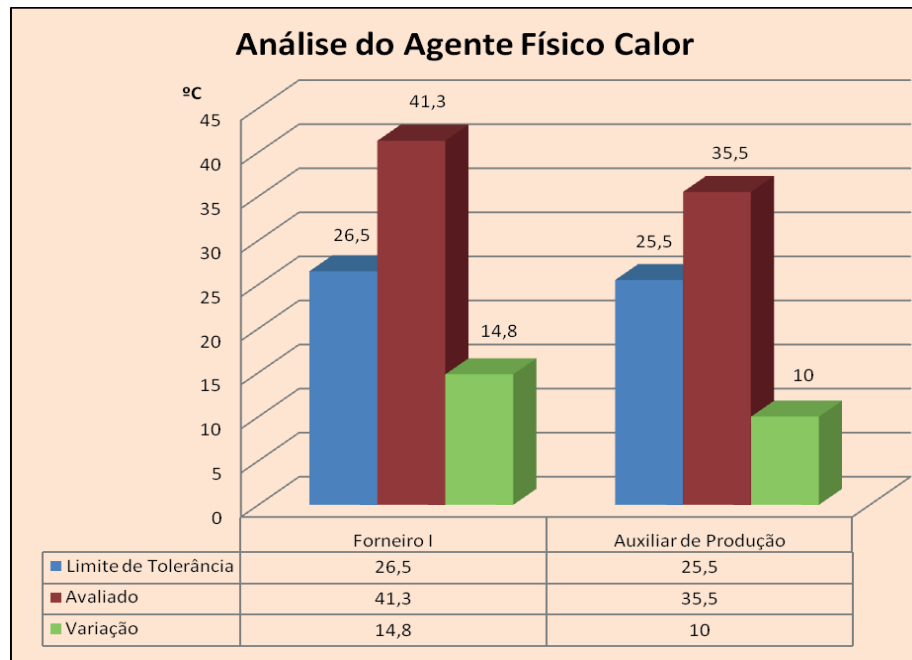


Figura 4 - Resultado das análises

A empresa deverá tomar algumas medidas corretivas ou preventivas como aclimatização, limitação do tempo de exposição, exames médicos, equipamentos de proteção individual, educação e treinamento, pois em ambas as funções o avaliado foi superior ao limite de tolerância originando o ambiente de trabalho como uma condição de insalubridade devendo a empresa se adequar, conforme a NR 15 em seu tópico 15.2 “O exercício de trabalho em condições de insalubridade, assegura ao trabalhador a percepção de adicional, incidente sobre o salário mínimo da região, equivalente a:

- 40% (quarenta por cento), para insalubridade de grau máximo;
- 20% (vinte por cento), para insalubridade de grau médio;
- 10% (dez por cento), para insalubridade de grau mínimo;

Contudo se a empresa realizar modificações em seu ambiente de trabalho, a mesma pode eliminar a insalubridade, como consta o sub - tópico da NR 15 - A eliminação ou neutralização da insalubridade deverá ocorrer:

- a) com a adoção de medidas de ordem geral que conservem o ambiente de trabalho dentro dos limites de tolerância;

b) com a utilização de equipamento de proteção individual.

### 3.3 Medidas de segurança

#### 3.3.1 Medidas de Segurança na Plataforma

Na plataforma, onde é feita a perfuração na boca do alto-forno os funcionários que ali trabalham estão expostos a altas temperaturas. Como medida de segurança, o responsável pela perfuração e direcionamento do ferro fundido para o rodeio usa uma roupa especial (aluminizada), luvas e máscara de proteção para atenuar a sensação térmica. Estes equipamentos são resistentes a altas temperaturas sendo a principal forma de defesa do funcionário as temperaturas elevadas na plataforma.

Outro equipamento utilizado é um ventilador responsável em ventilar a área da plataforma diminuindo as temperaturas elevadas e proporcionar melhores condições de trabalho ao minimizar o gradiente de temperatura.

Os equipamentos utilizados pelos funcionários têm função primordial de proteção à sensação térmica e contato no material com temperatura elevada, mas conforme os resultados obtidos nas análises térmicas, o ambiente de trabalho deve ser melhorado para a diminuição da temperatura e o tempo de exposição deverá ser controlado (conforme quadro 1) para que o funcionário não se exponha tanto.

As figuras 5 mostram como o funcionário está exposto as faíscas de ferro fundido e altas temperaturas e sua proteção usando a roupa especial, e ainda o ventilador usado para reduzir a temperatura daquele ambiente.

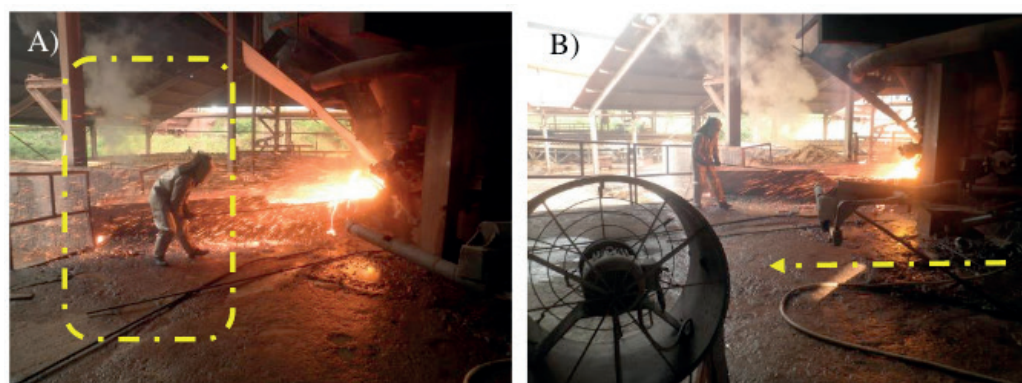


Figura 5 – A) Funcionário usando o equipamento de proteção a altas temperaturas. B) Ventilador usado para diminuir a temperatura do ambiente de trabalho.

#### 3.3.2 Medidas de Segurança no Rodeio

No rodeio o ferro-gusa que sai do alto-forno é resfriado com o uso de um chuveiro feito por meio de tubulações que borriфа água no material. Um problema grave que ocorre nesse processo é o contato dos funcionários com os vapores de água em altas temperaturas produzidos, podendo causar acidentes graves.

O meio de proteção que a empresa criou para evitar esse tipo de acidente foi

à instalação de ventiladores para disseminar os vapores de água evitando assim o contato com os funcionários, como pode ser visto na Figura 6.

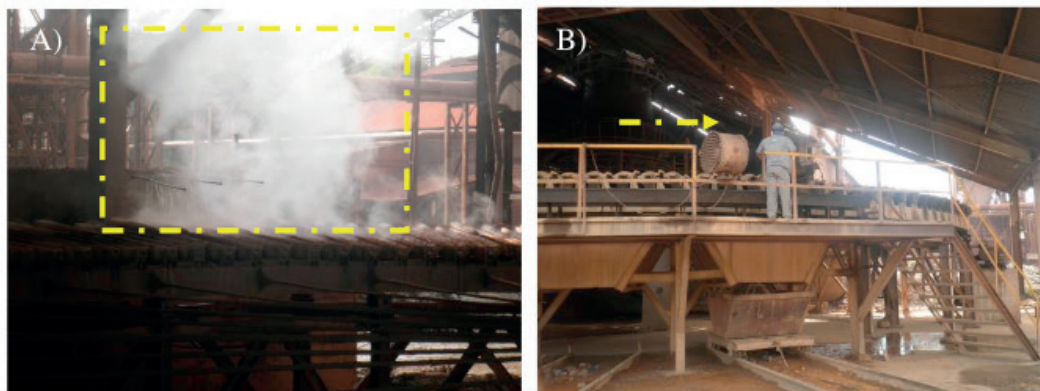


Figura 6 – A) Vapores de água formado pelo contato com o ferro fundido. B) Ventilador usado para disseminar os vapores quentes

Esse equipamento é utilizado para atenuar a temperatura e disseminar os vapores com fundamental importância na proteção da sensação térmica, mas conforme os resultados obtidos nas análises térmicas, o ambiente de trabalho deve ser melhorado para a diminuição da temperatura e o tempo de exposição deverá ser controlado (conforme quadro 1) para que o risco seja controlado.

#### 4 | CONCLUSÕES

O processo siderúrgico é uma das atividades que mais se desenvolveram na região do sudeste Paraense, especificamente na Cidade de Marabá. Hoje este município tem aproximadamente 12 empresas do ramo siderúrgico, no entanto, apenas quatro estão em funcionamento. Tal atividade é responsável por ofertar inúmeras vagas de emprego na região, inclusive para os auxiliares de produção, que são os funcionários mais expostos aos riscos de acidentes causados por altas temperaturas.

O presente estudo buscou mostrar se o desenvolvimento da atividade siderúrgica oferece segurança em três pontos principais do processo produtivo. Se as atividades não forem realizadas com o máximo de segurança, os acidentes acontecerão, prejudicando assim os funcionários e as empresas. Mas se os empreendimentos tiverem uma política de segurança, com boas condições de trabalho, por meio de equipamentos de prevenção eficazes e eficientes para desenvolver atividades de risco, os acidentes serão nulos.

Os métodos de segurança, prevenção e equipamentos de proteção utilizados nas atividades da empresa, onde o estudo foi realizado, mostraram-se eficazes para a proteção térmica, porém conforme os resultados que mostraram uma variação entre o limite de tolerância e o valor avaliado determina que o ambiente de trabalho seja melhorado para reduzir o valor do IBUTG calculado. As boas condições de trabalho



de seus funcionários ajudam no bom desempenho da produção, além de evitar acidentes com lesões ou fatais.

## REFERÊNCIAS

FUNDACENTRO - Ministério do Trabalho. **NHO 06 – Avaliação da Exposição Ocupacional ao Calor**. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2002. 20p.

GOOGLE EARTH. Disponível em: <[www.googleearth.com](http://www.googleearth.com)> Acesso em: 22 de Dezembro de 2011.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos Física**. 3ª Ed. Rio de Janeiro: LTC Editora S.A, 1996. 193p.

HEWITT, P. G. **Física Conceitual**. 9ª Ed. São Paulo: Artmed editora S.A, 2002. 268p.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. Disponível em: <[http://www.mte.gov.br/legislacao/normas\\_regulamentadoras/nr\\_15\\_anexo3.pdf](http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_15_anexo3.pdf)> Acesso: 12 de Junho de 2011.

MARTINS, C. **Apostila do Módulo Iv: Higiene do Trabalho, Agentes Físicos**. UNITINS, 2009. 17p.

SERWAY, R. A. **Física 2 para cientistas e engenheiros**. 3ª Ed. Rio de Janeiro: LTC Editora S.A, 1996. 95p.

## CONFECÇÃO DE BANCADA DIDÁTICA PARA SIMULAÇÃO DE SISTEMAS HIDRELÉTRICOS COM PERSPECTIVA À INTEGRAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0

**Kariston Dias Alves**

kariston.alves@ifro.edu.br

**Gustavo Catusso Balbinot**

gu.academico@gmail.com

**Artur Vitório Andrade Santos**

artur.santos@ifro.edu.br

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia – Campus Calama  
Av. Calama, 4985 – Flodoaldo Pontes Pinto  
76820-441 – Porto Velho – Rondônia

**RESUMO:** A maior porcentagem de geração de energia elétrica por fontes renováveis no Brasil é proveniente de sistemas hidrelétricos. Os estudantes de engenharia, quanto futuros profissionais, poderão atuar neste setor, e por isso, devem ser devidamente capacitados para enfrentar os desafios do setor energético. Desta forma, é de extrema importância o conhecimento dos assuntos tangentes a estes sistemas, tanto teórico como prático no que diz respeito aos equipamentos e procedimentos. Neste sentido, o artigo apresenta uma proposta de bancada didática para sistemas hidrelétricos com a perspectiva de integração de equipamentos de indústria 4.0 para que os estudantes do curso de Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal de Rondônia tenham a devida formação e estejam capacitados atuar com os novos conceitos da área. Não somente

dada a relevância do setor para o país, como também, dada a notoriedade que o estado de Rondônia alcançou por seu parque de geração hidrelétrica. O artigo apresentará as abordagens metodológicas possíveis para a bancada, e estão subdivididas em 5 níveis, que, propiciará uma flexibilidade no uso para cada conteúdo ministrado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Bancada Didática, Sistemas Hidrelétricos, Indústria 4.0.

### CONFECTION OF DIDACTIC BANK FOR SIMULATION OF HYDROELECTRIC SYSTEMS WITH A VIEW TO THE INTEGRATION OF THE INDUSTRY 4.0

**ABSTRACT:** The highest percentage of electricity generation by renewable sources in Brazil through hydroelectric systems. Engineering students, as well as future professionals, will be able to work in this sector, and therefore must be properly trained to face the challenges of the energy sector. In this way, it is extremely important to know the issues of these systems, both theoretical and practical with regard to equipment and procedures. The article presents a didactic workbench proposal for hydroelectric systems with the perspective of integration of 4.0-industry equipment so that students of the Control Engineering and Automation course of the Federal Institute

of Rondônia would have the appropriate training and are able to work with the new concepts of the area. Not only given the sector's relevance to the country, in general, but also, given the state of Rondônia's notoriety for its hydroelectric generation park. The article will present possible methodological approaches to the workbench, and are subdivided into 5 levels, which will provide flexibility in use for each content.

**KEYWORDS:** Didactic WorkBench, Hydropower System. Industry 4.0.

## 1 | INTRODUÇÃO

É imprescindível que na atualidade procurem-se meios de obter energia por fontes renováveis de modo a minimizar os impactos no ecossistema. Dentre as diversas formas de produção de energia renovável (eólica, solar, hidrelétrica e maré) a que mais se destaca no Brasil é a produção de energia através de hidrelétricas (BIG, 2019). De acordo com os dados fornecidos pelo Banco de Informações de Geração (BIG) pertencente à Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) existem 1341 empreendimentos de fonte hidrelétrica com uma potência associada de 104.589.321 kW sendo esses empreendimentos subdivididos em 3 (três) categorias: CGHs, UHEs e PCHs<sup>1</sup>, representando assim 60,73% da matriz energética do Brasil.

Ainda de acordo com o BIG existem 34 empreendimentos localizados em Rondônia em operação, que será demonstrado detalhadamente na tabela 1. Pode-se notar que o mercado estadual conta com um número expressivo de empreendimentos hidrelétricos, sendo eles em sua maioria PCHs, com isso se faz necessário engenheiros capacitados para atuar com sistemas hidrelétricos

Categoria do Empreendimento	Nome da usina	Potência Fiscalizada (kW)	Município - RO
CGH	Altoé I	2.062,50	Alto Alegre dos Parecis
	Altoé II	1.000	Alto Alegre dos Parecis
	Cachoeira do Cambara	2.160	Vilhena
	Castaman II	950	Colorado do Oeste
	Espigão	2.300	Espigão d'Oeste
	Fazenda Figueirão	40	Alta Floresta d'Oeste
	Marcol	2.500,20	Vilhena
	Margarida Ltda	1.480	Colorado do Oeste
	Martinuv	1.840	Vilhena
	Poço	720	Vilhena
	Rio Enganado	2.000	Colorado do Oeste
	Rio Vermelho	2.560	Vilhena
	São João PA	3.804,42	Pimenteiras do Oeste

1 CGH - Central Geradora Hidrelétrica, UHE - Usina Hidrelétrica e PCH - Pequena Central Hidrelétrica

PCH	Alta Floresta	5.000	Alta Floresta d'Oeste
	Ângelo Cassol	3.600	Alta Floresta d'Oeste
	Cabixi	2.700	Vilhena
	Cachoeira	11.120	Vilhena
	Cachoeira Cachimbo Alto	9.801	Alta Floresta d'Oeste
	Canaã	17.000	Ariquemes
	Cascata Chupinguaia	9.600	Chupinguaia/Corumbiara
	Cesar Filho	7.000	Chupinguaia/Parecis
	Chupinguaia	1.270	Vilhena
	Figueira	1.400	Alta Floresta d'Oeste
	Jamari	20.000	Ariquemes
	Monte Belo	4.800	Alta Floresta d'Oeste
	Primavera	25.700	Pimenta Bueno/Primavera de Rondônia
	Rio Branco	7.140	Alta Floresta d'Oeste
	Saldanha	5.280	Alta Floresta d'Oeste
	Santa Cruz de Monte Negro	17.010	Monte Negro
	Santa Luiza D'Oeste	3.000	Alto Alegre dos Parecis
UHE	Samuel	216.750	Porto Velho
	Rondon II	73.500	Pimenta Bueno
	Santo Antônio	3.586.000	Porto Velho
	Jirau	3.750.000	Porto Velho
TOTAL	34	7.801.088,12	

Tabela 1 – Empreendimentos de geração de energia hídrica no estado de Rondônia

Fonte: BIG (2019) adaptado.

De acordo com a ABDI (Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial) e com o extinto MDIC (Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços), atualmente incorporada pelo Ministério da Economia, um dos principais fatores que impulsionam a indústria 4.0 é um conjunto de tecnologias que permitem a fusão do mundo físico, digital e biológico, acarretando o crescimento tecnológico em diversas áreas sendo elas: IA (Inteligência Artificial), impressão 3D, IoT (Internet das Coisas), CPS (Sistemas Ciber-Físicos) e entre outras, fazendo assim com que todos os equipamentos troquem informações entre si, fazendo com que o processo se adapte e fique mais autônomo.

Ao que tudo indica novas competências surgirão para os engenheiros, fazendo com que o ensino deva se adaptar a essa realidade, um exemplo que pode ser citado é a indústria 4.0. A ABDI (2019) demonstra que entre os anos de 1969-2000 no Brasil, os engenheiros não tinham a competência necessária à nova fase da industrialização, sendo fator mandatório para que as instituições de ensino se adaptem, fazendo com que os futuros engenheiros possam assim ter a competência requerida para o mercado de trabalho.

De acordo com Villas Boas et. al, (2019), há um destaque especial para a mudança de concepção na formação baseada em conteúdos para a formação por competências, acarretando a necessidade de um replanejamento na atuação docente.

Por sua vez, Alves (2017, apud SIMÕES; SIMPLE; FIGUEIREDO, 2014), mostra uma preocupação na formação dos engenheiros, afirmando:

Um currículo de um curso não pode ser definido somente por meio de disciplinas que possuem ementas e pré-requisitos, mas sim definido como uma série de conteúdos programáticos que possuem uma estrita relação ao longo do curso e propiciem, a cada assunto abordado, uma extensão dos assuntos anteriores, transformando esse currículo, não em uma “colcha de retalhos” de conhecimentos, mas sim em uma “teia” de conhecimentos interdependentes.

Desta forma, é de extrema importância possibilitar uma formação profissional diferenciada com a correta interdisciplinaridade entre as disciplinas. Com isso o uso das aulas práticas possibilita uma maior interação entre os conceitos ministrados.

De posse destas informações foram analisadas formas de capacitar os alunos do curso de Engenharia de Controle e Automação, para que possa haver uma capacitação alinhada às necessidades locais. Deste modo, almeja-se a elaboração de uma bancada didática de sistemas hidrelétricos que subsidie os discentes à correta compreensão de um sistema hidrelétrico, de modo que estes futuros profissionais possam propor aprimoramentos, seja na eficiência dos sistemas ou mesmo a modernização com vistas às tecnologias da indústria 4.0.

Alinhado ao projeto pedagógico do curso, a bancada é projetada para que disciplinas, como: Modelagem de Sistemas Dinâmicos, Controle de Processo e Laboratório de Controle possam contar com o equipamento para ilustrações e contextualizando com a realidade local.

O artigo está estruturado da seguinte forma: A seção 2 denominada “Proposta da bancada didática e metodologias” apresentará quais metas e processos serão cumpridos para a confecção da bancada bem como as propostas metodológicas referentes ao uso da bancada como ferramenta didática para o aprimoramento do ensino-aprendizagem no curso; na seção 3 intitulada como “Descrição dos níveis” demonstrará de forma detalhada cada nível metodológico; seguindo na seção 4 “Perspectiva de resultados” a partir do uso da bancada; e por fim na seção 5 “Considerações finais” finalizando assim com as devidas considerações.

## **2 | PROPOSTA DA BANCADA DIDÁTICA E METODOLOGIAS**

Este projeto teve início no ano de 2019/1, desta forma, exhibe-se de forma detalhada cada meta ou etapa a ser concluída até a confecção final, onde os alunos poderão ter contato com a bancada didática. A proposta apresentada baseia-se na bancada didática de sistemas hidrelétricos da UnB – Campus Gama que teve sua concepção e elaboração por meio de projeto aprovado no edital MCT/CNPq Nº 05/2010, apresentado por Alves (2017) visando a capacitação laboratorial e formação de em fontes renováveis.

Em nosso caso, é esperado que o equipamento atenda a interesses particulares

do curso, como também da região. Como já mencionado, o estado de Rondônia tem um forte mercado em sistemas hidrelétricos. Não obstante, o equipamento visa auxiliar na formação dos alunos de engenharia de controle e automação. Deste modo, por meio de projeto aprovado na chamada universal FAPERO 04/2018, iniciaram-se os estudos para elaboração da plataforma, que deve integrar os conceitos básicos de um sistema hidrelétrico aos conceitos das técnicas de controle e instrumentação.

## 2.1 Modelagem em 3D dos rotores das turbinas

Realizou-se a modelagem em 3D dos rotores das turbinas Pelton e Vortex, sendo a turbina Pelton consolidada no mercado interno e a Vortex como evidência internacional, tendo forte empregabilidade nos empreendimentos PCHs. Desta forma procura-se seguir fielmente as características delas para que o sistema em escala reduzida (bancada) se comporte o mais parecido possível com os modelos empregados em escala real. Sendo assim a figura 1, demonstrará o rotor da Pelton desenhado para a impressão 3D.

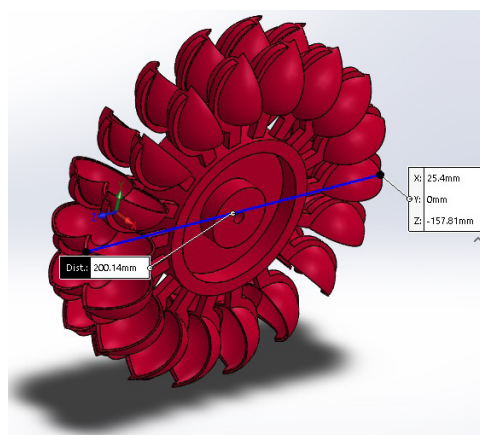


Figura 1 – Rotor da Pelton modelado em 3D.

Fonte: Elaborado pelo autor.

O rotor da Pelton projetado tem um diâmetro (de pá a pá) de 200 mm, com uma espessura (copo a copo na mesma pá) 59,57 mm, o rotor conta com 18 pás e um furo central passante para o eixo de 6 mm de diâmetro.

Após a conclusão da modelagem do rotor da turbina Pelton deu-se início a modelagem da turbina Vortex, entretanto por ser uma turbina relativamente nova não se tem muitas informações ou pesquisas relacionadas a ela. Desenvolvida por uma equipe belga, este modelo destina-se ao uso em países em desenvolvimento. De acordo com a TURBULENT (2018), há apenas três (3) dessas turbinas instaladas pela referida empresa, se mostrando como uma alternativa viável. Desta forma, pretende-se iniciar uma investigação deste modelo, com a perspectiva de fomentar seu uso na região norte, dada as características do modelo: necessidade de baixa queda e alta

vazão, o que está em sintonia com as características geográficas da região.

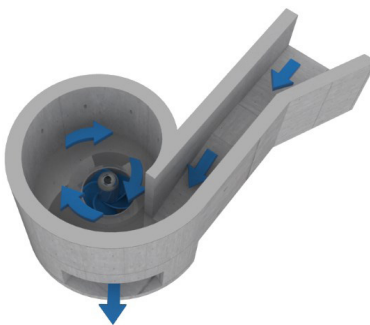


Figura 2 - Esquemático da Turbina Vortex.

Fonte: Turbulent (2018)

## 2.2 Perspectiva da bancada

Baseando-se em modelos utilizados em outras instituições de ensino, conforme a figura 3, foi idealizada uma bancada que atendesse as duas formas de rotores que serão impressas em 3D e afixados nas bases projetadas para a bancada. Desta forma, há a necessidade de flexibilidade no encapsulamento onde os rotores ficarão, ou seja, a parte onde os rotores ficarão será intercambiáveis, a fim de atender a especificidade de cada um.



Figura 3 - Bancada Pelton utilizadas em instituições parceiras.

Fonte: IFAM (2014)

Acrescido ao escopo inicial, a bancada projetada prevê espaço para a fixação do sistema embarcado e a passagem dos cabos. Com isso faz-se necessário a escolha de sistema embarcado e sensores que serão empregados, possibilitando assim a comunicação via IoT e outros conceitos da indústria 4.0, sabe-se que há vários sistemas embarcados com módulos Wi-Fi, alguns que já integradas à placa, como o *NodeMCU* e outros que requerem a *shield* de integração no caso das placas Arduino.

### 3 | USO DA BANCADA COMO FERRAMENTA METODOLÓGICA

Para o uso da bancada como ferramenta metodológica baseou-se no trabalho de Silva *et al.* (2013) que apresenta uma proposta metodológica que é dividida em níveis de complexidade dos equipamentos que compõem a bancada, desta forma cada nível será trabalhado de acordo com a disciplina. Desta forma com as adaptações da proposta original devido às funções desta bancada, têm-se que os níveis serão:

- 1º nível: Conhecimento do sistema e verificação de conceitos básicos;
- 2º nível: Comportamento hidrodinâmico e avaliação do sistema mecânico;
- 3º nível: Geração de energia elétrica;
- 4º nível: Controle de processo e comportamento como sistema dinâmico;
- 5º nível: Manipulação e supervisão através dos conceitos de indústria 4.0.

#### 3.1 Nível 1: Conhecimento do sistema e verificação de conceitos básicos

(Disciplinas: Introdução à engenharia e disciplinas de física)

Como descrito na proposta original, neste nível propõem a serem trabalhados conceitos básicos, como conhecimento geral dos equipamentos existentes no conjunto que compõem a bancada, a utilização do rotâmetro junto ao uso de sensores para validação dos cálculos de pressão e vazão. A figura 4 demonstrará as atividades a serem desenvolvidas neste nível. Desta maneira, proporciona-se um estímulo maior para os alunos, pois já haverá um contato inicial com a prática.

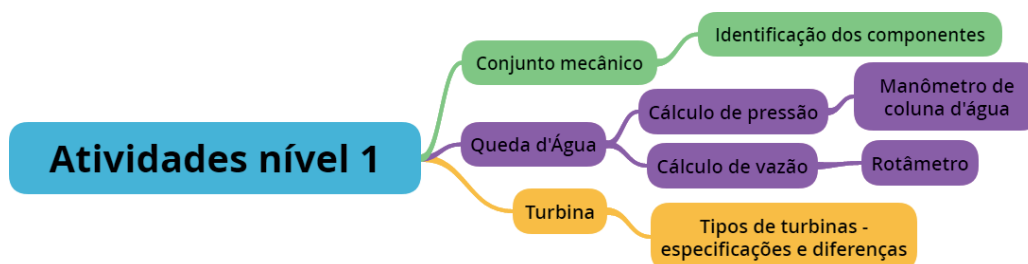


Figura 4 - Diagrama de atividades a serem realizadas no nível 1.

Fonte: Próprio

#### 3.2 Nível 2: Comportamento hidrodinâmico e avaliação do sistema mecânico

(Disciplinas: Elementos de máquinas, fenômenos de transportes e máquinas térmicas e hidráulicas)

Neste nível serão apresentados aos alunos conceitos sobre hidrodinâmica e avaliarão o sistema mecânico que compõe a bancada. Para esse nível os alunos vão dispor de sensores mais adequados para a monitoração do sistema em funcionamento. As atividades propostas são: identificação dos elementos de máquinas, análise mecânica, análise de eficiência e tópicos transversais à mecânica, aferição de pressão



e vazão através de sensores, cálculo de eficiência da turbina e característica como máquina de fluxo, conforme demonstrado na figura 5.

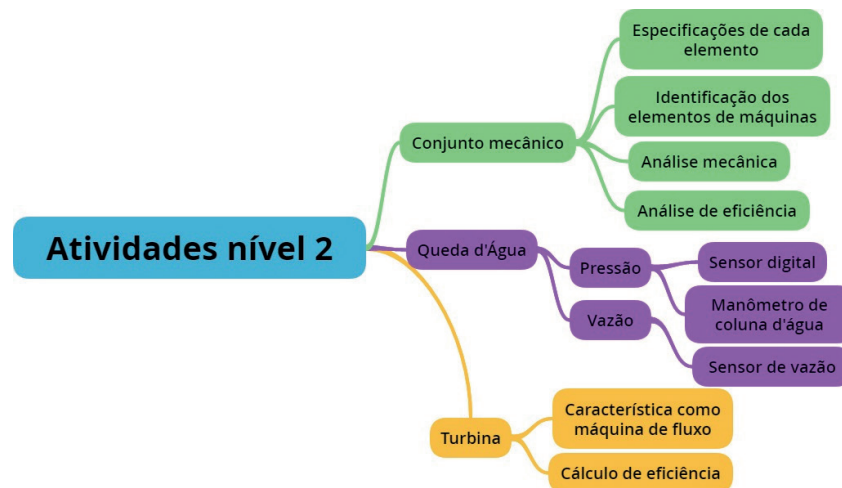


Figura 5 - Diagrama de atividades a serem realizadas no nível 2.

Fonte: Próprio

### 3.3 Nível 3: Geração de energia elétrica

(Disciplinas: Máquinas elétricas e conversão de energia)

Neste nível pretende-se abordar conceitos de máquinas elétricas e de conversão de energia pertinentes a formação dos graduandos, para que tenham um maior conhecimento na prática, como por exemplo, gerador síncrono, a relação turbina-gerador e seus temas transversais. A figura 6 demonstrará a abordagem pretendida.

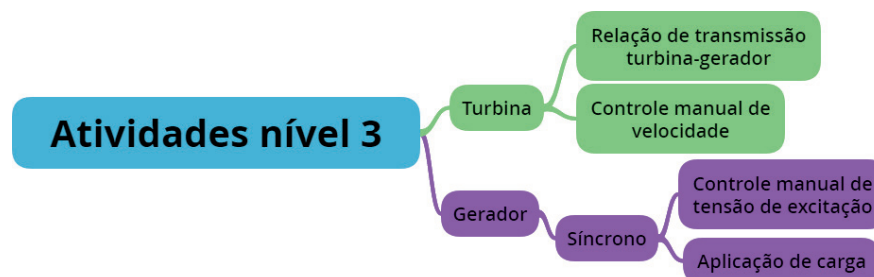


Figura 6 - Diagrama de atividades a serem realizadas no nível 3

Fonte: Próprio

### 3.4 Nível 4: Controle de processo e comportamento como sistema dinâmico

(Disciplinas: Modelagem de sistemas dinâmicos, teoria de controle, laboratório de controle, controle de processo, instrumentação industrial)

Neste nível o enfoque será inteiramente à métodos de controle para uma melhor eficiência dessa turbina, sendo os assuntos abordados como: Análise de estabilidade, tipos de controladores, protocolo de comunicação entre a planta e os controladores,

representação matemática do sistema, identificação do sistema, entre outros assuntos tangíveis a este nível, conforme a figura 7 mostrará.

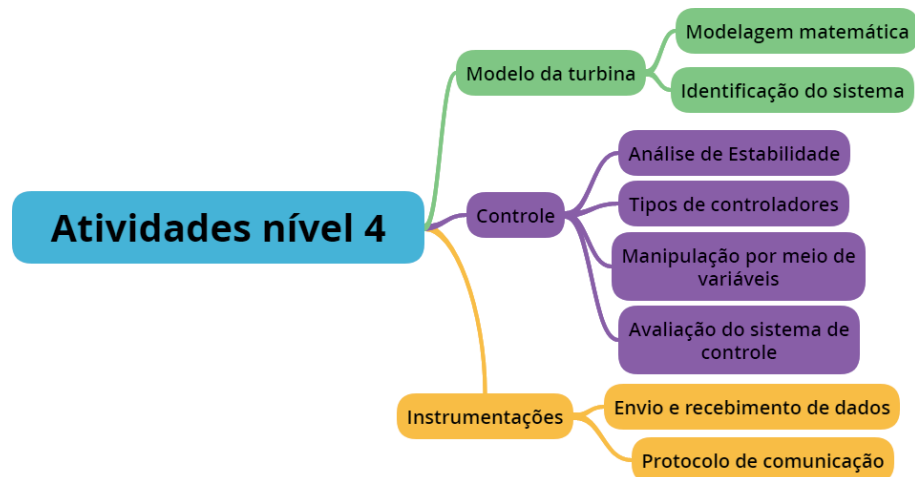


Figura 7 - Diagrama de atividades a serem realizadas no nível 4.

Fonte: Próprio

### 3.5 Nível 5: Manipulação e supervisão através dos conceitos de indústria 4.0

(Disciplinas: Sistema embarcados, Sistemas supervisórios, redes industriais)

Por fim o nível 5 será para as atividades correspondentes a indústria 4.0, com codificação do sistema embarcado para o protocolo MQTT para interação dos objetos com a internet, assim podendo supervisionar e configurar os *SetPoints* da planta, entre outras atividades. A figura 8 demonstrará o diagrama de atividades.



Figura 8 - Diagrama de atividades a serem realizadas no nível 5

Fonte: Próprio

## 4 | PERSPECTIVA DE RESULTADOS

Espera-se que com o desenvolvimento desta bancada as aulas referentes aos determinados assuntos que foram expostos, possam ser devidamente subsidiadas.

Por meio desta ferramenta consiga-se uma construção de conhecimento feito por “teias”, ou seja, por um melhor entrelaçamento de todos os conteúdos que abrangem a área de controle e automação. A figura 9 apresenta a bancada projetada com todos os equipamentos mecânicos, hidráulicos e elétricos necessários. Por sua vez, a figura 10 apresenta o diagrama de interligação dos dispositivos que compõem a bancada e que serão apresentados ao aluno os conceitos de indústria 4.0.

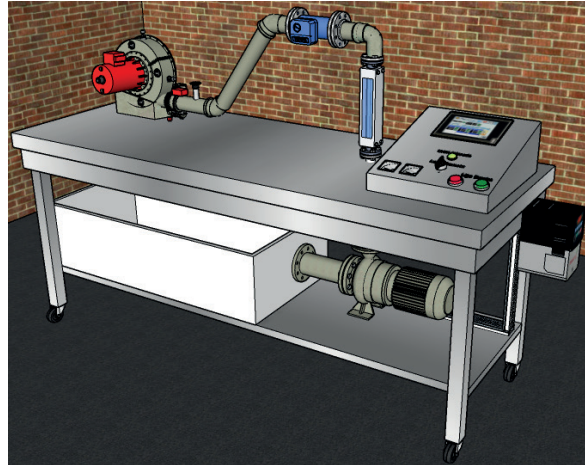


Figura 9 - Proposta da bancada didática em sistemas hidrelétricos e indústria 4.0.

Fonte: Próprio.

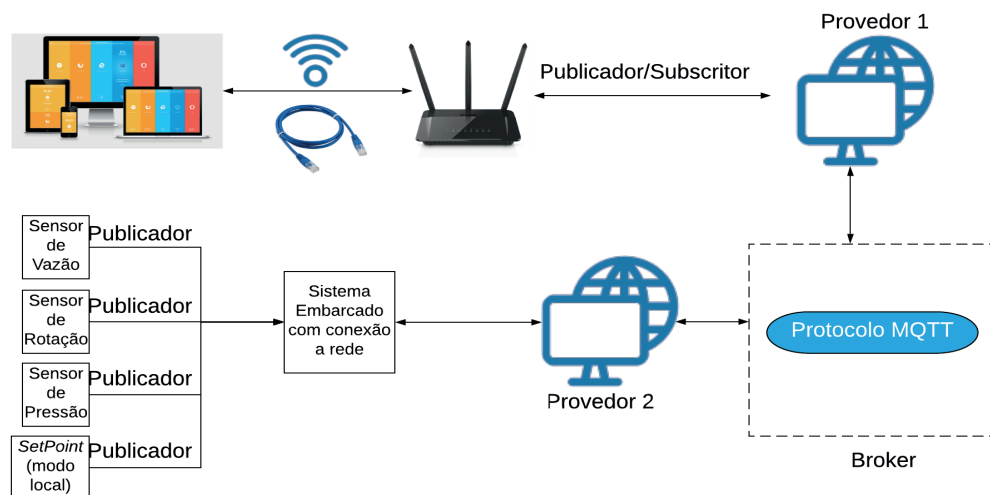


Figura 10 – Diagrama de interligação dos dispositivos na indústria 4.0

Fonte: Próprio.

## 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mediante tudo que foi exposto neste trabalho, com a conclusão desta bancada, poderá ser utilizada em matérias importantes do núcleo específico como Modelagem de Sistemas Dinâmicos, Controle de Processo e Laboratório de Controle, bem como as matérias do núcleo básico e profissionalizante, Fenômenos de Transporte e Teoria

de Controle.

Desta forma o valor agregado em forma de conhecimento prático para o curso e para os alunos será de extrema importância, tendo em vista que, cada vez mais se necessita de profissionais altamente qualificados para execução de trabalhos mais complexos. Almejando que esses profissionais estejam aptos a não trabalhar somente no mercado estadual e sim em âmbito nacional.

## 6 | AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Rondônia - FAPERO, e ao Instituto Federal de Rondônia - IFRO, pelo apoio.

## REFERÊNCIAS

ALVES, Kariston D. Laboratório de sistemas hidrelétricos aplicados a formação do engenheiro de energia – geração de energia elétrica e controle de sistemas dinâmicos. In: XLV Congresso Brasileiro De Educação em Engenharia, 2017, Florianópolis. **Anais**. Joinville, 2017.

SILVA, J. d. et al. Laboratório real de geração hidrelétrica -Proposta metodológica de utilização de bancada de ensaio de turbina hidráulica no curso de engenharia de energia. In: XLI Congresso Brasileiro De Educação em Engenharia, 2013, Rio Grande do Sul. **Anais**. Gramado, 2013.

ANEEL. **Banco de Informações de Geração**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em: 19 abr. 2019.

ABDI. **Indústria 4.0**. Disponível em: <http://www.industria40.gov.br/>. Acesso em: 19 abr. 2019.

TURBULENT. **PROJECTS**. Disponível em: <https://www.turbulent.be/projects>. Acesso em: 24 abr. 2019

VILLAS-BOAS ET. AL., **Uma nova sala de aula é possível: Aprendizagem Ativa na Educação em Engenharia**. 1º ed. – Rio de Janeiro: LTC, 2019.

CONSUP., Resolução nº 3, de 17 de janeiro de 2017. **Projeto Pedagógico Do Curso De Engenharia De Controle E Automação Do Campus Porto Velho Calama**. Porto Velho: IFRO, 2017.

## DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA PARA ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DE TERMELÉTRICAS A BIOMASSA NO BRASIL

### **Beatriz Gabrielle de Carvalho Pinheiro**

Universidade de Brasília  
Brasília – Distrito Federal

### **Josiane do Socorro Aguiar de Souza Oliveira Campos**

Universidade de Brasília  
Brasília – Distrito Federal

### **Luciano Gonçalves Noletto**

Universidade de Brasília  
Brasília – Distrito Federal

### **Maria Vitória Duarte Ferrari**

Universidade de Brasília  
Brasília – Distrito Federal

### **Tallita Karolline Nunes**

Universidade de Brasília  
Brasília – Distrito Federal

**RESUMO:** O trabalho apresenta um estudo metodológico para implementar miniusinas Termelétricas a biomassa de geração distribuída de Casca de Arroz no Brasil. A proposta metodológica criada para mapear as possíveis localidades de miniusinas a casca de arroz de geração distribuída, teve como base a criação de critérios ambientais, sociais e econômicos e o sistema de informação geográfica com a utilização do software QGIS. A simulação gerou cartogramas que serviram de base para as tomadas de decisões, assim, com a construção do mapa de concentração

de casca, foi possível definir a localidade das usinas. O projeto viabiliza tecnicamente a implementação de 8 mini UTES a casa de arroz no Brasil, todas se localizam estrategicamente: próxima das biomassas, do sistema interligado nacional e das rodovias brasileiras, totaliza aproximadamente 40 MW de potência instalada no país. A metodologia desenvolvida foi eficaz e de extrema importância para que exista visibilidade desse setor energético, porque analisou a viabilidade técnica e pré-estabeleceu pontos de maiores oportunidades com o intuito de que novos empreendimentos sejam projetados e construídos no Brasil.

**PALAVRAS-CHAVE:** miniusinas, casca de arroz, cartografia.

### DEVELOPMENT OF METHODOLOGY TO EVALUATE THE IMPLEMENTATION OF BIOMASS THERMELECTRIC IN BRAZIL

**ABSTRACT:** This work presents a methodologic study to implement mini biomass thermoelectric powerplants with distributed generation of Rice Husk in Brazil. The methodology created to identify the possible locations for the mini plants with distributed generation in Brazil was based on the creation of environmental, social and economic criteria and system of geographic information with the use of the software QGIS. The simulation create cartograms that served as

basis for decision making, thus, with the construction of the map of husk concentration, it was possible to define the location of the plants. The project guarantees both technical and economic viability the implementation of 8 mini thermoelectric powerplants with Rice Husk in Brazil, all of them located strategically: next to the biomasses, to the national integrated system and to the highways, and totalize approximately 40 MW of installed power in the country. The methodology developed was effective and extremely important so that there is greater visibility of this energy sector, because it analyzed the technical feasibility and pre-established points of greater opportunities with the aim of new projects being designed and built in Brazil.

**KEYWORDS:** mini thermoelectric, rice husks, cartography

## 1 | INTRODUÇÃO

O Brasil é um produtor agrícola, de pecuária e florestal, o que o coloca entre os principais atores no cenário internacional da bioenergia. Este fato é justificado pela quantidade significativa de resíduos de biomassa, com potencial para aplicação como fontes de energia em termoelétricas, gerada desde o cultivo até as etapas finais dos processos de transformação de produtos (PORTUGAL-PEREIRA et al, 2015; BRASIL, 2018).

Atualmente, a energia derivada de biomassa corresponde a 10% de toda energia consumida no mundo. Desse percentual cerca de dois terços é utilizada em países em desenvolvimento, principalmente no setor residencial. No Brasil, as biomassas, utilizadas como fontes de energia em termoelétricas, representam 8,83% da matriz energética (BRASIL, 2007; BRASIL, 2018; ANEEL/Banco de Informações de Geração, 2018).

O uso da bioenergia em larga escala vem crescendo rapidamente, movimentando os mercados locais e internacionais de biomassa em todo o mundo. Diante deste cenário, em 2018, o Ministério de Minas e Energia brasileiro publicou os cinco grupos de fatores que se apresentam como vantagens relevantes para a produção e desenvolvimento da bioenergia no país. Esses são: (i) a posição geográfica e as condições climáticas favoráveis do Brasil; (ii) o elevado patamar de desenvolvimento do mercado de produção e consumo do país; (iii) as pesquisas e a evolução das melhorias da produção e o aumento de produtividade da biomassa; (iv) a indústria de serviços para projetos de bioenergia; e (v) as políticas nacionais que tornam o tratamento e a destinação adequada de resíduos obrigatório (BRASIL, 2018).

Como é previsto um acréscimo da utilização de biomassa como fonte de energia e tem-se apresentado bons resultados diante das pesquisas de conversão em nível mundial, faz-se necessário estudos para viabilizar a implementação de termoelétrica à biomassa e definir estrategicamente as melhores tomadas de decisões em cada fase do projeto. Por esses motivos, esse trabalho desenvolveu uma metodologia para o Estudo de Viabilidade Técnica – EVT de termoelétricas a biomassa no Brasil,

capaz de validar projetos de geração de bioenergia no país. Apesar de desenvolvida a partir do resíduo do processo de beneficiamento do arroz, deseja-se que esta metodologia sirva como modelo para qualquer outro resíduo agrícola, florestal e/ou outros substratos que possam ser reaproveitados como biomassa no país.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente, a produção brasileira de arroz foi analisada para destacar o posicionamento deste produto agrícola no mercado interno brasileiro. Em seguida, a composição do arroz e o principal resíduo do seu beneficiamento foram estudados para definir a casca de arroz como o principal resíduo do processo.

Para definir a quantidade de biomassa necessária, realizou-se o cálculo do potencial energético. Como base de cálculo, teve-se a Norma Técnica CGEI nº 01 /98 de 22 de setembro de 1998, que consiste em igualar a unidade das biomassas em toneladas equivalentes de petróleo por meio do poder calorífico inferior de cada biomassa e converter para kWh, usando uma aproximação de quanto seria capaz a geração de energia considerando as perdas associadas durante processo de transformação. Desse modo calcula-se a Tonelada Equivalente de Petróleo ( $TEP_{bio}$ ) como:

$$TEP_{bio} = \frac{PCI_{biomassa}}{PCI_{petróleo}} \quad (1)$$

onde,  $PCI_{biomassa}$  e  $PCI_{petróleo}$  são o Poder Calorífico Inferior da biomassa e do petróleo, respectivamente.

Após isso, encontrou-se a geração de energia a partir do fator de conversão 0,29 TEP/MWh.

$$E_{bio} = \frac{TEP_{bio}}{0,29 \frac{TEP}{MWh}} \quad (2)$$

sendo  $E_{bio}$  é a Energia da biomassa.

Assim, para encontrar a quantidade de energia que pode ser gerada, o valor encontrado  $E_{bio}$  foi multiplicado pela quantidade de resíduo disponível e não aproveitado.

O desenvolvimento da metodologia para implementação das UTEs a biomassa iniciou na definição de critérios, a fim de servir como filtros, no Estudo de Viabilidade Técnica. Estes critérios foram definidos em: ambientais, econômicos e sociais. O Quadro 1 mostra a subdivisão desses critérios com seus respectivos tópicos para validação.

Critérios Ambientais	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de biomassa</li> <li>• Localidade da biomassa</li> <li>• Quantidade de biomassa não aproveitada</li> <li>• Época de colheita da biomassa</li> </ul>
Critérios Econômicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Custo de investimento</li> <li>• Custo de operação e manutenção</li> <li>• Custo de transporte</li> <li>• Custo com combustível</li> <li>• Capacidade instalada</li> <li>• Proximidade da linha de transmissão e da malha rodoviária</li> <li>• Raio definido entre a biomassa e a usina</li> </ul>
Critérios Sociais	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumidores</li> <li>• Demanda de Energia</li> </ul>

Quadro 1 - Critérios utilizados no o Estudo de Viabilidade Técnica para implementação de UTEs a Biomassa.

Fonte: Aatoria Própria, 2018.

Após levantamento de dados referentes aos critérios previamente estabelecidos, foi possível mapeá-los com o uso do QGIS e assim definir os prováveis locais de implementação. Para realizar esse mapeamento, os dados georreferenciados dos municípios brasileiros e suas respectivas quantidades de biomassa disponível foram comparados.

Após criar a camada de biomassa disponível, a etapa seguinte foi adicionar duas novas camadas no Brasil. A primeira estudou as linhas de transmissão existentes e a segunda analisou a malha rodoviária existente para determinar a proximidade da biomassa disponível com ambas.

### 3 | REFERENCIAL TEÓRICO

Até 2050, o setor agrícola brasileiro prevê uma tendência de alta para a produção de arroz, soja, trigo e cana de açúcar no país. Entre esses, a produtividade de arroz está estimada em aproximadamente 10 toneladas por hectare, o que significa em um aumento de 150% na produtividade do grão, por hectare, quando comparado ao ano de 2010. Essa previsão também indica que a área utilizada para plantio desse grão, em 2050, será aproximadamente 30% menor quando comparado com a área utilizada em 2010. Com isso, conclui-se que haverá um acréscimo significativo na eficiência do setor arroseiro, desde o plantio até o beneficiamento, o que motivará o cultivo de arroz no Brasil (BRASIL, 2018; CONAB, 2018).

O histórico de produção, consumo interno, exportação e estoque final da produção de arroz, de 2015/16 até 2018/19, na Argentina, no Brasil, no Paraguai, no Uruguai e em outros países do Mercosul é apresentado na Figura 1 (CONAB, 2018).



SAFRA	ATRIBUTOS	TERRITÓRIOS REGIONAIS				
		ARGENTINA	BRASIL	PARAGUAI	URUGUAI	MERCOSUL
2015/16	Produção	1.400,0	10.602,9	671,6	1.304,3	13.978,9
	Consumo	800,0	11.617,6	25,4	78,6	12.521,6
	Exportação	810,8	804,4	831,3	1.388,6	3.835,1
	Estoque Final	629,2	452,9	26,9	88,6	1.197,6
2016/17	Produção	1.327,7	12.327,9	749,3	1.410,0	15.814,9
	Consumo	769,2	11.764,7	25,4	78,6	12.637,9
	Exportação	603,1	873,5	746,3	1.501,4	3.724,3
	Estoque Final	667,7	698,5	7,5	62,9	1.436,5
2017/18	Produção	1.370,8	11.875,0	959,7	1.262,9	15.468,3
	Consumo	784,6	11.838,2	44,8	78,6	12.746,2
	Exportação	692,3	1.250,0	820,9	1.228,6	3.991,8
	Estoque Final	573,8	661,8	104,5	18,6	1.358,7
2018/19	Produção	1.300,0	11.800,0	1.006,0	1.267,1	15.373,1
	Consumo	769,2	11.911,8	59,7	85,7	12.826,4
	Exportação	615,4	1.029,4	970,1	1.142,9	3.757,8
	Estoque Final	501,5	550,0	83,6	57,1	1.192,3

Figura 1 – Histórico do Setor Arrozeiro nos países: Argentina, Brasil, Paraguai, Uruguai e outros países do Mercosul (em 10<sup>3</sup> Tonelada), de 2015/16 até 2018/19

Fonte: CONAB, 2018.

Na observância da Figura 1 é possível perceber que a perspectiva para a safra de 2018/19 de arroz, no Brasil, será aproximadamente igual à safra de 2017/18 e equivalente à 11.800 mil toneladas do grão. A Figura 1 também mostra que o consumo de arroz, no mercado interno do Brasil, aumentará na safra 2018/19, resultando também em um acréscimo no beneficiamento do grão no mercado interno.

Entre as etapas de beneficiamento desse grão, a casca do arroz, que corresponde à aproximadamente 22% do grão bruto, apresenta dificuldade para descarte pelas empresas. Isto porque, a casca possui baixa massa específica e a produção geram um alto de volume para descarte. Então, as indústrias têm um custo elevado com o transporte da casca para descarte, atingindo negativamente a destinação adequada do resíduo (CARDOSO, 2012).

Na metodologia desenvolvida para o estudo de viabilidade técnica, os critérios ambientais utilizados formam: Tipo de biomassa, Localidade da biomassa, Quantidade de biomassa não aproveitada e Época de colheita da biomassa. O Quadro 2 apresenta os critérios ambientais para a casca de arroz, estudada tecnicamente como biomassa para instalação de termelétricas no Brasil.

Critérios ambientais	Dados
Tipo	Casca de Arroz
Quantidade de arroz com casca	Total de produção anual: 11.615.634,235 ton (IBGE, 2018)
Quantidade de casca de arroz	Total de geração de casca anual: 2.555.439,532 ton
Localidade	Principais estados: Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Tocantins, Mato Grosso e Maranhão (IBGE, 2018)
Época de colheita da biomassa	Norte, Sudeste e Sul: Fevereiro, Março, Abril e Maio. Nordeste: Março, Abril, Maio, Junho e Julho. Centro-Oeste: Março, Abril e Maio. (ABIARROZ, 2019)

Quadro 2 - Critérios da análise ambiental para a casca de arroz.

Fonte: Autoria Própria, 2018.

O Quadro 2 indica que a época da colheita do grão se concentra nos meses de março, abril e maio. No entanto, o armazenamento do grão pode ser feito em longo prazo, desde que se armazena o arroz com a casca para controlar a umidade e preservar o *shelf-life* do produto. Para um período de até 6 meses, o teor máximo aceitável de umidade do grão é de 13%, de 6 meses a 12 meses esse teor cai para 12% e acima de 12 meses é necessário armazená-lo com no máximo 11% de umidade (Lazzari e Lazzari, 20--).

Pode-se afirmar que o período de biomassa disponível, o seja, casca de arroz para geração de energia pode se manter constante ao longo do ano, como mostra o Quadro 2. Para isto, é necessário que o grão de arroz seja armazenado de forma adequada com a casca.

Os critérios econômicos Capacidade instalada, Proximidade da linha de transmissão e da malha rodoviária e Raio definido foram decisivos para a elaboração da metodologia de viabilidade técnica. Os critérios econômicos relacionados aos custos, como custo de investimento e operação, podem ser usados futuramente para compor a análise de viabilidade econômica. As definições dos critérios analisados no EVT foram:

- I. Capacidade Instalada: quando escolhido o valor da potência instalada, é necessário avaliar a quantidade de biomassa necessária para gerar a energia em questão;
- II. Proximidade ao SIN e as Rodovias: essa característica otimiza o processo porque garante que a energia seja injetada ao SIN e que existe a possibilidade de a biomassa ser transportada até a usina sem investir em novas via;
- III. Raio definido: com a distância entre a biomassa e a usina geradora definida em um certo raio, a viabilidade técnica está assegurada, considerando proximidade e quantidade de biomassa suficiente para gerar a energia desejada.

Com base nisso, foi avaliado as formas de geração regularizadas disponíveis atualmente. Para caracterizar se um empreendimento é de micro ou de mini geração distribuída, o Caderno Temático da ANEEL descreve que os mesmos devem utilizar fontes renováveis de energia elétrica ou cogeração qualificada e ter potência instalada menor ou igual a 75 kW, para micro, e para mini geradoras devem ter potência instalada superior a 75 kW e serem menores ou iguais a 3 MW, para empreendimentos onde a fonte energética é hídrica. Já para as demais fontes, esse número aumenta para 5 MW (ANEEL, 2016). Então, como a fonte seria renovável e não hídrica, o empreendimento se enquadra na minigeração até 5MW de potência instalada.

Outro fator observado que impacta na escolha da minigeração distribuída foi a análise para viabilidade de interligar ao SIN diretamente. Afinal, no caso de maior potência instalada, seria necessário criar um sistema de transmissão, adicionando um custo ao projeto de acordo com a Resolução Normativa no 687/2015 da ANEEL.

Por conta disso, o Quadro 3 mostra critérios econômicos que servirão de base para o estudo.

Critérios econômicos	
Capacidade Instalada	Até 5MW
Raio de distância	O raio será definido cartograficamente

Quadro 3 - Dados econômicos.

Fonte: Aatoria Própria, 2018.

Em relação à capacidade instalada, o sistema de compensação de energia é destaque na legislação brasileira. Esse sistema permite que a energia gerada por uma central geradora ultrapasse o consumido por uma unidade consumidora, com micro ou minigeração, e seja injetada na rede da distribuidora, de forma a armazenar o excedente e ser abatido posteriormente (ANEEL, 2016). O sistema de compensação de energia é separado da seguinte forma:

- I. Geração compartilhada: união de consumidores que se encontram na mesma área de concessão ou permissão. São compostas por pessoas físicas, por meio de uma cooperativa, ou jurídicas (consórcio), que tenham a unidade consumidora a partir de micro ou minigeração distribuída. A energia gerada é compensada nas unidades consumidoras cadastradas;
- II. Autoconsumo remoto: consumidores que se encontram na mesma área de concessão ou permissão e que tenha somente um titular, sendo pessoa Jurídica ou Física. A unidade consumidora deve ser obrigatoriamente a partir de micro ou minigeração distribuída;
- III. Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras (condomínios): é de responsabilidade do condomínio, da administração ou do proprietário do empreendimento de micro ou minigeração distribuída. As unidades consumidoras devem estar localizadas na mesma propriedade ou propriedades contíguas.

A definição dos consumidores para compensar a energia gerada pela usina serviu de base para definir o critério social. Com a criação de uma cooperativa entre os produtores de arroz da mesma área de concessão, a geração de energia poderia ser utilizada como compensação de energia elétrica para os produtores associados.

A escolha da geração compartilhada foi considerada a ideal para o estudo porque atende dois requisitos obrigatórios: os produtores foram considerados como da mesma área de concessão e a área não deveria exceder o raio de distância estipulado entre os produtores e a minigeração distribuída.

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Casca de arroz possui poder calorífico inferior de 3200 kcal/kg, isso equivale

aproximadamente 0,29 TEP (CARDOSO, 2012). Conforme a análise do potencial energético, foi definido que seria necessárias cerca de 35.040 toneladas de casca de arroz por ano, com a média de 3 mil toneladas por mês, para gerar 5MW mensalmente.

No software QGIS, foi criada uma camada onde evidência os pontos de maior concentração de casca de arroz no Brasil. Com os dados da quantidade de produção de arroz em cada município, estimou-se o quanto seria casca do peso total e assim construiu o mapa de concentração pelo software. A simulação feita resultou na Figura 2.

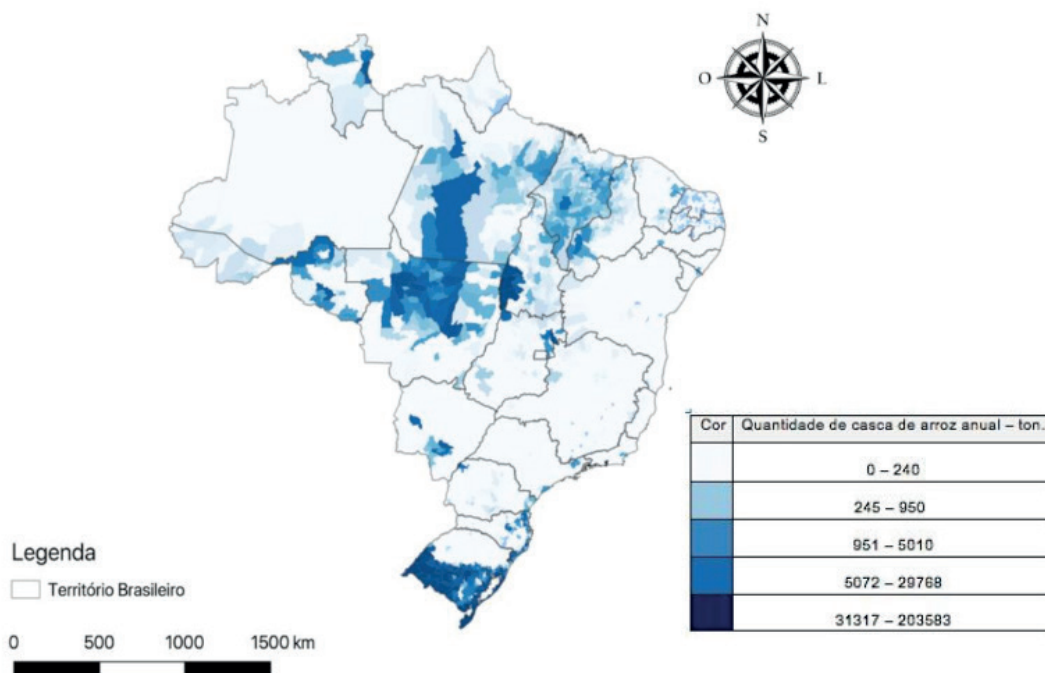


Figura 2 – Cartograma da concentração de casca de arroz no Brasil

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Em posse do cartograma e da análise do potencial energético da casca de arroz, foi possível estimar o raio que atenderia as especificações imprescindíveis de projeto. Também foi necessário verificar a área aproximada que forneceria a quantidade de biomassa para gerar a energia de uma mini usina termelétrica. Com essa análise e as disposições geográficas das biomassas, o raio definido foi de em 150 km, considerando que garantiria com segurança a quantidade de toneladas de casca de arroz necessárias para produzir 5MW.

As camadas de linha de transmissão existentes e da malha rodoviária disponível no país foram avaliadas para espacializar a área selecionada para implementar usinas termelétrica a biomassa de casca de arroz. Nesse estudo usou-se o SIG, por meio das análises feitas com os dados georreferenciados, conforme mostra a Figura 3.

Então, para que pudesse ser feita a análise de possíveis UTE no Brasil, simulou-se ao mesmo tempo as três camadas, unindo a camada de linha de transmissão e da malha rodoviária e sobrepondo à camada de concentração de biomassa. O resultado da união dessas camadas se fez necessário para avaliar tecnicamente as melhores

localidades das Usinas.

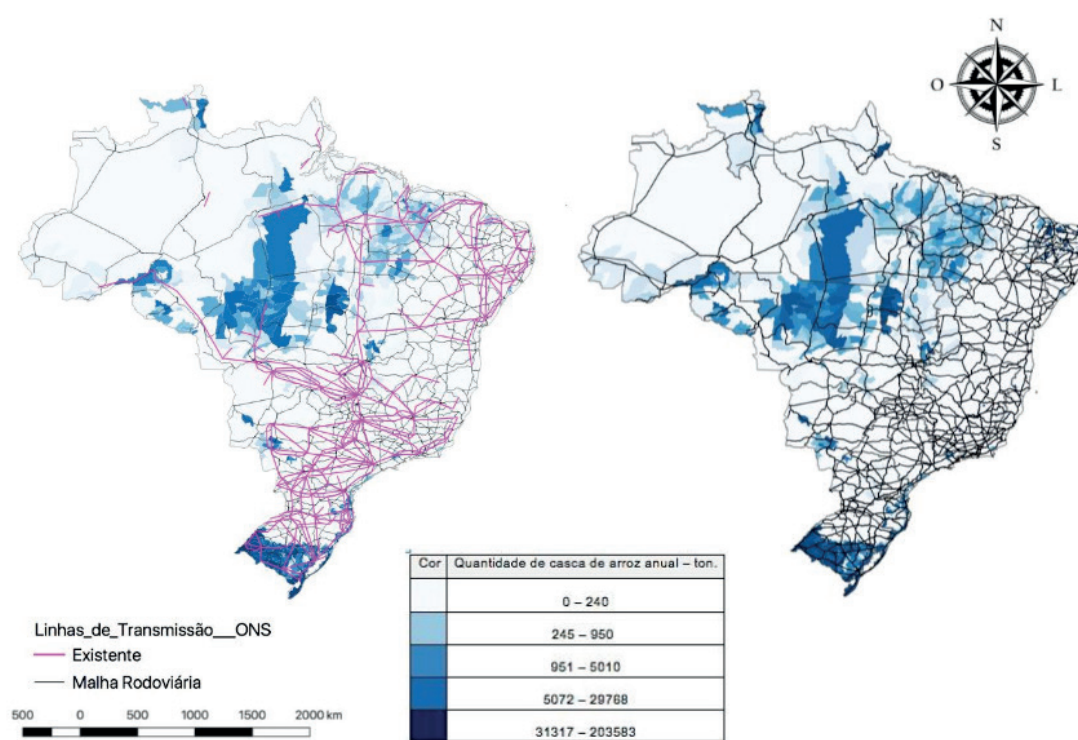


Figura 3 - Cartogramas comparativos da casca de arroz, considerando as linhas de transmissão e a malha rodoviária existentes.

Fonte: autoria própria, 2018.

Em seguida, a análise espacial foi a ferramenta utilizada para fazer o estudo de viabilidade técnica desenvolvida neste trabalho analisou cinco critérios: (i) Alta disponibilidade de biomassa; (ii) Proximidade da linha de transmissão; (iii) Proximidade da malha rodoviária; (iv) Raio de até 150 km de distância para os produtores de arroz; e (v) Não sobrepor usinas termelétricas movidas a casca de arroz já existentes no país. Na Figura 4 estão expostos os possíveis locais de implementação das UTEs a casca de arroz, com base na metodologia desenvolvida.

Todas as usinas dispostas cartograficamente na Figura 4, porque o QGIS possibilita esse tipo de geração de resultados. Infere-se que existe a viabilidade energética, de transmissão e de transporte da biomassa para implementar 8 miniusinas a biomassa de casca de arroz no Brasil, representando 40 MW de potência instalada no país e podendo ser ampliada em outras localidades. Contudo, as usinas propostas nesta metodologia seriam usinas inferiores a 5MW.

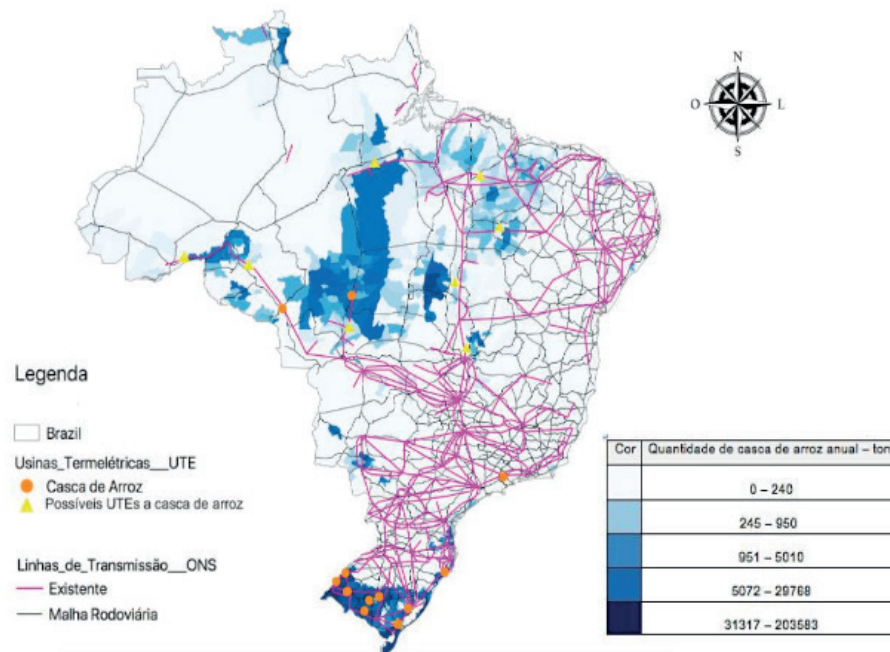


Figura 4 – Possíveis locais de implementar UTE a casca de Arroz.

Fonte: Autoria Própria, 2018.

Analisado a Figura 4 percebe também que existem duas regiões que concentram a casca de arroz. Uma delas é a região Sul, na qual já existe o aproveitamento da casca. Logo, o estudo se faz importante para explorar outras áreas do país, como a região norte, na qual pode-se reunir produtores e beneficiadores de arroz e gerar a capacidade instalada proposta.

Os aspectos relacionados ao critério social foram analisados dentro do raio limite de 150 km, garantindo que os proprietários de terras produtoras de arroz se filiem a uma cooperativa e tenham sua conta de energia reduzida com a geração a partir dos resíduos gerados em seus próprios empreendimento.

Desta forma, a relação criada nesse estudo entre os produtores de arroz mostrou-se vantajosa principalmente para os pequenos produtores. Isso porque, a união deles geraria no final um acúmulo maior de biomassa disponível concentrados na mesma região. Esse fato atinge diretamente o desenvolvimento social e econômico dos pequenos municípios e eleva a perspectiva de crescimento do setor arroseiro nessas localidades.

## 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia desenvolvida para o estudo de viabilidade técnica de implantação de termoelétrica a biomassa foi baseada em critérios ambientais, sociais e econômicos e analisou a influência que um impacta sobre o outro. Os resultados se mostram interessantes já que a metodologia criada pode se estender a diversos países. Para isto, seria necessário somente adequar os critérios de análise e as camadas para cada nova localidade, sendo possível obter de forma objetiva os locais de maiores

rendimentos energéticos para implementação de UTEs a biomassa.

Além da diversidade de países, a metodologia aplica-se também à diversos tipos de biomassa. Podem ser utilizados para estudo de viabilidade técnica qualquer outro resíduo agrícola, florestal, da indústria madeireira, entre outros. Para isto a metodologia desenvolvida utilizaria os dados de geração do resíduo, a sua localidade e o seu potencial energético.

Outra facilidade que foi observada nessa metodologia é o auxílio direto na tomada de decisões para viabilizar tecnicamente a implementação das UTEs a Biomassa, já que a análise é feita em pontos estratégicos: proximidade e disponibilidade da biomassa, das linhas de transmissão e da malha rodoviária existente.

Por fim, pode-se afirmar que o desenvolvimento dessa metodologia foi eficaz e de extrema importância para que exista maior visibilidade desse setor energético. Afinal, com o método desenvolvido foi possível pré-estabelecer pontos de maiores oportunidades com o intuito de que novos empreendimentos sejam projetados e construídos no Brasil.

## REFERÊNCIAS

ABIARROZ. Associação Brasileira da Indústria do Arroz (2019). **Sumário Executivo, Abril 2019.**

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Banco de Informações de Geração, 2015. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>> Acesso em 30 de maio de 2018.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica (2016). **CADERNOS TEMÁTICOS: MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA.** Sistema de compensação de energia elétrica. 2ª Edição

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030** / Ministério de Minas e Energia ; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME : EPE, 2007. 12 v.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Nota Técnica PR 04/18: Potencial dos Recursos Energéticos no Horizonte 2050;** colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: MME: EPE, 2018.

CARDOSO, Bruno Monteiro. **USO DA BIOMASSA COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA.** Dissertação de Graduação – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento (2018). **PERSPECTIVA PARA AGROPECUÁRIA.** Volume 6 – Safra 2018/2019. Brasília.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética (2018). **Potencial dos Recursos Energéticos no Horizonte 2050,** Rio de Janeiro, 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agro 2017. Disponível em:<[https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/templates/censo\\_agro/resultadosagro/agricultura.html?localidade=0&tema=76424](https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/templates/censo_agro/resultadosagro/agricultura.html?localidade=0&tema=76424)> Acesso em 2 de outubro de 2018.

LAZZARI, Flávio A. LAZZARI, Sonia M. N. (20--). **RECEBIMENTO, SECAGEM E ARMAZENAMENTO DE ARROZ EM CASCA.** Curitiba, 20--.

NOTA TÉCNICA CGEI nº 01 /98 de 22 de setembro de 1998. **ELETRICIDADE NO BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL - BEN**. Disponível em <<http://ecen.com/eee11/eletrben.htm>>. Acesso em 25 de maio de 2018.

PORTUGAL-PEREIRA, J.; SORIA, R.; RATHMANN R.; SHCHAEFFER, R.; SZKLO, A., 2015. **Agricultural and agro-industrial residues-to-energy: Technoeconomic and environmental assessment in Brazil**. Biomass and Bioenergy, v. 81, pp 521-533, Rio de Janeiro, outubro 2015.



## DESENVOLVIMENTO DE UM REGULADOR AUTOMÁTICO DE TENSÃO MICROCONTROLADO UTILIZADO EM GERADORES SÍNCRONOS ISOLADOS

### **Guilherme Henrique Alves**

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica  
Uberlândia – Minas Gerais

### **Lúcio Rogério Júnior**

Universidade de Uberaba, Departamento de Engenharia Elétrica  
Uberaba – Minas Gerais

### **Antônio Manoel Batista da Silva**

Universidade de Uberaba, Departamento de Engenharia Elétrica  
Uberaba – Minas Gerais

### **Welington Mrad Joaquim**

Universidade de Uberaba, Departamento de Física  
Uberaba – Minas Gerais

### **Luciano Martins Neto**

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica  
Uberlândia – Minas Gerais

**RESUMO:** Dispositivos responsáveis pelo controle de excitação em máquinas síncronas são, em sua maioria, de alto custo, e utilizam elementos de controle analógicos. Uma alternativa ao uso de controladores eletrônicos analógicos é a tecnologia que utiliza microcontroladores, oferecendo alto nível de eficiência no controle, possibilidade de realizar inúmeras funções de proteção e um circuito com

flexibilidade para implementação de diferentes estratégias de controle. Este trabalho consiste na apresentação de um dispositivo eletrônico de baixo custo, capaz de controlar a excitação de um gerador síncrono de modo automático, utilizando uma malha PID, com controle manual e monitoramento de tensão terminal e temperatura de estator da máquina, utilizando componentes de fácil acesso comercial. Foram construídas duas placas eletrônicas, uma de potência (drive de acionamento) para excitar o gerador e uma de controle microcontrolada, utilizando um firmware desenvolvido em linguagem C. O equipamento foi testado por ensaios práticos em laboratório, verificando a resposta do regulador de tensão, utilizando uma máquina síncrona de pequeno porte acionada por um motor de corrente contínua. A carga para um gerador síncrono de 2 kVA foi estabelecida empregando motores de indução. Os resultados foram obtidos através de partidas diretas de motores de indução de 1 e 2 CV, mostrando que a atuação do controlador recuperou a tensão terminal da máquina geradora de forma rápida, regulando-a para o Setpoint ajustado. O tempo de resposta do regulador desenvolvido foi menor, quando comparado a um regulador comercial, comprovando a sua funcionalidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Gerador Síncrono Isolado; Microcontrolador PIC; Regulador Automático de Tensão; Sistema de Excitação.

## DEVELOPMENT OF AN MICROCONTROLLED AUTOMATIC VOLTAGE REGULATOR USED IN ISOLATED SYNCHRONOUS GENERATORS

**ABSTRACT:** Devices responsible for excitation control in synchronous machines are mostly costly, and use analog control elements. An alternative to the use of analogue electronic controllers is the technology that uses microcontrollers, offering a high level of control efficiency, the possibility of performing numerous protection functions and a circuit with flexibility to implement different control strategies. This work consists in the presentation of an electronic device of low cost, capable of controlling the excitation of a synchronous generator in an automatic way, using a PID mesh, with manual control and monitoring of terminal voltage and stator temperature of the machine, using components of easy commercial access. Two electronic boards were built, one of power (drive drive) to excite the generator and one of microcontrolled control, using a firmware developed in C language. The equipment was tested by practical laboratory tests, verifying the response of the voltage regulator, using a small synchronous machine driven by a DC motor. The load for a 2 kVA synchronous generator was established using induction motors. The results were obtained through direct starters of induction motors of 1 and 2 CV, showing that the actuation of the controller recovered the terminal voltage of the generating machine quickly, adjusting it to the adjusted Setpoint. The response time of the developed regulator was lower when compared to a commercial regulator, proving its functionality.

**KEYWORDS:** Isolated Synchronous Generator; PIC Microcontroller; Automatic Voltage Regulator; Excitation System.

### 1 | INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas os avanços na fabricação de dispositivos eletrônicos ocorreram cada vez mais rápido, agregando mais recursos e funcionalidades (MALVINO e BATES, 2011), contribuindo para uma crescente evolução nos sistemas de controle utilizados para excitação de máquinas síncronas. Durante muito tempo, os circuitos analógicos possibilitaram a implementação de inúmeras formas de estratégias de controle. Os sistemas de excitação mais recentes são construídos utilizando a tecnologia digital para circuitos de controle, medição e interface, aliados à utilização de dispositivos tiristores de potência. As funções de controle, de proteção e lógicas, têm sido implementadas digitalmente, essencialmente aumentando a flexibilidade e a multifuncionalidade do equipamento (HABIBABADI, 2011), duplicando as funções previamente proporcionada pelo circuito analógico.

O regulador automático de tensão é composto por um sistema inteligente que controla a saída de uma excitatriz, de modo a gerar mudanças na tensão terminal e energia reativa na forma desejada em um gerador síncrono. Em épocas passadas, a excitatriz da maioria dos sistemas era constituída por um gerador de corrente contínua, montada no eixo da própria máquina síncrona (GUIMARÃES, 2008), utilizando um

sistema de regulação de tensão totalmente manual. O nível de tensão terminal era monitorado através de um voltímetro, e controlado por meio de um reostato de campo, possibilitando a regulação de tensão de saída de acordo com o valor desejado (SILVA, 2015).

Nos sistemas modernos, o regulador automático de tensão trabalha como um controlador que detecta a tensão de saída do gerador, e imediatamente, inicia a ação corretiva, alterando as ações do controle de excitação de acordo com o Setpoint estabelecido. Uma alternativa bastante eficaz e com alta flexibilidade é o controle digital em malha fechada, oferecendo a possibilidade utilizar diferentes algoritmos, em conjunto com drives de disparo através de dispositivos semicondutores de potência (ARAÚJO, TORRICO-BASCOPE, ANTUNES, SÁ, 2006).

Entretanto, equipamentos responsáveis pelo controle de excitação em máquinas síncronas devem detectar instantaneamente as mudanças causadas pela entrada de carga no gerador isolado, atuando no sistema de excitação de forma rápida e eficiente, com objetivo de manter a tensão terminal regulada dentro dos limites desejados (ANDERSON e FOUAD, 2003).

Um bom projeto de AVR (Automatic Voltage Regulator), combinado com a parametrização correta do controlador, é fator indispensável para manter a tensão terminal do gerador em níveis desejados. É importante destacar que máquinas elétricas são projetadas para operarem com alta eficiência, quando submetidas a uma faixa de alimentação nominal. Níveis de tensão fora dessa faixa, por muito tempo, conduzirão a um baixo desempenho de tais equipamentos (VAN WYK, KHAN, BARENDSE, 2011).

Inúmeras pesquisas relacionadas ao controle e manutenção dos níveis de tensão de geradores isolados vem sendo desenvolvidas. Podem ser destacadas técnicas como a utilização de banco de capacitores para atenuação do afundamento de tensão em períodos transitórios (SILVA, 2015) e a utilização de circuitos *self-starting* para alimentar de forma suave o enrolamento de campo da máquina nos instantes iniciais da partida do gerador (LEE, KIM, AHN, 2008). Portanto, devido à flexibilidade das atuais tecnologias digitais, o controle, monitoramento e proteção do sistema, com a utilização de displays, teclados, avisos sonoros e conectividade a outros instrumentos, aos quais são utilizados circuitos microcontrolados, podem ser mais versáteis quando comparados aos controladores analógicos.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a construção de um regulador automático de tensão de baixo custo, com ampla disponibilidade de componentes para reparo, eficiente para pequenas potências, com reduzido tempo de resposta para partidas de motores de indução, com todo sistema de controle realizado por um microcontrolador.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento das placas eletrônicas foi realizado no laboratório de Máquinas e Acionamentos Elétricos da Universidade de Uberaba. Foram construídas duas placas eletrônicas, uma de potência (drive de acionamento) para disparar a excitação da máquina e uma placa de medição e controle.

O circuito drive de acionamento (Figura 1) foi composto por uma fonte CC (corrente contínua) de +180V/6A, para alimentação do indutor de campo do gerador síncrono. Duas fontes de níveis menores +12V/100mA e -5V/100mA foram utilizadas para alimentação do restante do circuito. Um circuito oscilador PWM, composto por um circuito integrado 555 na configuração astável, possibilitou o ajuste manual do sinal de controle. A seleção manual e automático foi realizada por uma chave seletora e o disparo de saída feito por um MOSFET IRFP264 de alta velocidade e alta capacidade de corrente de dreno.

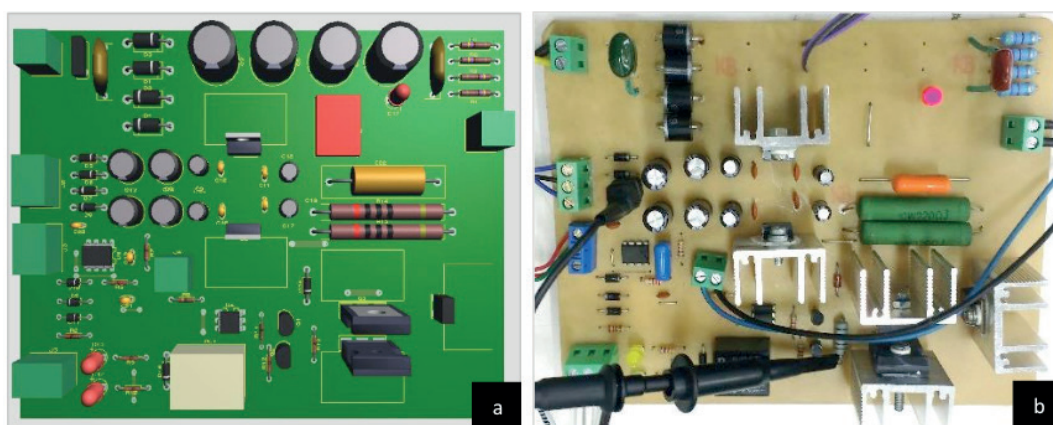


Figura 1. Placa do drive de acionamento (a) Layout do circuito em 3D (b) Placa em funcionamento

O circuito de medição e controle (Figura 2) foi composto por um circuito de aquisição, atenuação e retificação do valor da tensão entre linhas dos terminais da máquina síncrona. Um transformador abaixador 220/12V realizava a amostragem do sinal do gerador. Após ser retificado, o sinal amostrado é enviado para estágios com amplificadores operacionais (circuito integrado LM324), responsáveis por ajustar o valor medido entre 0 a 5V e enviar para a entrada analógica do microcontrolador.

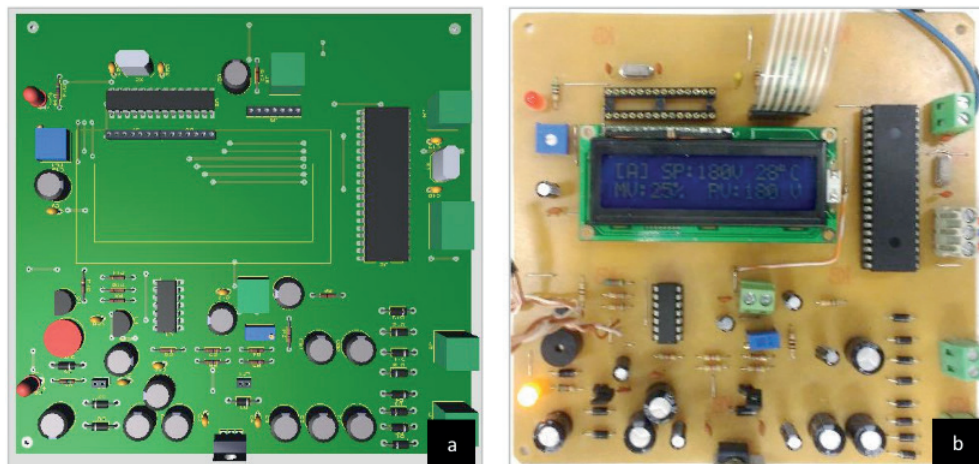


Figura 2. Placa de medição e controle (a) Layout do circuito em 3D (b) Placa em funcionamento

A medição de temperatura do estator do gerador foi realizada pelo sensor LM35, oferecendo boa precisão para esta aplicação. Uma fonte de +6VCC alimentou todo o circuito de controle e amplificação. O teclado alfanumérico de 12 teclas e um display de cristal líquido 16x2 realizaram a interface entre o usuário e a equipamento, possibilitando ajustes dos ganhos PID, monitoramento de tensão e temperatura do sistema. Nas opções do menu do display de cristal líquido foi possibilitada a configuração do sinal de controle PWM em malha fechada ou aberta, conforme a necessidade do operador.

A placa de controle possui um display de cristal líquido 16x2 com a função principal de realizar a interface entre o usuário e o dispositivo. Com um menu inicial de fácil operação, (Figura 3.a), realizam-se todas configurações em relação ao controle, como: ajustes de ganhos do PID, Set Point e seleção para inicialização do sistema em manual ou automático, conforme a necessidade do operador.

Toda vez que o controlador for ajustado para iniciar o controle, manual ou automático, uma tela de monitoramento será apresentada no menu, para informar ao operador os valores atualizados do Set Point (SP), PWM (MV), (PV) e temperatura do estator da máquina, conforme a Figura 3.b.

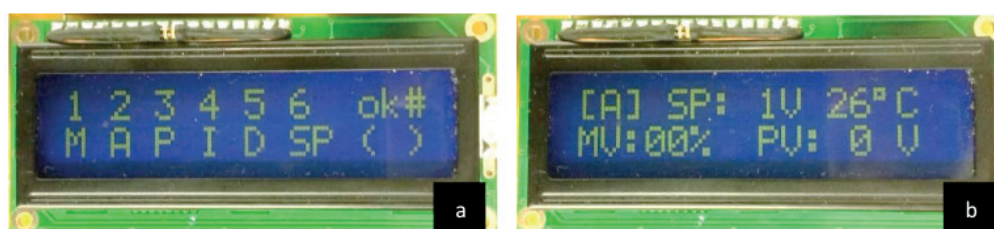


Figura 3. Interface com display lcd (a) Tela do menu principal (b) Tela de operação automática

Para o mecanismo de controle foi utilizado um microcontrolador de arquitetura RISC (Reduced Instruction Set Computer) de 8bits, o PIC 16F877A fabricado pela Microchip. Além de baixo custo e fácil acesso comercial este microcontrolador é composto por 3 timers, 2 módulos PWM (Pulse Width Modulation), 8 canais de

conversão analógico-digital de 10 bits, 8k words de memória de programa e operação em até 20MHz (MICROCHIP, 2013).

O programa do microcontrolador (firmware) foi desenvolvido em linguagem C, utilizando uma IDE (Integrated Development Environment) que trabalha com microcontroladores da família PIC 12/16/18. O firmware realiza um controle combinando três ações: proporcional, integral e derivativo, denominadas PID. Este controlador pode ser apresentado pela equação 2.1 (OGATA, 2011):

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad 2.1$$

Onde  $K_p$  representa o ganho proporcional,  $T_d$  o tempo derivativo,  $T_i$  o tempo integral do controlador,  $e(t)$  a diferença entre o valor desejado e o valor medido (erro) e  $u(t)$  a saída do controlador PID.

No microcontrolador, este tipo de controlador é realizado através de um algoritmo PID baseado em acumulação. Este processo consiste na aproximação de uma função de transferência do controlador no domínio contínuo em um equivalente numérico que possa ser implementado através de técnicas de cálculos numéricos (KULARATNA, 2000) (CRENSHAW, 2000). O diagrama de blocos em malha fechada para um sistema de controle digital é apresentado na Figura 4.

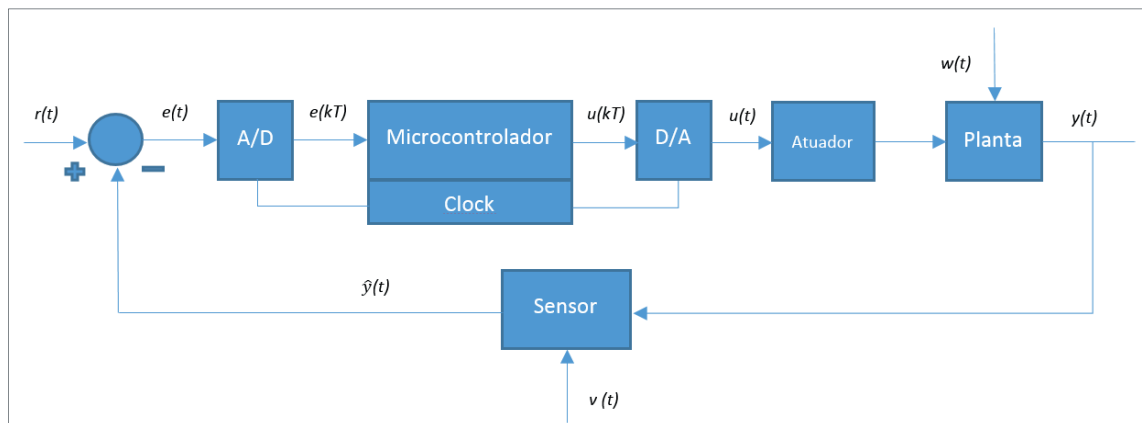


Figura 4. Diagrama de blocos de um sistema em malha fechada utilizando um microcontrolador

Onde:  $r$  = valor desejado ou Setpoint;  $u$  = entrada para atuador;  $y$  = variável de processo;  $\hat{y}$  = variável medida;  $e = r - \hat{y}$  = sinal de erro;  $v$  = sinal de ruído; A/D = conversor analógico digital; D/A = conversor digital analógico.

Numericamente, uma das formas baseadas na acumulação, a integral basicamente trata-se de uma acumulação de infinita de um somatório. Se considerado um tempo fixo entre as amostras, a integral tomará a forma de um somatório do erro discreto (Equação 2.2) (KULARATNA, 2000) (CRENSHAW, 2000).

$$\int_a^b e(t) dt \cong \sum_{t=a}^b e[t]. dt \quad 2.2$$

A derivada por definição é a taxa de variação do erro decorrente, ou seja, a variação do erro em um intervalo de tempo tendendo a zero. A ação derivativa passa a ser uma subtração do erro corrente e do anterior dividido pela taxa de amostragem (Equação 2.3) (KULARATNA, 2000) (CRENSHAW, 2000).

$$\frac{de(t)}{dt} \cong \frac{e[t + dt] - e[t]}{dt} \quad 2.3$$

É possível quantificar “dt” como sendo o intervalo entre amostras, obtendo a operação integral (2.4) e derivativa discreta (Equação 2.5) (KULARATNA, 2000) (CRENSHAW, 2000).

$$\int_a^b e(t)dt \cong \sum_{t=0}^n e[n].ts \quad 2.4$$

$$\frac{de(t)}{dt} \cong \frac{e[n] - e[n - 1]}{ts} \quad 2.5$$

Onde n representa a posição de uma dada amostra corrente, e ts é o tempo da taxa de amostragem.

Por fim, inserindo os valores dos ganhos das ações, pode-se obter a seguinte equação 2.6 discretizada de um compensador tipo PID (KULARATNA, 2000) (CRENSHAW, 2000).

$$u[n] = Kp.e[n] + Ki.\sum_{k=0}^n e[k] + Kd.(e[n] - e[n - 1]) \quad 2.6$$

Nota-se que o termo ts, por ser um valor constante, foi abstraído da equação e inserido “dentro” dos coeficientes Ki e Kd. O termo integral se traduz em acumular as amostras, e o termo derivativo em subtrair o valor atual do anterior.

Com os projetos de hardware e software finalizados, o regulador automático de tensão desenvolvido foi utilizado para testes experimentais no Laboratório de Máquinas Elétricas da Universidade Federal de Uberlândia (Figura 5).

Os testes foram realizados na máquina síncrona de pequeno porte com potência de 2 kVA, acoplada a um motor de corrente contínua, como fonte de energia primária do sistema. Como tratou-se de um projeto piloto de um regulador de tensão foi escolhida uma máquina pequena de 2kVA para os testes experimentais.

Com objetivo de verificar o funcionamento do regulador proposto foram realizados três ensaios no laboratório: o primeiro utilizando o gerador a vazio, o segundo com o gerador partindo um motor de indução de 1 Cv e o terceiro com o gerador partindo um motor de 2 Cv.

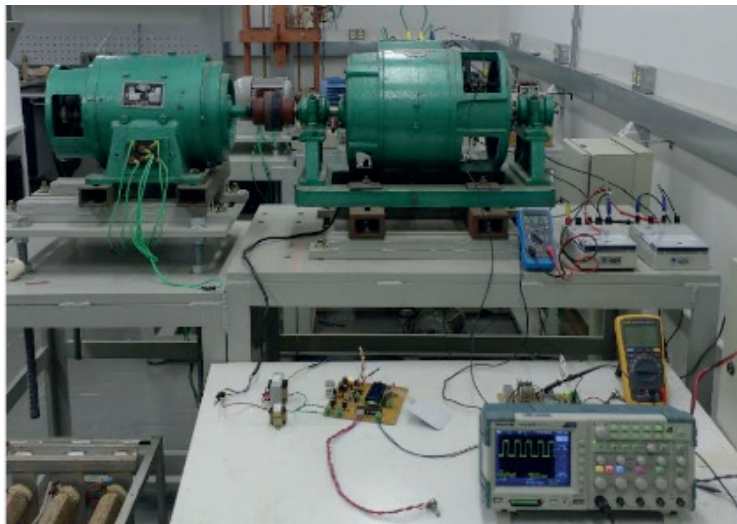


Figura 5. Diagrama de blocos de um sistema em malha fechada utilizando um microcontrolador

Foi realizada ainda uma comparação das características da atuação do projeto desenvolvido com o regulador automático de tensão estático MA330AVR, da empresa AvK, muito encontrado no mercado.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

No primeiro ensaio, ajustou-se a velocidade do eixo gerador em 1800 RPM para obter uma onda senoidal de frequência 60 Hz nos terminais da máquina síncrona de 4 polos. Em seguida foi ajustado o set-point da tensão entre linhas em 220 Vrms e os ganhos proporcional e integral do PID em uma unidade. Como se observa nas Figuras 6 e 7, o gerador levou mais que 2,4 segundos para atingir o valor de tensão desejado, pelo fato da utilização de baixos valores de ganhos no controlador.

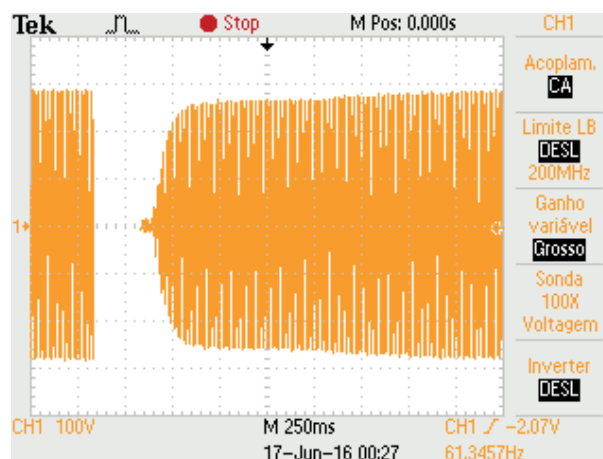


Figura 6. Medição da saída do gerador feita pelo osciloscópio – Ganhos  $k_p = 1$  e  $K_i = 1$



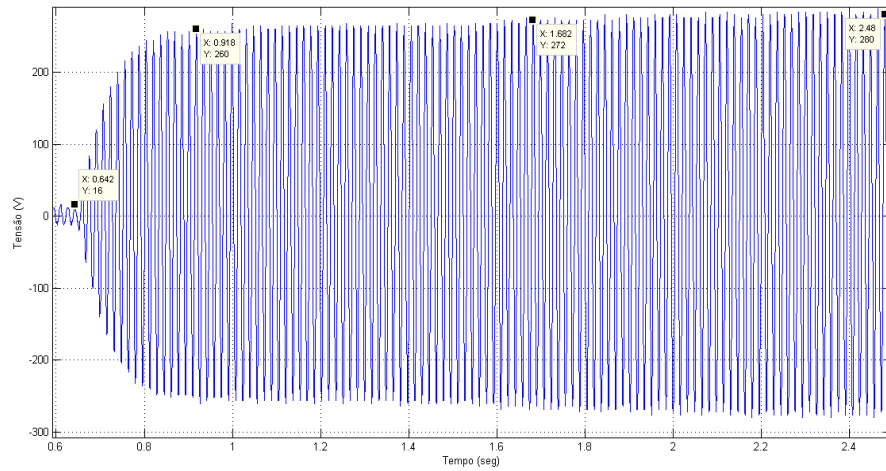


Figura 7. Plotagem dos pontos exportados para o Matlab – Ganhos  $k_p = 1$  e  $k_i = 1$

Em seguida, foi desligado o sistema e reajustado o controlador para o mesmo Setpoint (220Vrms), porém, com valores maiores de ganhos proporcional e integral a 3,2 e 2,3, respectivamente (Figuras 8 e 9).



Figura 8. Medição da saída do gerador feita pelo osciloscópio – Ganhos  $k_p = 3,2$  e  $k_i = 2,3$

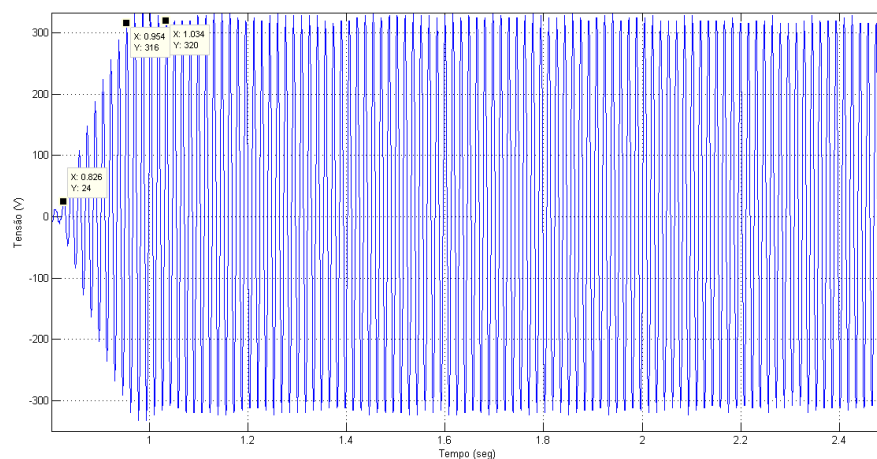


Figura 9. Plotagem dos pontos exportados para o Matlab – Ganhos  $k_p = 3,2$  e  $k_i = 2,3$

No segundo ensaio, realizou-se uma partida direta do motor de indução trifásico de potência 1Cv. Foi ajustado o Setpoint em 220 Vrms, com ganhos do proporcional e integral iguais a 4,1 e 3,4, respectivamente. O registro do osciloscópio, ilustrado na figura 10, mostra o afundamento de tensão nos terminais do gerador síncrono, causado pela partida direta de um motor de indução de 1 Cv. Nota-se que o nível de tensão de pico caiu de 320V para 156V no instante após a partida. O controle do sistema levou em torno de 206 ms (Figura 11) para retornar ao valor de tensão de pico terminal da máquina para próximo do valor de Setpoint ajustado.



Figura 10. Medição da saída do gerador feita pelo osciloscópio – Ganhos  $k_p = 4,1$  e  $K_i = 3,4$

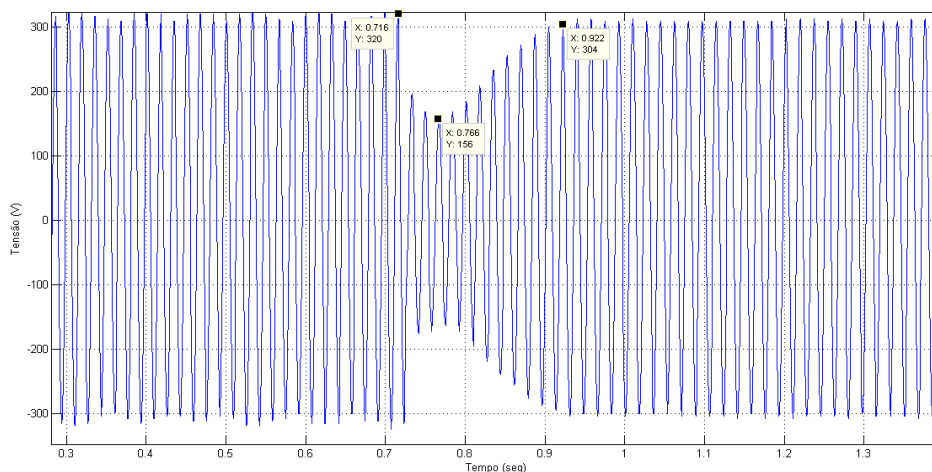


Figura 11. Plotagem dos pontos exportados para o Matlab – Ganhos  $k_p = 4,1$  e  $K_i = 3,4$

No terceiro ensaio, realizou-se a partida direta de um motor de indução com potência nominal de 2 Cv. No primeiro momento, inseriu-se o Setpoint em 220 Vrms no controlador, e foram configurados os ganhos proporcional e integral do controlador em 1,55 e 1,1, respectivamente. Como mostrado nas figuras 12 e 13, o nível de tensão levou mais que 4 segundos para atingir o valor de pico desejado e o afundamento máximo da tensão de pico foi de aproximadamente 56 V.

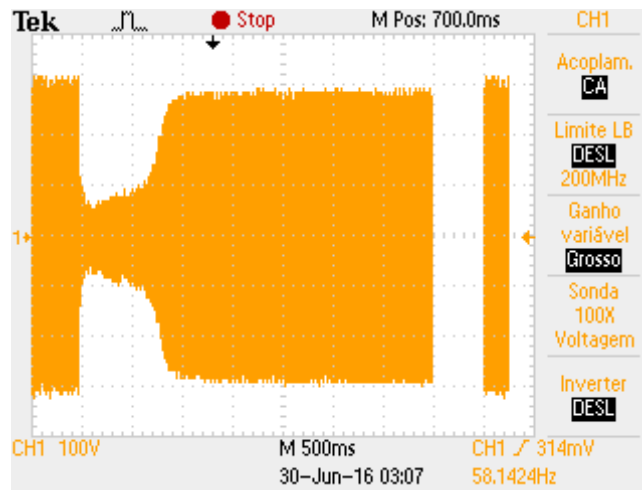


Figura 12. Medição da saída do gerador feita pelo osciloscópio – Ganhos  $k_p = 1,55$  e  $k_i = 1,1$

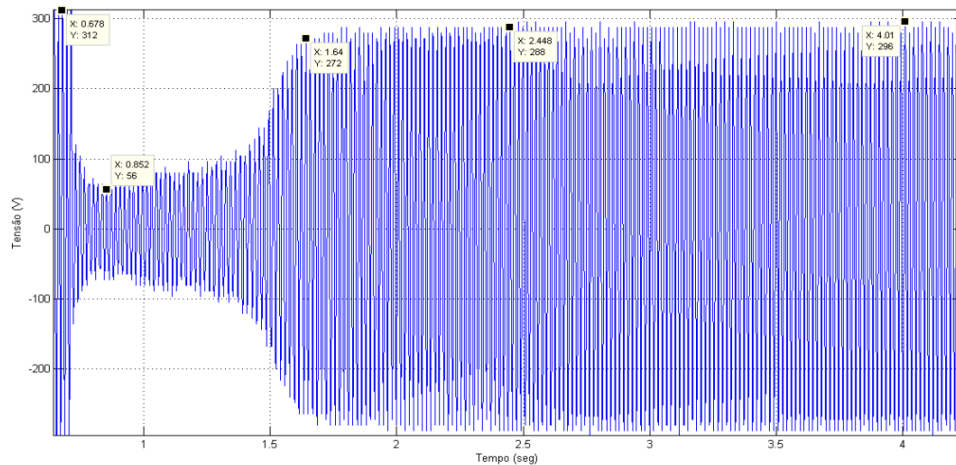


Figura 13. Plotagem dos pontos exportados para o Matlab – Ganhos  $k_p = 1,55$  e  $k_i = 1,1$

No segundo momento, foi mantido o valor de set-point anterior, porém substituídos os valores de ganhos proporcional e integral para 4,6 e 3,6 respectivamente. Como mostram as figuras 14 e 15, o controlador retornou ao valor de tensão de pico desejado em, aproximadamente, 940 ms, e a tensão caiu para 88V no momento do afundamento, causado pela partida direta do motor de indução de 2 Cv.

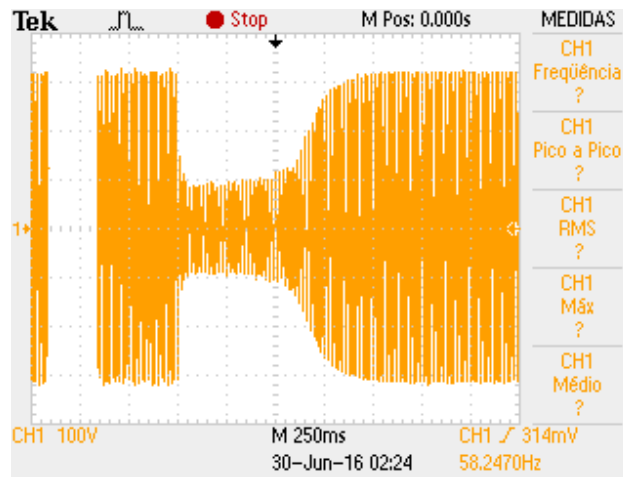


Figura 14. Medição da saída do gerador feita pelo osciloscópio – Ganhos  $k_p = 4,6$  e  $K_i = 3,6$

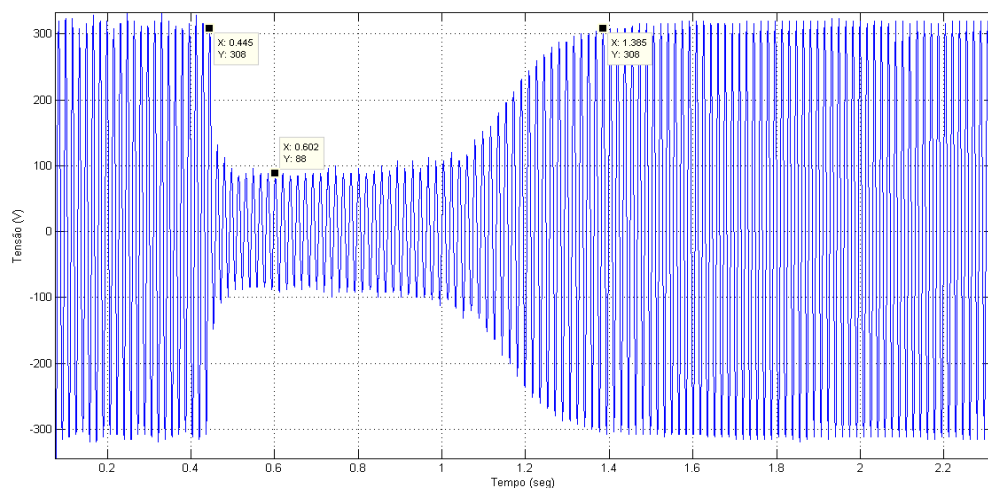


Figura 15. Plotagem dos pontos exportados para o Matlab – Ganhos  $k_p = 4,6$  e  $K_i = 3,6$

O regulador de tensão automático comercial da empresa AvK, modelo MA330AVR, foi utilizado para comparação com o regulador desenvolvido neste trabalho. Para os dois reguladores, foram semelhantes os níveis de tensão de alimentação, a tensão CC de excitação e a corrente máxima de alimentação do campo da máquina.

As características de tempo de resposta do gerador a uma perturbação do sistema é um parâmetro de extrema importância a ser avaliado nos sistemas eletrônicos para controle de excitação existentes. O MA330AVR conta com uma resposta típica de 300ms para ajustar o nível de tensão terminal de um gerador síncrono à vazio até, aproximadamente, 97% do seu valor de nominal. Já o controlador construído neste trabalho utiliza um controle PID implementado de forma digital.

No sistema proposto, os ganhos podem ser inseridos conforme a necessidade do usuário do sistema. Conforme os resultados apresentados, uma resposta para Setpoint ajustado em 220V levou em torno de 130ms. Isso mostra a grande flexibilidade do controlador utilizando uma malha PID para controle de um sistema de geração, em relação ao MA330AVR, onde a velocidade de atuação do controlador é pré-definida

de fábrica e não pode ser alterada.

O MA330AVR apresenta algumas vantagens em relação às funções de proteção disponíveis, como proteção eletromagnética, sobre-excitação do campo, sobretensão terminal e subfrequência do gerador, apresentando maior número de recursos em relação ao proposto neste trabalho. Entretanto, essas funções podem ser facilmente implementadas no microcontrolador PIC16F877A para trabalhos futuros.

## 4 | CONCLUSÃO

Nos testes experimentais realizados, os resultados do controle de tensão entre linhas foram considerados bons e atenderam às expectativas para testes com o gerador síncrono de 2kVA em todos os casos. Os níveis de tensão eficaz mostrados no display ficaram bem próximos aos valores medidos com o osciloscópio digital.

O regulador se mostrou bastante eficaz em partidas de motores de indução trifásicos, com tempos de recuperação do nível de tensão terminal de aproximadamente 206 e 940 ms para máquinas de 1 e 2 Cv, respectivamente.

Foi possível verificar que os resultados dos ensaios foram satisfatórios, observados pela comparação entre o regulador proposto e um equipamento comercial, validando a proposta deste trabalho na construção de reguladores de tensão com microcontroladores de baixo custo para atuarem em geradores síncronos isolados.

## REFERÊNCIAS

ANDERSON, P.; FOUAD, A. A. Power System Control and Stability. 2. Ed. Piscataway, N.J.: IEEE Press; Wiley-Interscience, 2003.

GUIMARÃES, G. C. Apostila do Curso de Dinâmica de Sistemas Elétricos, Parte I. Modelagem de uma Máquina Síncrona e seus Controles para Estudo de Estabilidade Transitória. UFU, Uberlândia, MG, 2008.

LEE, D. H; KIM, T, H; AHN, J, W. Control of Digital AVR in Stand Alone Generator for Improved Dynamic Characteristics. 2008. Kyungsoong University. Dept of Electrical and Mechatronics Engineering. Busan, Coreia do Sul.

MALVINO, A.; BATES, D.J. Eletrônica, 7. Ed. Porto Alegre: Editora Mc Graw Hill, 2011. 672 p.

MICROCHIP PIC16F87XA Data Sheet 28/40/44-Pin Enhanced FlashMicrocontrollers. 2013 Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/30292D.pdf>>. Acesso em: 10 Abr 2019.

OGATA, K. Engenharia de Controle Moderno, 5. Ed. Rio de Janeiro: Prentice Hall, 2011. 824 p.

SILVA, F. B. Atenuação do Afundamento de Tensão em Geradores Síncronos Isolados quando Submetidos a Partida Direta de Motores de Indução. 2015. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Uberlândia.

HABIBABADI, R. A. New General Method for Digital Differential Protection Relay. 2011. Islamic Azad University. Natanz, Iran.

ARAÚJO, S.V; TORRICO-BASCOPE, R. P; ANTUNES, F.L.M; SÁ, E. M. Stand alone Photovoltaic System using an UPS Inverter and a Microcontrolled Battery Charger based on a Boost Converter with a 3 State-Commutation Cell. 2006. Federal University of Ceará. Electrical Engineering Department. Fortaleza-CE, Brazil.

VAN WYK, A.L; KHAN, M.A; BARENDSE, P. Impact of Over/Under and Voltage Unbalanced supplies on Energy-Efficient motors. 2011. University of Cape Town. Cape Town, South Africa.

KULARATNA, N. Digital control using digital signal processing. 2000. IEEE Circuits and Devices Magazine, 47 p.

CRENSHAW, J.W. Math Toolkit for Real-Time Development. 2000. Publishers Group West.

## DESPACHO ÓTIMO DAS UNIDADES GERADORAS DA USINA HIDRELÉTRICA LUIS EDUARDO MAGALHÃES

### **Henderson Gomes e Souza**

Faculdade Católica do Tocantins, Departamento  
de Engenharia Elétrica  
Palmas – Tocantins

### **Brunno Henrique Brito**

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia do Tocantins Coordenação da Área  
Indústria  
Palmas – Tocantins

### **Vailton Alves de Faria**

Faculdade Católica do Tocantins, Departamento  
de Engenharia Elétrica  
Palmas – Tocantins

### **Jabson da Cunha Silva**

Faculdade Católica do Tocantins, Departamento  
de Engenharia Elétrica  
Palmas – Tocantins

**RESUMO:** No Brasil, o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) realiza a otimização da geração de energia elétrica através do Planejamento da Operação Energética (POE). O POE é executado em três diferentes horizontes de estudo, cada um com características restritivas distintas, sendo coordenados entre si. Essas etapas são definidas como: médio prazo, curto prazo e programação diária da operação eletroenergética onde, somente as duas primeiras etapas possuem ferramentas de otimização computacional consolidadas. Para

determinar a terceira etapa de programação, o ONS estabelece metas de geração para cada hora diária, ou seja, define quanto cada agente de geração tem que gerar. Porém, não define quais unidades deverão ser comissionadas nem quanto cada unidade geradora ativa deve gerar. Baseando-se em uma modelagem para sistemas hidrelétricos, visa-se solucionar esse problema, definido como problema do Comissionamento das Unidades Hidrelétricas (CUH). A formulação da solução é representada matematicamente como um problema de Programação Não-Linear Inteira-Mista (PNLIM) sendo a mesma fundamentada nos dados característicos da usina hidrelétrica Luiz Eduardo Magalhães. Nesse contexto, pretende-se utilizar a água da maneira mais eficiente efetuando-se a minimização de uma função objetivo em termos de demandas estipuladas simuladas através do software AIMMS, elucidando-se a otimização da defluência. A partir de uma análise dos dados de saída das curvas de desempenho das turbinas da usina base, demonstra-se a eficiência obtida pela usina, o porquê de os resultados expressarem uma distribuição uniforme de potencial gerado entre as unidades e a busca do simulador pelo despacho de maior fornecimento de potencial por unidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Função De Produção Hidrelétrica, Comissionamento das Unidades

## GREAT DISPATCH OF THE GENERATOR UNITS OF THE HYDROELECTRIC POWER PLANT LUIS EDUARDO MAGALHÃES

**ABSTRACT:** In Brazil, the Operator of the National Electricity System (ONS) performs the optimization of electric power generation through Energy Operation Planning (POE). The POE is executed in three different study horizons, each with distinct restrictive characteristics, being coordinated with between them. These steps are defined as: medium term, short term and daily schedule of the electroenergetic operation where, only the first two steps have consolidated computational optimization tools. In order to determine the third scheduling step, ONS sets generation targets for each daily hour, in other words, how much each generation agent has to generate. However, it does not define which units should be commissioned or how much each active generating unit should generate. Based on a modeling for hydroelectric systems, we aim to solve this problem, defined as the Hydro Unit Commitment (HUC) problem. The solution formulation is represented mathematically as a problem of Mixed Integer Nonlinear Programming (MINLP) and it is related to the characteristic data of the Luiz Eduardo Magalhães hydroelectric power plant. In this context, it is intended to use water in the most efficient way by minimizing an objective function in terms of stipulated demands simulated through the AIMMS software, elucidating the optimization of the defluence. From an analysis of the output data of the performance curves of the base plant turbines, it is demonstrated the efficiency obtained by the plant, why the results express a uniform distribution of potential generated between the units and the simulator search for the dispatch of higher supply potential per unit.

**KEYWORDS:** Hydropower Production Function, Hydro Unit Commitment, Mixed-Integer Nonlinear Programming.

### 1 | INTRODUÇÃO

Segundo o Banco de Informações de Geração (BIG) disponível em ANEEL (2017), a energia gerada a partir de usinas hidrelétricas representa hoje 61,27% da capacidade total instalada no país. Com relação à geração hidráulica, o Operador Nacional do Sistema (ONS) possui o objetivo de otimização energética, realizada a partir da gestão otimizada dos armazenamentos dos reservatórios de regularização das usinas hidrelétricas, buscando definir o despacho ótimo das mesmas. Esse planejamento é chamado pelo ONS de Planejamento da Operação Energética (POE). O mesmo procura estimar as gerações das usinas hidrelétricas e termelétricas de modo a atender à demanda de energia elétrica fazendo com que o custo operativo associado ao uso dessas unidades seja o mínimo possível.

Segundo Finardi (2003), essa abrangência hidrelétrica possui características matemáticas nas quais estabelecem que o problema correspondente seja solucionado de forma aproximada a partir de três outros problemas, definidos pelo mesmo como:



planejamento da operação de médio prazo, de curto prazo, e a programação da operação energética.

O planejamento de médio prazo é dividido por cada um dos quatro subsistemas do Sistema Interligado Nacional (SIN), sendo o seu horizonte de estudo definido para cada mês dos cinco anos seguintes. Segundo Brito (2015) esse planejamento passa por revisões quadrimestrais e tem como ferramenta computacional de otimização consolidada o NEWAVE.

Brito (2015) afirma que o problema do POE de curto prazo possui um horizonte de estudo de no mínimo dois meses, sendo discretizado e revisado em etapas semanais, em termos de ferramentas computacionais consolidadas, tanto o NEWAVE como o DECOMP podem ser utilizadas.

Finalizando o processo de planejamento energético, tem-se a programação diária da operação energética com o seu horizonte definido em no mínimo uma semana, discretizada(s) em 30 minutos de cada dia. Brito (2015) destaca que devido à complexidade das diversas não-linearidades envolvidas no processo de planejamento de geração das unidades hidrelétricas e a presença de variáveis binárias para determinar se as unidades estão ligadas ou não, ainda não houve consolidação de uma ferramenta computacional e que, por isso, técnicas de programação matemática e ferramentas computacionais robustas têm sido utilizadas para conseguir soluções viáveis para o problema. Fredo (2017) afirma que devido às complexidades contidas na programação diária, matematicamente a mesma é representada como um problema de programação não-linear inteiro-misto. Vale destacar que, de acordo com Cordova et al. (2012) e Brito (2015), o planejamento da programação diária da operação energética é realizado com base em diretrizes operacionais derivadas do modelo de curto prazo e tem por fundamento fornecer, para cada hora do dia seguinte, uma meta de geração para as usinas hidrelétricas.

Baseado nessas premissas enfatizadas acima, esse trabalho tem por finalidade demonstrar a solução do problema de uso eficiente dos recursos de geração das unidades hidrelétricas, propondo um modelo de otimização do despacho da usina hidrelétrica Luiz Eduardo Magalhães.

## **2 | MODELAGEM DO PROBLEMA**

A modelagem tem como base o trabalho de Finardi (2003) que propõe uma solução detalhada da função de produção das unidades hidrelétricas. A mesma leva em conta as não-linearidades existentes na altura de queda líquida, perdas hidráulicas e o rendimento do grupo turbina-gerador.

### **2.1 Função de Produção Hidrelétrica**

Segundo Finardi (2003), a produção de energia elétrica em unidades geradoras

hidrelétricas é representada matematicamente a partir da chamada função de produção hidrelétrica, o mesmo descreve a modelagem da mesma como expressa a Eq. (1).

$$p_g = G \cdot q \cdot \eta(v, q, Q, S) \cdot h_l(v, q, Q, S), \quad (1)$$

Em que,

$p_g$  é a potência elétrica ativa do gerador, em MW;

$G$  é uma constante obtida pelo produto da aceleração da gravidade ( $g$ ) do local, da densidade da água ( $d$ ) e do sistema de unidades considerado. Este trabalho considera  $g = 9,8361 \text{ m/s}^2$ ,  $d = 997 \text{ kg/m}^3$  e MW como unidade de potência, o que resulta em  $G = 9,81 \cdot 10^{-3} \text{ kg}/(\text{m}^2\text{s}^2)$ ;

$q$  é a vazão turbinada da unidade, em  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$\eta$  é o rendimento hidráulico de uma unidade hidrelétrica;

$v$  é o volume do reservatório, em  $\text{hm}^3$ ;

$Q$  é a vazão turbinada da usina, em  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$S$  é a vazão vertida da usina, em  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$h_l$  é a altura de queda líquida da unidade, em m.

Na função de produção, a altura de queda líquida é modelada pela diferença entre a altura de queda bruta, e as perdas hidráulicas que ocorrem no canal de adução e no tubo de sucção, conforme descrito pela Eq. (2).

$$h_l(v, q, Q, S) = a_0 + a_1 \cdot v + a_2 \cdot v^2 + a_3 \cdot v^3 + a_4 \cdot v^4 - b_0 - b_1(Q + S) - b_2(Q + S)^2 - b_3(Q + S)^3 - b_4(Q + S)^4 - k_p \cdot q^2 - k_s \cdot q^2, \quad (2)$$

Em que,

$a_0, \dots, a_4$  são os coeficientes do polinômio que representam a cota de montante para o reservatório;

$b_0, \dots, b_4$  são os coeficientes do polinômio que representam a cota de jusante para o reservatório;

$k_p$  é uma constante que depende das características físicas do conduto forçado que conecta o reservatório com uma certa unidade hidrelétrica ( $\text{s}^2/\text{m}^5$ );

$k_s$  é uma constante que depende da área da seção de baixa pressão da turbina e da aceleração da gravidade ( $\text{s}^2/\text{m}^5$ ).

O rendimento hidráulico da turbina, dependente da vazão turbinada e da altura de queda líquida, sendo modelado pela Eq. (3).

$$\eta(v, q, Q, S) = c_0 + c_1 \cdot q + c_2 \cdot h_l(v, q, Q, S) + c_3 \cdot q \cdot h_l(v, q, Q, S) + c_4 \cdot q^2 + c_5 \cdot h_l(v, q, Q, S)^2, \quad (3)$$

Em que,

$c_0, \dots, c_4$  são os coeficientes do polinômio que representa o rendimento de uma dada unidade hidrelétrica.

## 2.2 Formulação do Problema

O problema de otimização proposto nesse trabalho é dado pela Eq. (4).

$$\min \Theta = Q + S \quad (4)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n pg_j = L, \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n q_j = Q, \quad (6)$$

$$pg_j = G \cdot q_j \cdot \eta_j(v, q_j, Q, S) \cdot hl_j(v, q_j, Q, S), \quad (7)$$

$$0 \leq q_j \leq q_{\max}, \quad (8)$$

$$u_j pg_{\min} \leq pg_j \leq u_j pg_{\max}, \quad (9)$$

Em que,

- $j$  é o índice associado às unidades geradoras;
- $n$  é o número de unidades disponíveis no reservatório;
- $L$  é a meta de geração para a usina;
- $u_j$  é a variável binária que indica se a unidade geradora  $j$  está ligada;
- $pg_j^{\min/\max}$  é a potência mínima/máxima da unidade  $j$  (MW);
- $q_{\max}$  é o valor máximo da vazão turbinada pela usina.

Analisando a formulação, pode-se observar que a Eq. (4) representa a minimização da vazão defluente da usina. O mesmo está sujeito a restrições. A restrição representada pela Eq. (5) consiste no atendimento a meta demandada. A restrição Eq. (6) faz com que a vazão turbinada da usina seja igual ao somatório da vazão turbinada por cada unidade geradora. A restrição Eq. (7) retrata a função de produção. A restrição Eq. (8) assegura que a variação máxima da vazão turbinada por cada unidade esteja dentro de suas limitações construtivas. A restrição Eq. (9) corresponde aos limites dos extremos de geração – potência mínima/máxima – de cada unidade geradora.

### 3 | ESTRATÉGIA DE SOLUÇÃO

Brito (2015) afirma que devido às características inerentes à geração hidrelétrica, ao número de unidades geradoras envolvidas, à variável binária necessária para representar as unidades que estarão em operação, o problema de CUH é representado matematicamente como um problema de Programação Não-Linear Inteira-Mista (PNLIM) de grande porte.

#### 3.1 Programação Não-Linear Inteira-Mista

Segundo Melo (2012), a PNLIM consiste na resolução de problemas que visam a otimização de uma função-objetivo que tem como característica principal a assiduidade de funções não-lineares.

Neste trabalho, utilizou-se para a simulação da modelagem através da PNLIM o software AIMMS, instalado na sua versão 4.31 (AIMMS, 2017), disponibilizado pelo dono dos seus direitos autorais AIMMS B.V., o qual forneceu gratuitamente uma licença acadêmica, sendo de fundamental importância para o trabalho em questão. Brito (2015) ressalta que o módulo AOA consegue encontrar soluções viáveis para problemas de PNLIM de grande porte não convexos de forma direta. Brito (2015) enfatiza ainda que o algoritmo do módulo AOA utiliza o solver CONOPT V4.31 para resolver os problemas de Programação Não-Linear (PNL).

### 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

As simulações foram desenvolvidas na plataforma do programa AIMMS 4.31 (AIMMS, 2017), utilizando o pacote computacional AIMMS *Outer Approximation* (AOA) que deriva de um algoritmo subjacente, que é uma interação entre dois solucionadores, um para resolver modelos lineares inteiros-mistos e um para resolução de modelos não-lineares (AIMMS B.V., 2014). Os experimentos foram conduzidos em um computador pessoal com processador Intel(R) Core(TM) i5-2450M 2.50 GHz e 8 GB de memória RAM.

Segundo ANEEL (2017), a usina hidrelétrica Luiz Eduardo Magalhães está localizada na cidade de Lajeado no estado do Tocantins, possui regime de produção independente na proporção da participação de cada empresa consorciada, onde, segundo Investco (2012), possui 5 unidades geradoras hidrelétricas que fazem uso de turbinas do tipo Kaplan, com potência mínima e máxima de geração respectivamente iguais a 100 MW e 180,5 MW, resultando em uma potência máxima total de 902,5 MW que permite gerar aproximadamente 4.600.000 megawatts-hora por ano. Em ONS (2017) consta que, a usina de Lajeado é uma usina hidrelétrica a fio d'água, ou seja, a mesma não possui reservatório. Sendo assim, toda afluência a montante é utilizada para geração de energia. A demanda regulada e o nível de água acumulada a montante são estipulados pelo ONS que tem como base a bacia hidrográfica na

qual a mesma está inserida.

#### 4.1 Descrição dos Dados Iniciais

Na Tab. 1 e na Tab. 2 são apresentados os coeficientes usados para calcular respectivamente as funções cota de montante e cota de jusante. As mesmas foram obtidas através das características da usina, disponíveis em ONS (2017).

$a_0$ (m)	$a_1$ (m/hm <sup>3</sup> )	$a_2$ (m/hm <sup>6</sup> )	$a_3$ (m/hm <sup>9</sup> )	$a_4$ (m/hm <sup>12</sup> )
212.0	0	0	0	0

Tabela 1: Coeficientes da função cota de montante.

$b_0$ (m)	$b_1$ (s/m <sup>2</sup> )	$b_2$ (s <sup>2</sup> /m <sup>5</sup> )	$b_3$ (s <sup>3</sup> /m <sup>8</sup> )	$b_4$ (s <sup>4</sup> /m <sup>11</sup> )
171.0	$2,42 \cdot 10^{-3}$	$-1,36 \cdot 10^{-7}$	$4,48 \cdot 10^{-12}$	$-5,74 \cdot 10^{-17}$

Tabela 2: Coeficientes da função cota de jusante.

Como as unidades geradoras possuem características de construção idênticas, além do canal de adução e tubo de sucção também serem iguais, as constantes de perdas hidráulicas e as potências de geração mínima e máxima são análogas. Nesse sentido, as mesmas são apresentadas segundo o que é fornecido em (ONS, 2017) na Tab. 3.

$k_p$ (s <sup>2</sup> /m <sup>5</sup> )	$k_s$ (s <sup>2</sup> /m <sup>5</sup> )	$pg^{\min}$ (MW)	$pg^{\max}$ (MW)
$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-7}$	100	180,5

Tabela 3 – Constantes de perdas hidráulicas e Limites de geração.

Partindo da elucidação anterior, a Tab. 4 exibe os coeficientes do polinômio da função de rendimento hidráulico para todas as unidades geradoras. Os mesmos foram fornecidos pelo Laboratório de Planejamento de Sistemas de Energia Elétrica –LABPLAN – UFSC, através do Professor, Mestre em Sistemas de Energia Elétrica pela UFSC (2015) Brunno Henrique Brito.

$c_0$	$c_1$ (s/m <sup>3</sup> )	$c_2$ (1/m <sup>4</sup> )	$c_3$ (s/m <sup>4</sup> )	$c_4$ (s <sup>2</sup> /m <sup>6</sup> )	$c_5$ (1/m <sup>2</sup> )
$3,5873 \cdot 10^{-1}$	$1,4754 \cdot 10^{-3}$	$1,2116 \cdot 10^{-2}$	$1,71 \cdot 10^{-5}$	$1,93 \cdot 10^{-6}$	$3,513 \cdot 10^{-4}$

Tabela 4 – Coeficientes da função de rendimento hidráulico.

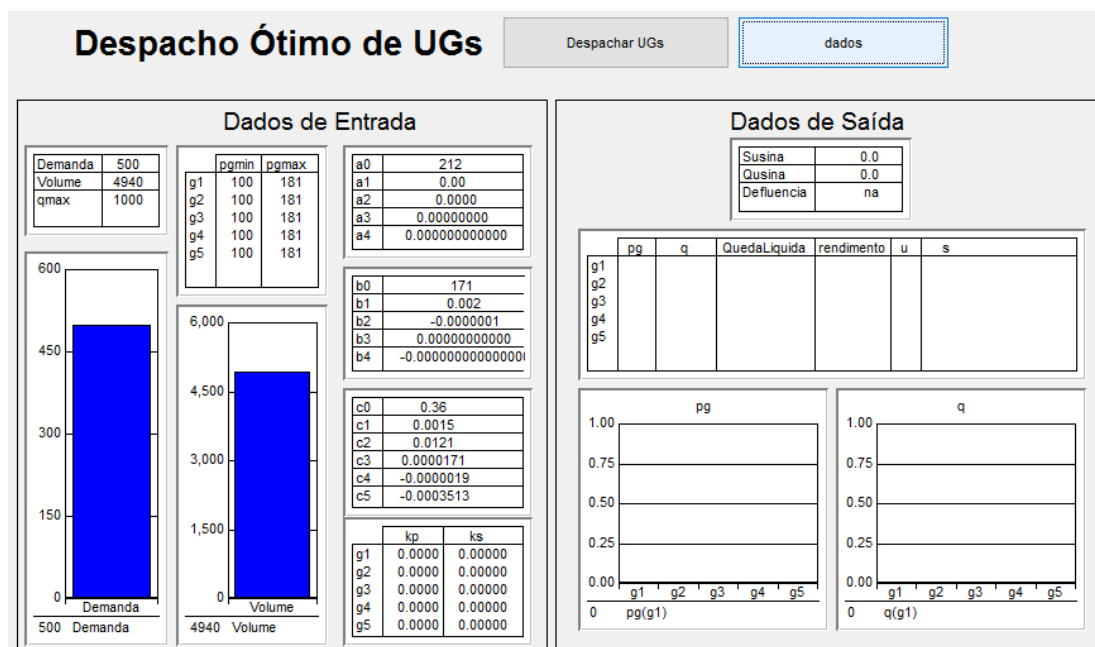


Figura 1 – Interface Operacional

Fonte: Aimms (2017)

Posteriormente, efetuou-se a construção do modelo de otimização proposto e a declaração dos dados de entrada – informados anteriormente – do problema no ambiente de desenvolvimento do AIMMS. O mesmo permite a criação de uma interface onde serão exibidos os dados relevantes do problema. A interface admite a alteração da demanda, assim como a alteração dos dados de entrada da usina, ou seja, é possível generalizar a solução. Apresenta ainda o resultado de minimização da vazão turbinada de cada unidade geradora, obtendo como resultante a otimização da defluência – que representa a soma da vazão vertida com a vazão turbinada – em função da demanda determinada pelo operador nacional do sistema. Essa interface é apresentada na Fig. 1.

Finardi (2003) afirma que só interessam as vazões vertidas das usinas que têm sua produção afetada pelo vertimento, ou seja, como a usina de Lajeado é a fio d’água a mesma não têm sua produção afetada pelo vertimento, sendo assim, o mesmo é considerado nulo. Os limites de vazão turbinada podem ser definidos como um número maior que zero para o limite de vazão turbinada inferior e um número maior ou igual ao somatório total das vazões turbinadas das 5 unidades geradoras para o limite de vazão turbinada superior, observando que, se o mesmo for maior, a restrição de potencial de geração fará o programa indicar erro.

#### 4.2 Simulações e Análises

Para exemplificar o funcionamento da interface criada, escolheu-se o valor de 400 MW de demanda. A simulação é exibida na Fig. 2.

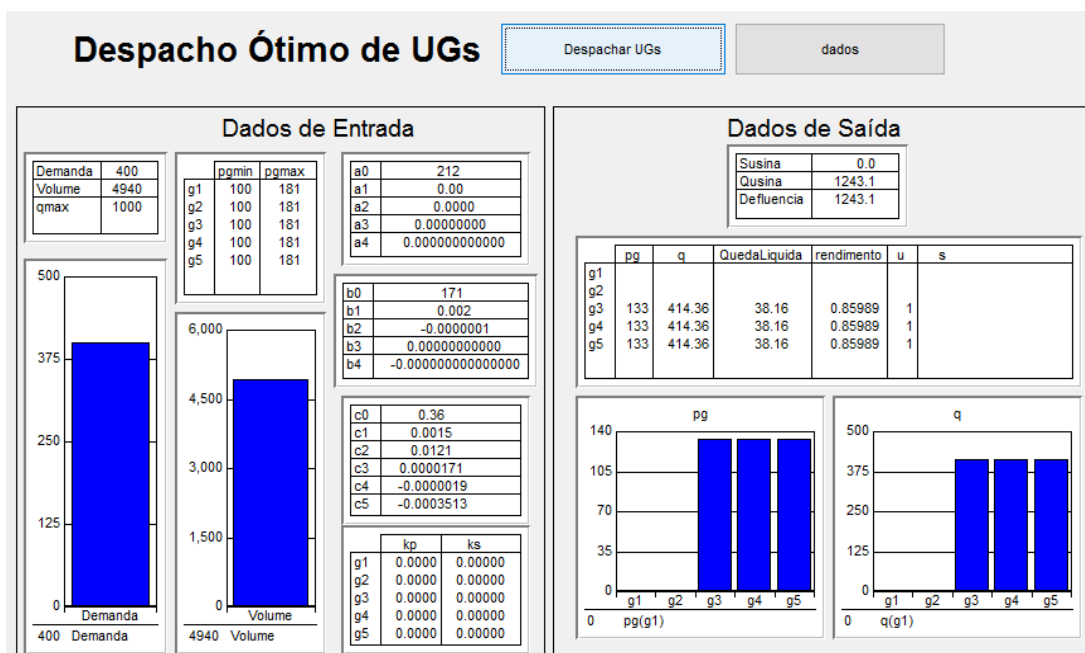


Figura 2 – Demanda igual a 400 MW

Fonte: Aimms (2017)

Em seguida, foram feitas algumas simulações com o intuito de ilustrar os principais indicadores da solução do problema de CUH, além de uma análise comparativa da vazão turbinada pela usina por estágio de demanda, que demonstra a atenuação da vazão defluente por megawatt ((m<sup>3</sup>/s)/MW). As simulações são exibidas na Tab. 5. A mesma apresenta à quantidade de unidades acionadas, a potência unitária gerada, a vazão turbinada por unidade geradora, a vazão defluente da usina, a vazão defluente por megawatt e o rendimento. Estabeleceu-se os dados a partir de demandas estipuladas. Os valores de demanda estipulados variam da potência mínima de geração da usina – 100MW –, sofrem acréscimos de 100MW por estágio de demanda analisado até o mesmo atingir aproximadamente o valor máximo de potência que a usina pode gerar – 900 MW –.

Demanda (MW)	Quantidade de Unidades Ativas	pg (MW)	q (m <sup>3</sup> /s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)/MW	η
100	1	100	326,01	326,0	3,26	0,78
200	2	100	328,17	656,3	3,28	0,79
300	2	150	451,36	902,7	3,01	0,87
400	3	133,333	414,36	1243,1	3,11	0,86
500	3	166,666	505,12	1515,4	3,03	0,89
600	4	150	465,89	1863,6	3,11	0,89
700	4	175	543,63	2174,5	3,11	0,90
800	5	160	505,94	2529,7	3,16	0,90
900	5	180	579,34	2896,7	3,22	0,91

Tabela 5 – Análise Comparativa do Comissionamento das Unidades Hidrelétricas e da Eficiência da Vazão Turbinada pela Usina em Virtude de uma Demanda Estabelecida.

Verificando os dados da Tab. 5 e observando o que é afirmado em Finardi (2003) e Brito (2015), nota-se que a solução ótima do despacho da usina pode ser comprovada a partir da evidente uniformidade da distribuição de carga entre as unidades hidrelétricas. Brito (2015) explica que a mesma se deve por conta da estratégia de solução empregada e do fato das unidades geradoras possuírem características operativas idênticas.

No que tange a eficiência da usina, o rendimento é a principal variável do processo. Finardi (2003) afirma que no comportamento físico do rendimento de uma turbina hidráulica a inter-relação entre a altura de queda líquida que a mesma está submetida e a sua vazão turbinada deve ser observada. Finardi (2003) ressalta ainda que esse inter-relacionamento é bastante complexo e que em geral o mesmo é expresso por meio das curvas de desempenho da turbina.

Essas curvas são denominadas por Finardi (2003) de curvas-colina, devido ao formato das mesmas. Utiliza-se a Fig. 3 para exemplificação da interdependência que envolve as variáveis operativas de uma unidade hidrelétrica.

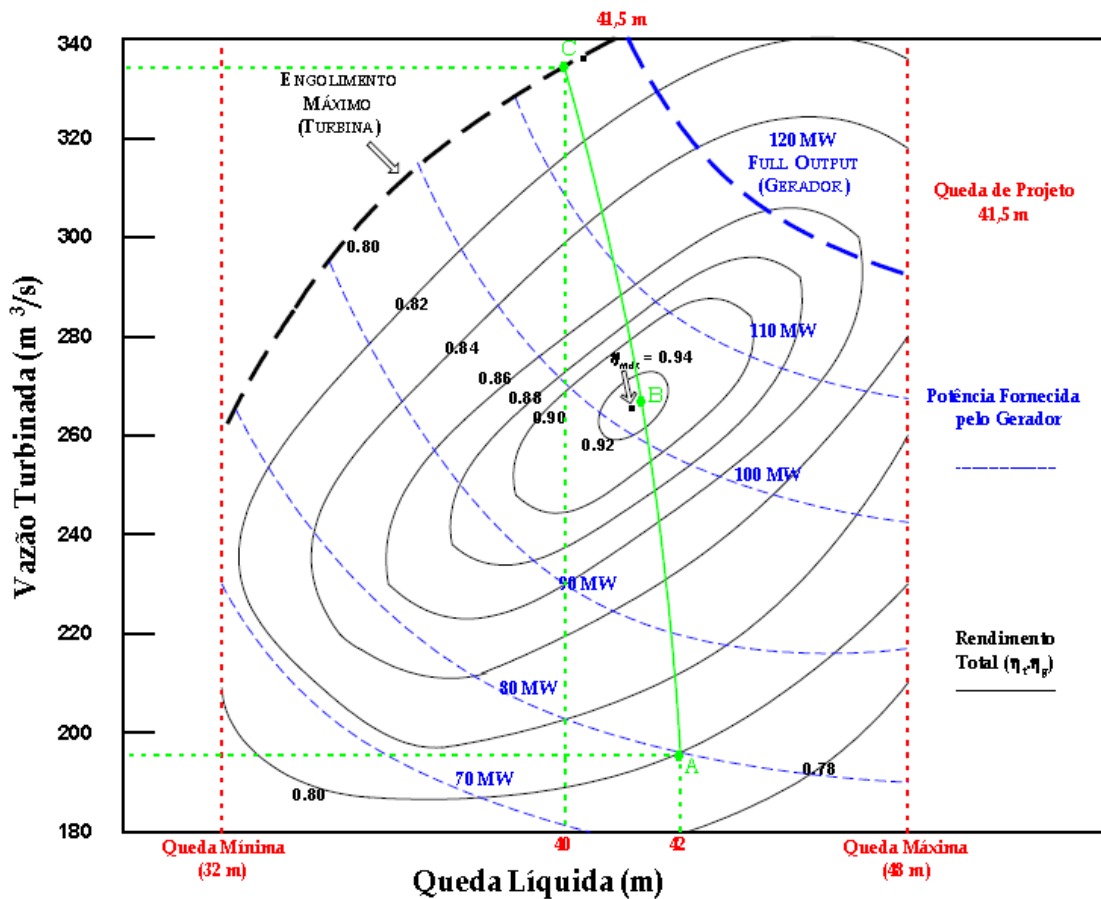


Figura 3 – Exemplo de uma Curva-Colina de uma Unidade Hidrelétrica

Fonte: Finardi (2003)

Observa-se que o eixo das ordenadas representa a vazão turbinada e o eixo das abscissas está associado à altura de queda líquida. As curvas de nível representam o rendimento do conjunto turbina-gerador, as linhas tracejadas representam a potência



fornecida por unidade geradora.

Finardi (2003) enfatiza que as turbinas são projetadas para operar com uma vazão turbinada e uma altura de queda líquida nominais. Considerando o ponto A para análise, a vazão turbinada pela unidade hidrelétrica na qual essa curva baseia-se é aproximadamente igual a 198 m<sup>3</sup>/s e a sua altura de queda líquida igual a 42 m, obtendo um rendimento de aproximadamente 0,78 e uma potência desenvolvida pelo gerador igual a 80 MW.

Finardi (2003) elucida que no caso da curva-colina da Fig. 3, para aumentar a potência de saída do conjunto turbina-gerador é necessário aumentar a vazão turbinada, uma vez que um aumento na vazão turbinada resulta na elevação do nível de jusante tendo como consequência uma redução na altura de queda líquida. O ponto de projeto é indicado por uma seta no centro do gráfico da Fig. 3, nota-se que a altura de queda líquida de projeto para esse caso é igual a 41,5 m e a vazão turbinada de projeto aproximadamente 270 m<sup>3</sup>/s.

Através do contexto elucidado e da discretização dos resultados das variáveis: vazão turbinada, altura de queda líquida, potência gerada e rendimento – todas determinadas para uma unidade hidrelétrica – criou-se uma tabela, cuja análise realizou-se com valores de demanda variando entre  $830\text{MW} \leq \text{Demanda} \leq 870\text{MW}$ , com atribuições de potencial de geração iguais a 5 MW, conforme ilustrado pela Tab. 6.

Deman-da (MW)	830	835	840	845	850	855	860	865	870
q (m <sup>3</sup> /s)	526,17	529,66	533,19	536,76	540,37	<u>544,02</u>	<u>547,72</u>	551,47	555,27
hl (m)	35,44	35,41	35,38	35,34	35,31	<u>35,28</u>	<u>35,24</u>	35,21	35,18
pg (MW)	166	167	168	169	170	<u>171</u>	<u>172</u>	173	174
η	0,9077	0,9080	0,9082	0,9084	0,9085	<u>0,9086</u>	<u>0,9086</u>	0,9085	0,9084

Tabela 6 – Análise Discretizada dos Resultados das Variáveis da Curva-Colina da Usina Analisada.

A Tab. 6 mostra que o rendimento tende a atenuar-se quando o mesmo atinge, o que Finardi (2003) denomina como ponto de projeto, isto é, as turbinas são projetadas para operar com uma vazão turbinada e uma altura de queda líquida nominais sendo que, nessas condições, seu rendimento será máximo. Na Tab. 6 o ponto de projeto das turbinas é representado pela altura de queda líquida com valor médio aproximadamente igual a 35,26 m e pela vazão turbinada com valor médio aproximadamente igual a 545,87 m<sup>3</sup>/s. Os valores das variáveis em que as turbinas obtêm maior eficiência energética estão sublinhados na Tab. 6. Essa interpretação analítica mostra que o programa busca sempre os maiores valores de potencial de geração para efetuar o Comissionamento das Unidades Hidrelétricas (CUH).

Retornando a análise da eficiência da usina enfatizada na Tab. 5, nota-se que a maior diferença na vazão defluente por megawatt é vista durante a variação da demanda entre 200 e 300 MW, justamente aonde a variação do rendimento obteve

maior significância. A partir do que se afirmou anteriormente em relação à curva-colina das turbinas, a variável que teve principal influência, nesse caso, é a que representa a potência elétrica ativa do gerador, devido a sua variação de maior expressividade. A partir da demanda de 500 MW o rendimento está próximo do seu ponto de projeto. Nota-se que a variação da vazão defluente por megawatt tende a ter o seu valor levemente aumentado – de 3,03 a 3,22 –, isso se deve as não-linearidades existentes nas várias variáveis contidas na modelagem do problema.

## 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

No decorrer da análise da distribuição de potencial gerado entre cada unidade hidrelétrica, verificou-se que a qualidade da solução apontada pelo pacote computacional a partir da estratégia de solução PNLIM demonstrou-se ser expressivo e confiável.

Levando em conta somente a demanda estipulada pelo ONS, é notório que o problema se torna de fácil solução quando a usina possui unidades hidrelétricas com característica idênticas, além de não possuir reservatório – usina a fio d'água –, o que propicia a existência de poucas possibilidades de acionamento quando se considera uma demanda específica, por exemplo, estipulando a geração de 400 MW, a distribuição pode ser dada entre 3, 4 ou 5 unidades geradoras. Porém, a definição da vazão turbinada de cada unidade a partir da demanda estipulada do quanto cada uma pode gerar só é possível de ser determinada utilizando a estratégia de solução de minimização da função objetivo.

Na literatura, existem outros trabalhos (por exemplo, alguns com os quais esse trabalho é referenciado) que apresentam problemas de usinas que dispõem de reservatórios, além de se encontrarem ligadas em cascata e de possuírem unidades geradoras com características operacionais de geração distintas. Nota-se que, em relação ao problema abordado nesse trabalho, essas diferenças alteram o valor da vazão defluente – que representa a soma da vazão vertida com a vazão turbinada pela usina –, além do fato de que, quando o volume inicial é baixo, algumas usinas precisam verter água com o intuito de que a(s) usina(s) a jusante obtenha(m) água suficiente para suprir a demanda. Dessa maneira, o problema adquire um aumento no seu respectivo número de restrições e, a partir disso, verifica-se a necessidade de alteração da formulação do problema apresentado para a generalização do mesmo e o emprego de outras estratégias de solução que garantem maior complexidade a reformulação elucidada.

## REFERÊNCIAS

AIMMS Prescriptive Analytics Platform. <http://www.aimms.com/>. Acesso em: 20 de maio de 2017.

AIMMS B.V.. **Aimms Outer Approximation Algorithm for MINLP**. 2014. Disponível em: <[https://download.aimms.com/aimms/download/manuals/AIMMS3LR\\_OuterApproximation.pdf](https://download.aimms.com/aimms/download/manuals/AIMMS3LR_OuterApproximation.pdf)>. Acesso em:

20 maio 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). 2017. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 20 maio 2017.

BRITO, Brunno Henrique. **ANÁLISE COMPARATIVA DE DIFERENTES METODOLOGIAS PARA A SOLUÇÃO DO PROBLEMA DE COMISSONAMENTO DE UNIDADES DE USINAS HIDRELÉTRICAS ACOPLADAS EM CASCATA**. 2015. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

CORDOVA, Marcelo M. et al. **Sistema de Gestão em Tempo Real para Avaliação da Performance e Otimização da Produção de Energia na Usina Hidrelétrica de Itá**. 2012. Disponível em: <<http://www.engieenergia.com.br/wps/wcm/connect/a47aa8cc-4678-46c4-b50a-0a59e9d2e18a/PD-0403-0003-2008+++Artigo+CITENEL+++OK.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACEa47aa8cc-4678-46c4-b50a-0a59e9d2e18a>>. Acesso em: 20 maio 2017.

FINARDI, Erlon Cristian. **ALOCAÇÃO DE UNIDADES GERADORAS HIDRELÉTRICAS EM SISTEMAS HIDROTÉRMICOS UTILIZANDO RELAXAÇÃO LAGRANGEANA E PROGRAMAÇÃO QUADRÁTICA SEQÜENCIAL**. 2003. 216 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

FREDO, Guilherme Luiz Minetto. **ANÁLISE DE DIFERENTES REPRESENTAÇÕES DA FUNÇÃO DE PRODUÇÃO HIDRELÉTRICA NO PROBLEMA DE PLANEJAMENTO DA OPERAÇÃO ENERGÉTICA DE MÉDIO PRAZO**. 2017. 158 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

INVESTCO. Edp. **A Usina**. 2012. Disponível em: <<http://www.edp.com.br/geracao-renovaveis/geracao/tocantins/investco/a-usina/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 20 maio 2017.

MELO, Wendel Alexandre Xavier de. **ALGORITMOS PARA PROGRAMAÇÃO NÃO LINEAR INTEIRA MISTA**. 2012. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Sistemas e Computação, Coppe/ufrrj, Rio de Janeiro, 2012.

ONS: Operador Nacional do Sistema Elétrico. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/home/>>. Acesso em: 20 maio 2017.

## DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE ÓPTICA E TÉRMICA DE UM COLETOR PARABÓLICO COMPOSTO COM E SEM EFEITO ESTUFA

### Joaquim Teixeira Lopes

joaquimlopes@cct.uema.br

Departamento de Física - Centro de Ciências Tecnológicas – Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, Av. Lourenço Vieira da Silva, s/n – Cidade Universitária Paulo VI, Tirirical, CEP: 65.055-31, São Luís/MA.

### Ricardo Fortes de Miranda

rfmiranda@mecanica.ufu.br

Faculdade de Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Av. João Naves de Ávila, 2160, Campus Santa Mônica – Bloco 1M, CEP. 38.400-902, Uberlândia – MG.

### Keyll Carlos Ribeiro Martins

kmartins@ifma.edu.br

Deptº de Mecânica e Materiais/Deptº de Física

### Camila Correia Soares

correia.camilasoares@hotmail.com

Deptº de Mecânica e Materiais/Deptº de Física

**RESUMO:** O estudo sobre o Coletor Parabólico Composto-CPC - completou 45 anos em 2011, o qual foi desenvolvido simultaneamente em 1966 nos Estados Unidos da América por Hinterberger e Wilnston, na Alemanha 1966 por Ploke, e na URSS por Baranov e Melnikov. Em 1974 Wilnston descreve sobre o CPC em 2D, mostrando as vantagens deste tipo de concentrador para ser usado em dispositivos solar. No presente trabalho apresentamos as

vantagens e desvantagens do “CPC” em relação ao Coletor Solar Plano e Coletor Cilíndrico Parabólico, além do dimensionamento e construção do protótipo, onde foram realizados experimentos, testes ópticos e térmicos com auxílio de Laser Modelo EQO 14 e uma placa de aquisição dados modelo TC-08-WJE73/142, registrando temperatura média sem efeito estufa de 53.783°C, com efeito estufa média 83.54°C e leis ópticas experimentalmente comprovadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Dimensionamento, Concentrador solar, Óptica, CPC, Energia Solar.

### SIZING AND OPTICAL AND THERMAL ANALYSIS OF A COMPOUND PARABOLIC COLLECTOR WITH AND WITHOUT THE GREENHOUSE EFFECT

**RESUMO:** The purpose of the study on the Compound Parabolic Collector-CPC - completed 45 years in 2011, which was developed simultaneously in 1966 in the United States of America by Wilnston and Hinterberger, 1966 by Ploke in Germany and the URSS by Baranov and Melnikov. In 1974 describes Wilnston CPC on the 2D showing the advantages of such hub to be used in solar devices. In the present work present the advantages and disadvantages of the "CPC" in relation to the Solar Collector Plan and Cylindrical Parabolic Collector, besides

the design and construction of the prototype, where experiments were performed, optical and thermal tests with the help of Laser Modelplate EQO 14 data acquisition model TC-08-WJE73/142, registering an average temperature of no effect 53 783 ° C oven, greenhouse average 83.54 ° C and optical laws experimentally tested.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sizing, Solar Concentrator, Optics, CPC, Solar Energy.

## 1 | INTRODUÇÃO

A energia solar para aquecimento de água destinado a uso doméstico vem evoluindo no Brasil e em muitos países das Américas, Europa e Oriente Médio, motivado pelo baixo custo de construção e operação, além de ser uma energia limpa e inesgotável na escala humana. Várias formas para captação e transformação de energia solar vêm sendo pesquisadas com a finalidade de aumentar a produtividade e a eficiência do sistema, acrescido do ponto de vista econômico e ecológico. Existem vários tipos de coletores solares com diferentes geometrias com finalidades para energia elétrica ou térmica. No presente artigo daremos ênfase ao estudo do dimensionamento, análise óptica e térmica do Coletor Solar Parabólico Composto que segundo (Tiba et al., 1984) leva vantagem sobre os coletores planos, pois apresentam menores áreas de superfície absorvedora para uma mesma área de abertura, diminuindo a perda de calor pelo topo, melhorando a sua eficiência térmica, também vantajosos sobre os coletores cilindro parabólicos para taxas de concentração até 10 vezes e por ser considerado um sistema estático.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O método proposto consiste inicialmente em dimensionar o Coletor Parabólico Composto utilizando as Eq. (1), (2), (3) e (4) [Tapia e Del Rio, 2009]. Em seguida foi construído o coletor parabólico composto possibilitando o estudo óptico e térmico. O coletor foi construído em alumínio com as dimensões, 31.18 cm de altura, 12.0 cm de largura do evaporador, 24.0 cm de abertura e distância focal 6.31 cm, com área da base pintada com preto fosco, como mostram as Fig. (1) e (3).

A concentração geométrica aplicada ao CPC em 2D

$$C_{2D} = \frac{A}{A'} \quad (1)$$

Em que: A é a área de abertura e A' área da base do coletor

$$f = a'(1 + \sin(\theta_{\max})) \quad (2)$$

Em que: L é a altura do CPC, podendo ser escrito da forma.

$$L = (a + a') \cot(\theta_{\max}) \quad (3)$$

O coletor parabólico composto em 2D em coordenadas cartesianas só contém a variável independente  $x$  e os parâmetros geométricos do CPC  $a, a'$  e  $L$ .

$$z = 2L - \left[ \frac{L}{(a+a')} (x+a') \right] - 2 \frac{a(a+a')}{a'} \sqrt{1 - \left[ \frac{|x+a'|}{a+a'} \right]} \quad (4)$$

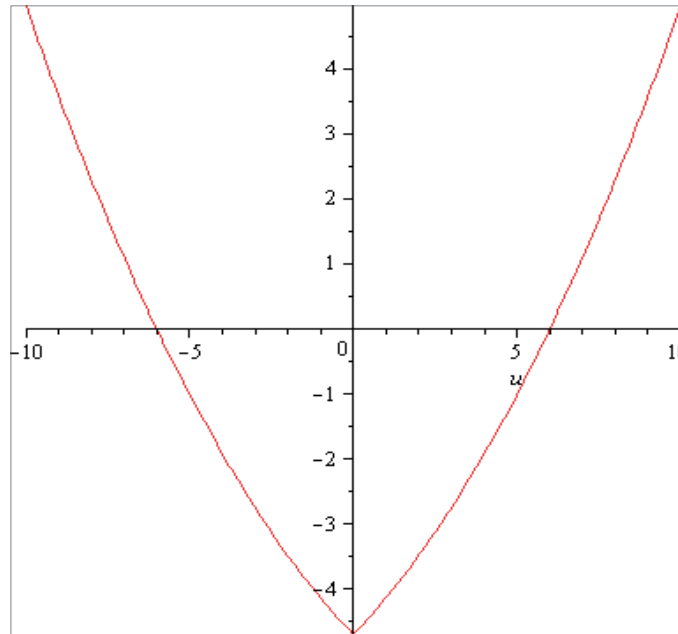


Figura 1. Geometria do Coletor Parabólico Composto

O teste óptico foi realizado com a finalidade de analisar o comportamento dos raios de luz que incidem e se refletem na parte retangular da bacia parabólico composto, utilizando Laser Modelo EQO 14, para controlar e registrar temperatura na base retangular do coletor foi instalado sensores (termopares K) para transmitir informações a uma placa de aquisição de dados Modelo TC-08-WJE73/142 como indicado na Fig. (2).

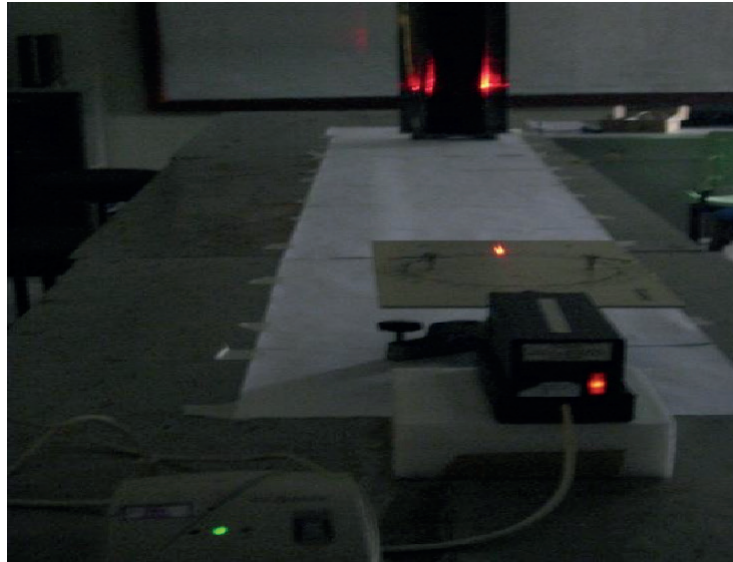


Figura 2. Teste óptico do Coletor Parabólico Composto

As temperaturas das bacias parabólicas compostas sem e, com efeito, estufa foram obtidos com uma placa de aquisição de dados modelo TC-08-WJE73/142 para 8 saídas com termopares tipo K, como disposto na Fig(3).



Figura 3. Teste Térmico do absorvedor retangular do Coletor Parabólico Composto.

### 3 | RESULTADOS EDISCURSÕES

A Tabela (1) indica a análise diária da radiação solar, temperatura ambiente, umidade instantânea, pressão instantânea, velocidade instantânea do vento e nebulosidade, parâmetros importantes para obtenção experimental da temperatura do absorvedor retangular do coletor parabólico composto. Em todos os resultados apresentados pelo Instituto Nacional de Meteorologia-INMET no intervalo de tempo das 07:00 as 18:00 horas, para radiação solar o máximo valor  $898.61 \text{ W/m}^2$  foi

obtido as 13 h e mínimo 42.69 W/m<sup>2</sup> as 07:00 horas ,influenciando diretamente nas temperaturas, pressões, ventos e apresentando comportamento inverso em relação a umidade do ar, Fig. (4).

Tempo (h)	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Pressão (hPa)	Vento (m/s)	Radiação (W/m <sup>2</sup> )	Nebulosidade (Décimos)
07:00	24,8	93	1002,7	2	42,69	-
08:00	25,6	89	1003,6	3,1	217,36	-
09:00	26,9	87	1004,4	3,2	343,89	8
10:00	26,9	85	1004,8	3,8	298,05	-
11:00	27,6	82	1004,6	3,5	570	-
12:00	27,9	84	1003,9	3,9	801,67	-
13:00	28,6	81	1002,9	4	898,61	-
14:00	28,8	82	1002,1	4	757,5	-
15:00	28,5	81	1002	4,1	746,67	8
16:00	27,8	85	1001,8	3,7	313,05	-
17:00	27,5	89	1001,9	2,7	155,35	-
18:00	27	89	1001,9	2,5	60	-

Tabela 1. Dados Metrológicos de São Luís – Maranhão : -24/02/12- Fonte- INMET

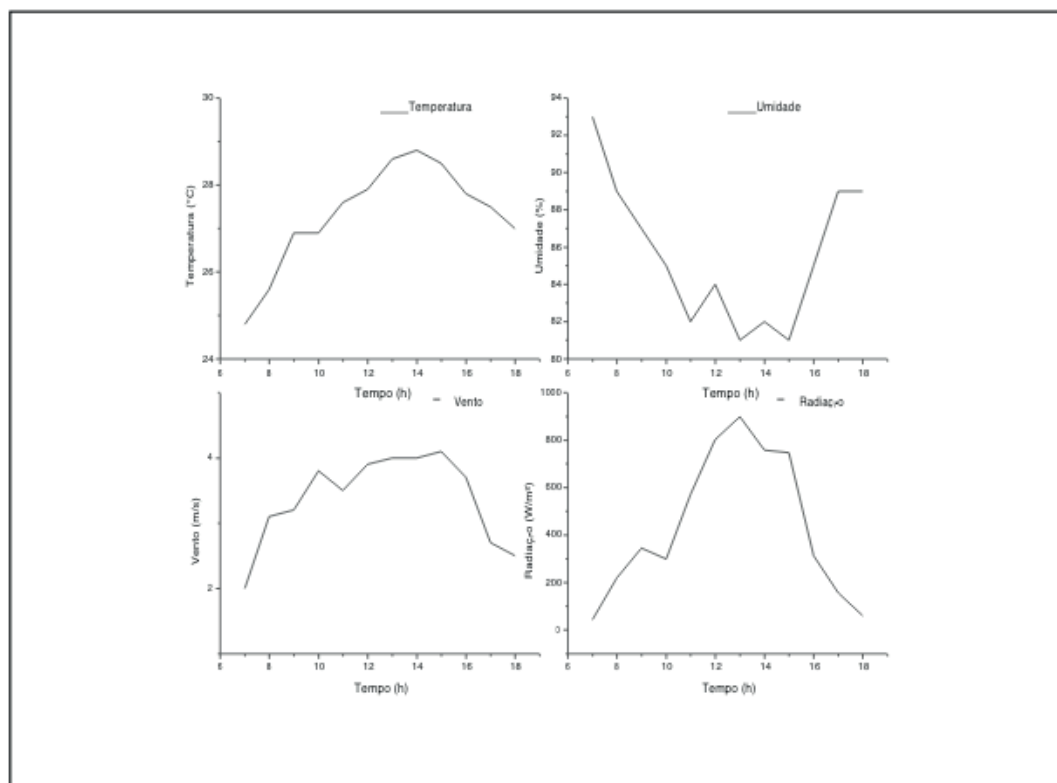


Figura 4. Condições climáticas de são Luís do maranhão - Fonte: INMET

A Figura (5) ilustra o registro diário experimental da temperatura da bacia retangular do coletor parabólico composto. O valor máximo para temperatura da bacia sem efeito estufa foi de 68.74°C as 11:33h e mínima 36.16°C as 15:34, com valor máximo de 106,63°C as 10:41h para o sistema avaliado com efeito estufa e



mínimo de 50.51°C as 15:32h e nebulosidade média durante o período de coleta dos dados de 8.00 Décimos.

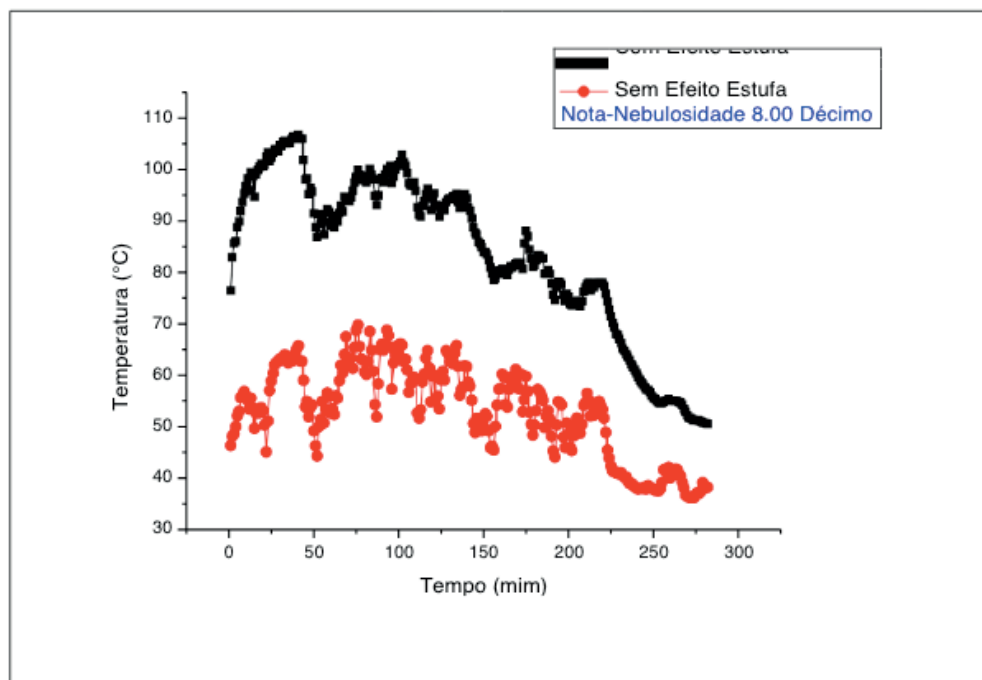


Figura 5. Temperatura da bacia do “CPC” sem e com efeito estufa

#### 4 | CONCLUSÕES

A análise experimental do comportamento óptico e térmico do coletor solar parabólico composto permite concluir que a taxa de concentração, refletância, absorvância e as variáveis climáticas são fundamentais para o dimensionamento, análise óptica e térmica do sistema proposto. As conclusões mais importantes observados durante a elaboração do presente trabalho foram:

- a) Mesmo com nebulosidade 8.00 Décimo, a radiação solar média 433.73 W/m<sup>2</sup> e temperatura ambiente média de 27.32°C, a parte absorvedora do coletor parabólico composto, sem efeito estufa, atingiu temperatura mínima de 36.16°C, temperatura de pico 68.74°C, média 53.783°C, intervalo [51.87, 53.78] de confiança 95% para 20000 simulações;
- b) Para as mesmas condições meteorológicas registrado no item (a), o coletor parabólico composto, com efeito estufa, indicou temperatura 50.51°C, temperatura máxima 106.63°C, média 83.54°C, intervalo de [81.68, 85.10 ] de confiança 95% para 20000 simulações;
- c) O coletor solar parabólico composto pode ser utilizado para aquecimento de água na estação chuvosa, de janeiro a julho em São Luís do Maranhão;
- d) Os dados presentes indicam a relação percentual entre a temperatura do coletor solar parabólico composto sem e com efeito estufa e com efeito estufa no intervalo de tempo de operação de 5h;

e) O teste óptico ilustra a compatibilidade experimental com as leis da reflexão para o coletor parabólico composto;

f) O desenvolvimento do coletor em coordenadas cartesianas facilita a visualização das curvas parabólicas, rotação de eixos e translação do ponto focal.

## 5 | AGRADECIMENTOS

A Deus e nossos familiares.

## 6 | DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

## REFERÊNCIAS

Brandão, B B, Concentrador Parabólico composto com absorvedor V invertido completamente iluminado, Dissertação de Mestrado, PROTEN-DEN-UFPE, Recife, Pernambuco, Brasil, 2004.

C.K. Hsieh, Thermal analysis of CPC collectors, Solar Energy 27 (1981) 19–29.

Duffie J. A. y Beckman W. A. (2006). Solar Engineering of Thermal Processes, 3a edición. Wiley Interscience, New York.

Kalogirou, Soteris. (2009). “Solar energy engineering: processes and systems”. 1st ed. 756p. 2009.

LOPES J. T. Dimensionamento e Análise Térmica de um Dessalinizador Solar Híbrido. Universidade Estadual de Campinas, SP, 2004.

Rabl, A., “Comparison of solar concentrators”. Solar Energy, vol. 18, p. 93-111, 1976 apud Fraidenraich, N. e Almeida,

G. J., “Propriedades óticas de concentradores tipoV”.

Tapia S. y Del Rio J. A. Concentrador Parabólico Compuesto: una descripción opto-geométrica. REVISTA MEXICANA DE FÍSICA 55 (2) 141-153 (2009).

## EFEITOS DO TRATAMENTO TÉRMICO DE ENDURECIMENTO POR PRECIPITAÇÃO NA MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES MECÂNICAS EM LIGAS DE AL-SI-MG FUNDIDAS

**Albino Moura Guterres**

Instituto Federal Sul-rio-grandense  
Passo Fundo - RS

**Daniel Beck**

Instituto Federal Sul-rio-grandense  
Passo Fundo - RS

**Cláudio André Lopes de Oliveira**

Instituto Federal Sul-rio-grandense  
Passo Fundo - RS

**Juliano Poleze**

Instituto Federal Sul-rio-grandense  
Passo Fundo - RS

**RESUMO:** O objetivo do presente trabalho foi analisar os efeitos dos tratamentos térmicos na microestrutura, limite de resistência à tração e dureza em uma liga de Al-Si-Mg fundida. A possibilidade de substituição de ligas forjadas de Al-Mg-Si por ligas fundidas, permitindo redução de custos e aumento das propriedades mecânicas, motivou o estudo. A liga Al-3,8%Si-0,25%Mg foi preparada, fundida e solidificada em molde metálico. Amostras das seções transversais foram extraídas ao longo do comprimento dos lingotes para análises da microestrutura e realização dos ensaios de tração e dureza. Parte das amostras foram submetidas a tratamentos térmicos de endurecimento por precipitação. As microestruturas das amostras da liga, sem aplicação de tratamento

térmico, revelaram a presença de uma matriz Al- $\alpha$ , microconstituente eutético Al- $\alpha$ +Si, microconstituente eutético Al- $\alpha$ +Mg<sub>2</sub>Si e intermetálicos Al<sub>5</sub>FeSi e Al<sub>15</sub>(Mn,Fe)<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>. Após a realização dos tratamentos térmicos, identificou-se arredondamento nas partículas do microconstituente eutético Al- $\alpha$ +Si e a presença de grandes regiões de morfologia irregular do microconstituente eutético Al- $\alpha$ +Mg<sub>2</sub>Si. Durante a análise das propriedades mecânicas, observou-se que, após o tratamento térmico, a dureza e o limite de resistência à tração das amostras aumentaram em torno de 31% e 34%, respectivamente, isso se deu em função da presença de partículas Mg<sub>2</sub>Si precipitadas na matriz de Al- $\alpha$ .

**PALAVRAS-CHAVE:** Ligas Al-Si-Mg; Microestrutura; Tratamentos Térmicos; Propriedades Mecânicas.

### EFFECTS OF HEAT TREATMENT OF HARDENING BY PRECIPITATION IN THE MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES IN AL-SI-MG CAST ALLOYS

**ABSTRACT:** The objective of the present work was to analyze the effects of thermal treatments on the microstructure, limit of tensile strength and hardness in a molten Al-Si-Mg alloy. The possibility of substitution of Al-Mg-Si alloys extruded by molten alloys, allowing reduction of

costs and increase of mechanical properties, motivated the study. The alloy Al-3,8% Si-0.25% mg was prepared, melted and solidified in metal mold. Samples of the cross sections were obtained along the length of the ingots for analysis of the microstructure and performance of tensile and hardness tests. Part of the samples were subjected to precipitation hardening thermal treatments. The microstructures of the alloy samples, without heat treatment, revealed the presence of an eutectic Al- $\alpha$ , eutectic Al- $\alpha$  + Si, eutectic Al- $\alpha$  + Mg<sub>2</sub>Si matrix and the intermetallic Al<sub>5</sub>FeSi and Al<sub>15</sub>(Mn, Fe)<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>. After heat treatments, the micro-constituents of Al- $\alpha$  + Si were rounded and regions of irregular morphology of the eutectic Al- $\alpha$  + Mg<sub>2</sub>Si micro-constituent were present. During the mechanical properties analysis, it was observed that, after the heat treatment, the hardness and the tensile strength of the samples increased 31% and 34%, respectively, due to the presence of particles of Mg<sub>2</sub>Si precipitated in the Al- $\alpha$  matrix.

**KEYWORDS:** Al-Si-Mg alloys; Microstructure; Thermal Treatments; Mechanical properties.

## 1 | INTRODUÇÃO

O uso de ligas de alumínio nas indústrias automotiva, aeronáutica e de fabricação de metais aumentou acentuadamente nas últimas décadas (Gopikrishna e Binu, 2013). A excelente fluidez, os custos de produção relativamente baixos, e a alta resistência em relação ao peso fazem das ligas de Al-Si-Mg uma opção atraente para produção de peças de alta resistência com baixo peso nas indústrias automotiva e aeroespacial (Serrano-Munoz *et al.*, 2016).

A maioria dessas ligas é utilizada na condição forjada devido a suas melhores respostas mecânicas e físico-químicas. No entanto, o requisito para reduzir o consumo de energia nos processos de fabricação aumentou a atenção no que diz respeito ao uso de componentes e peças na condição de fundição, diminuindo as etapas de fabricação e os custos de produção.

Na condição de fundição, as ligas binárias Al-Si são as mais importantes e utilizadas entre as ligas de alumínio, principalmente devido à sua excelente capacidade de fundição e resistência (Osorio *et al.*, 2008). A presença de Si e Mg permite que essas ligas sejam tratadas termicamente por endurecimento por precipitação (solubilização e envelhecimento), permitindo melhorar suas propriedades mecânicas, como dureza, resistência à tração e resistência à fadiga (Kaell, 2103).

As propriedades mecânicas das ligas fundidas de alumínio são significativamente dependentes de características microestruturais. Parâmetros estruturais como morfologia da macroestrutura, tamanho de grão, matriz dendrítica, porosidade e presença de impurezas são os aspectos mais importantes que afetam as propriedades metalúrgicas finais.

Embora existam numerosos estudos sobre as características das ligas à base de Al, a possibilidade de substituição de ligas forjadas de Al-Mg-Si por ligas fundidas, permitindo redução de custos e aumento das propriedades mecânicas, motivou o

presente estudo. Nessa perspectiva, este trabalho tem como objetivo investigar a influência dos tratamentos térmicos na microestrutura e propriedades mecânicas em ligas de Al-Si-Mg fundidas.

## 2 | METODOLOGIA

Foi obtida uma liga do sistema Al-Si-Mg com a seguinte composição: Al-3,8%Si-0,25%Mg (% em massa). O sistema Al-Si-Mg foi escolhido devido à importância das ligas em aplicações na indústria automobilística e aeronáutica. Essa liga foi produzida a partir da fusão de alumínio primário, alumínio-silício (12% de silício) e magnésio metálico.

Foram produzidos 6 lingotes da liga, para análise da microestrutura e propriedades mecânicas. Para isso, a temperatura do metal líquido no forno foi mantida entre 720°C e 730°C. A temperatura de vazamento foi de 700°C. O metal líquido foi vazado em uma lingoteira, de aço inoxidável AISI 304, com diâmetro interno de 44 mm, altura de 180 mm e espessura de parede de 13 mm. A lingoteira foi pré-aquecida a 400°C e a solidificação ocorreu de forma natural.

A partir dos lingotes foram retiradas amostras da seção transversal circular utilizadas para a análise das características microestruturais e determinação das propriedades mecânicas. As amostras foram obtidas realizando cortes transversais ao longo do comprimento dos lingotes. As amostras retiradas ao longo do lingote foram obtidas a uma distância de 40 mm da base da lingoteira, conforme observa-se na Fig. 1(b). A metade amostras produzidos foram submetidas ao tratamento térmico de envelhecimento por precipitação, sendo a etapa de solubilização realizada na temperatura de 540°C ± 10°C, durante 6 h, seguido de resfriamento em água morna na temperatura entre 60°C ± 5°C. O envelhecimento artificial foi realizado na temperatura de 180°C, durante período de 4 horas.

Na análise da porosidade, foram utilizadas todas amostras da seção transversal circular. Essa análise antecedeu os demais procedimentos. As amostras foram analisadas por picnometria utilizando o Método de Arquimedes, conforme recomendação da norma ASTM B 311-93 [13], e usando a Eq. (1):

$$\% \text{ Poros} = [(\rho_T - \rho_A) / \rho_T] * 100 \quad (1)$$

onde  $\rho_T$  é a massa específica teórica da amostra (kg / m<sup>3</sup>);  $\rho_A$  é massa específica aparente da amostra (kg/m<sup>3</sup>); sendo a massa específica teórica ( $\rho_T$ ) determinada pela massa específica dos elementos químicos e suas porcentagens de massa medidas por espectrometria de emissão óptica (OES).

Para duas amostras, sendo uma amostra bruta de solidificação e outra tratada termicamente, foram analisadas as fases da microestrutura, para isso, tornou-se necessário a realização de análise micrográfica. Na realização da análise da

micrografia, de cada amostra circular foi retirada uma amostra de seção quadrada de aproximadamente 15x15 mm, como observa-se na Fig. 1(c), na seção transversal em destaque realizou-se procedimentos de lixamento e polimento e ataque com solução de 5% HF (95 ml de H<sub>2</sub>O + 5 ml de HF) para revelação da micrografia.

Para a análise da microestrutura foi utilizado um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV-FEG), modelo F50, da marca Inspect, com acessório de microanálise por EDS (espectroscopia de energia dispersa). Na análise da microestrutura foi usado o detector BSE (elétrons retroespalhados), onde se conseguiu distinguir os precipitados através das tonalidades. A identificação da composição química dos precipitados presentes foi obtida pela técnica de EDS.

Na sequência, as amostras de seção transversal restantes (brutas de solidificação e tratadas termicamente) foram utilizadas para medição de dureza. Após, foram retirados de cada amostra dois corpos de prova para ensaio de tração, sendo obtido no total, 4 corpos de prova para cada condição. Na Figura 1(d) observa-se as amostras onde foram realizados os ensaios de dureza (seção transversal em destaque) e onde foram retirados os corpos de prova para ensaio de tração. Os corpos de prova, para ensaio de tração foram obtidos com dimensões reduzidas proporcionais ao modelo padrão, conforme especificado pela norma ASTM E8M-03.

Para obtenção das durezas nas amostras aplicou-se as técnicas de ensaio de dureza Brinell. Para isso, utilizou-se um Durômetro Brinell, um penetrador esférico de aço de Ø 5 mm, uma carga de 2500 N (250 kgf) e tempo de penetração de 20 segundos, segundo a norma ABNT NBR NM ISO 6506-1:2010. Foram realizadas três medidas em cada amostra.

Os ensaios de tração, para determinação do limite de resistência à tração foram executados utilizando a máquina de ensaios, com capacidade de 10.000 N, sistema de aquisição de dados do próprio fabricante, com uma velocidade de ensaio em torno de 4 mm/s. Os ensaios foram realizados conforme a norma ASTM E8M-03.

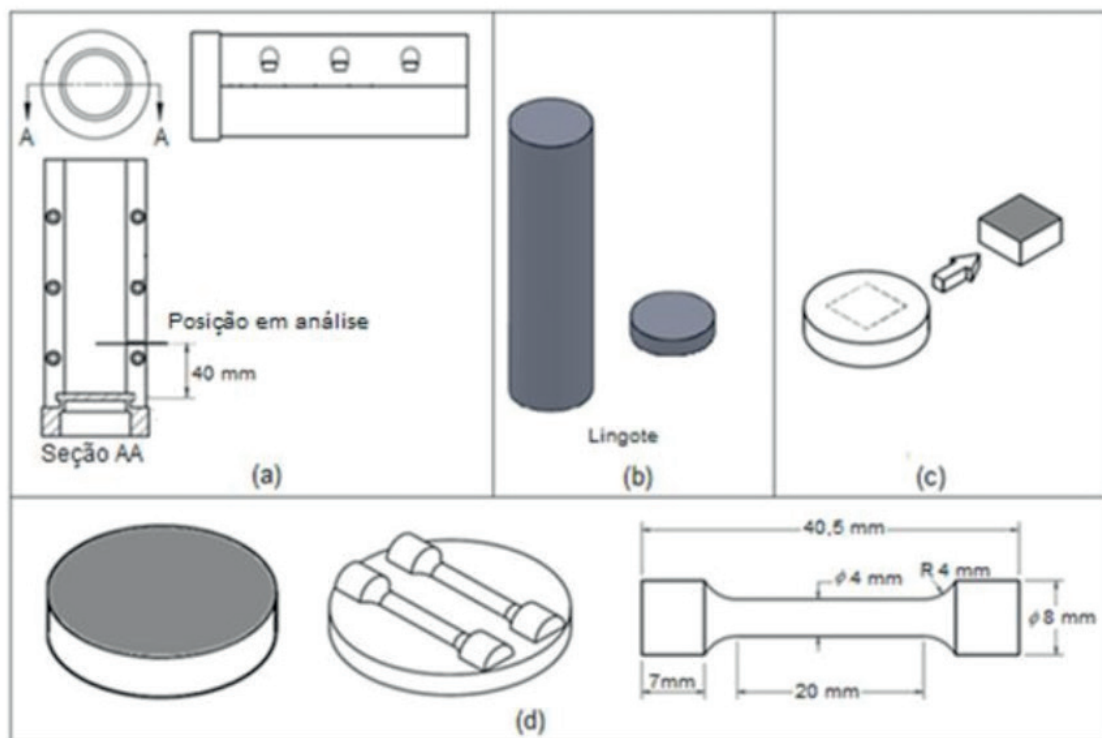


Figura 1. (a) Representação esquemática do molde (b, c, d) representação do lingote e amostras extraídas para metalografia e ensaios mecânicos.

Por fim, analisou-se a influência dos tratamentos térmicos nas fases da microestrutura e nas propriedades mecânicas de dureza e limite de resistência a tração na liga fundida Al-3,8%Si-0,25%Mg.

### 3 | RESULTADOS

Em todos os processos de fusão e solidificação, as temperaturas de fusão, de vazamento e aquecimento da lingoteira mantiveram-se iguais, com isso, a taxa de resfriamento manteve-se praticamente constante nas diferentes posições ao longo do lingote. Durante a solidificação, segundo Patakham *et al.* (2013), a taxa de resfriamento é a variável térmica de maior influência nas variações do tamanho de grão e dos espaçamentos dendríticos secundários. Segundo Dong *et al.* (2012), os espaçamentos dos braços dendríticos secundários e o tamanho de grão apresentam influência nas propriedades mecânicas das ligas de alumínio. Sendo assim, devido à taxa de resfriamento apresentar-se praticamente constante, os espaçamentos dos braços dendríticos secundários e o tamanho de grão, nas amostras, deverão apresentar pequenas variações, que não irão influenciar na variação das propriedades mecânica das ligas em estudo.

A partir dos dados obtidos sobre a porosidade, pôde-se observar nas amostras um percentual volumétrico médio de porosidade de 1,23% com um desvio padrão de 0,19%. As amostras apresentam pequena variação do percentual volumétrico, desta forma a porosidade não irá influenciar na variação das propriedades mecânicas da

liga.

Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia de energia dispersiva de raios-X (EDS) foram usadas para identificar as fases e os precipitados nas amostras para ambas as condições. Na Figura 2(a) observamos que amostras nas condições brutas de solidificação apresentaram uma matriz de Al- $\alpha$  (áreas cinzas) e estruturas e compostos intermetálicos diferentes nas zonas interdendríticas. A estrutura em forma de escrita chinesa é composta por Al, Si, Mn e Fe, já a estrutura em forma de agulha, com coloração branca, é composta por Al, Si e Fe. Em relação às estruturas contendo Ferro, segundo Taylor (2012) e Budmeshki *et al.* (2015), os intermetálicos em formato de agulhas possuem estrutura com a composição  $\beta$ -Al<sub>5</sub>FeSi, e conforme Taylor (2012), os intermetálicos do tipo escrita chinesa massiva possuem estrutura com a composição Al<sub>15</sub>(Mn, Fe)<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>. A matriz com coloração mais escura, conforme observado pela composição química, trata-se da matriz Al- $\alpha$ . A fase de coloração cinza claro, apresenta na sua composição Si e Al, o que pode caracterizá-lo como o microconstituente eutético Al- $\alpha$ +Si. Já a estrutura com teores elevados de silício e magnésio de forma circular, segundo Emamy *et al.* (2013), são os microconstituintes eutéticos de Al- $\alpha$ +Mg<sub>2</sub>Si.

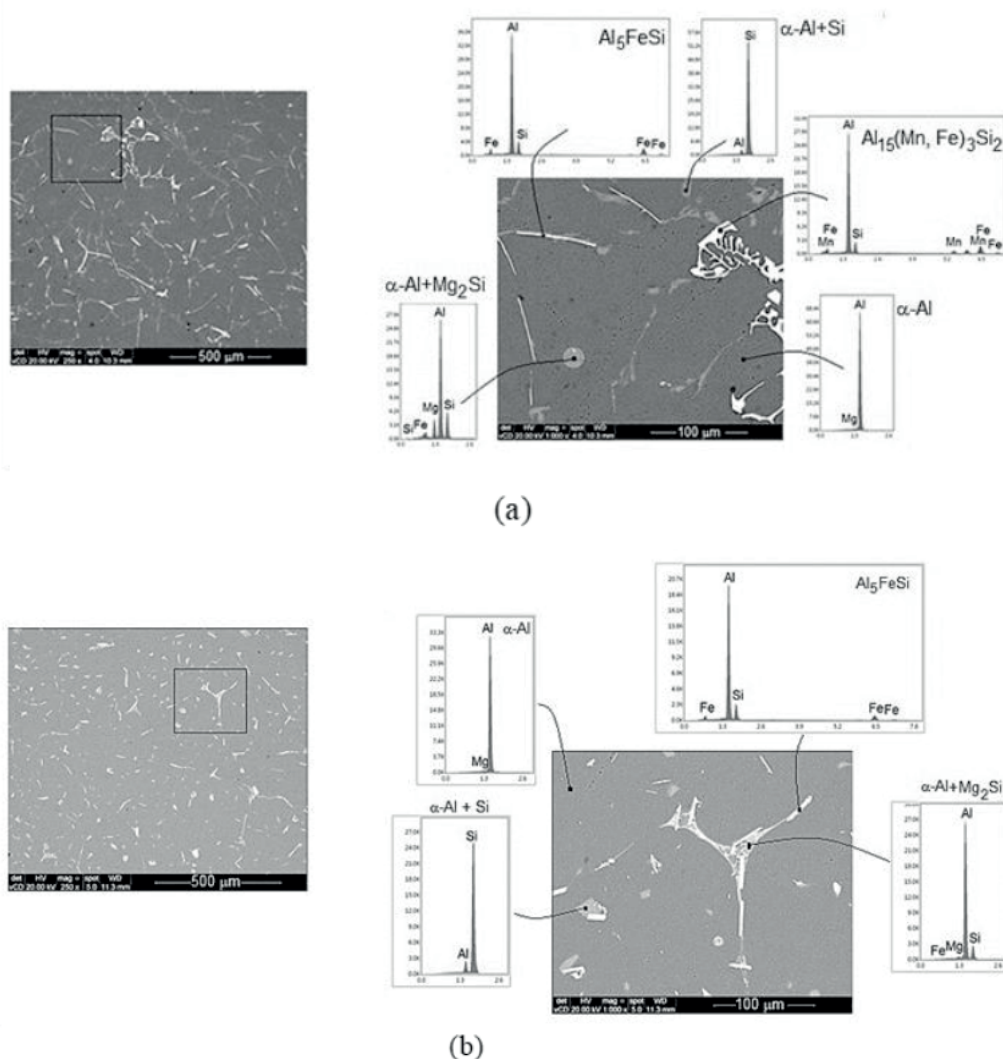


Figura 2. Imagens MEV e análise EDS de (a) Liga na condição bruta de solidificação e (b) Liga na condição tratada termicamente.



Após o tratamento térmico, as amostras foram analisadas para verificar a dissolução das partículas de  $Mg_2Si$ . A Figura 2(b) apresenta imagens metalográficas da liga. Ocorreu a dissolução das estruturas eutéticas  $\alpha-Al + Mg_2Si$  em grandes colônias com morfologia fibrosa. Os intermetálicos massivos de  $Al_{15}(Mn, Fe)_3Si_2$ , em forma de escrita chinesa, apresentaram uma dissolução parcial, modificando a morfologia anterior para uma morfologia irregular em blocos. As partículas intermetálicas  $\beta-Al_5FeSi$  não apresentaram evidências de modificação significativa, e esse comportamento está de acordo com o apresentado por Yildirim e Ozyurek (2013). A estrutura  $\alpha-Al + Si$  eutético também são relativamente afetadas pelo tratamento térmico, se tornando mais arredondadas, como relatado por Gopikrishna e Binu (2013).

Os resultados dos testes de dureza e tração são apresentados na Tab. 1. Nota-se que as amostras tratadas termicamente apresentam maior dureza em comparação com as amostras nos estados brutos de solidificação. Os maiores valores de dureza foram observados devido aos teores de Mg e Si, os principais responsáveis pela formação de  $Mg_2Si$ . Após o tratamento térmico, observou-se a precipitação de colônias com morfologia fibrosa do microconstituente eutético de  $Al-\alpha+Mg_2Si$  (Fig. 2b) que contribuem para o endurecimento (Kaygisiz e Marasli, 2015).

Condição	Dureza Brinell [HBW/5/250]		Limite de resistência a tração [MPa]	
	Valor Médio	Desvio Padrão	Valor Médio	Desvio Padrão
Brutas de solidificação	51	0,42	120,7	2,76
Tratadas termicamente	67	0,31	162,2	9,40

Tabela 1. Dureza e Limite de resistência à tração das amostras nas condições brutas de solidificação e tratadas termicamente

Conforme a Tabela 1, observa-se que as amostras tratadas termicamente apresentam maiores limites de resistência à tração. Em geral, o aumento nos valores de resistência após o tratamento térmico é causado pela precipitação da segunda fase, principalmente o  $Mg_2Si$ . Estes precipitados estão fortemente ligados à distribuição mais homogênea da matriz dendrítica, atuando como obstáculos ao deslocamento durante o processo de escorregamento, melhorando a resistência à tração da liga (Yildirim e Ozyurek, 2013).

#### 4 | CONCLUSÃO

Nesta etapa apresenta-se as principais conclusões de acordo com os resultados obtidos:

- O estudo revelou que às microestruturas das amostras nos estados brutos de solidificação, apresentaram a presença de uma matriz  $Al-\alpha$ , e das seguintes estruturas: o microconstituente eutético  $Al-\alpha+Si$ ; microconstituente eutético  $Al-\alpha+Mg_2Si$ ; e os intermetálicos  $\beta-Al_5FeSi$  e  $Al_{15}(Mn,Fe)_3Si_2$ . Após a realização do tratamento térmico de endurecimento por precipitação, identificou-se na microestrutura das ligas

o arredondamento das partículas do microconstituente eutético com Si (Al- $\alpha$ +Si) e a presença de colônias com morfologia fibrosa do microconstituente eutético com Mg<sub>2</sub>Si (Al- $\alpha$ +Mg<sub>2</sub>Si). Os intermetálicos ricos em Fe, principalmente a fase  $\beta$ -Al<sub>5</sub>FeSi quase não foram afetadas pelo tratamento térmico adotado.

- Constatou-se que o tratamento térmico de endurecimento por precipitação proporcionou um aumento de aproximadamente 34% no limite de resistência à tração e de aproximadamente 31% na dureza, em relação aos resultados obtidos na condição bruta de solidificação. Dessa forma, conclui-se que a Liga Al-3,8%Si-0,25Mg respondeu bem ao tratamento térmico, já que ocorreu a precipitação da fase Mg<sub>2</sub>Si na matriz de Al- $\alpha$ , como observa-se nas grandes colônias do microconstituente eutético Al- $\alpha$ +Mg<sub>2</sub>Si, base do endurecimento por precipitação e responsável pela boa resistência à tração.

## REFERÊNCIAS

ABNT NBR NM ISO 6506-1:2010.  **Materiais metálicos – Ensaio de dureza Brinell**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2010.

American Society for Testing and Materials, Philadelphia. ASTM Standart B311-93; **Test Method for Density Determination for Powder Metallurgy (P/M) Materials Containing Less Than Two Percent Porosity**. PA

ASTM E 8M – 04. **Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials**. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2004.

Bidmeshki, C.; Abouei, V.; Saghafian, H.; Shabestari, S.G.; Noghani, M.T. **Effect of Mn addition on Fe-rich intermetallics morphology and dry sliding wear investigation of hypereutectic Al-17.5%Si alloys**. Journal of Materials Research and Technology, v. 5, n. 3, p. 250–258, 2016.

Dong, Q-Z; Choi, Y-S; Hong, J-H; Hwang, H-Y. **Prediction of mechanical properties of Al alloys with change of cooling rate**. Overseas Foundry, v.9 n.4, 2012.

Emamy, M.; Emami, A.R.; Khorshidi, R.; Ghorbani, M.R. **The effect of Fe-rich intermetallics on the microstructure, hardness and tensile properties of Al–Mg<sub>2</sub>Si die-cast composite**. Materials & Design, v. 46, p. 881-888, 2013.

Gopikrishna, S.; Binu, C. Y. **Study on effects of T6 heat treatment on grain refined A319 alloy with magnesium and strontium addition**. International Journal on Theoretical and Applied Research in Mechanical Engineering, v. 2, n. 3, p. 59-62, 2013.

Kaleel, A. J. **Study the effect of solution treatment on mechanical properties of Al-7%Si-0.3%Mg alloy**. Natural and Applied Sciences, v. 4, n. 4, p. 195-200, 2013.

Kaygisiz, Y.; Marasli, N. **Microstructural, mechanical and electrical characterization of directionally solidified Al–Si–Mg eutectic alloy**. Journal of Alloys and Compounds, v. 618, p. 197-203, 2015.

Osório, W. R.R.; Goulart, P. R.; Garcia, A. **Effect of silicon content on microstructure and electrochemical behavior of hypoeutectic of Al-Si alloys**. Materials Letters, v. 62, p. 365-369, 2008.

Patakham, Ussadawut; Kajornchaiyakul, Julathep; Limmaneevichitr, Chaowalit. **Modification**

**mechanism of eutectic silicon in Al-6Si-0.3 Mg alloy with scandium.** Journal of Alloys and Compounds, v. 575, p. 273-284, 2013.

Serrano-Munoz, I; Buffiere, J. Y; Verdu, C; Y. Gaillard, Y; Mu, P; Nadot, Y. **Influence of surface and internal casting defects on the fatigue behaviour of A357-T6 cast aluminium alloy.** International Journal of Fatigue, Volume 82, Part 3, pp. 361-370, 2016.

Taylor, J.A. **Iron-containing intermetallic phases in Al-Si based casting alloys.** Procedia Materials Science, v. 1, p. 19-33, 2012.

Yildirim, M.; Ozyurek, D. **The effects of Mg amount on the microstructure and mechanical properties of Al-Si-Mg alloys.** Materials and Design, 51, pp. 767-774, 2013.

## ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A REDE PARA CONSUMIDORES DO GRUPO A

### **Roberto Pereira de Paiva e Silva Filho**

Professor EBTT, Instituto Federal do Pará

E-mail: roberto.filho@ifpa.edu.br

### **Murilo Miceno Frigo**

Professor EBTT, Instituto Federal do Mato Grosso  
do Sul

### **Gustavo Francesco de Moraes Dias**

Professor EBTT, Instituto Federal do Pará

### **Diego Raniere Nunes Lima**

Professor EBTT, Instituto Federal do Pará

### **Renato Araújo da Costa**

Professor EBTT, Instituto Federal do Pará

### **Timóteo Gonçalves Braga**

Diretor Administrador, Elétrica Solar

**RESUMO:** Desde que foi oficializada a microgeração de energia elétrica através da resolução ANEEL 482 de 17 de abril de 2012 muitos sistemas já foram instalados com boas expectativas em relação à viabilidade econômica da geração solar. Neste trabalho se discute a viabilidade da instalação de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede para um consumidor do grupo A. O Tocantins possui cerca de cinco horas de sol pleno de acordo com INMETRO, o que é excelente para o desenvolvimento de projetos em energia solar. O projeto estuda uma aplicação, desenvolvida em uma edificação de salas de aula, na Universidade Federal do Tocantins (UFT). Um

estudo de viabilidade foi feito e como resultados apresentamos alguns aspectos importantes de engenharia econômica, são estes o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR), e o Payback. Será demonstrada assim a não viabilidade da implantação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Rede para consumidores do Grupo A e a necessidade de se estudarem novas formas de remuneração para investimentos em energia solar para os consumidores enquadrados nessa modalidade tarifária, uma vez que parte expressiva da demanda nacional está enquadrada nesse grupo. O trabalho apresenta algumas propostas de remuneração que viabilizariam o investimento de uma microgeração na situação deste consumidor em especial.

**PALAVRAS-CHAVE:** Energia Solar, Grupo A, Eficiência Energética.

### STUDY OF ECONOMIC FEASIBILITY OF PHOTOVOLTAIC SYSTEM IMPLEMENTATION CONNECTED TO THE NETWORK GROUP OF CONSUMERS

**ABSTRACT:** Since its micro-generation creation of electricity by ANEEL Resolution 482 of April 17, 2012 many systems have already been installed with good expectations regarding the economic viability of solar generation. This paper discusses the feasibility of installing a

Photovoltaic System Connected to the Network for consumers of group A. Tocantins has about five hours of full sun in according to INMETRO, which is great for the development of projects in solar energy. The project studies an application, developed in a building of classrooms at the Federal University of Tocantins (UFT). A feasibility study has been done and as a result we present some important aspects of economic engineering, are these the Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), and Payback. It will be demonstrated the non-viability of the deployment of Photovoltaic Systems Connected to Network in consumers of Group A and the need to consider new forms of remuneration for investments in solar energy to consumers classified in this tariff mode, since a significant portion of the consumption of electricity National is framed in that group. The paper presents some proposals for remuneration viabilizariam investment in a micro situation of consumers in particular.

**KEYWORDS:** Solar Energy, Group A, Energy Efficiency.

## 1 | INTRODUÇÃO

O Brasil possui grande potencial para energia solar, pois possui um dos melhores índices de insolação do planeta (VILLALVA,2012); o país com maior utilização de energia solar fotovoltaica é a Alemanha, com capacidade instalada de 20 GW. Uma comparação de insolação entre a Alemanha e o Brasil apresenta um cenário mais favorável para exploração desse recurso. O melhor índice de insolação da Alemanha é de 3500 W h/m<sup>2</sup>, sendo que os índices brasileiros variam entre 4500 a 6000 W h/m<sup>2</sup>. Villalva (2012) estima que a capacidade de geração no Brasil seja 10 vezes maior que a da Alemanha, sendo isso o dobro de toda a energia elétrica produzida nacionalmente na atualidade (ENERGIA,2012).

Em relação a outros países com menor média de incidência solar o Brasil já se encontra favorecido como um todo, além disso em suas dimensões continentais há áreas com maior potencial de geração. O Tocantins apresenta um potencial extremamente favorável para geração fotovoltaica, de acordo com o Atlas Solarimétrico do Brasil (CHIGUERO, 2000) o estado tem 12 uma média anual de 6 horas de insolação plena diária.

Dessa forma, é essencial que se trabalhe essa tecnologia em um momento que as principais potências mundiais voltam seus olhos para as energias renováveis. Além disso, o valor da tarifa de energia que apresenta crescimento constante tem tornado atrativo a instalação de sistemas fotovoltaicos em muitos casos, no Tocantins a tarifa de energia elétrica é a quarta maior do país. Porém em muitas situações a instalação desses sistemas não apresenta um retorno econômico satisfatório.

É nesse cenário nacional onde a energia solar começa a dar seus primeiros passos, onde muito ainda tem que ser feito do ponto de vista tecnológico e regulatório; nesse contexto, esse trabalho visa estudar a viabilidade da microgeração de energia elétrica com fonte fotovoltaica em consumidores do Grupo A.

## 2 | REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Aspectos normativos (resoluções 414/2010 e 482/2012)

Atualmente os consumidores de energia elétrica brasileiro são classificados em 2 grupos, Grupo A e Grupo B. O grupo A envolve todos aqueles que a tensão de fornecimento é superior ou igual a 2,3 KV ou que o seu atendimento seja feito via sistema subterrâneo em níveis de tensão secundária, sendo sua tarifa de cobrança binômica (consumo e demanda). O grupo B é composto por unidades consumidoras com fornecimento de tensão inferior a 2,3 KV, caracterizado pela tarifa monômica. A modalidade tarifária é o conjunto de tarifas que são cobradas aos consumidores devido à utilização e demanda elétrica disponível.

No Grupo B atualmente tem-se a modalidade tarifária convencional monômica, sendo que o valor da tarifa não muda ao longo do dia, recentemente foi implantado o sistema de bandeiras para os consumidores do grupo B, funcionando em 3 bandeiras: verde, amarela e vermelha, que funcionam da seguinte forma, Bandeira verde: condições favoráveis de geração de energia. A tarifa não sofre nenhum acréscimo; Bandeira amarela: condições de geração menos favoráveis. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,025 para cada quilowatt-hora (kWh) consumidos; Bandeira vermelha: condições mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,045 para cada quilowatt-hora kWh consumido. (ANEEL, 2015).

O grupo A apresenta três enquadramentos para o consumidor. A modalidade tarifária convencional binômica, onde é cobrado uma tarifa pelo consumo de eletricidade e outra tarifa por uma demanda de potência, não havendo variação nos preços das tarifas com o decorrer do dia. No enquadramento horosazonal verde, sendo cobrado uma tarifa variável pelo consumo de eletricidade e outra tarifa fixa por uma demanda de potência. E o enquadramento horosazonal azul, sendo cobrada uma tarifa variável pelo consumo de eletricidade e uma outra tarifa também variável pela demanda de potência.

A resolução (ANEEL, 2012) também estabeleceu uma forma de regulamentar as concessionárias com relação ao horário de cobrança diferenciada. Determinando o conceito de posto tarifário, que é o período em horas para que a tarifa diferenciada seja aplicada para os consumidores, dividindo o dia em 3 períodos. Posto tarifário de ponta, período de 3 horas consecutivas diárias, escolhidas pela concessionária, mediante a aprovação da ANEEL com exceção nos dias de sábado, domingos, e outras datas citadas na resolução (feriados). Posto tarifário intermediário: Período de uma hora antecedente e sucessora ao posto tarifário de ponta, aplicado para consumidores do grupo B. Posto tarifário fora de ponta são os horários que completam o dia que não estão enquadrados nos outros postos tarifários.

Ficou determinado pela resolução normativa 482/2012 da ANEEL que a energia gerada passa a ser paga na forma de créditos, pelo sistema de compensação de energia elétrica, ou seja, o excedente de potência ativa gerada é injetado na rede de distribuição, e quando o consumo exceder a geração a concessionária fornecerá a energia ativa para o consumidor. No caso de saldo positivo ao fim do ciclo de faturamento o consumidor tem até 36 meses para consumir os créditos, podendo também ser utilizado no abatimento de faturas em outras unidades consumidoras desde que a titularidade seja a mesma pra todos, ou seja, mesmo CPF (Cadastro de Pessoa Física) ou CNPJ (Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica). A distribuidora cobrará um valor mínimo referente ao custo de disponibilidade ou demanda contratada dependendo do grupo ao qual o gerador está inserido. Para aqueles geradores que possuem postos tarifários, a energia excedente gerada em determinado posto poderá ser compensada em outros postos tarifários com a ressalva de ser observado a relação entre os valores diferentes das tarifas de energia.

## 2.2 Políticas públicas de incentivo

Ainda existem algumas barreiras que são obstáculos para a implantação da geração distribuída. Sendo que há a necessidade da participação do governo, através de políticas de incentivo, para tornar os empreendimentos viáveis economicamente aos investidores. Em diversos países é utilizada políticas de incentivos para viabilizar e encorajar a indústria fotovoltaica, e tornar a energia advinda dessa fonte economicamente competitiva entre as outras fontes tradicionais. Medidas governamentais, regulatórias, econômicas e de financiamento, foram adotadas para incentivar os investimentos em vários países. É importante ressaltar que na maioria dos países europeus as tarifas de geração fotovoltaica, apesar dos incentivos e políticas governamentais, as quedas dos preços na indústria, escalas produtivas e evolução dos processos produtivos, não conseguem ter um preço competitivo com as tarifas cobradas pelas concessionárias, que utilizam tipos tradicionais de geração de energia. Dentre os países europeus a Alemanha e Itália são os que possuem tarifa de fornecimento mais alta. Promovendo então a viabilidade da geração fotovoltaica distribuída. (GRIGOLEIT TOBIAS ROTHACHER, 2014).

## 2.3 Feed-in tariff (fit)

A ferramenta de feed-in tariff ou tarifa prêmio foi amplamente adotada como ferramenta para viabilizar o investimento, e tornou-se uma das principais no mundo para o incentivo a utilização de fontes renováveis de energia. Com a finalidade de acelerar os investimentos, é feito um contrato para a produção baseada nos custos da geração por aquela determinada fonte, podendo chegar a comprometer as tarifas, e distribuindo os custos extras gerados para todos os consumidores. No caso da geração fotovoltaica, aos geradores é oferecido um maior preço pelo *MWh* vendido,

compensando assim os maiores investimentos e custos de produção. Essa forma de incentivo fixa um valor pago pela energia gerada por fontes renováveis, de forma que esse valor torne viável o investimento de implantação do gerador. Sendo que o gerador esteja conectado a rede elétrica de distribuição, ficando a concessionária com a obrigação de comprar e remunerar a energia gerada, no mínimo pelo valor fixo comentado anteriormente, que em grande maioria é um valor maior do que o cobrado pela venda de energia elétrica aos consumidores.

Nesse modelo de incentivo a concessionária responsabiliza-se por administrar o pagamento e ratear os custos aos consumidores. Esse modelo deve ser pautado em três garantias básicas; deve ser garantido o acesso à rede, os contratos devem ser longos para venda da energia produzida e os preços devem levar em conta um valor que proporcione atração de investimentos por parte dos consumidores. Ou seja, deve superar valores mínimos de retorno de investimento quando comparados aos outros investimentos ou rendimentos de capital. Para cálculo do valor da tarifa FIT considerar o retorno sobre patrimônio, juros de capital de giro e empréstimo, depreciação de equipamento e despesas de manutenção e operação, garantindo a semelhante rentabilidade da utilização de fontes convencionais da matriz energética. (VILLIARINI,2011).

## 2.4 Netmetering

Uma outra política de incentivo é o Netmetering, que é adotada, no Brasil, através da resolução normativa 482/2012 da ANEEL, para sistemas de geração elétrica conectados a rede. Basicamente é um sistema de compensação, na qual a diferença entre a quantidade de energia gerada e a quantidade de energia consumida em um ciclo de faturamento é avaliada e o resultado ou é pago pelo consumidor no caso em que o consumo excedeu o consumo, ou para o caso em que a geração excedeu o consumo, o excedente é transformado em créditos, tendo o consumidor um prazo para consumo desse crédito. No Brasil o prazo é de até 3 anos. Quando não há diferença entre a geração e o consumo é zero, não há o faturamento da unidade, mas no Brasil paga-se apenas um valor para a distribuidora referente a disponibilidade de fornecimento de energia (ANEEL, 2012). Como essa metodologia é baseada em troca de energia, o custo de implantação da geração tem retorno mais rápido quando o valor da tarifa de energia cobrado é alto, nesse caso isso é um dos fatores que influenciam a viabilidade de investimentos.

Para tornar viável essa forma de comercialização os preços das tarifas de compra e venda devem ser similares para o consumidor, ou ao menos competitivo com as outras fontes geradoras convencionais. Para aferição das quantidades de geração e consumo, pode ser feito através de duas formas: utilizando apenas um medidor bidirecional, esse fornece a leitura da quantidade de energia injetada na rede bem como a quantidade de energia que a rede forneceu para o usuário, utilizado para



casos em que a tarifa produzida e consumida é idêntica; ou através de 2 medidores unidirecionais, um para cálculo da energia produzida e outro para cálculo da energia consumida, utilizados quando são valores diferentes de tarifas, faz-se necessário a utilização de dois medidores, sendo essa forma uma divergente do netmetering, chamada de netbilling.

O FIT e o Netmetering são os dois mecanismos mais comuns para o fomento a geração fotovoltaica, mas diversas outras ações podem ajudar conjuntamente a eles.

## 2.5 Indicadores de viabilidade

Os indicadores de rentabilidade têm como objetivos estudar os resultados esperados de certo investimento, baseado nos custos e receitas, determinando assim a capacidade de pagamento do projeto dentro do horizonte de planejamento estipulado como referência. Serão abordados nesse trabalho o Pay Back, o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR). Para analisar os indicadores é necessário determinar os limites da viabilidade dos projetos. Sendo que os resultados dos cálculos deverão superar os limites previamente estabelecidos. Os parâmetros de atratividade para este estudo são a Taxa Mínima de Atratividade que é limite de rentabilidade para o VPL e TIR e o Período Mínimo de Atratividade que é o tempo mínimo para que um projeto tenha seu investimento retornado.

## 3 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Valor presente líquido (vpl)

O valor presente líquido (VPL) ou Net Present Value (NPV) é um dos instrumentos mais utilizados para se avaliar propostas de investimentos de capital. Reflete a riqueza em valores monetários do investimento medida pela diferença entre o valor presente das entradas de caixa e o valor presente das saídas de caixa, a uma determinada taxa de desconto (KASSAI et al., 2000). O VPL é calculado através da seguinte fórmula:

$$VPL = \frac{FC_0}{(1+i)^0} + \frac{FC_1}{(1+i)^1} + \frac{FC_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1+i)^n} \quad (1)$$

O conceito de VPL tem utilidade quando são analisadas diversas moedas que possuem poder aquisitivo diferente, ou seja, a moeda não tem o mesmo valor com o decorrer do tempo. Para que sejam somados esses valores, é necessário torna-los equivalentes. Quando um investimento apresenta VPL maior ou igual à zero, ele é considerado atraente.

### 3.2 Taxa interna de retorno (tir)

A TIR calcula a taxa para que o VPL seja igual a zero, sendo calculada através

de:

$$ZERO = \frac{FC_0}{(1-TIR)^0} + \frac{FC_1}{(1-TIR)^1} + \frac{FC_2}{(1-TIR)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1-TIR)^n} \quad (2)$$

A TIR quando é calculada através de valores descontados baseando-se em uma taxa de atratividade, quando o resultado encontrado é positivo ou zero a opção é atrativa para investimento. Existem algumas considerações sobre as análises da TIR, quando existem muitas inversões de sinais no fluxo de caixa (FC), o cálculo da TIR pode apresentar um ou mais valores, positivos ou negativos, também pode não ter solução.

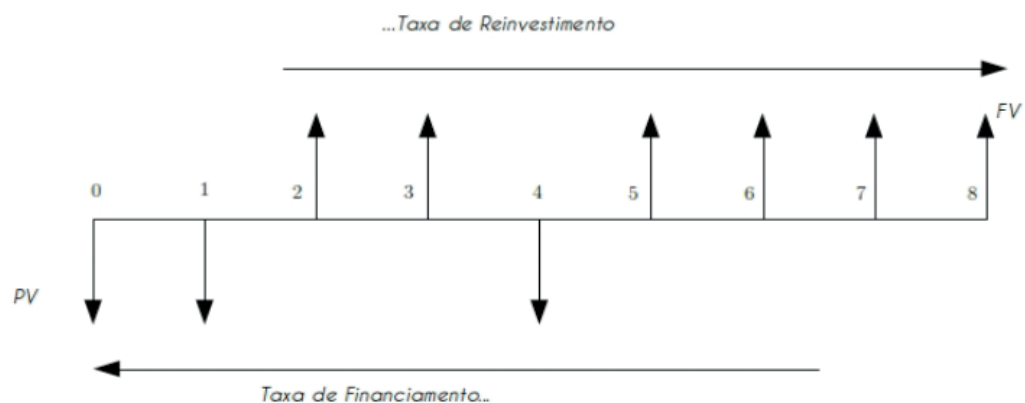


Figura 1: Fluxo de caixa com várias inversões.

Para solucionar esse cálculo é utilizado uma proposta diferente para calcular esse parâmetro, a TIRM (Taxa Interna de Retorno Modificada), nesse processo os valores do fluxo de caixa positivos são atualizados a uma taxa de reinvestimento obtendo um valor único para o Valor Futuro (FV) e os valores negativos são atualizados para o Valor Presente (PV) por uma Taxa de Financiamento.

$$FV = PV \cdot (1 + i)^n \quad (3)$$

Utilizando a fórmula de juros composto da equação 3, é obtido um novo fluxo de caixa, com apenas um valor PV e um valor FV, assim o fluxo de caixa possui apenas uma inversão. Utilizando a mesma fórmula de juros composto 3 é possível encontrar o valor para a TIRM.



Figura 2: Fluxo de caixa simples com valores atualizados.

### 3.4 Payback

Segundo KASSAI *et al.* (2000) o Payback é o período de recuperação de um investimento. Consiste na identificação do prazo em que o montante do dispêndio de capital efetuado seja recuperado por meio dos fluxos líquidos de caixa gerados pelo investimento. É o período em que os valores dos investimentos (fluxos negativos) se anulam com os respectivos valores de caixa (fluxos positivos), ou seja, o dinheiro investido foi reembolsado. Como para o cálculo do Payback não é considerado a variação da moeda no tempo, e para que seja levado em consideração o tempo é utilizado uma variação desse parâmetro, o Payback TIRM, que analisa o tempo de retorno do investimento considerando a TIRM para atualizar os valores. O Payback TIRM é calculado utilizando a Eq. 3 de juros composto, adotando os valores de  $FV = 2$  e  $PV = 1$ , resultando em:

$$2 = 1(1 + TIRM)^{\text{Payback TIRM}} \quad (4)$$

Em um trabalho recente KASSAI *et al.* (2000) afirmam que a medida mais conservadora é a apontada pelo método do Payback TIRM, e é uma ferramenta de análises com vantagens sobre a TIR tradicional.

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Será utilizado como caso de estudo deste trabalho o dimensionamento de um SFCR (sistema fotovoltaico conectado à rede) para o Bloco J do campus da Universidade Federal do Tocantins. O projeto foi desenvolvido em um trabalho proposto recentemente por Braga (2014) para conclusão de curso, que fez o estudo de um sistema de  $69,6 \text{ kWp}$ , compreendendo 240 módulos de  $290 \text{ Wp}$  cada. Segundo Braga (2014) o valor do investimento para instalação do SFCR é de aproximadamente R\$ 9 para cada  $\text{Wp}$ , para os  $69,6 \text{ kWp}$  o gasto total para a instalação seria em torno de R\$ 626.400,00 reais. Considerando a garantia da fabricante de que em 25 anos de utilização do módulo o mesmo estará gerando no mínimo 80% da sua potência

nominal, e adotando o pior caso, 80% de geração aos 25 anos de vida útil é possível estimar a geração considerando o decréscimo. De acordo com o Inmetro, a geração de um módulo é dada pela seguinte equação:

$$E_g = \frac{P_n \cdot HSP \cdot 30 \text{ dias}}{1,2} \quad (5)$$

Utilizando as informações do Atlas Solarimétrico e a Eq.5, é possível estimar a geração mensal a qual está apresentada no gráfico a seguir:

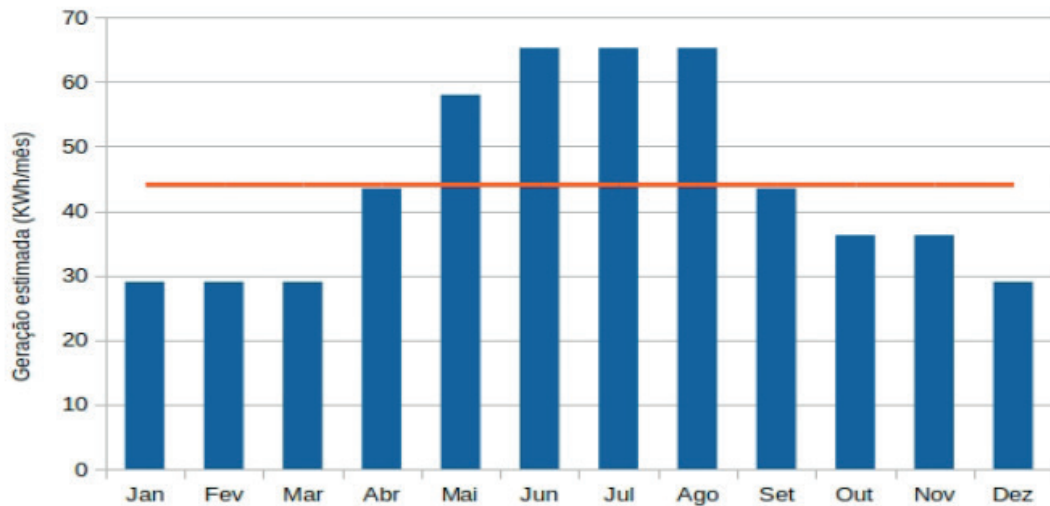


Figura 3: Estimativa de potência gerada - Inmetro.

O gráfico foi obtido utilizando uma planilha eletrônica, também foi calculada a média anual de insolação que fica em torno de 44,1 *KWh/mês* e uma geração anual de 127.020 *KW h/ano*. Considerando que essa seja a produção para o primeiro ano de implantação do sistema, e que existe um decréscimo de 20% na geração em um período de 25 anos, no pior caso. Analisando que esse decréscimo seja uniforme durante esse tempo, utilizando a Eq. 3 e adotando que  $FV = 80\%$  e  $PV = 100\%$  e o prazo como  $n = 25$  anos:

$$FV = PV(1 + taxa)^n \Rightarrow taxa = \sqrt[25]{0,8 - 1} \Rightarrow taxa = -0,889$$

Aplicando essa taxa de decréscimo à geração estimada são encontrados valores mais reais sobre como a geração de energia irá decair com o passar dos anos. Partindo do ano 0 em que a geração estimada foi de 127.020 *KW h/ano* e ao fim da análise, no ano 25 está gerando aproximadamente 101.606 *KW h/ano*.

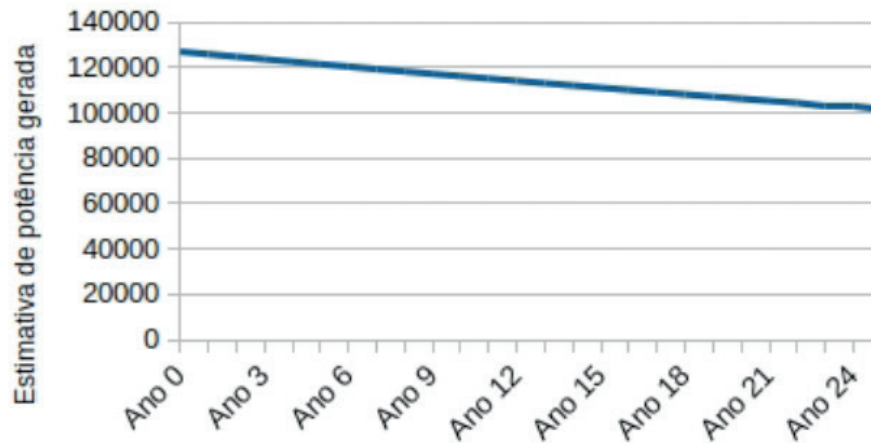


Figura 4: Estimativa de decréscimo de potência gerada.

Os inversores possuem vida útil de 14 anos em média, sendo necessário considerar os gastos da troca, pois o tempo de análise do projeto ultrapassa a vida útil do mesmo. Como já explicado anteriormente, será necessário estipular os valores de parâmetros de atratividade. Para esse trabalho será adotado como taxa de atratividade uma média dos últimos 10 anos dos juros da caderneta de poupanças (BRASIL, 2015), que é um parâmetro razoável para comparar, pois é considerada uma das menores taxas de remuneração de capital, e indica a situação em que o capital está parado.

A média encontrada foi de 0,5987% a.m., utilizando a técnica de equivalência de taxas, obtém-se aproximadamente 7,43% a.a. (BRASIL,2015). Outro fator relevante a ser considerado é o preço da energia elétrica. Em posse de uma conta do campus de Palmas da UFT, obtida por meio do DEINFRA (Departamento de Engenharia e Infraestrutura), constatando que a universidade paga R\$ 0,182756KWh no posto tarifário fora de ponta. O horário de geração fotovoltaica está totalmente compreendido nesse posto tarifário, então é considerado que a potência gerada é vendida a rede pelo preço citado acima. Estipulando que a cada 5 anos o preço da tarifa de energia elétrica seja atualizado com base na taxa de inflação, que foi obtida por meio de uma média dos valores nos últimos 10 anos, possuindo valor médio de 6,46% a.a., calculada através do IPCA (Índice de Preço ao Consumidor Amplo).

A receita será o valor em dinheiro, calculado através do preço da tarifa multiplicada pela geração estimada. Como saída está o valor do investimento para a implantação. Serão analisados dois casos, um em que o capital inicial já está disponível e outro em que é adquirido através de um financiamento, simulado pelo site do banco BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social). No ano 14 será feita a troca dos inversores, considerando o preço atual do inversor e que a troca seja feita por produto de valor compatível. Espera-se que com o tempo os preços dos equipamentos sofram redução. Mas como no decorrer do tempo também variam os preços da tarifa de energia, e o valor da moeda no tempo também vai variar, esses

dois fatores serão desconsiderados quando estimar os preços dos inversores, sendo mantido o mesmo valor inicial.

A partir do Fluxo de Caixa (FC), é possível calcular os parâmetros de viabilidade econômica (TIRM, VPL e PAYBACK TIRM). Utilizando para calcular a TIRM, a taxa de reinvestimento é o valor médio da caderneta de poupança citado anteriormente e a taxa de financiamento a média de valores da inflação dos últimos 10 anos, de acordo com dados obtidos (CALEIRO, 2014). Por meio de uma planilha eletrônica (Libre Office Calc) gratuita e de código livre e das equações apresentadas anteriormente, podemos construir todos os parâmetros para realizar as comparações, onde os resultados e comparações são apresentados nas tabelas 1 e 2.

Para efeito de comparações, serão estimadas situações que simulam a adoção de outras medidas de incentivo para consumidores do grupo A. Em primeiro caso será avaliado para o FIT, que basicamente consiste em remunerar a geração por um preço de tarifa que remunere o investimento realizado. Para remunerar o valor do investimento, faz-se necessário que o indicador do VPL seja maior do que zero. Através da ferramenta Solver da planilha eletrônica foi estipulado o valor de venda em R\$/KWh gerado, para quando o valor do VPL com financiamento se igualar a zero. Dessa forma o KWh deve ser vendido a no mínimo R\$ 0,49/KWh sem considerar impostos. Através desses valores calculados, podemos realizar a comparação dos incentivos e o tempo de retorno do capital:

TIRM C/Financiamento	2,07%
TIRM S/Financiamento	3,37%
VPL C/Financiamento	-R\$ 441.856
VPL S/Financiamento	-R\$ 406.165
PAYBACK TIRM C/Financiamento	33,89 anos
PAYBACK TIRM S/Financiamento	20,9 anos

Tabela 1: Parâmetros de Viabilidade - Netmetering

TIRM C/Financiamento	7,32%
TIRM S/Financiamento	7,65%
VPL C/Financiamento	R\$ 0
VPL S/Financiamento	R\$ 35.690
PAYBACK TIRM C/F	9,82 anos
PAYBACK TIRM S/F	9,41 anos

Tabela 2: Fluxo de Caixa – FIT

## 5 | CONCLUSÕES

No primeiro caso, em que é simulado o sistema de incentivo adotado no Brasil (Netmetering), o qual é adequado para mercados com valores de tarifa alto, observa-

se a incapacidade de remunerar o investimento inicial para o grupo de consumidores do grupo A o qual possuem uma tarifa de consumo baixa e tarifa de demanda alta. Nesse caso, analisando os resultados observa-se que o valor calculado para a TIRM não chega a ser o valor que o capital rendendo juros em uma poupança atingiria, sendo que uma aplicação em poupança possui uma das mais baixas taxas de remuneração no mercado.

Olhando para o VPL encontrou-se um valor negativo, demonstrando que em 25 anos o investimento inicial, corrigido no tempo, ainda não foi pago faltando todo o valor negativo (-R\$441,856 com financiamento e -R\$406,165 sem financiamento) para pagar o investimento inicial.

Por fim o parâmetro de Payback TIRM informa o tempo, em anos, necessário para que o investimento seja pago, que no caso analisado o tempo é de 33,89 anos, superior aos 25 anos estimados, quando o capital é financiado. Quando o capital não for financiado o tempo fica bem próximo ao tempo total de vida do projeto, sendo na ordem de 20,9 anos.

Na política FIT, em que um valor é estabelecido de forma a pagar o investimento inicial os resultados são mais satisfatórios, pois o valor da tarifa foi calculado para que o VPL com financiamento seja igual a zero.

Para o valor de tarifa calculado, de R\$ 0,49/*KWh*, torna o VPL favorável, e por consequência os outros parâmetros também são favoráveis ao investimento. O valor da taxa TIRM é bem próximo ao utilizada em aplicações de poupança, e conseguindo remunerar o capital investido. Sendo assim, o tempo de Payback TIRM encontrado reduziu consideravelmente, tornando o investimento vantajoso. Demonstrando que, de acordo com esses parâmetros essa política é mais viável do que o Netmetering. Podemos verificar que a diferença de valores de *KWh* em reais para que esse investimento seja atrativo é considerada alta, visto que o valor a ser vendido o *KWh* seria aproximadamente 2,7 vezes maior que o valor de compra do *KWh*.

Podemos concluir através desse estudo que o modelo de incentivo adotado no Brasil, o Netmetering, não é atrativo para investimento para consumidores do grupo A. Visto que o mesmo praticamente demoraria o tempo de vida útil dos equipamentos para o retorno do valor inicial investido. Essa política exclui um grupo que é responsável por consumir mais que 50% da energia produzida no país (ANEEL,2015). Através de dados da ANEEL, constata-se que no país e na região norte mais da metade da carga é consumida por unidades do grupo A. Esses dados demonstram a relevância em promover incentivos e viabilidade econômica para investimentos em geração fotovoltaica, por parte desses consumidores. A carga consumida no grupo A foi de 56,8%, já no grupo B teve-se um consumo de 43,2%.

Dessa forma, nota-se a necessidade de políticas complementares para atender a todos os grupos consumidores e fomentar os investimentos em energias renováveis. Apenas o Netmetering não consegue remunerar os diferentes tipos de consumidores.

Como solução poderia ser utilizada uma política de incentivo para cada grupo,

de forma que viabilizasse os investimentos. Pois pelo visto na figura 5, maior parte do consumo de energia elétrica brasileira é realizado pelo grupo A. Possuindo um consumo tão expressivo não pode deixar de ser contemplado pelos investimentos nacionais, e nem mesmo esquecido pelas políticas públicas.

## REFERÊNCIAS

CALEIRO, J. P. **Veja a trajetória da inflação nos últimos meses e anos**. 2014. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/economia/noticias/veja-a-trajetoria-da-inflacao-nos-ultimos-meses-e-anos>>.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa 414/2010**. Atualizada até a REN 499/2012. Brasília, ANEEL, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa 482/2012**. Brasília, ANEEL, 2012.

BRASIL, P. **Caderneta de Poupança**: Índices mensais. 2015. Disponível em: <[http://www.portalbrasil.net/poupanca\\_mensal.htm](http://www.portalbrasil.net/poupanca_mensal.htm)>.

ASSOCIATION, G. S. I. et al. **Statistic data on the German solar power (photovoltaic) industry**. [S.l.]: June, 2012.

CHIGUERO, T. **Atlas solarimétrico do brasil**: Banco de dados solarimetricos. Universitária da UFPE, 2000.

LANDEIRA, J. L. F. **Análise técnico-econômica sobre a viabilidade de implantação de sistemas de geração fotovoltaica distribuída no Brasil**. Dissertação (Mestrado) — COPPER-UFRJ, Rio de Janeiro, 2013.



## GESTÃO AMBIENTAL: ESTUDO DE CASO DA GESTÃO DOS RESÍDUOS ELETRÔNICOS NA IMAGEM SOM ELETRÔNICA LTDA

### **Carla Ruanita Pedroza Maia**

Faculdade de Administração e Negócios de Sergipe – FANESE Aracaju-SE

### **Leila Medeiros Santos**

Faculdade de Administração e Negócios de Sergipe – FANESE Aracaju-SE

### **Maria Vanessa Souza Oliveira**

Faculdade de Administração e Negócios de Sergipe – FANESE Aracaju-SE

### **Bento Francisco dos Santos Júnior**

Faculdade de Administração e Negócios de Sergipe – FANESE Aracaju-SE

Instituto de Pesquisa, Tecnologia e Negócios – IPTN Aracaju-SE

**RESUMO:** Essa pesquisa apresenta, como título, Estudo de Caso da Gestão dos resíduos Eletrônicos na Imagem Som Eletrônica Ltda, uma empresa que atua na prestação de serviços eletrônicos. Por não dispor de um sistema de gestão ambiental foi adotado o referido tema, pois assume papel fundamental para o funcionamento e sucesso do empreendimento, sendo assim surgiu à questão problematizadora: Como a aplicação da gestão ambiental pode colaborar para a melhoria no processo de descarte do resíduo eletrônico? Essa pesquisa teve como objetivo propor melhorias no processo de descarte do resíduo eletrônico através da gestão ambiental,

e como objetivos específicos catalogar os tipos de materiais que são descartados, organizar o layout da empresa para a implantação da coleta seletiva, buscar por parcerias para realização do transporte, descarte e reciclagem dos resíduos eletrônicos e apresentar propostas para a destinação dos resíduos para empresas terceirizadas. O método de abordagem utilizado foi o estudo de caso, descritivo, qualitativo e de campo, onde foi possível fazer o levantamento dos dados, e aplicação das ferramentas da qualidade. Através da parceria da Eletrônica Imagem Som com a Recicla Mundial, empresa responsável pela retirada e destinação dos resíduos eletroeletrônicos, foi possível a melhor disponibilidade do layout da empresa. Conclui-se que o estudo atingiu o objetivo de propor e implementar melhorias na área da gestão ambiental, proporcionando soluções sustentáveis para os problemas encontrados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduo eletroeletrônico. Aspectos e impactos ambientais. Gestão Ambiental.

### ENVIRONMENTAL MANAGEMENT: CASE STUDY OF ELECTRONIC WASTE MANAGEMENT AT IMAGEM SOM ELETRÔNICA LTDA

**ABSTRACT:** This research presents as title “Case study of the management of electronic

waste at the electronic workshop Imagem Som Eletrônica Ltda”, an enterprise that acts in electronic service provisions. Due to the firm does not own an environmental management system, the theme was adopted, once it plays a fundamental role in the operation and success of the enterprise. Therefore, emerged the problematizing question: How can the applying of environmental management collaborate with the improvement of the process of discarding electronic waste? This research has had as objective to propose the improvement of the electronic waste discard process through environmental management. It has had, as specific objectives, to catalog the sorts of discarded materials; to organize the firm’s layout in order to implant garbage collection; to search for partnerships in order to held transportation, discarding and recycling of the electronic waste; and to present proposals to outsourced companies about the destination of the waste. The chosen approach method was the case study, which is descriptive, quantitative and held in the field, where it was possible to collect data and apply the quality tools. Due to the partnership between Imagem Som Eletrônica and Recicla Mundial, the latter, a company responsible for the retrieving and the destination of electronic waste, it was possible to obtain the best availability of the firm’s layout. It can be concluded from this study that it has reached its objective of proposing and implementing improvements in the environmental management area, providing sustainable solution for the problems found.

**KEYWORDS:** Electronic waste. Environmental aspects and impacts. Environmental management.

## 1 | INTRODUÇÃO

A problemática ambiental assumiu uma posição de destaque entre as preocupações que afligem a sociedade e, nas últimas décadas, vem passando por um processo constante de reavaliação.

Em virtude da gravidade dos problemas ambientais, temas como gestão ambiental, desenvolvimento sustentável, responsabilidade social, eco desenvolvimento e outros vêm ganhando maior intensidade em pesquisas e debates internacionais e nacionais.

O setor de serviços, também denominado setor terciário, tem se destacado em nível mundial. No âmbito da economia, sua expansão representa uma das maiores mudanças verificadas no século XXI.

A constante busca por conforto através de bens de uso, fez com que o homem evoluísse tecnologicamente. Em contrapartida, o consumismo desregrado da sociedade, principalmente ocidental, criou uma reação em cadeia, ou seja, quanto mais se consome, maior é o impacto produzido ao meio ambiente. Esse sistema desmedido de produção de lixo tem se apresentado como fator problemático para a existência de gerações futuras.

Diante do grande problema que se avolumou no decorrer dos anos, surgiram inúmeras organizações voltadas para a proteção do meio ambiente. O trabalho das organizações tem gerado diversas normas de proteção que impõem a necessidade

da gestão dos resíduos produzidos pelas ramificações sociais, inclusive o eletrônico.

O Brasil, nos dias atuais, gera toneladas de resíduos sólidos, com um percentual muito baixo de reciclados. Ressalta-se que boa parte desse resíduo gerado é eletrônico, sendo deixados em lugares impróprios, não passando por quaisquer tipos de tratamento, no sentido de preservação do meio ambiente.

Em virtude do exposto, há uma preocupação em conciliar as atividades com a conservação e qualidade ambiental, sendo um dos maiores desafios investir no desenvolvimento sustentável e em paralelo obter rentabilidade no processo produtivo, por meio de estratégias de gerenciamento dos resíduos que podem trazer benefícios para o meio ambiente e a sociedade em geral.

No cenário organizacional, a área de prestação de serviços eletrônicos vem gerando resíduos prejudiciais ao meio ambiente decorrente do processo de não conclusão do serviço, por falta de peças para reposição, devida a descontinuidade dos aparelhos eletroeletrônicos.

## 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Gestão da Qualidade

Segundo Bond et al. (2012, p.26), o conceito de qualidade é algo que muda o tempo todo. Percebe-se, com isso, que conforme a época pode-se dar mais ou menos valor a determinados aspectos que estarão relacionados à qualidade.

Para Chiavenato (2014, p. 26), a área de gestão da qualidade cuida da inspeção dos produtos e serviços executados, bem como dos processos produtivos, para verificar se estão de acordo com as especificações da engenharia do produto.

Paladini (2012, p. 25) explica que “[...] é missão essencial da Gestão da Qualidade enfatizar, a todos os envolvidos, por toda a organização, que a qualidade são um conjunto de características, propriedades, atributos ou elementos que compõe bens e serviços.” Um desses atributos consiste na elaboração de fluxogramas para melhor compreensão da rotina dos processos sequenciais.

#### *2.1.1 Fluxograma dos processos*

Barros; Bonafini (2015, p. 54) explicam que o mapeamento do processo usa uma das ferramentas tradicionais da qualidade, o fluxograma, que permite a demonstração da rotina em forma de processos sequenciais, representados por figuras específicas com significados distintos.

Seleme; Stadler (2012, p. 44) definem que o fluxograma é uma ferramenta desenvolvida para desenhar o fluxo de processos, por meio de formas e pequenos detalhes. Trata-se de uma representação visual do processo e permite identificar nele possíveis pontos nos quais podem ocorrer problemas.

De acordo com Barros; Bonafini (2015, p. 56), o fluxograma tem como maior vantagem o fato de propiciar uma visão completa do processo e delimitar cada uma de suas etapas.

“Em sua construção, como regra geral, o fluxograma deve ser elaborado de cima para baixo, e da esquerda para a direita. Cada operação deve ser enumerada de forma sequencial, a fim de possibilitar a identificação de cada uma delas [...]” (SELEME; STADLER 2012, p. 47).

Para Carvalho (2005, p. 227), o fluxograma possibilita criar um entendimento comum, tornar claro os passos em um processo, identificar oportunidades de melhoria (complexidade, desperdício, atrasos, ineficiências e gargalos), revelar problemas no processo e explicar como ocorre o seu processo operacional.

### 2.1.2 Gestão do 5S

Para Osada (1996, p. 34), 5S é uma prática que foi desenvolvida no Japão pelos pais para ensinarem seus filhos princípios organizacionais no lar. Ficou também conhecida como *House Keeping*, depois da ocidentalização. As organizações foram aplicando para uma melhor qualidade de vida no ambiente de trabalho.

A metodologia dos 5S permite desenvolver uma melhoria contínua na destinação dos materiais. Esta metodologia melhora o clima organizacional, a produtividade e conseqüentemente a motivação dos funcionários e é dividida em 5 palavras de origem japonesa: *seiri*, *seiton*, *seiso*, *seiketsu* e *shitsuke* (utilização, organização, limpeza, padronização, disciplina).

Carpinetti (2010, p. 78) afirma que essa prática tem como filosofia de trabalho a promoção desses termos na empresa através da consciência e responsabilidade de todos, tornando o ambiente de trabalho produtivo, seguro e agradável.

Para Campos (2004, p.98), a implantação do programa começa com a proposta de melhorar a eficiência, evitando o desperdício de espaço e recursos no ambiente, dando atenção a qualidade de vida profissional e pessoal e proporcionando a melhoria contínua.

Segundo Oliveira (1997, p. 45), para o programa ser lançado e ter bons resultados é necessário que haja comprometimento da alta e média gerência, tendo um foco definido através da criação de um comitê 5S.

Geralmente, as empresas/instituições decidem implantar a ferramenta 5S, para resolver problemas acumulados. Porém, além de corrigir o que não está bem, é preciso evitar que os problemas se acumulem novamente.

Campos (2004, p. 101) afirmou que “[...] o programa 5S visa mudar a maneira de pensar das pessoas na direção de um melhor comportamento, para toda a sua vida.” Como o programa necessita naturalmente da ação do homem ele deve ser permanentemente executado. Por mais que já exista disciplina, incentivos durante a rotina devem ser utilizados e incrementados.

De acordo com Falconi (2004, p.97), “[...] o programa 5S não é somente um evento episódico de limpeza, mas uma nova maneira de conduzir a empresa com ganhos efetivos de produtividade.”

### 2.1.3 Ciclo PDCA

William Edwards Deming introduziu o conceito no Japão após a II Guerra Mundial, complementando o ciclo de Shewhart com mais uma fase. Assim, o PDCA ficou conhecido como Ciclo de Deming, de acordo com Maranhão (2002, p. 49).

Alvarez (2001, p. 168) explica a sigla PDCA que vem do inglês e quer dizer *plan, do, check e action*, onde significa que nas atividades gerenciais tudo precisa ser planejado (*plan*), executado (*do*), verificado (*check*) e, quando for necessário, corrigido ou melhorado (*action*), como mostra a Figura 4.

IMAI (1994, p. 54) explica que o PDCA é compreendido como um processo através dos quais novos padrões são fixados apenas para serem desafiados, revisados e substituídos por padrões mais novos e melhores.

As tarefas para serem executadas, exatamente como previstas, são definidas no plano de ação. Realizando-se assim a coleta de dados para a verificação do andamento do processo. Campos (2004, p. 55) afirma que nessa fase é essencial para a educação e o treinamento no trabalho.

Normalmente, o plano de ação é realizado com base na ferramenta de gerenciamento não estatística chamada 5W1H que será discutida a seguir.

### 2.1.4 5Ws e 1H: planos de ação e análise

Segundo Cardella (2011, p. 35), para se atingir uma meta que a empresa projetou, uma das melhores alternativas seria elaborar e executar um plano de ação. Para sua elaboração, deverá ser realizada uma comparação entre a situação atual e a que se deseja alcançar.

O plano de ação é realizado com base na ferramenta de gerenciamento não estatística chamada 5W1H, conforme mostrado no Quadro 1.

PLANEJAMENTO DAS AÇÕES							
Nº	O quê	Porque	Quem	Quando	Como	Onde	Controle das atividades

Quadro 1 - Fases para elaboração de um plano de ação

Fonte: adaptado de Campos (2004, p. 54)

Com esta ferramenta é possível definir ações para anomalias identificadas anteriormente e atribuir responsabilidade com prazos e formas de realizar a ação.

De acordo com Seleme; Stadler (2012, p. 42), a ferramenta traduz a utilização de perguntas elaboradas na língua inglesa. As perguntas têm como objetivo gerar respostas que esclareçam o problema a ser resolvido ou que organizem as ideias na

resolução de problemas.

Ainda conforme Seleme; Stadler (2012, p. 42), a utilização de tal ferramenta permite que um processo em execução seja dividido em etapas estruturadas a partir das perguntas, com o intuito de serem encontradas as falhas que impedem o término adequado do processo. O resultado de sua aplicação não é a indicação clara das falhas, mas sim sua exposição para uma análise mais acurada.

O 5W1H serve como ferramenta, para acompanhamento do cumprimento das ações propostas, muito usado nas organizações para verificação de indicadores, podendo ser aplicado em qualquer tipo de atividade.

### 2.1.5 Diagrama de Ishikawa

Pearson (2011, p. 86) descreve o diagrama de Causa e Efeito que foi desenvolvido por Kaoru Ishikawa e tem a finalidade de identificar as causas que determinaram um desvio da qualidade, ou seja, um efeito. Este diagrama ficou muito conhecido como espinha de peixe devido ao seu formato. As observações das causas podem ser feitas através do brainstorming.

De acordo com Peinado; Graef (2007, p.549), a *brainstorming* tem a finalidade de gerar o maior número de ideias possíveis em pouco intervalo de tempo. Estas ideias ou causas são registradas através de um grupo de pessoas envolvidas no processo que debatam o problema apontado. Essas causas fornecem dados suficientes para geração do diagrama.

Segundo Barros; Bonafini (2015, p. 39 - 40), para chegar até a raiz das causas, é utilizado o que se chama de 6 Ms, que são os materiais, a mão de obra, o método, máquina, medição e meio ambiente.

Barros; Bonafini (2015, p. 41) expõem que a grande vantagem do diagrama é proporcionar o desdobramento e a ramificação das causas até chegar, efetivamente à origem do problema.

## 3 | METODOLOGIA

No referido estudo de caso, foi utilizado a pesquisa descritiva, pois não houve interferência do autor na pesquisa e buscou-se as causas dos problemas e suas relações com outros fatores. Sendo também explicativa por ter o propósito de identificar fatores que contribuem na ocorrência de problemas.

A pesquisa de campo de acordo com o modelo conceitual foi usada no estudo, assumindo o papel de coleta e análise de dados na empresa Imagem Som Eletrônica, local onde foi realizado o referido estudo. Assim como também a bibliográfica, por se tratar de uma pesquisa científica.

Neste estudo, a abordagem ou tratamento da pesquisa foi qualitativa, pois apresenta uma análise da compreensão e interpretação dos problemas observados

em consequência das informações coletadas.

Uma vez que a autora deste trabalho é colaboradora da empresa pesquisada, procedeu-se com uma observação participante, através da análise dos problemas e das não conformidades detectadas no objeto de estudo, a fim de comparar os dados coletados nos arquivos disponibilizados pela empresa com os da pesquisa de campo.

## 4 | ANÁLISE DE RESULTADOS

### 4.1 Estruturação do Layout da Empresa para a Implantação da Coleta Seletiva

O fluxograma descrito na Figura 1 demonstra como funciona o processo de recebimento e avaliação dos aparelhos eletrônicos, do momento da entrada a retirada do aparelho pelo cliente e liberação do cliente para o descarte.

No momento em que o cliente autoriza o descarte o aparelho, é levado para o devido setor onde é desmontado e separado por tipo de material. Gerando grande acúmulo na área.

Faz-se necessário uma melhor relocação dos itens a serem desmanchados e possivelmente descartados. Sendo visível no layout atual na Figura 2, onde não ocorrem a separação dos itens.

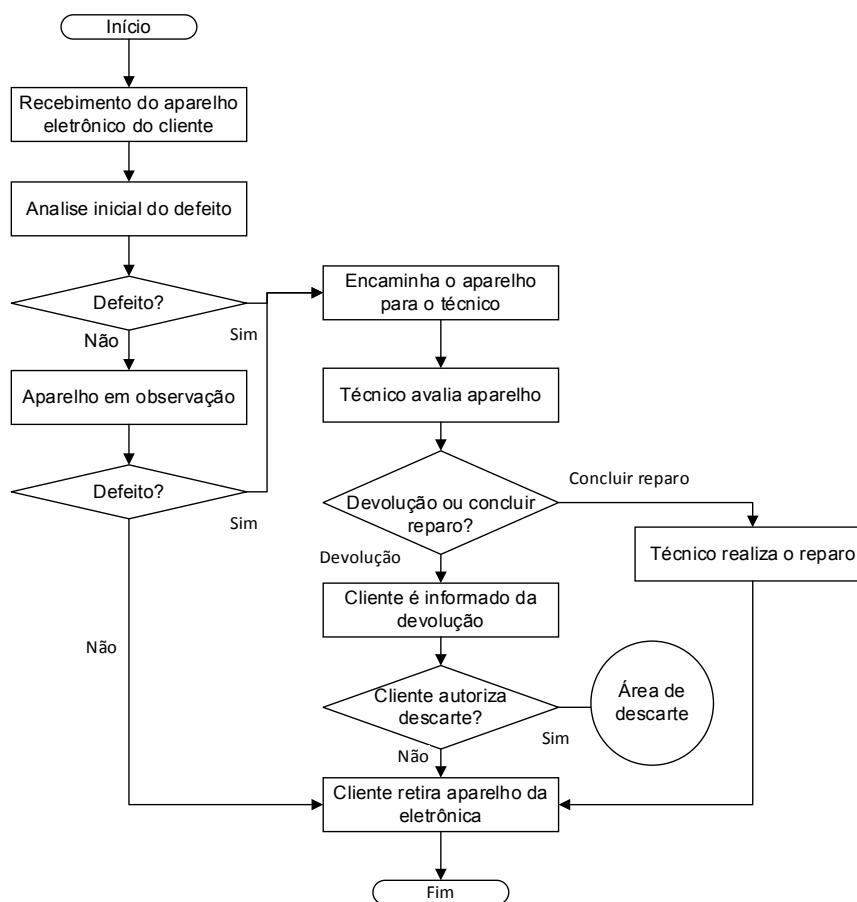


Figura 1 - Fluxograma de recebimento dos eletrônicos

Fonte: Autor do Estudo



Figura 2 - Layout atual

Fonte: Autor do Estudo

A implantação do 5S começa com a proposta de melhorar a eficiência, evitando desperdício de espaço e recursos já existentes no ambiente, tornando o ambiente de trabalho produtivo.

Foi proposto para a empresa o *layout* para a área de descarte abaixo como demonstra a Figura 3, com base no layout atual na Figura 2, onde foi delimitado o espaço para cada item a ser desmanchado e descartado.

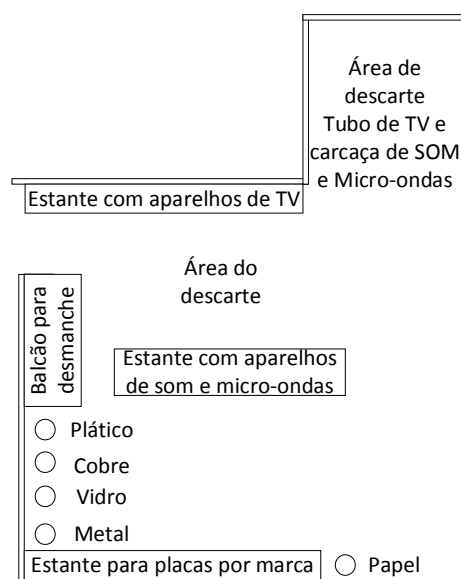


Figura 3 - Layout proposto para a área de descarte

Fonte: Autor do Estudo

Através do layout proposto os materiais serão selecionados e separados por tipo de equipamentos nas suas devidas estantes, para assim facilitar a visualização e identificação.

Sendo adicionado um balcão para melhor apoio do técnico no momento da separação e instalação de toneis com os resíduos identificados, proporcionando melhor distribuição dos itens a serem desmanchados e descartados na coleta seletiva



com o uso dos toneis que proporcionarão a separação correta dos resíduos.

Inicialmente com a retirada dos resíduos eletrônicos acumulados, a limpeza da área de descarte foi realizada, proporcionando melhoria do ambiente de trabalho. Neste contexto, foi possível realizar a devida reutilização dos itens, como as placas das televisões, com o uso da ferramenta de 5S.

Partindo do princípio referente a aplicação do senso da utilização, foi observada a otimização do uso do espaço, já que a Imagem Som Eletrônica possui uma pequena área, tendo que ser bem aproveitada.

As prateleiras organizadas e padronizadas de maneira correta agilizarão o processo da assistência técnica, e acabará com problemas constantes de difícil visualização dos itens a serem usados em uma ordem de serviço.

A qualidade aumentará principalmente pelos ganhos com a limpeza do ambiente de trabalho, e armazenagem correta dos itens.

Para obter um ambiente de trabalho mais organizado não é, no entanto, uma tarefa fácil, visto que trabalha diretamente com a mudança de cultura e com o modo com que cada colaborador deve passar a perceber suas atividades. Muda-se a filosofia de trabalho. É necessário que cada colaborador tenha uma visão holística do processo, compreendendo todo o entorno ao seu trabalho.

## 4.2 Parceria para a Realização do Transporte, Descarte e Reciclagem dos Resíduos Eletrônicos

O diagrama de Ishikawa é uma ferramenta utilizada para identificar as raízes dos problemas. Sendo assim, foi empregada na busca das causas que dificultam o descarte correto dos resíduos eletroeletrônicos, essas informações são representadas na Figura 4.

Com o uso do diagrama foi possível identificar os problemas que dificultavam a não destinação dos resíduos, facilitando assim o estudo em questão.

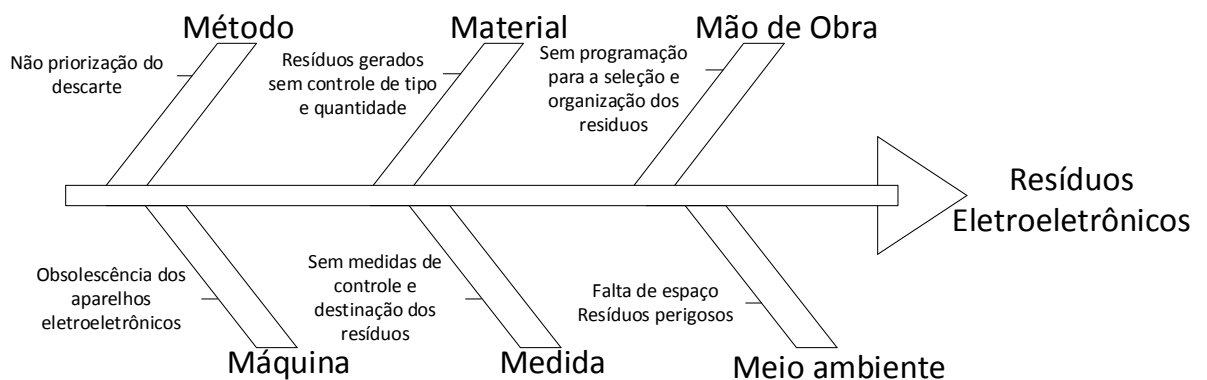


Figura 4 - Aplicação do diagrama de Ishikawa

Fonte: Autor do Estudo

Os impactos ambientais negativos decorrentes da disposição inadequada dos

resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos, bem como a perda econômica, proveniente da não valorização dos materiais recicláveis presentes na sua composição são questões vitais e que merecem especial atenção da sociedade civil, dos órgãos ambientais, do governo, dos acadêmicos e da iniciativa privada.

Com a retirada das placas das televisões de led e plasma, por dano ou não reaproveitamento dos outros itens, foi verificada a necessidade de comercialização dessas placas devido à obsolescência cada dia mais rápida desses aparelhos.

Através da avaliação do técnico, é verificado o funcionamento de todas as placas que compõem o aparelho eletrônico, assim quando o cliente libera o descarte, faz-se uma separação das placas com defeito e sem defeito, as que apresentam bom estado são divulgadas no mercado livre para comercialização. Onde também se encontra placas para possíveis reparos para aparelhos em avaliação.

Já as placas que apresentam defeito ainda são separadas no setor de descarte para a possível retirada de componentes, caso se faça necessário.

Nas visitas às cooperativas de catadores de materiais recicláveis as empresas que comercializam sucatas e no local de disposição final de resíduos, foi gerada uma parceria com a empresa Recicla Mundial que realizou a retirada de 1600 quilos dos resíduos em dois dias.

Gerando assim uma parceria entre ambas, mensalmente serão disponibilizados dois colaboradores da Recicla Mundial, onde os mesmos realizarão a retirada dos resíduos, sendo acordado, que não será realizada a retirada do cobre dos televisores de tubo, para que assim a empresa de reciclagem, possa arcar com os custos da retirada com sua possível venda.

#### **4.3. Implementar melhorias para a gestão de descarte dos resíduos.**

Segundo Campos (2004, p. 103), com a utilização do método PDCA, as ações para resolução de problemas são orientadas através de decisões baseadas na identificação das causas e aplicação de um plano de ação baseado nas análises realizadas pela equipe. Os métodos do Plano de Ação devem ser definidos em consenso e divulgados claramente para toda a equipe envolvida no processo, e quando este plano for implementado haverá a motivação e a adesão dos participantes.

Foi elaborado o plano de ação a partir dos questionamentos e problemas levantados anteriormente, e assim às propostas que possibilitem a resolução dos problemas encontrados, como pode ser visto no Quadro 2, elencando as ações necessárias para os andamentos das propostas de melhoria levantadas no presente estudo.

PLANEJAMENTO DAS AÇÕES							
Nº	O que	Porque	Quem	Quando	Como	Onde	Controle da Atividade
01	Busca por parcerias para a destinação dos resíduos	Descarte correto	Estagiária	Dez/17	Visita às empresas de reciclagem	Em toda cidade	Realizada
02	Reunião com gerencia para o agendamento do descarte	5S	Estagiária e Gerência	Jan/18	Estabelecendo rotina semanal de separação dos itens a serem descartados	Área de descarte	Realizada
03	Reunião com o representante da empresa Recicla Mundial para agendamento da retirada dos resíduos	Parceria	Estagiária, Gerência, e Representante da Recicla Mundial	Jan/18	Empresa Recicla Mundial, com o uso de uma caçamba para transporte e dois funcionários para o carregamento dos resíduos	Área de descarte	Em andamento
04	Retirada dos resíduos	Ganho de espaço físico	Recicla Mundial	Mensal	Realizando a retirada dos resíduos e devida destinação	Área de descarte e Recicla Mundial	Em andamento
05	Mudança no layout da área de descarte	Melhor distribuição dos itens a serem descartados	Gerente Imagem Som	Jul/18	Readequando o espaço seguindo o novo layout.	Área de descarte	Em andamento

Quadro 2 - Planejamento das ações

Fonte: Autor do Estudo

São várias as ações necessárias para a manutenção mensal do espaço reservado para a área de descarte, manter a limpeza e ordem sempre que seja usada a área de descarte, informa periodicamente a empresa Recicla Mundial as datas para retirada dos resíduos evitando assim o acúmulo.

Para a ação de mudança de layout, há a necessidade de compra dos toneis para a separação da coleta seletiva e placas de identificação, foram orçados em R\$450,00. Como sendo uma ação que gera custos, por motivos financeiros, a gerência informou que em julho serão comprados os itens.

#### 4.3.1 Sugestões para empresa

Para a empresa em estudo se faz necessário manter a preocupação em não estar liberando esses resíduos eletrônicos inadequadamente, sendo necessário manter o setor de desmanche para a separação dos resíduos.

Para facilitar a organização, foi sugerido um layout para melhor visualização e

disposição dos itens a serem desmanchados e possivelmente descartados.

Além disso, as placas de circuito possuem um alto valor de mercado, por isso devem ser separadas criteriosamente. Aproveitando assim a comercialização para uso em aparelhos obsoletos.

#### *4.3.2 Sugestões acatadas pela empresa*

Foram realizadas reuniões com a gerência, em busca de melhoria do ambiente com o descarte dos itens acumulados, onde gerou a necessidade de encontrar uma empresa parceira que auxiliasse na devida retirada dos resíduos eletroeletrônicos e estabelecida a rotina semanal de separação dos itens a serem descartados ou reaproveitados.

Foi realizada uma parceria com a empresa Recicla Mundial que mensalmente realiza a retirada dos resíduos, gerando um ciclo de limpeza no ambiente e seleção das placas para uso nos serviços prestados de manutenção de eletrônicos e venda para o público externo, que são as outras eletrônicas do estado e mercado livre.

Ficando como atividades a serem implementadas, a mudança do layout, que, por motivos financeiros, a gerência decidiu que a melhor época seria o mês de julho para a devida adequação do ambiente de descarte, com a identificação e disposição de locais para a separação dos resíduos.

## **5 | CONCLUSÃO**

Foi sugerido um novo layout para a área de descarte, onde os resíduos serão facilmente desmanchados no balcão, separados e identificados facilitando a visualização.

Já as placas de circuito que se encontram funcionando essas são catalogadas para uso na assistência técnica da empresa ou são comercializadas para outras eletrônicas.

Em visita a várias unidades de reciclagem, foi encontrada a empresa Recicla Mundial, empresa essa que aceitou a parceria com a eletrônica Imagem Som realizando a retirada dos resíduos eletroeletrônicos, onde foi realizado um acordo para a retirada dos resíduos mensalmente. Somente foi solicitado pela empresa de reciclagem, para que não fossem retirados os cobres das televisões de tubo, para que assim o mesmo cobrisse as despesas com a retirada dos resíduos e com a sua venda.

Para a empresa em estudo se faz necessário manter a preocupação em não estar liberando esses resíduos eletrônicos inadequadamente, seguindo com o cronograma mensal de descarte. Sendo necessária a adequação do novo layout da área de descarte facilitando o processo de separação e identificação dos resíduos na empresa Eletrônica Imagem Som.

## REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, Maria Esmeralda Ballester. **Administração da qualidade e da Produtividade: abordagens do processo administrativo**. São Paulo: Atlas, 2001.
- BARROS, Elsimar; BONAFINI, Fernanda. **Ferramentas da qualidade**. São Paulo: Pearson, 2015.
- BOND, Maria Thereza; BUSSE Angela; PUSTILNICK, Renato. **Qualidade total: o que é e como alcançar**. Curitiba: Intersaberes, 2012.
- CAMPOS, Vicente Falconi. **Controle da qualidade total: no estilo japonês**. 8. ed. Nova Lima: Falconi, 2004.
- CARDELLA, Benedito. **Segurança no trabalho e prevenção de acidentes: uma abordagem holística. Segurança integrada à missão organizacional com produtividade, qualidade, preservação ambiental e desenvolvimento de pessoas**. São Paulo: Atlas, 2011.
- CARPINETTI, Lauiz Cesar Ribeiro. **Gestão da qualidade. Conceitos e técnicas**. São Paulo: Editora Atlas, 2010.
- CARVALHO, Marly Monteiro de. **Gestão da Qualidade Teoria e Casos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.
- CHIAVENATO, IDALBERTO. **Gestão da produção: Uma abordagem introdutória – 3ed – São Paulo: Manole, 2014.**
- IMAI, Masaaki. **KAIZEN - A Estratégia para o Sucesso Competitivo**. São Paulo: Instituto IMAM, 1994.
- MARANHÃO, M. **ISO série 9000: manual de implementação**. 6. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.
- OLIVEIRA, José Roberto Cerqueira. **Aspectos humanos dos 5 sentidos: uma experiência prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora Ltda., 1997.
- OSADA, Takashi. **Housekeeping, 5S's: seiriseiton, seiso, seiketsu, shitsuke**. São Paulo: Instituto IMAM, 1996.
- PALADINI, Edson Pacheco. **Perspectiva estratégica da qualidade**. Gestão da qualidade: teoria e casos. 2. Ed. Rio de Janeiro: ElsevierABEPRO, 2012.
- PEARSON EDUCATION DO BRASIL. **Gestão da Qualidade**. 1 Ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil 2011.
- PEINADO, Jurandir; GRAEML, Alexandre Reis. **Administração da produção: operações industriais e de serviços**. Curitiba: UnicenP, 2007.
- SELEME, Robson; STADLER, Humberto. **Controle da qualidade: As ferramentas essenciais abordagem gerencial**. 2. ed. Curitiba: Intersaberes, 2012.

## INDICADOR DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

**Jean Carlos da Luz Pereira**

Centro Universitário Ritter dos Reis, Engenharia  
Elétrica

Porto Alegre – Rio Grande do Sul

**Felipe Guimarães Ramos**

Centro Universitário Ritter dos Reis, Engenharia  
Elétrica

Porto Alegre – Rio Grande do Sul

**RESUMO:** A medição do consumo de energia elétrica na maioria das residências é feita de forma geral, ou seja, é calculada pelo consumo total de todos os equipamentos. Desta forma, não é mensurado o consumo individual de cada equipamento e sendo assim, não é possível identificar quais equipamentos mais consomem energia elétrica. O artigo propõe implementar um protótipo de baixo custo utilizando a plataforma Arduino, que permite indicar o consumo de energia elétrica, ou seja, capaz de fazer as medições das principais grandezas elétricas em equipamentos individuais e armazenar os dados em nuvem. A metodologia utilizada para implementar o protótipo foi: teste de funcionalidade dos sensores de tensão e corrente, montagem dos componentes, programação do Arduino, aferição dos valores medidos no protótipo utilizando instrumentos de medição em bancada, teste em equipamentos ligados à rede elétrica e adição de funcionalidade

para envio dos dados para plataforma em nuvem, de acordo conceito de Internet das Coisas. O resultado obtido foi a implementação de um protótipo de baixo custo capaz de medir tensão, corrente elétrica, fator de potência e calcular a potência elétrica e o consumo de energia em equipamentos individuais com o diferencial de enviar as informações para plataforma em nuvem.

**PALAVRAS-CHAVE:** Medidor, Internet das coisas, energia, indicador.

### ELECTRIC POWER CONSUMPTION INDICATOR

**ABSTRACT:** Measuring electricity consumption in most residences is done in a general way, which means it is calculated by the total consumption of every piece of equipment. Thus, the consumption of each individual piece of equipment is not measured, and therefore it is not possible to identify which piece of equipment consumes more electricity. The article aims to implement a low cost prototype using the Arduino platform, which allows a device to indicate the power consumption, in other words, to be able to measure the main electrical quantities for an individual piece of equipment and store the data in the cloud. The methodology used to implement the prototype was: testing the functionality of voltage and

current sensors, assembling components, Arduino programming, measuring prototype values by using benchtop measuring instruments, testing equipment connected to the power grid, and adding functionality to send data to a cloud platform in accordance with IoT concepts. The result was the implementation of a low cost prototype capable of measuring voltage, electrical current, the power factor, and calculating the electrical power and energy consumption in individual pieces of equipment with the distinguishing factor of sending the information to a cloud platform.

**KEYWORDS:** Meter, IoT, energy, indicator.

## 1 | INTRODUÇÃO

Empresas e residências utilizam energia elétrica diariamente e possuem medidores que mostram o consumo. O medidor de energia é instalado pelas empresas de energia na entrada da rede elétrica das residências para mensurar o consumo de energia. Com base neste consumo é calculado o valor a ser pago pelo consumidor mensalmente.

Os medidores convencionais são utilizados, basicamente, para que as empresas de energia façam o faturamento do consumo, sob o ponto de vista do consumidor, o sistema de medição tradicional permite ao usuário do serviço conhecer sua demanda de energia apenas ao receber a fatura no final do mês. Uma leitura mais específica da demanda torna-se necessária quando se pretende reduzir o consumo de energia elétrica. Com o objetivo de diminuir os custos com energia, a medição direta nos equipamentos ajuda conhecer quais deles consomem mais energia e o histórico de utilização individual.

O presente artigo apresenta um protótipo de medidor de consumo de energia elétrica de baixo custo, que pode ser utilizado na medição de equipamentos individuais. A vantagem de ter a medição individualizada é poder verificar o consumo de um equipamento específico a qualquer momento. O protótipo do medidor de energia não possui o intuito de evitar que gaste energia elétrica, mas que seja possível controlar e ter as informações ao alcance da mão e em tempo real com a mesma facilidade de consultar um extrato de cartão de crédito.

Para questões mais técnicas, onde precisa observar o comportamento de uma carga, com viés de entender se existe algum consumo excessivo ou baixa eficiência, o protótipo proposto permite ao técnico fazer a avaliação através da medição das principais grandezas elétricas de tensão, corrente e fator de potência. A delimitação do escopo do protótipo é fazer a medição em equipamentos domésticos ligados em sistemas monofásicos ou bifásicos utilizados em residências e até pequenos comércios.

## 2 | INTERNET DAS COISAS

Traduzido do inglês *Internet of Things (IoT)*, Internet das coisas transmite a ideia de que todas as coisas podem estar ligadas à internet. Diante disso, pode-se pensar em uma infinidade de dispositivos interagindo e conectados entre si e entre as pessoas. A inclinação de que sejam oferecidos serviços diversos baseados em IoT, demonstra a importância deste assunto nas dimensões acadêmicas, industrial e governamental, pois a Internet das Coisas pode contribuir para o avanço nas áreas social, econômica e industrial (DE MORAIS, IZABELLY SOARES; et al 2018).

Com base neste contexto de IoT, o protótipo indicador de consumo de energia foi desenvolvido nos seguintes moldes: um dispositivo capaz de se conectar à internet, utilizar serviços em nuvem para armazenar os dados e permitir a visualização das informações a partir de um celular ou computador. O dispositivo irá realizar a medição da energia e, com o advento da Internet das Coisas, agregar funcionalidades que ainda não existem nos medidores convencionais.

Os medidores de energia são dispositivos que podem ser instalados nas residências com o propósito de mensurar a quantidade de energia consumida pelos equipamentos elétricos. A instalação física do medidor de energia é feita numa caixa lacrável. Após a instalação do medidor, a energia é enviada através do ramal alimentador até a unidade consumidora. Ao verificarmos a fatura de energia elétrica, observa-se o valor do custo da energia baseado na quantidade de kWh (kilo watt hora), ou seja, a unidade de medida que os medidores utilizam é o kWh para mensurar o consumo de energia elétrica (FRIEDRICH; et al, 2018).

Os medidores somam os valores de kWh ao longo do tempo. Geralmente, uma vez por mês as empresas de energia fazem a leitura nos medidores de energia e verificam o consumo do mês corrente subtraindo o valor indicado no medidor pela leitura do mês anterior (RODRIGUES; GUIMARÃES; SOUZA, 2017). Nos medidores de energia convencionais, na maioria das residências é necessário ir até o local onde está o dispositivo (o acesso não fica dentro da residência) e não é possível identificar o consumo de um equipamento específico. A proposta de um protótipo que indique o consumo de energia com capacidade de fazer a medição de equipamentos individuais e que também seja de fácil acesso para verificar as informações a qualquer momento, contribui para solucionar estas limitações impostas pelos medidores de consumo de energia convencionais.

O protótipo desenvolvido faz a medição da corrente, tensão e fator de potência e com base nestes três valores calcula o consumo de energia e a potência dos equipamentos. Este protótipo também envia automaticamente os dados para uma plataforma de serviços na nuvem. Alguns exemplos de serviços em nuvem são: vídeo, e-mail, música, editores de texto, serviços que são utilizados pela internet sem a necessidade de uma infraestrutura própria, ou seja, usando a infraestrutura do próprio provedor de serviços (VERAS,2015).



A plataforma escolhida foi a Cayenne (MYDEVICES, 2018), devido à interface de fácil utilização, gráficos, possibilidade de salvar os dados e fornecer bibliotecas prontas para utilização com a plataforma Arduino. A utilização de serviços em nuvem economiza gastos em computação, investimento de tempo para programar um aplicativo faça a interface com o usuário. O serviço em nuvem também elimina a necessidade de um computador sempre ligado para receber e armazenar as informações enviadas pelo protótipo, com o intuito de preservar um histórico.

### 3 | PRINCIPAIS ELEMENTOS DO PROTÓTIPO INDICADOR DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Neste capítulo será apresentado como foram implementados os principais elementos do protótipo, dividido em três partes: sensores, comunicação e processamento. No tópico de sensores serão cobertos as informações mais relevantes para a calibração do dispositivo, na parte de comunicação será possível ter uma visão macro de como os dados são gerados e enviados para a nuvem e por último, no item processamento serão descritos os microcontroladores e as rotinas que o protótipo utiliza para fazer as medições e enviar os dados.

#### 4.1 Sensores

A medida da tensão elétrica foi realizada através de um divisor de tensão, reduzindo a tensão para um valor que a porta analógica do Arduino pudesse fazer a leitura. A figura 1 mostra o divisor de tensão com 3 resistores em série (R1, R2 e R3) rebaixando a tensão até a porta A2 do Arduino. Conforme Boylestad (2004, p.104) descreve na regra dos divisores de tensão: “A tensão entre os terminais dos elementos resistivos divide-se na mesma proporção que os valores de resistência”. A tensão no terminal do Arduino pode ser calculada como:

$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3} = V_{in} \cdot \frac{1k}{100k + 100k + 1k} = V_{in} \cdot 0,004975$$

Onde:

$V_{in}$  – Tensão da rede elétrica.

$V_{out}$  – Tensão no terminal do Arduino.

$R_1, R_2, R_3, R_5, R_6$  – Resistores. A letra “k” significa valores estão em kilo ohms ( $10^3$  ohms).

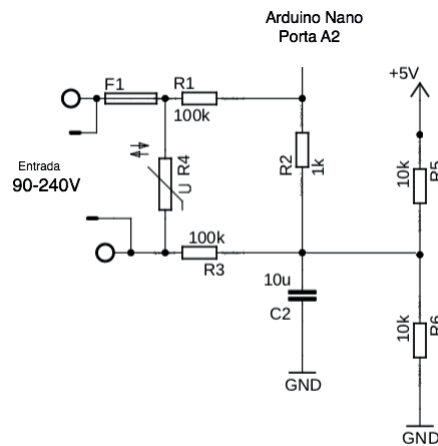


Figura 1 - Divisor de tensão

Fonte: Autores

Adicionalmente, o capacitor C2 e os resistores R5 e R6 foram inseridos para obter um nível de tensão contínuo e que seja possível detectar a excursão negativa da tensão na rede elétrica. Este circuito adicional é necessário, pois o Arduino não é capaz de fazer a leitura de tensões negativas no seu terminal (MIRON ALEXE, 2017). O fusível F1 e o varistor UR4 são utilizados para proteção em caso de sobrecorrente e sobretensão.

Pelo fato de não utilizar um adaptador descrito no projeto OpenEnergy, não foi possível fazer o cálculo do parâmetro de calibração da tensão conforme é sugerido para o uso da biblioteca Emonlib. Para resolver o problema, a aferição da da tensão foi realizada através de sucessivas leituras, variando a tensão com um Variac e comparando as leituras do instrumento calibrado com as leituras do protótipo. Desta maneira, foi possível traçar a curva de resposta e definir a seguinte equação, onde  $V_{real}$  é a tensão correta, medida pelo instrumento calibrado e  $V_{prot}$  significa Tensão medida pelo protótipo:

$$V_{real} = -0.0001 \cdot V_{prot}^2 + 1.0069 \cdot V_{prot} - 0.3293$$

O papel do adaptador para fazer a leitura da tensão no OpenEnergy é reduzir o valor da tensão na rede elétrica antes de ser conectado ao protótipo. A opção por não utilizar o adaptador reduziu o custo do protótipo e ajudou na instalação em locais onde o espaço é reduzido.

O sensor de corrente elétrica utilizado foi o SCT013-030 (SCT) mostrado na figura 2, o SCT baseia-se no princípio de funcionamento dos transformadores de corrente para diminuir o valor da corrente que passa por um condutor, numa razão conhecida. Idealmente, o transformador de corrente tem a capacidade de diminuir a corrente de acordo com a relação de espiras do primário (N1) e do secundário (N2) na razão  $N1/N2$  multiplicado pela corrente no primário ( $I_p$ ) (UMANS, 2014).



Figura 2 - Sensor de corrente  
Fonte: YHDC

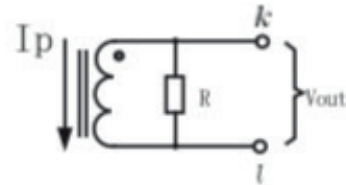


Figura 3 – Diagrama do sensor SCT  
Fonte: YHDC

O sensor é instalado de forma que envolva o condutor, de acordo com o diagrama elétrico na figura 3, a corrente que passa neste condutor ( $I_p$ ) induz uma corrente no secundário na razão de 1:1800 (conforme indica a descrição de produto do fabricante) e o resistor R é utilizado para fornecer a saída do sensor em forma de tensão elétrica ( $V_{out}$ ), quando a corrente elétrica passar pelo resistor. Para fazer a medida através da biblioteca EmonLib é necessário calcular o parâmetro de calibração, onde: *CT Ratio* é a relação de transformação e *burden resistance* é o Resistor interno do sensor de corrente (OPENENERGY, 2019):

$$\frac{CT\ Ratio}{Burden\ resistance} = \frac{1800}{62} = 29$$

O valor dos resistores pode variar de acordo com o modelo do sensor SCT e nem todos os sensores de corrente possuem a resistência interna, alguns deles mostram apenas uma corrente na saída. Para esses casos, é necessário inserir um resistor (representado pela letra R) conforme a figura 3 e fazer o cálculo com base nos parâmetros da folha de dados de cada sensor. A exemplo da tensão, também foi necessário inserir um nível de tensão contínuo no sinal de saída do sensor para leitura dos valores negativos da corrente. Também optou-se por inserir um amplificador operacional não-inversor para aumentar o ganho do sinal.

## 4.2 Comunicação

O processo de medição e envio dos dados é realizada em duas etapas distintas no protótipo indicador de consumo de energia. A primeira etapa é feita pelo Arduino NANO, que mede a tensão e a corrente, fator de potência e calcula a potência e a energia consumida. Na segunda etapa o ESP8266 NodeMCU recebe as informações pela interface serial e padroniza os dados no formato de tópicos, de acordo com o protocolo MQTT.

O protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) é um protocolo projetado para ser simples e leve, com o objetivo de ser utilizado para comunicação em redes com baixa largura de banda, alta latência ou baixa confiabilidade. É um protocolo que possui grande utilidade para ser implementado em dispositivos para Internet das Coisas, onde é necessária uma comunicação que requer uma certa confiabilidade, sem demandar uma alta largura de banda ou exigir muitos recursos de *hardware* (MQTT.ORG, 2019).

O tópico é um rótulo enviado na mensagem transportada pelo protocolo MQTT. Numa rede de dispositivos que utilizem o MQTT, um dispositivo cliente pode assinar/publicar tópicos específicos através de filtros, com base no interesse de ler ou alterar os dados de um determinado tópico (OASIS, 2019). A figura 4 mostra a dinâmica da comunicação com MQTT entre os dispositivos, o sensor de temperatura publica a informação de temperatura sob o tópico “temp”, aqueles dispositivos que precisam verificar a informação fazem uma assinatura para o tópico “temp”. Toda a informação passa necessariamente pelo *Broker* MQTT.

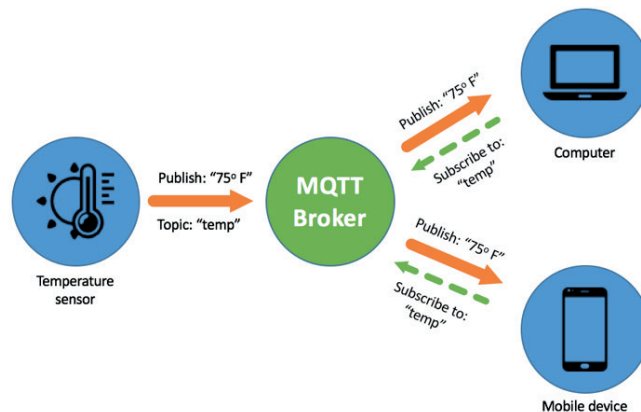


Figura 4 – Comunicação MQTT

Fonte: Brenman (2018)

O *Broker* funciona como um concentrador, onde todos os sensores atualizam as informações sobre o tópico no *Broker*, na outra ponta os dispositivos que desejam obter a informação fazem uma assinatura no tópico através do *Broker*, o que significa que os dispositivos assinantes não acessam o sensor diretamente. Isto garante acuracidade na informação especialmente nos casos de múltiplos dispositivos alterando e verificando o estado de uma chave, por exemplo. No exemplo da figura 4, o sensor de temperatura publica, o computador e o celular assinam e todos comunicam com o *Broker*. Caso adicione mais equipamentos na rede, o *Broker* informa a temperatura atualizada para todos os dispositivos que assinarem o tópico “temp” na rede, se houver mudança na temperatura.

O *Broker MQTT* é um serviço que pode ser disponibilizado na nuvem e encontra-se com facilidade na internet provedores ofertando plataformas para serviços IoT. A plataforma escolhida foi a Cayenne, disponibilizada por MyDevices, ela é uma plataforma gratuita que disponibiliza baixar no site as bibliotecas e tutoriais que explicam como realizar a conexão com o MQTT na nuvem, o que reduz bastante o tempo de desenvolvimento comparado com desenvolver aplicativos e instalar o serviço em computadores/servidores locais.

### 4.3 Processamento

Os recursos utilizados para a implementação do protótipo foram o Arduino NANO e o ESP8266 NodeMCU. Possuindo o processador ATmega328P, 16MHz, o Arduino NANO tem a função de fazer a leitura dos sensores através das entradas analógicas (ARDUINO,2019). A função do ESP8266 NodeMCU é realizar a conectividade entre o protótipo e o serviço em nuvem através da internet, o NodeMCU possui embarcado o um processador da família ESP8266 que possibilita a conexão com redes Wifi com suporte às redes 802.1b/g/n (ESPRESSIF, 2018).

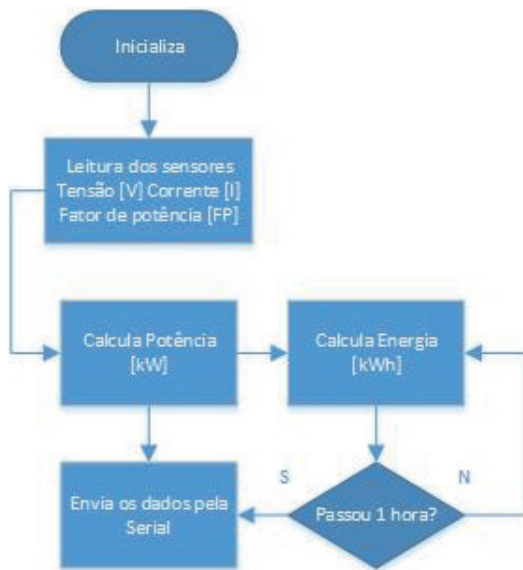


Figura 5 – Rotinas do Arduino Nano

Fonte: Autores

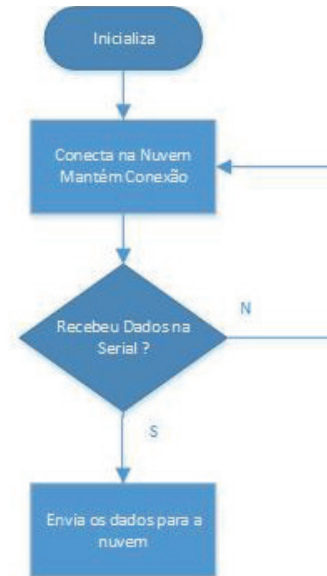


Figura 6 – Rotinas do ESP8266 NodeMCU

Fonte: Autores

As rotinas que os microcontroladores executam encontram-se listadas nas figuras 5 e 6. O Arduino Nano faz a leitura dos sensores e calcula as potências para em seguida enviar pela porta serial ao NodeMCU que por sua vez, é responsável por conectar na nuvem e enviar os dados.

## 4 | METODOLOGIA

Inicialmente foi realizada uma prova de conceito com a montagem dos componentes em uma placa padrão, ligando os sensores no Arduino através de fios. Após a prova de conceito, o protótipo do medidor de energia foi desenhado no *software* CAD (termo do inglês *Computer-aided design*) chamado Eagle, permitindo a manufatura de uma placa eletrônica com todas conexões necessárias para o funcionamento do dispositivo.

A plataforma escolhida para fazer o protótipo foi o Arduino NANO, devido sua quantidade de portas analógicas e dimensões reduzidas e para o envio dos dados foi

utilizado o ESP8266 por ser compatível com a plataforma Arduino. Podemos definir o Arduino como uma placa de arquitetura aberta, de fácil prototipagem e que possui o microcontrolador Atmel AVR embarcado na sua placa (OLIVEIRA;ZENETTI, 2015).

O sensor de corrente utilizado foi o SCT013- 030, conforme a figura 1, este sensor foi escolhido devido a possibilidade de realizar uma medição não intrusiva da corrente elétrica (sem a necessidade de abrir o circuito e fazer a medição). Segundo o *datasheet* (folha de dados) do fabricante, o sensor SCT013- 030 pode medir correntes elétricas de 0 até 30 amperes, fornecendo a saída em forma de tensão que varia de 0 até 1 volt e temperatura de trabalho de -25 à 70° Celsius.

Para fazer a medição da tensão foi implementado um divisor de tensão resistivo e ligado diretamente à entrada analógica do Arduino NANO. Não é possível ligar o terminal do Arduino diretamente à tensão da rede elétrica, porque isso danificaria o componente. Então foi calculado um divisor de tensão com resistores em série para obter uma fração conhecida da tensão da rede nos terminais do microcontrolador. Desta forma, inserindo baixa tensão na entrada do Arduino e conhecendo o valor dos resistores, pode-se calcular a tensão real da rede elétrica. Conforme Boylestad (2004, p. 101): “A tensão aplicada a um circuito em série é igual a soma das quedas de tensão nos elementos em série”.

Para fazer a leitura da tensão, corrente e fator de potência recorreu-se à biblioteca EmonLib disponibilizada pelo projeto OpenEnergyMonitor. Com base nestes valores foi calculado a potência real consumida pelos dispositivos que se pretende medir, conforme veremos no decorrer deste artigo.

A calibração do protótipo foi realizada através de medições com instrumentos calibrados. Foram registradas diversas medidas de tensão e corrente na faixa de 0-240V / 0-30A e inseridas em planilha eletrônica. Assim, foi possível estabelecer a comparação entre o valor dado no protótipo e o valor real fornecido pelo instrumento de medição. Após registrar todos os valores, gerou-se o gráfico e a equação da curva de resposta. Por sua vez, a equação foi adicionada à programação do Arduino para obtenção de medidas mais precisas pelo protótipo. Para calibração da tensão foi utilizado um Variac (utilizado uma fonte de tensão alternada variável) e um voltímetro (instrumento que mede a tensão entre dois terminais). A corrente elétrica foi calibrada utilizando equipamentos de drenam diferentes valores de corrente e um amperímetro (instrumento de medição de corrente elétrica). Os principais passos utilizados para calibração da tensão foram os seguintes:

- Alimentação do protótipo;
- Ligação dos terminais de medição do protótipo no Variac;
- Variação da tensão de 0V até 236V de 2 em 2 volts;
- Registro dos valores no instrumento de medição (voltímetro) e no protótipo para gerar a equação da curva de resposta.

Para a corrente elétrica medida no protótipo foram necessários pequenos ajustes, pois a biblioteca nativamente já mostrava o valor da corrente elétrica com precisão. Os passos para calibração da corrente foram:

- Alimentação do protótipo;
- Conexão do sensor de corrente de forma que ele envolva o fio condutor onde está ligada a carga;
- Alimentação de cargas com diferentes valores de corrente elétrica;
- Registro dos valores no instrumento de medição (amperímetro) e no protótipo para gerar a equação da curva de resposta.

No fator de potência (FP) verificou-se que o protótipo fez a medida de valores aproximados do ideal, a avaliação foi realizada através de testes de funcionalidade em cargas puramente resistivas e puramente capacitivas, onde os valores de FP já são conhecidos. Para circuitos puramente capacitivos, o  $FP=0$  enquanto para circuitos puramente resistivos  $FP=1$  (BOYLESTAD, 2004).

## 5 | RESULTADOS

A implementação do protótipo de baixo custo para medição da energia elétrica pode ser visualizada na figura 7. Externamente pode-se verificar uma fonte de 5V externa de tamanho reduzido que permite a alimentação do protótipo e um *display* modelo Nextion de 2,4” para mostrar os valores de potência, tensão, corrente e fator de potência. O *Display* foi inserido no projeto para que também seja possível fazer medições sem a necessidade de uma conexão com a *internet*. Os principais componentes estão discriminados conforme a numeração abaixo:

- |   |                         |
|---|-------------------------|
| 1- Conector para ligar à rede elétrica      | 4- ESP8266 NodeMCU      |
| 2- Conector para ligar o sensor de corrente | 5- Arduino NANO         |
| 3- <i>Display</i> LCD                       | 6- Fonte de alimentação |

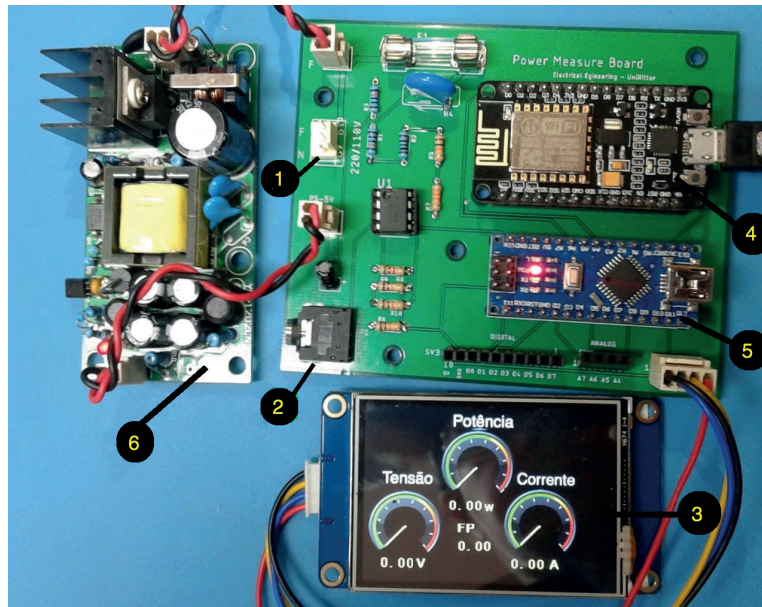


Figura 7 – Protótipo do indicador de consumo de energia

Fonte: Autores

O envio das informações para o servidor em nuvem permitiu armazenar o histórico dos dados e a criação de gráficos automaticamente no painel. Com base nas informações do gráfico, pode-se verificar os picos de consumo durante um intervalo de tempo. As figuras y e z mostram os gráficos da potência medida em kW e a energia consumida em kWh. A atualização do gráfico da potência é em tempo real e o gráfico de energia atualiza a cada hora.

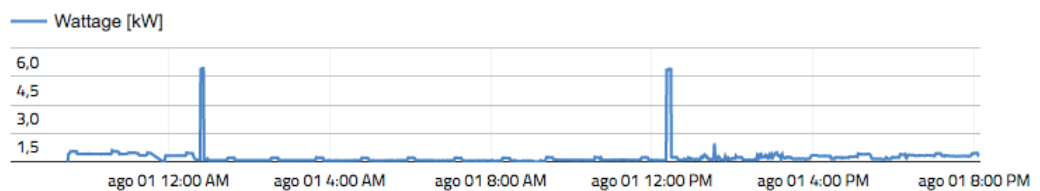


Figura 8 – Gráfico da potência

Fonte: Autores

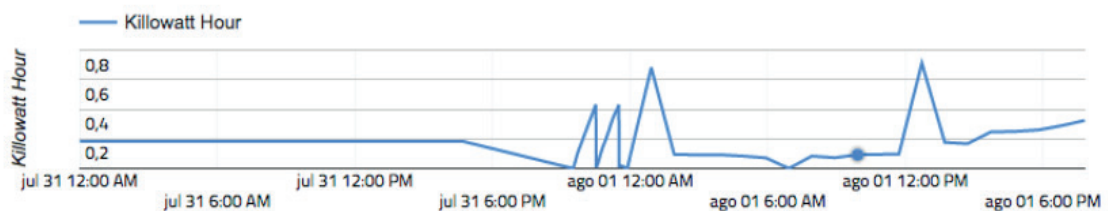


Figura 9 – Gráfico do consumo de energia

Fonte: Autores

Estes dois gráficos representam um teste de funcionalidade quando o protótipo estava ligado diretamente na entrada de energia de uma residência. Os picos de



potência foram observados ao ligar um chuveiro elétrico.

Um fato importante neste tipo de resultado, é a possibilidade de identificar os horários de pico de consumo do dispositivo/equipamento. Desta forma, pode-se verificar o padrão de utilização e tentar evitar que sejam ligados nos horários onde as empresas de energia cobram adicional dependendo da bandeira tarifária (CPFL,2019).

## 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste estudo foi apresentar a implementação de um protótipo de um indicador de consumo de energia de baixo custo, capaz de medir o consumo de energia em equipamentos individuais e enviar os dados para a nuvem. Para isso, foram utilizados microcontroladores compatíveis com a plataforma Arduino, sensores e serviços gratuitos em nuvem.

O resultado deste protótipo foi um dispositivo capaz de medir o consumo de energia elétrica em equipamentos domésticos com o envio dos dados para uma plataforma em nuvem, onde é possível verificar em tempo real a potência, corrente, tensão e fator de potência em forma de painéis e gráficos. A principal contribuição dessa abordagem com indicador de energia conectado à nuvem foi a obtenção de informações sobre os equipamentos. As informações obtidas podem contribuir na redução de custos com energia elétrica.

Uma limitação técnica encontrada neste protótipo foi a impossibilidade de medir correntes abaixo de 0,5 A, devido à resolução das portas analógicas no Arduino. Outro ponto de melhoria refere-se à precisão da medida do fator de potência. À proporção que forem avançando os estudos, pode-se adicionar melhorias na precisão do protótipo e na capacidade de medir tensões e correntes maiores. Portanto, será viável extrapolar o uso do indicador de consumo de energia para empresas, onde será possível investigar problemas relacionados ao consumo e baixo fator de potência de equipamentos.

## REFERÊNCIA

ARDUINO. **Compare board specs**. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/products/compare> . Acesso em: 02 ago. 2019.

BOYLESTAD, Robert L. **Introdução à Análise de Circuitos**. 10 edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004.

BRENMAN, Leor. **API Builder and MQTT for IoT – Part 1**. Disponível em: <https://devblog.axway.com/apis/api-builder-and-mqtt-for-iot-part-1/> . Acesso em: 01 ago. 2019.

CPFL. **Bandeiras Tarifárias**. Disponível em: <https://www.cpfl.com.br/atendimento-a-consumidores/bandeira-tarifaria/Paginas/default.aspx> . Acesso em: 02 ago. 2019.

DE MORAIS, IZABELLY SOARES; et al. **Introdução a Big Data e Internet das Coisas (IoT)**. Porto Alegre: SAGAH, 2018.

ESPRESSIF. **Datasheet ESP Wroom-02**. Disponível em: <https://www.espressif.com/en/products/hardware/esp-wroom-02/resources> . Acesso em: 02 ago. 2019.

FRIEDRICH, Delmonte N. et al. **Equipamentos Elétricos**. São Paulo: SAGAH Educação, 2018.

Miron Alexe, Viorel. **IoT Power Consumption Monitoring System For Off-Grid Households**. University of Pitesti. Scientific Bulletin. 17, (2017).

MQTT.ORG. **Frequently Asked Questions** Disponível em: <http://mqtt.org/faq> . Acesso em: 01 ago. 2019.

MYDEVICES. **Cayenne**. Disponível em: <https://mydevices.com/cayenne/features/> . Acesso em 01 ago. 2019

OASIS. **OASIS Standard MQTT Version 5.0**. Disponível em: <https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/os/mqtt-v5.0-os.html>. Acesso em: 02 ago. 2019.

OLIVEIRA, Cláudio Luiz Vieira; ZENETTI, Humberto Augusto Piovesana. **Arduino Descomplicado: Como Elaborar Projetos de Eletrônica**. São Paulo: Érica, 2015.

OPENENERGY. **Calibration Procedure**. Disponível em: <https://learn.openenergymonitor.org/electricity-monitoring/ctac/calibration> . Acesso em: 01 ago. 2019.

OPENENERGY. **How to build an Arduino energy monitor - measuring mains voltage and current**. Disponível em: <https://learn.openenergymonitor.org/electricity-monitoring/ctac/how-to-build-an-arduino-energy-monitor%20> . Acesso em: 01 ago. 2019.

RODRIGUES, Rodrigo; GUIMARÃES, Rafaela; SOUZA, Diogo Braga da Costa. **Instalações Elétricas**. São Paulo: SAGAH, 2017.

UMANS, Stephen D. **Máquinas Elétricas de Fitzgerald e Kingsley**. 7 edição. Porto Alegre: AMGH, 2014.

VERAS, Manoel. **Computação em Nuvem Nova Arquitetura de TI**. Tijuca: BRASPORT,2015.

YHDC. **Product Specification**. Disponível em: <http://statics3.seeedstudio.com/assets/file/bazaar/product/101990028-SCT-013-030-Datasheet.pdf> . Acesso em: 30 jul. 2019

## INVESTIGAÇÃO PRELIMINAR DE MODIFICAÇÕES NA CÉLULA FOTOVOLTAICA MONOCRISTALINA DE SILÍCIO

### **Marcus André Pereira Oliveira**

Instituto Federal do Tocantins – Campus Palmas  
Palmas - Tocantins

### **Ana Flávia de Sousa Freitas**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná –  
Campus Curitiba  
Curitiba – Paraná

### **Thiago Barros Pimentel**

Instituto Federal do Tocantins – Campus Palmas  
Palmas – Tocantins

### **Adão Lincoln Montel**

Universidade Federal do Tocantins – Campus  
Palmas  
Palmas – Tocantins

**RESUMO:** O aperfeiçoamento das células fotovoltaicas é uma demanda contínua, visando redução de custos de fabricação e melhor capacidade de geração mesmo sob diferentes condições climáticas. Neste trabalho, avaliou-se a possibilidade de aproveitamento da radiação ultravioleta do espectro solar na produção de energia elétrica através do uso de pigmento fosforescente, uma vez que esta radiação não é utilizada em células fotovoltaicas convencionais. Para tanto, duas células com tinta de relevo fosforescente foram avaliadas em comparação com células não modificadas em relação aos parâmetros tensão, corrente e temperatura. Buscou-se também avaliar o comportamento

da célula sujeita a uma redução na sua temperatura de operação, visto que o calor é um parâmetro que reduz a capacidade de geração fotovoltaica; parte deste calor retirado pode ser ainda reaproveitado para geração elétrica utilizando pastilhas termoelétricas de efeito Seebeck. Os resultados apresentados são promissores e mostram que tanto as células com as pastilhas termoelétricas como as células com tinta têm um desempenho melhor no que tange à geração de energia elétrica.

**PALAVRAS-CHAVE:** geração fotovoltaica, pastilhas termoelétricas, pigmento fosforescente.

### PRELIMINARY INVESTIGATION ON MONOCRYSTALLINE SILICON PHOTOVOLTAIC CELL MODIFICATIONS

**ABSTRACT:** The improvement of the photovoltaic cells is a continuous demand in order to reduce manufacturing costs and achieve better generation capacity even under different climatic conditions. In this work, was evaluated the possibility of use of ultraviolet radiation of the solar spectrum to produce electricity through the use of a phosphorescent pigment, since this radiation is not used in conventional solar cells. Two cells with phosphorescent paint were evaluated in comparison with non-modified cells in relation to the parameters voltage, current

and temperature. Also was analysed the behavior of the cell subject to a decrease in its operating temperature, since the heat is a parameter that reduces the ability of photovoltaic generation; some of this heat can be removed and repurposed for electricity generation using thermoelectric Seebeck effect pastilles. The results are promising and show that both the cells with thermal pads as cells with ink performs better when it comes to generating electricity.

**KEYWORDS:** photovoltaic generation, thermoelectric pastilles, phosphorescent pigment

## 1 | INTRODUÇÃO

A energia elétrica utilizada em residências, comércio e indústria no Brasil advém de diversas fontes, algumas obtidas da queima de combustíveis fósseis não-renováveis, como o carvão, petróleo e gás natural, e outras provenientes de fontes renováveis, como hídrica, eólica, fotovoltaica (FV), biomassa, etc. No topo da matriz de produção de energia, está a geração hidrelétrica com 61,37% dos atuais 156 GWh capacidade total instalada, sendo a participação da radiação solar nessa geração, inferior a 1% segundo dados da Aneel no ano de 2016. Em um cenário onde há crise de oferta hídrica, por razões climáticas, e onde novas usinas trazem danos ambientais e dificuldades técnicas cada vez mais elevados, fontes energéticas como a eólica e a FV precisam se solidificar como parte mais relevante no total da energia produzida. A fonte eólica vem sendo explorada em parques de geração devidamente mapeados, em locais do território brasileiro onde o vento é constante e de qualidade; no interior do Brasil, no entanto, deixa de ser economicamente viável em razão da intermitência natural dos ventos.

Apesar de ainda não estarem entre as fontes mais utilizadas para a produção de energia elétrica, as fontes fotovoltaicas vêm se tornando uma opção coerente dentre as fontes renováveis. Uma das vantagens desse tipo de produção de energia é que ela pode ser inserida em todas as regiões brasileiras, mesmo existindo algumas particularidades quanto ao número médio anual de horas de irradiação solar entre algumas dessas regiões, devido às diferenças no clima (ABINEE, 2012).

De acordo com o Projeto ERA, o Brasil tem uma excelente irradiação solar média anual, como mostrado na Figura 1. Isso é um dos fatores que torna mais viável a utilização de células fotovoltaicas. Nota-se que o Tocantins se destaca das demais regiões, tendo uma irradiação média alta em todo estado, o que torna as fontes de energia fotovoltaica uma excelente opção de geração de energia renovável.

A posição geográfica do Brasil em relação à linha do Equador permite um alto número de horas de iluminação solar de boa qualidade, com pouca variação no ângulo de inclinação do feixe luminoso; esta é uma condição bastante favorável para geração fotovoltaica. No entanto, nosso clima tropical tem como característica também o calor acentuado. Para as células fotovoltaicas, a alta temperatura é via de

regra uma desvantagem, pois faz com que as células tenham perdas significativas de energia.

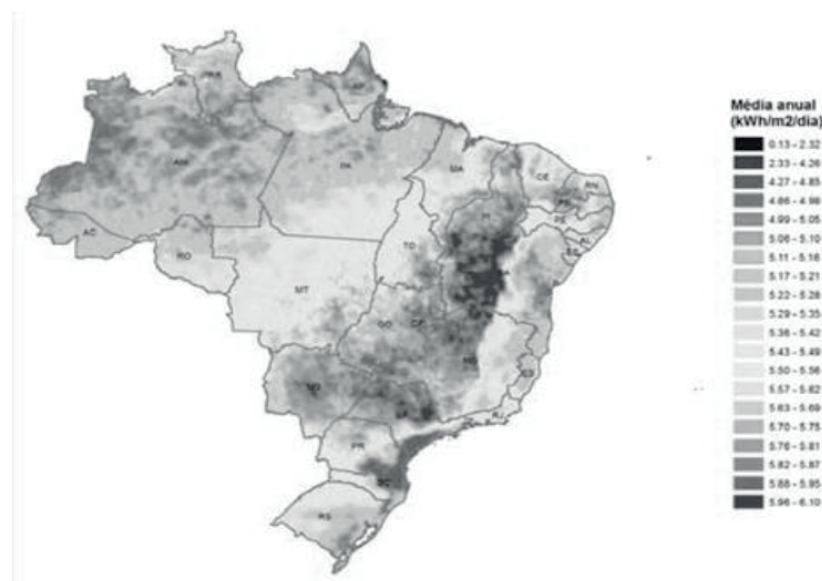


Figura 1. Mapa de irradiação solar média anual, Projeto ERA GVC, 2014.

No meio comercial, percebe-se que a grande maioria das aplicações envolvendo células fotovoltaicas utiliza material semiconductor a partir do silício. A Figura 2 mostra alguns tipos de células fotovoltaicas, monocristalino, policristalino e amorfo.

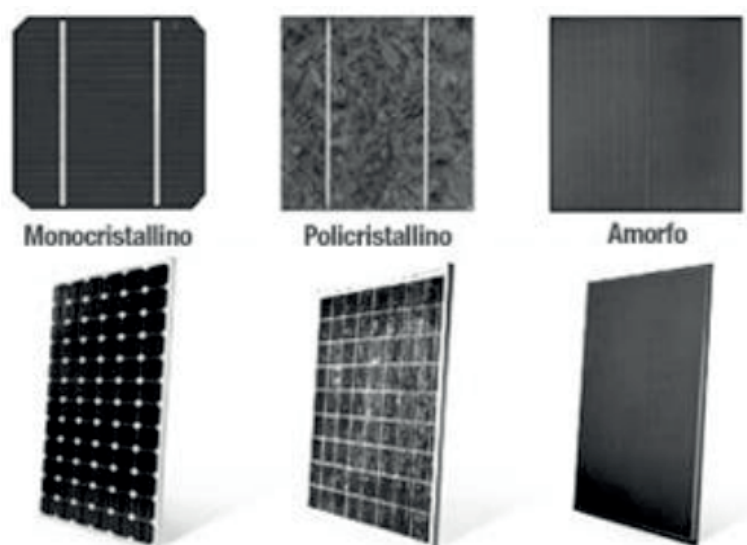


Figura 2. Tipos de células fotovoltaicas. IFTO, 2016.

A célula fotovoltaica é o componente fundamental do painel “solar” fotovoltaico, e possui uma natureza especial onde a energia gerada depende diretamente da incidência luminosa (intensidade e direção), além da temperatura. Elas são fabricadas a partir de diversos tipos de materiais, que produzem energia elétrica a partir do efeito fotoelétrico, ou seja, a emissão de elétrons da matéria como consequência da absorção de energia da radiação luminosa.

A corrente elétrica gerada nos painéis tem sua intensidade proporcional à

intensidade luminosa que incide na célula. Nos painéis, a célula fotovoltaica não tem capacidade de armazenar energia elétrica, e a corrente elétrica é gerada apenas se houver incidência de luz sobre a placa solar, ocorrendo a transmissão direta da energia elétrica. Este fenômeno é denominado efeito fotovoltaico (NASCIMENTO, 2012).

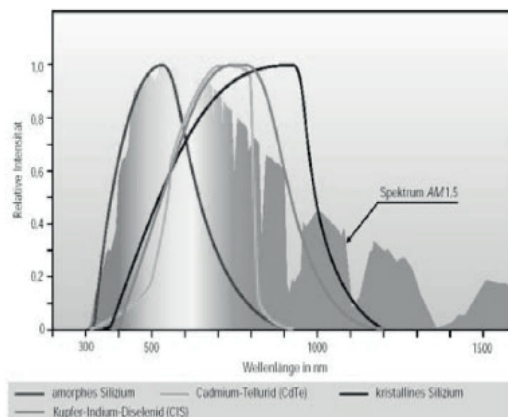


Figura 3. Sensibilidade espectral dos diferentes tipos de células solares. ISET Kassel.

A Figura 3 mostra a faixa de absorção do espectro luminoso da célula FV, conforme a tecnologia de fabricação. Nota-se que cada tipo possui melhor região de funcionamento; as células mono e policristalinas de silício não são otimizadas para extrair energia na faixa que compreende frequências próximas ao infravermelho e ultravioleta. Assim, o uso de pigmentos fotossensíveis, agindo como filtros luminosos, podem melhorar a região de operação da célula por meio de um reposicionamento da região do espectro de operação do ponto de vista da célula.

Devido à seletividade destas células em relação aos comprimentos de onda utilizados na conversão da energia luminosa em energia elétrica, boa parte da energia solar é desperdiçada sendo convertida em calor. Note-se que do valor total da constante solar (da energia solar que incide no planeta Terra) cerca de 51,2% localiza-se na região do espectro com comprimentos de onda do infravermelho e 12,1% na região do ultravioleta os quais não são aproveitados por células fotovoltaicas convencionais (AGRAWAL,2009). Apenas cerca de 36,7% do total da energia solar incidente na Terra localiza-se na região do visível do espectro eletromagnético e as células fotovoltaicas convertem apenas alguns comprimentos de onda dentro desta faixa (ver Figura 3) o que reduz de forma significativa a eficiência das mesmas.

Visando aumentar esta eficiência, neste trabalho foram avaliadas aplicações de pigmentos fosforescentes capazes de converter luz ultravioleta em luz visível, viabilizando desta forma a conversão de um percentual maior do espectro solar em energia elétrica. A utilização da radiação ultravioleta por meio da conversão em comprimentos de onda do visível apresenta algumas vantagens adicionais uma vez que a incidência desta radiação sobre a superfície terrestre sofre menor variação

devido às condições de nebulosidade do que as radiações da parte visível do espectro solar (MORENOA et al., 2003).

Neste sentido, serão apresentados resultados parciais de pesquisas realizadas com células fotovoltaicas com componentes que podem reduzir as perdas de energia na forma de calor, tornando-as mais eficientes, ou modificar a faixa de absorção do espectro luminoso. Utilizou-se em uma das células fotovoltaicas pastilhas termoelétricas de efeito Seebeck e em outras duas células, tinta fluorescente de relevo da cor amarela.

As pastilhas termoelétricas são formadas essencialmente por placas de cerâmicas e em seu interior existem pequenos cubos de  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  (telureto de bismuto). Estas podem converter energia elétrica em energia térmica (efeito Peltier) ou energia térmica em energia elétrica (efeito Seebeck) (FERNANDES, 2012). Nesta pesquisa, o interesse é pelo efeito Seebeck, uma vez que há o intuito de aproveitar o calor residual e gerar mais eletricidade, acrescentado-a àquela gerada pela célula.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

No presente trabalho utilizou-se células fotovoltaicas do tipo monocristalino de dimensões 15,5 cm x 15,5 cm, sendo duas células não modificadas, duas com tinta Fluorescente/Fosforescente Lumix Corfix 35 ml, disponível comercialmente, e ainda uma célula modificada com pastilhas termoelétricas. Nesta última, a fim de se obter uma condução térmica mais homogênea, foi adicionado uma placa de alumínio entre o suporte de madeira e a célula. Com pasta térmica, colou-se as pastilhas no meio da placa, sendo que o lado que recebe calor fica voltado para o fundo da célula. Os fios das pastilhas termoelétricas foram conectados em um barra tipo Sindal, para posterior análise da geração elétrica residual por efeito Seebeck. Todas foram expostas ao sol de forma simultânea para se obter os seguintes parâmetros de interesse, que serão avaliados neste trabalho:

$V_{OC}$  - Tensão “*open circuit*” ou de circuito aberto, onde a corrente  $I_{FV}$  gerada na saída da célula fotovoltaica é igual a zero;

$I_{SC}$  - Corrente “*short circuit*” ou de curto circuito, onde a tensão  $V_{FV}$  gerada na saída da célula fotovoltaica é igual a zero;

$T_{FV}$  - Temperatura na superfície da célula fotovoltaica no momento da medição.

Para obtenção destes dados, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Medição de temperatura: Termovisor FLUKE modelo Ti32;
- Medição de tensão: Multímetro Minipa ET-2907 ;
- Medição de corrente: Amperímetro Politerm POL-64.

Para os ensaios, as células foram colocadas em um suporte físico de madeira e cuidadosamente fixadas, considerando sua grande fragilidade. Na Figura 4 é possível ver como ficou o painel com as células.

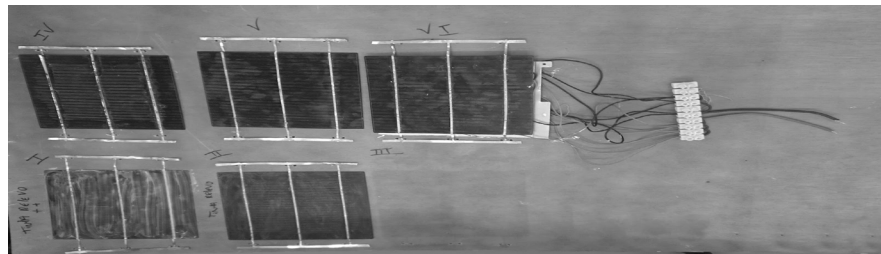


Figura 4. Arranjo das células fotovoltaicas para ensaios. IFTO, 2016.

Desta forma, as células fotovoltaicas foram expostas à radiação solar em ambiente aberto durante algumas horas ao dia, e em diferentes dias. Para as primeiras medições, os cinco painéis foram usados sem quaisquer modificações, com objetivo de coletar os valores de  $V_{OC}$ ,  $I_{SC}$  e  $T_{FV}$  e descartar células que tivessem um comportamento não-uniforme em relação às demais.

As medições realizadas nas células originais, ainda sem modificações, são mostradas em gráficos na Figura 5. Nota-se que as células não se diferem umas das outras substancialmente, principalmente a corrente de curto circuito (o parâmetro de maior valor desta análise), as variações são pequenas e estão dentro da margem de erro de 5%.

Diversos valores destas grandezas foram obtidos, incluindo neste caso momentos de céu claro e de céu nublado. Infelizmente, em alguns horários não se fizeram as medições devido a chuvas.

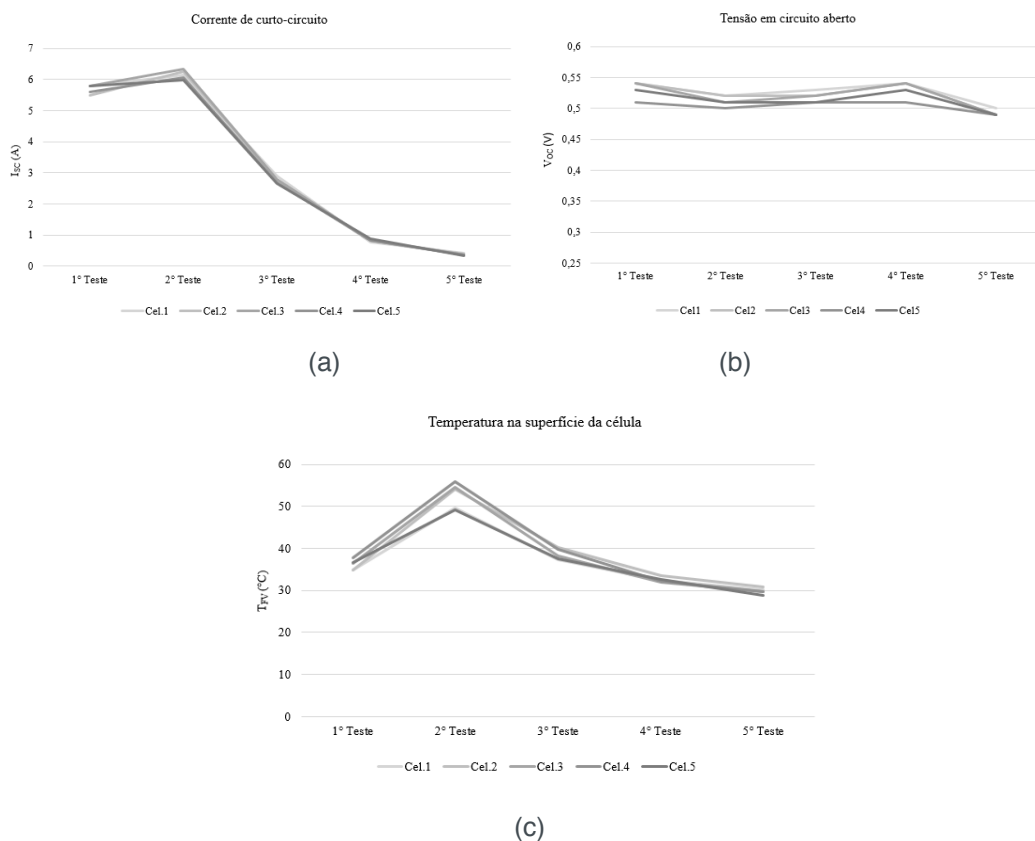


Figura 5. (a) Corrente de curto-circuito, (b) Tensão de circuito aberto e (c) Temperatura. IFTO, 2016.



Células	Legenda
Cel.1	Coberta com excesso de pigmento fosforescente
Cel.2	Coberta superficialmente com pigmento fosforescente
Cel.3	Não modificada
Cel.4	Não modificada
Cel.5	Modificada com 6 pastilhas termoelétricas

Na secção seguinte, serão apresentados outros resultados para discussões adicionais.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas medições apresentadas nas Figuras 6 e 7 a seguir, já com células modificadas, verificou-se que os valores de  $T_{FV}$ ,  $V_{OC}$  e  $I_{SC}$  apresentam variações relevantes.

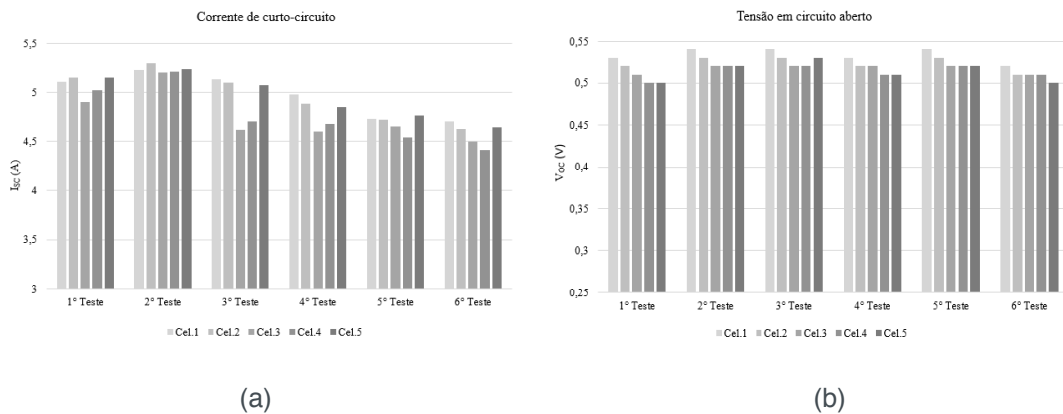


Figura 6. (a) Corrente de curto-circuito e (b) Tensão de circuito aberto das células analisadas. IFTO,2016.

Através do gráfico contido na Figura 6, que contém valores de corrente elétrica das cinco células, nota-se que as células modificadas com tinta de relevo (células um e dois) e a que possui pastilhas termoelétricas, apresentam uma corrente elétrica sempre maior, o que por sua vez, implica em uma maior geração de energia elétrica.

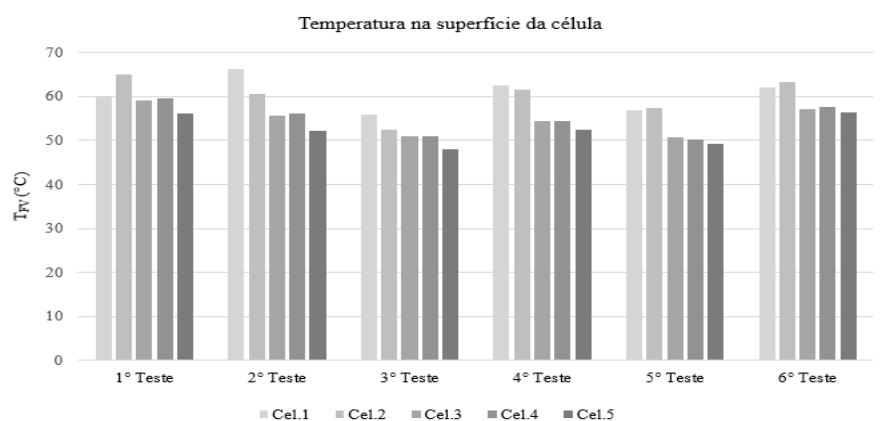


Figura 7. Temperatura superficial das células analisadas. IFTO,2016.

Como mostra o gráfico representado pela Figura 7, nota-se que a célula 5 apresenta sempre uma temperatura menor que as demais células. Interessante notar também que as células 1 e 2, que contêm pigmentos fosforescente, sofrem uma maior elevação de temperatura em relação às demais células. Isso ocorre devido ao fenômeno denominado fosforescência.

O fenômeno da fosforescência consiste na absorção de radiação por material e remissão da mesma em outra frequência em uma escala de tempo elevada. Na ocorrência deste fenômeno, a radiação incidente promove elétrons da banda de valência para a banda de condução. Ao retornar, o elétron se move entre as ‘armadilhas’ no *band gap* (o intervalo entre as bandas) é promovido novamente para a banda de condução e finalmente decai para um nível ativador, emitindo um fóton na frequência da luz visível. Quando a absorção e remissão ocorre em tempo inferior a 10 nanossegundos, o fenômeno é denominado fluorescência. Quando ocorre em uma escala de tempo maior é denominado fosforescência (SHACKELFORD, 2011).

Alguns materiais fosforescentes são capazes de converter radiação ultravioleta em luz visível. Embora o pigmento aplicado na célula apresente uma cor e, portanto, seja capaz de refletir parte da luz visível, bloqueando e reduzindo a intensidade da luz solar sobre a célula fotovoltaica, as frequências refletidas encontram-se em comprimentos de onda diferentes dos principais comprimentos de onda utilizados pelas células FV. para produção de energia elétrica.

Em contrapartida, as células que contêm as pastilhas termoelétricas, têm uma menor temperatura em relação às demais. Isso ocorre porque as pastilhas fazem com que haja melhor troca de calor entre a célula e o meio ambiente.

#### 4 | CONCLUSÕES

A partir dos dados coletados e analisados, pôde-se concluir que a célula fotovoltaica alterada com as pastilhas termoelétricas e a com tinta de relevo são mais eficazes do que as células comerciais, uma vez que apresentaram uma corrente elétrica mais alta e tensões semelhantes.

Mesmo com a atual quantidade de dados coletados, limitados pelas condições climáticas desfavoráveis das últimas semanas na cidade de Palmas, já é seguro afirmar que as células que sofreram modificações apresentam resultados diferenciados positivos em relação às não-modificadas.

Em ambas as células onde foram aplicadas o pigmento fosforescente, percebeu-se aumento na temperatura medida em relação às demais; no entanto, os valores de corrente  $I_{sc}$  foram sempre superiores, o que aponta para uma condição em que o pigmento modificou a faixa de absorção do espectro luminoso percebido pela célula FV, fazendo com que uma maior parcela da irradiação luminosa solar incidente fosse convertida. Novos estudos serão realizados no sentido de se detalhar a modificação do

espectro de frequências ocorrida, bem como investigar as vantagens e desvantagens técnicas e econômicas da aplicação deste material sobre as células tradicionais, para utilização em painéis instalados em áreas de alta temperatura ambiente como no estado do Tocantins.

Na célula onde foram colocadas as pastilhas termoelétricas, também nota-se um aumento na geração fotovoltaica. Neste caso, o resultado é fruto de uma melhor troca de calor da célula para o meio ambiente, fazendo com que tal célula, cuja superfície receptora de irradiação luminosa não sofreu modificações químicas, opere em um melhor ponto de operação térmica ao longo de seu ciclo de trabalho diário. O calor residual extraído da célula é transferido para a pastilha termoelétrica, e por meio do efeito Seebeck pode ser ainda parcialmente aproveitada na forma de geração elétrica direta. A mensuração desta energia termoelétrica residual e a otimização do seu uso também serão alvo de análises futuras.

Através do gráfico contido na Figura 6, que contém valores de corrente elétrica das cinco células, nota-se que as células modificadas com tinta de relevo (células um e dois) e a que possui pastilhas termoelétricas, apresentam uma corrente elétrica sempre maior, o que por sua vez, implica em uma maior geração de energia elétrica.

## REFERÊNCIAS

AGRAWAL, D. C. **Solar constant versus the electromagnetic spectrum**. Málaga: Lat. Am. J. Phys. Educ, 2009. v. 3, 556 p.

BATISTA, B. G. PAULO, J. M. MOREIRA, R. M. Calibração de Fluorímetro 10 AU. **CDTN**. Belo Horizonte, 2006. Disponível em: <[http://biblioteca.cdtm.br/cdtm/arpel/adobe/PUB\\_CDTN\\_959\\_Bruno\\_GBatista.pdf](http://biblioteca.cdtm.br/cdtm/arpel/adobe/PUB_CDTN_959_Bruno_GBatista.pdf)>. Acesso em: 28 set. 2016.

FERNANDES, A. E. S. S. **Conversão de energia com células de Peltier**. 2012. 97 f. Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis - Conversão Elétrica e Utilização Sustentáveis) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012.

MORENOA, I. F. ALADOSB, I. OLMOA F. J. ARBOLEDASA, L. A. The influence of cloudiness on UV global irradiance. **Agricultural and Forest Meteorology**, Varanasi, v. 120, p. 101-111, 2003.

NASCIMENTO, C. A. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica**. 2004. 21 f. Trabalho de Conclusão do Curso (Especialização em Fontes Alternativas de Energia) - Instituto de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

NOGUEIRA, A. F. **Células solares de “Gratzel” com eletrólito polimérico**. 2001. 181 f. Tese de doutorado-Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2001.

Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira. **ABINEE**. 2012. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2016.

SHACKELFORD, J. F. **Ciência dos Materiais**. 6. ed. São Paulo: Pearson, 2011. 560 p.

## UMA APLICAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E EFICIÊNCIA EXERGÉTICA DAS TURBINAS A VAPOR NAS INDÚSTRIAS SUCROALCOOLEIRAS

### **Nancy Lima Costa**

Universidade Federal de Campina Grande  
Campina Grande-Pb

### **Maria de Sousa Leite Filha**

Universidade Federal de Campina Grande  
Campina Grande-Pb

### **Arthur Gilzeph Farias Almeida**

Universidade Federal de Campina Grande  
Campina Grande-Pb

### **Jaciara Dantas Costa**

Universidade Federal de Campina Grande  
Campina Grande-Pb

### **Antônio Daniel Buriti de Macêdo**

Universidade Federal de Campina Grande  
Campina Grande-Pb

### **José Nunes de Oliveira Neto**

Universidade Federal de Campina Grande  
Campina Grande-Pb

### **Jordany Ramalho Silveira Farias**

Universidade Federal de Campina Grande  
Campina Grande-Pb

### **José Jefferson da Silva Nascimento**

Universidade Federal de Campina Grande  
Campina Grande-Pb

energia é obtida a partir da queima do bagaço de cana de açúcar nas caldeiras, o vapor de água proveniente dessa queima aciona as turbinas, e esta converte energia térmica em energia mecânica. Neste trabalho temos o objetivo de apresentar uma análise da eficiência energética e exergética das turbinas utilizadas na cogeração de energia. Esse estudo é relevante pois desde a revolução industrial que os pesquisadores tem se preocupado com a utilização de fontes de energia não renováveis. Com a cogeração de energia, além das indústrias sucroalcooleiras se tornarem autosuficientes, elas podem contribuir para a matriz energética brasileira. Para isso avaliar a eficiência energética e a eficiência exergética das turbinas a vapor utilizadas nesse processo, apresentamos um recorte da dissertação de Fiomari (2004), a escolha por tal trabalho deu-se pela abordagem de diferentes plantas para a cogeração de energia de uma indústria sucroalcooleira.

**PALAVRAS-CHAVE:** Exergia, Cogeração, Indústria Sucroalcooleira, Turbina a vapor.

**RESUMO:** O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar. O setor sucroalcooleiro tem como principais produtos o açúcar, o etanol e, desde 1980, a cogeração de energia tem ganhado destaque neste setor. A geração de

AN APPLICATION OF THE ENERGY  
EFFICIENCY AND EXERGICAL  
EFFICIENCY OF STEAM TURBINES IN THE  
SUCROALCOOLEIRAS INDUSTRIES

**ABSTRACT:** Brazil is the world's largest

producer of sugarcane. The sucroalcooleiro sector has as its main products sugar, ethanol and, since 1980, energy cogeneration has gained prominence in this sector. Power generation is obtained from the burning of sugarcane bagasse in the boilers, the water vapor from this burning activates the turbines, which converts thermal energy into mechanical energy. In this paper we objective present an analysis of the energy and exergetic efficiency of turbines used in energy cogeneration. This study is relevant because since the industrial revolution researchers have been concerned with the use of non-renewable energy sources. With energy cogeneration, in addition to the sucroalcooleiro industries becoming self-sufficient, they can contribute to the Brazilian energy matrix. In order to evaluate the energy efficiency and exergetic efficiency of the steam turbines used in this process, we present a cut from Fiomari's dissertation (2004), The choice for such work was due to the approach of different plants for the energy cogeneration of a sucroalcooleiro industry.

**KEYWORDS:** Exergy, Cogeneration, Sucroalcooleiro Industry, Steam turbine.

## 1 | INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar. O setor sucroalcooleiro tem como principais produtos o açúcar, o etanol e, desde 1980, a cogeração de energia tem ganhado destaque neste setor. Ele está organizado basicamente em três estágios: plantação e cultivo da cana-de-açúcar; produção do açúcar ou álcool; comercialização do produto final. Algumas empresas atuam em todos os estágios, mantendo o seu foco na produção do açúcar ou do álcool (LIBONI, 2009).

De acordo com Peixoto (2010), na cadeia produtiva da cana de açúcar, uma das etapas que merecem destaque é a moagem, a qual consiste em extrair consiste em extrair o caldo contido na cana. Após esta etapa, obtém-se o bagaço da cana, subproduto que tem se tornando essencial para o funcionamento dessas indústrias. O bagaço alimenta as caldeiras, onde é queimado, e a energia liberada transforma água em vapor. Nas caldeiras, o vapor gerado atinge uma pressão média de 18-21kgf/cm<sup>2</sup>, que é responsável pelo acionamento das turbinas a vapor, onde ocorre a transformação da energia térmica em energia mecânica.

A energia gerada nestas turbinas é utilizada para acionamento de geradores responsáveis pela produção de energia elétrica necessária para vários setores desta indústria. Segundo Pellegrini (2009), todas as usinas sucroalcooleiras brasileiras são autossuficientes com relação à geração de energia eletromecânica e calor para os seus processos. Ademias, o bagaço da cana é uma das biomassa na composição da matriz energética brasileira como pode ser observado no gráfico 1.

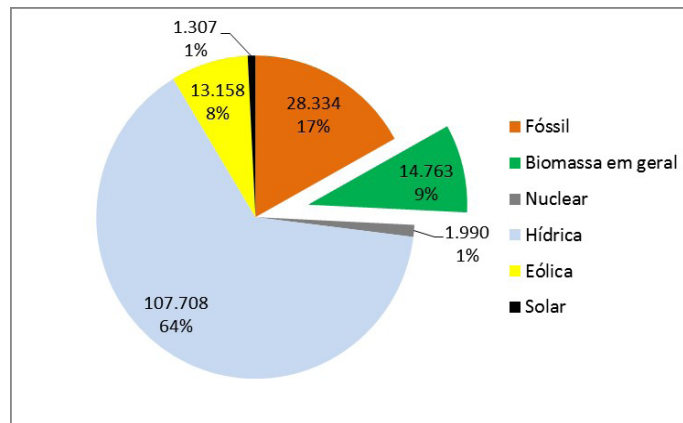


Gráfico 1. Potência outorgada por fonte em operação (MW e %)

Fonte: ÚNICA (2018)

Conforme a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em 2018, 77% da bioeletricidade da matriz energética do Brasil foi proveniente do bagaço da cana de açúcar. Diante disso, a cogeração de energia nessas indústrias merece destaque e neste trabalho temos a finalidade de analisar a eficiência das turbinas na cogeração de energias das indústrias sucroalcooleiras. Para isso, faz-se necessário compreender o balanço de energia nas turbinas a vapor no processo de cogeração, e o balanço de exergia nas turbinas a vapor no processo de cogeração.

O termo “cogeração” é de origem americana e é empregado para designar os processos de produção combinada de energia térmica e potência, mecânica ou elétrica, com o uso da energia liberada por uma mesma fonte primária de combustível, qualquer que seja o ciclo termodinâmico. Normalmente, são usados os ciclos Rankine, que são aqueles que empregam turbinas a vapor, ou os ciclos Brayton, que utilizam turbinas a gás (FIOMARI, 2004).

Maudonet (2017) afirma que para compreender a processo de geração de energia é necessário analisar as turbinas a vapor e as turbinas a gás e motores alternativos, elas em geral são responsáveis pela produção de potência. Araújo (2014) acrescenta que no setor sucroalcooleiro o sistema de cogeração aparece vinculado a três configurações fundamentais de turbinas a vapor: Turbinas de contrapressão; Turbinas de extração-condensação; Combinação de turbinas de contrapressão com outras de condensação que empregam o fluxo excedente.

Pilankar e Kale (2016), ressaltam que a avaliação de desempenho de vapor e geração de energia sistema é essencial para a utilização adequada de recursos energéticos disponíveis. Ao avaliar o desempenho da planta de uma indústria pode-se fixar áreas pontuais ou componentes onde a energia a conversão é fraca e onde a melhoria é necessária. Isso ajudará a melhorar a eficiência energética, minimizar despesas operacionais e aumentando a rentabilidade da indústria.

Na próxima seção serão apresentados conceitos básicos para a compreensão da a eficiência exérgica em turbinas a vapor.

## 2 I ANÁLISE ENERGÉTICA E ANÁLISE EXERGÉTICA EM TURBINAS A VAPOR.

A princípio faz-se necessário distinguir energia e exergia. Em síntese a energia está relacionada a quantidade e a capacidade de realização de trabalho, já a exergia está associada a qualidade e ao potencial de uso da potência disponível. Exergia é definida como quantidade máxima de trabalho que pode ser obtido por um sistema ou fluxo de matéria. Ao contrário do que preconiza a 1ª Lei da Termodinâmica, a exergia não é conservada durante qualquer processo real; ou seja, sempre é destruída em um processo. A exergia destruída é proporcional à entropia gerada devido a irreversibilidades. (TAPAN et al, 2010)

Em Termodinâmica, a avaliação de desempenho dos equipamentos pode ser baseada na 1ª Lei da Termodinâmica, por exemplo, análise de energia. Neste caso é possível determinar a potência real do equipamento. A análise para sistemas com escoamento em regime permanente, o caso das turbinas a vapor, pode ser feita por meio da equação de balanço de energia (Eq.1).

$$\dot{Q}_{sai} - \dot{W}_{sai} + \sum_e \dot{m}_e \cdot \left( h_e + \frac{v_e^2}{2} + gz_e \right) - \sum_s \dot{m}_s \cdot \left( h_s + \frac{v_s^2}{2} + gz_s \right) = 0 \quad (\text{Eq. 1})$$

onde,

$\dot{Q}_{sai}$  - taxa de transferência de calor ao longo da fronteira (superfície de controle) do volume de controle [J];

$\dot{W}_{sai}$  - taxa de transferência por trabalho ao longo da fronteira (superfície de controle) do volume de controle [J];

$\dot{m}_e$  e  $\dot{m}_s$  - vazões mássicas instantâneas na entrada e saída do volume de controle, respectivamente e, [kJ/kg];

$\dot{m}_e \frac{v_e^2}{2}$  e  $\dot{m}_s \frac{v_s^2}{2}$  - energias cinéticas específicas na entrada e saída do volume de controle, respectivamente, [J];

$\dot{m}_e gz_e$  e  $\dot{m}_s gz_s$  - as energias potenciais específicas na entrada e saída do volume de controle, respectivamente, [J].

No caso das turbinas a vapor ou a gás,  $\dot{m}_e = \dot{m}_s = \dot{m}$  a energia cinética e a energia potencial podem ser desprezadas, além disso, a transferência de calor entre a turbina e a vizinhança usualmente é pequena quando comparada aos termos relacionados à potência e à entalpia, deste modo a eq. 1 resume-se a:

$$\dot{W}_{sai} = \dot{m}(h_e - h_s) \quad (\text{Eq. 2})$$

A eficiência termodinâmica baseada na 1ª Lei da Termodinâmica ( $\eta_I$ ) para dispositivos que realizam trabalho, como as turbinas, é dada por

$$\eta_I = \frac{\dot{W}_{sai}}{\dot{m}\Delta h_{iso}} \quad (\text{Eq. 3})$$

onde,  $\Delta h_{iso}$  - é a diferença entre as entalpias de entrada e de saída do volume

de controle, para processo isoentrópico (kJ kg).

Outro método usado para avaliar o desempenho de um equipamento é a análise exergética baseada na 2ª Lei de Termodinâmica, por meio dessa análise determina-se a máxima potência (ou potência reversível) do equipamento. Para uma turbina que opera em regime permanente, sem transferência de calor o balanço exergético é dado por

$$\Sigma \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \dot{Q} - \dot{W}_{rev,sai} + \dot{m}(\psi_e - \psi_s) - \dot{X}_{destruída} = 0, \quad (\text{Eq. 4})$$

onde

$\left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \dot{Q}$  – taxa de transferência de exergia associada à transferência de calor;

$\dot{W}_{rev,sai}$  – taxa de exergia associada a potência, ou simplesmente máxima potência, [kW];

$\dot{m}$  – vazões mássica, [kJ/kg];

$\psi_e$  e  $\psi_s$  – exergia específica do fluido na entrada e saída do volume de controle, [kJ/kg];

$\dot{X}_{destruída}$  – taxa de exergia destruída, [kW].

No caso de equipamentos que operam em regime permanente, sem transferência de calor para a sua vizinhança, a formulação do balanço de energia, simplifica-se como a eq. 5

$$\psi_e - \psi_s = \frac{\dot{W}_{rev,sai} + \dot{X}_{destruída}}{\dot{m}} \quad \text{Eq. 5}$$

Para dispositivos que produzem trabalho, como as turbinas, a eficiência exergética é dada por meio da relação entre a produção de trabalho útil e a máxima produção de trabalho (reversível) possível, sob as mesmas condições.

$$\eta_{II} = \frac{\dot{W}_{sai}}{\dot{W}_{rev,sai}} \quad \text{Eq. 6}$$

O objetivo da análise exergética é identificar os locais onde a destruição de exergia e as perdas aconteçam, para que com isso, busque-se melhorias nesses locais para se obter melhores resultados.

### 3 | A EFICIÊNCIA DAS TURBINAS: UM ESTUDO DE CASO

Essa seção tem caráter ilustrativo e apresenta um recorte da dissertação de Fiomari (2004). A escolha de tal trabalho deu-se, pois o mesmo possui uma análise da eficiência energética e eficiência exergética para cinco plantas resultantes do projeto de expansão do sistema de cogeração de energia da Destilaria Pioneiras. As plantas consistem basicamente de uma caldeira que produz 140 toneladas de vapor por hora a alta pressão e temperatura (6,6 MPa e 530°C, respectivamente); de uma turbina de



extração-condensação.

No trabalho supracitado, é feita uma avaliação termodinâmica detalhada para uma turbina de extração-condensação com capacidade de acionar um gerador de 40 MVA. Aqui iremos enfatizar a análise de dois casos que estavam em operação na ocasião de realização da dissertação, a saber, o Caso 1 e o Caso 2.

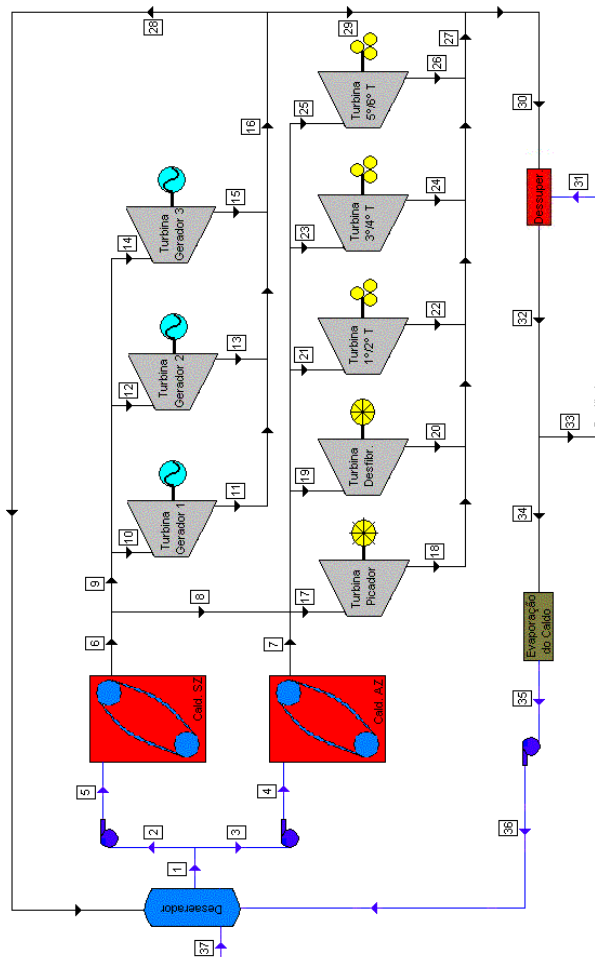


Figura 1: Fluxograma da Destilaria Pioneiros na safra 2003/2004 (Caso 1).

Nessa planta, as turbinas dos três geradores elétricos (Turbina Gerador 1, Turbina Gerador 2 e Turbina Gerador 3), podem gerar nominalmente 1,2 MW cada um. Nessa configuração, a energia gerada em 440 V a qual é utilizada para a demanda interna de eletricidade da empresa.

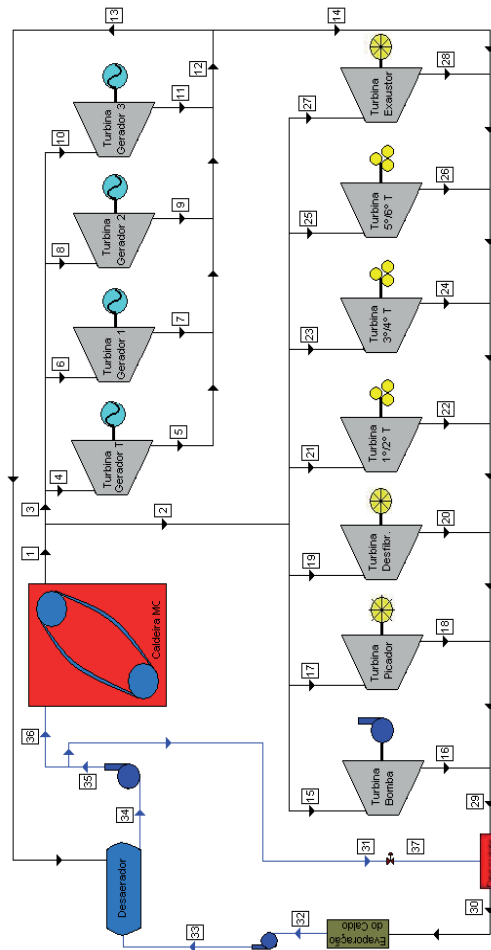


Figura 2: Fluxograma da Destilaria Pioneiros na safra 2004/2005 (Caso 2).

Na planta do Caso 2, dentre as mudanças entre as duas plantas destacamos a instalação de mais um turbo gerador (Turbina Gerador T), com capacidade de gerar nominalmente 4,0 MW, e de uma turbina responsável pelo acionamento da bomba de alimentação de água da caldeira.

A eficiência energética e a eficiência exergetica para as turbinas para ambos os casos estão descritos na tabela 1.

Caso	Turbinas	$\eta_I(\%)$	$\eta_{II}(\%)$	$\dot{W}_{sai}(\text{kW})$
I	Gerador 1	43,7	51,6	1063
	Gerador 2	43,7	51,6	1063
	Gerador 3	43,7	51,6	1063
II	Gerador 1	43,7	51,7	805
	Gerador 2	43,7	51,7	800
	Gerador 3	43,7	-	-
	Gerador T	63,8	70,3	1933

Tabela I: Eficiência das Turbinas

Diante desses resultados, percebe-se que com a alteração feita, o Caso 2 apresenta uma eficiência global maior que a planta do Caso 1. Além disso, a partir das

análises realizadas para avaliar o desempenho da turbina de extração-condensação, Fiomari (2004) confirmou que este tipo de turbina tem boa eficiência em relação a outras turbinas.

## 4 | CONSIDERAÇÕES

No processo de cogeração de energia, pelas indústrias sucroalcooleiras, as turbinas a vapor assumem um papel relevante. Afinal, elas são responsáveis por transformar energia térmica em energia mecânica acionando geradores e produzindo em energia elétrica. A partir dessa aplicação percebemos o quão relevante são os conceitos de da Termodinâmica para a avaliação e otimização de equipamentos industriais. Espera-se que esse trabalho desperte o interesse para a investigação da eficiência de outros equipamentos, como as bombas e a caldeira, utilizados na cogeração de energia; e instigue uma reflexão sobre o uso consciente e de formas alternativas de energia.

## REFERÊNCIAS

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Capacidade de Geração do Brasil. 2016. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em: Junho de 2019.

ARAÚJO, B. C. **Simulação de uma usina sucroalcooleira utilizando uma ferramenta na plataforma Matlab**. Monografia. UFRJ. Rio de Janeiro, RJ. 2014.

FIOMARI, M. C. **Análise Energética e Exergética de uma Usina Sucroalcooleira do Oeste Paulista com Sistema de Cogeração de Energia em Expansão**. Tese. UNESP, Ilha Solteira, SP. 2004.

LIBONI, L. B. **Perfil da mão-de-obra no setor sucroalcooleiro: tendências e perspectivas**. Tese. USP. São Paulo, SP, 2009.

Maudonet, V. V. **Otimização Termodinâmica e Análise Exergética de Sistemas Térmicos Operando em Ciclo Simples e com Cogeração Utilizando o Simulador de Processos IPSEpro Integrado ao MatLab**. Monografia. UFRJ. Rio de Janeiro, 2017.

PEIXOTO, G. **A Análise da estrutura e padrão de concorrência do setor sucroalcooleiro no Brasil**. Monografia. UFSC. Florianópolis, SC, 2010.

PELLEGRINI, L. F. **Análise e otimização termo-econômica-ambiental aplicada à produção combinada de açúcar, álcool e eletricidade**. Tese. USP, São Paulo, SP, 2009.

Tapan K. R. **Amitava D., Amitava G., Ranjan G. Exergy-based performance analysis for proper O&M decisions in a steam power plant**. Energy Conversion and Management. Vol 51, 2010.

UNICA. **Portal da União da Agroindústria Canavieira**. São Paulo, 2010. Disponível em: <[www.unica.com.br](http://www.unica.com.br)>. Acesso em: junho de 2019.

## THE STEAM GENERATION CENTERS AS A VECTOR FOR THE SUGARCANE MILLS EVOLUTION TO THE SUCRO-ENERGETICS PLANTS FORMAT

### **Roque Machado de Senna**

Universidade Federal de São Paulo,  
Departamento de Engenharia Química, Diadema -  
São Paulo

### **Henrique Senna**

Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais Juiz  
de Fora – Minas Gerais

### **Rosimeire Aparecida Jerônimo**

Instituto de Ciências Tecnológicas (ICT)  
Universidade Federal de Itajubá, *Campus* Itabira,  
Itabira - MG

**ABSTRACT:** The energy generation by the sugar-energy sector occurs simultaneously in the modalities: process heat, mechanical energy, electric energy for own consumption and excess, predominantly from sugarcane bagasse. It is intended the technological and economic aspects systemic approach, in order to contribute to the bioenergy definitive insertion, coming from the sugar-energy sector, as a great relevance complementary alternative, to support the Brazilian energy matrix. Considering that the 68 bar and 100 bar units yield were modeled at 38.97% and 42.80%, no doubt the steam generator system replacement could be an extreme importance procedure from the technical and economical view point, for increasing efficiency and, consequently, raising the revenues with the surplus electric energy

generation, in the 25.63% to order 86,499 MWh / crop, equivalent to 15.57 million Reais, to a MWh traded at CCEE / ANEEL at R\$ 180.00, corresponding to a R\$ 15.57 million value to be added, for a 212.80 tons sugarcane bagasse processing.

**KEYWORDS:** Sugarcane mill modeling. Steam Generation Center. 68 bar and 100 bar Boilers. Steam Boiler Efficiency. Cogeneration.

### 1 | INTRODUCTION

Up until the 1970s, large hydroelectric plants were predominant due to the generating electricity low cost production due to the excellent scale factor that had a huge impact on the generating energy cost, and also due to the prohibition policies lack to the environmental impacts resulting from their activity (SANTOS, 2014).

The electric energy generation, surplus in the sugar and alcohol sector, predominantly exported to the National Interconnected System (SIN), had its discussion started a long time ago, however, even so, the quantities produced are far below their real production and export capacity (SANTOS, 2014).

On the other hand, a significant advantage for the sugar and alcohol industry associated with bioelectricity is the constant

financial contribution guarantee from the energy commercialization, as opposed to the cane production seasonality to which they are subject (EPE, 2013). The electric power purchase by the sugar and alcohol plants was almost extinct when the Steam Generator (GV) operating pressure exceeded the 22 bar (2.2 MPa) at 300 °C mark. In this technological generation, by 21 bar; 2.1 MPa to 22 bar; 2.2 MPa, which occurred, predominantly, around the 80s, the GV efficiency did not allow to sell surplus electric power, but with amount the bagasse by 0 to 10 %, it did not have enough biomass, to generate such electric energy surpluses. At that time, the sugar and ethanol mills maintained an energy balance for almost 15 years, producing and consuming for each ground cane ton, electric energy 12 kWh, mechanical energy 15 kWh and thermal energy 330 kWh in 550 kg of steam per tonne (SOSA ARNAO, 2007).

With the 45 bar (4.5 MPa) Steam Generator (GV) system introduction, which is now intermediate efficiency considered, it was possible to obtain bagasse leftovers, in quantities sufficient to supply this GV, as well as to produce electric energy, with significant commercial value. Today are considered modern, 65 Bar (6.5 MPa) and 100 bar (10 MPa) the order SG systems (SOSA ARNAO, 2007; SOUZA & AZEVEDO, 2006).

The electricity excesses are exported to the Brazilian Interconnected Electric System (SIN) by contracts used and prepared by the Brazilian Electric Energy Trading Chamber and supervised on the Brazilian Electric Energy Agency (CCEE / ANEEL), which has the electric power purchase intermediation role and sale, among the actors. The biomass plants can market their surplus to electricity distribution concessionaires for free and special electricity consumers, in accordance with Brazilian Decree N° 6,048/2007 (EPE, 2013; SOUZA & AZEVEDO, 2006; OLIVEIRA, 2013).

This work objective is to model two the existing system stands for steam generators operating at 68 bar, 510 °C and 100 bars at 510 °C, respectively, where their design drawings are adapted for modeling and, according to the operation reality, using real industrial data. It is the authors intention with this auxiliary study elaboration to the Productive System in the investment and technical decision making, through this technological way.

## **2 | METHODOLOGY**

### **2.1 Traditional Rankine Cycle with GV-CTR-68 bar**

The traditional Rankine Cycle (CTR), as can be seen in figure (01), is the most widely used model to evaluate the industrial unit efficiency generating bioenergy, since this CTR is a realistic and practical model, that is in opposition to the idealized Carnot cycle. Some care should be taken when evaluating a CTR, such as energy efficiency reduction, and maintenance costs, when care with turbine feeding do not

observe saturated steam, with high liquid content associated with their flowout taking into account turbine blades erosion possibility (SMITH, 2007).

In order to improve the CTR performance, after the condensation stage, it is necessary to focus on the need to completely condensate the vapor, and with this, to facilitate the saturated liquid adiabatic pumping to the boiler. It has also proved important to overheat the steam, the constant pressure in the GV, in order to increase its average temperature, the heat transfer to steam. All of these steps make it possible to increase CTR efficiency. Another interesting procedure to increase the CTR efficiency is to insert a second heating stage for the turbine, thereby maintaining the superheated steam, raising the average turbine feed temperature, and concomitantly lowering the turbine rejected heat average temperature. Such measures make it possible to increase the CTR efficiency (SMITH, 2007).

The CTR's operating curve is shown in figure (2), where the entropy (S) on the horizontal axis, and on the vertical axis the temperature (T). When considering the areas involved it is possible to evaluate the work developed by the heat transferred to the fluid. The following is a (01) to (08) analytical model equations based on steam tables in VAN WYLEN (2003), an applicable model for the CTR average efficiency determination  $[\eta_t (\%)]$ , as a the various phases consequence that occur, based on the first one and the thermodynamics second law, where kinetic and potential energy variations are neglected as well as the various heat losses in the various facilities equipment.

$$\eta_t (\%) = w_{liq} / q_h \text{ the traditional Rankine cycle yield (01)}$$

$$w_{liq} = w_t - w_b \text{ the network = the turbine work - the pump work (02)}$$

$$q_h = h_3 - h_2 \text{ heat supplied, boiler = enthalpy outlet-enthalpy input (03)}$$

$$h_2 = h_1 + f v \cdot dp \text{ the boiler inlet enthalpy (04)}$$

$$w_b = v \cdot (p_2 - p_1) \text{ the pump work + specific volume. } \Delta \text{pressure (05)}$$

$$h_4 = h_{L4} + x_4 \cdot h_{Lv4} \text{ the turbine output enthalpy (06)}$$

$$w_t = h_3 - h_4 \text{ the turbine work=the enthalpy input-the enthalpy output (07)}$$

$$S_4 = S_3 = S_{L4} + x_4 \cdot S_{Lv4} \text{ the entropy in (3) and (4) are equal, then the}$$

$$\text{title } x_4 \text{ is determined, based on the steam tables (08)}$$

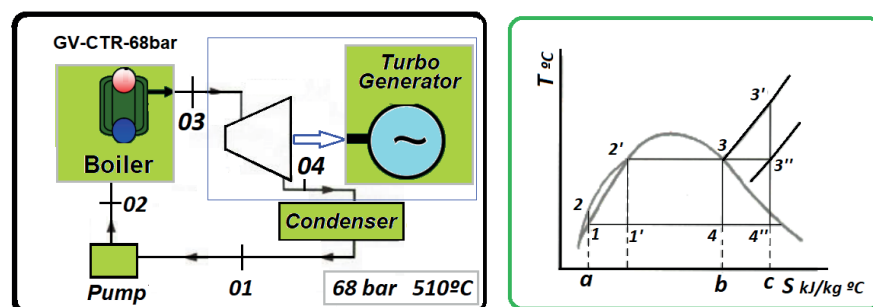


Figure 01 and 02: The traditional Rankine cycle and Entropy & Temperature Curve

Source: author, adapted from VAN WYLEN (2003).

The GV-CTR-68bar used as a base is basically two aquatubber boilers composed, two steam turbines, operating 68 bar, 6.8 MPa, 510 ° C, as shown in figure (01), for the modeling purposes, the thermodynamic parameters, were based on available steam tables (VAN WYLEN, 2003), as well as on the data used by Abreu (2015), where the sugarcane bagasse was has considered contain 50% humidity, and 7,200 kJ / kgc (kilogram of cane) lower calorific value (CIP), the 275 kg per tonne cane bagasse content, and in addition two condensers operating in 0.1 bar (10 kPa), two pumps used to transport the water and pressurizing the boilers. The total bagasse consumption is 212.80 tb / h, with the boiler's operation in 5,853 hours per harvest.

GV-CTR-68 bar, used as a basis in this model, with simplifications, is located in the Quirinópolis, Goiás State Municipality, and is an Independent Producer and Electric Energy Self-Producer, located in the Southeast / Center-West energy submarket. It has two aquatubber boilers, each one with a 250 tons / hour flow, with two Generator Units, in a 40 MW each simple thermal cycle, installed capacity totaling 80 MW, authorized to operate by Ordinance N° 123 / MME / BRASIL / 2007, with the conventional energy generation concession, with the 50 MW for generation Distribution System use contract - MUSD. The internal contract plant energy consumption is 8 MW in the Peak position, 8 MW for out the tip.

## 2.2 Regenerative Rankine Cycle and Mixing Heater-GV-CRRAM-100bar

In this section, the methodology for the efficiency determination in the Regenerative Rankine Cycle with Mixing Heater (CRRAM), is shown in figure (03), and figure (04). In this CRRAM the steam enters the turbine through the stage (5). After expansion is extracted to the (6) state, and the steam remainder continues the expansion in the turbine to the (7) stage, and is then brought to the condenser, and from there, to make the mixture with the steam extracted from the turbine. Since the steam extracted amount is only sufficient to convert the condensate into fully saturated liquid in (3) stage, as soon as it leaves the mixing heater. At this stage end the saturated liquid is pumped to the boiler pressure (4) stage, and then the average temperature at which the fluid is supplied rises (VAN WYLEN, 2003).

The CRRAM operating curve is shown in figure (04), with the entropy (S) on the horizontal axis, and the temperature (T) on the vertical axis. When considering the areas involved it is not possible to accurately assess the heat transferred to the fluid by the work developed, since the steam part is diverted to the water heater.

In the following table, we will analyze, in an analytical way, based on steam tables (VAN WYLEN, 2003), a (09) to (20) analytical model equations to determine the CRRAM average efficiency [ $\eta_t$  (%)], as the several phases consequence that occur.

$$\eta_t (\%) = w_{liq} / q_h \text{ the CRRAM yield (09)}$$

$$w_{liq} = w_{t-} (1 - m_1). w_{b_1} - w_{b_2} \text{ the cycle network (10)}$$

$$w_{b_1} = h_2 - h_1 = \int v. dp \text{ the pump work 1 (11)}$$

$$h_2 = h_1 - w_{b1} \text{ the enthalpy 2 (12)}$$

$$w_{b2} = h_4 - h_3 = \int v \cdot dp \text{ the work pump 2 (13)}$$

$$\int v_{43} \cdot dp = v_{43} (p_4 - p_3) \text{ the pump work = the specific volume} \cdot \Delta \text{pressure (14)}$$

$$S_5 = S_6 = S_{L6} + x_6 \cdot S_{LV6} \text{ the entropy in 5 and 6 are equal (15)}$$

$$h_6 = h_{L6} + x_6 \cdot S_{LV6} \text{ the enthalpy in 6 (16)}$$

$$S_5 = S_7 = S_{L7} + x_7 \cdot S_{LV7} \text{ the entropy in 5 and 7 are equal (17)}$$

$$h_7 = h_{L6} + x_6 \cdot S_{LV6} \text{ the enthalpy at 7 (18)}$$

$$h_3 = m_1 \cdot h_6 + (1 - m_1) \cdot h_2 \text{ the determination fraction } m_1 \text{ (19)}$$

$$w_{t=(h_5 - h_6) + (1 - m_1) \cdot (h_6 - h_7)} \text{ the enthalpy input - the extraction output enthalpy} \\ + \text{ input enthalpy - the enthalpy output, complementary to extraction (20)}$$

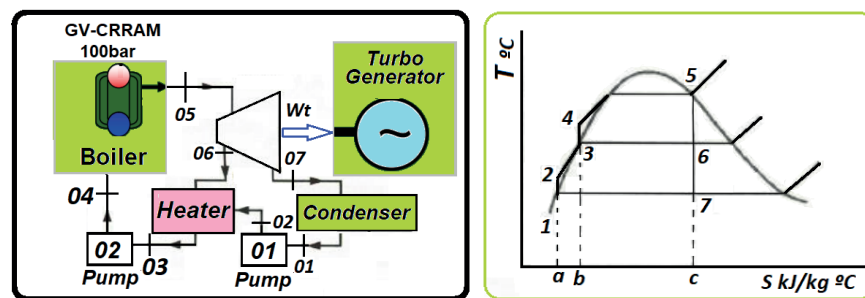


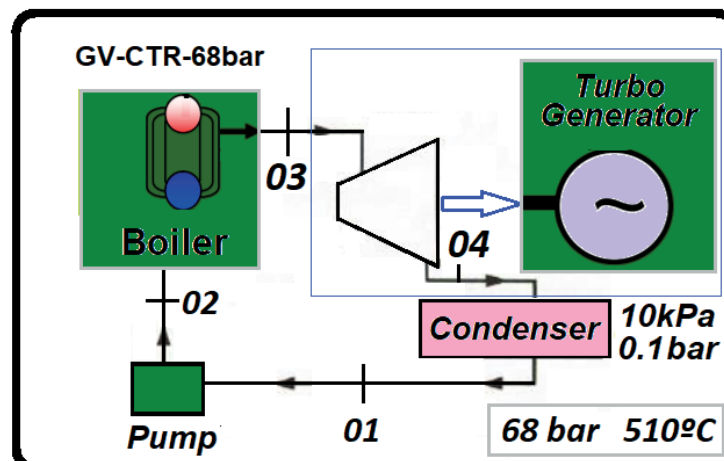
Figure 03 and 04: Regenerative Rankine Cycle with Mixing Heater and *Entropy & Temperature Curve*

Source: author, adapted from VAN WYLEN (2003).

### 3 | RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1 Traditional Rankine Cycle in 68 bar Sucreoenergetic Steam Generator (GV-CTR68bar)

The thermal efficiency determination, as a base factor for the electric power production, by thermoelectric plants powered by sugarcane biomass was determined for a sugarcane industry standard, here called GV-CTR-68bar, as shown in figure (05).





Traditional Rankine Cycle (CTR)					
enthalpy(h), entropy(s), specific volume(v)					
	h (kJ/kg)	s (kJ/kg.K)	s <sub>l</sub> (kJ/kg.K)	s <sub>lv</sub> (kJ/kg.K)	v (m <sup>3</sup> /kg)
1	191.81	.	.	.	0.00101
2	.	.	.	.	.
3	.	6.8441	.	.	.
4	.	.	0.6492	7.5010	.

Source: author with VAN WYLEN (2003) adaptations

Figure 05 and 06: the GV-CTR-68bar adopted model.

Source: author, adapted from VAN WYLEN (2003)

The thermal efficiency determination, as a base factor for the electric power production, by thermoelectric plants powered by sugarcane biomass was determined for a sugarcane industry standard, here called GV-CTR-68bar, as shown in figure (05).

$$w_{liq}/q_h = 1,261.92/3,238.13 = 38.97 \% \quad (19)$$

$$w_{liq} = w_t - w_b = 1,268.69 - 6.77 = 1,261.92 \text{ kJ/kg} \quad (20)$$

$$q_h = h_3 - h_2 = 3,436.70 - 198.57 \text{ kJ/kg} \quad (21)$$

$$h_2 = h_1 + f v \cdot dp = 198.57 \text{ kJ/kg} \quad (22)$$

$$w_b = v \cdot (p_2 - p_1) = 6.77 \text{ kJ/kg} \quad (23)$$

$$h_4 = h_{L4} + x_4 \cdot h_{LV4} = 2,168.01 \text{ kJ/kg} \quad (24)$$

$$w_t = h_3 - h_4 = 1,268.69 \text{ kJ/kg} \quad (25)$$

$$S_4 = S_3 = S_{L4} + x_4 \cdot S_{LV4} = 6.8441 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K} \quad (26)$$

$$x_4 = 0.8259 \quad (27)$$

The GV-CTR-68bar, used as a basis in this model, with simplifications, had a performance in the excess electricity exported generation / imported in the SIN, the 2016 harvest, as shown in figure 07.

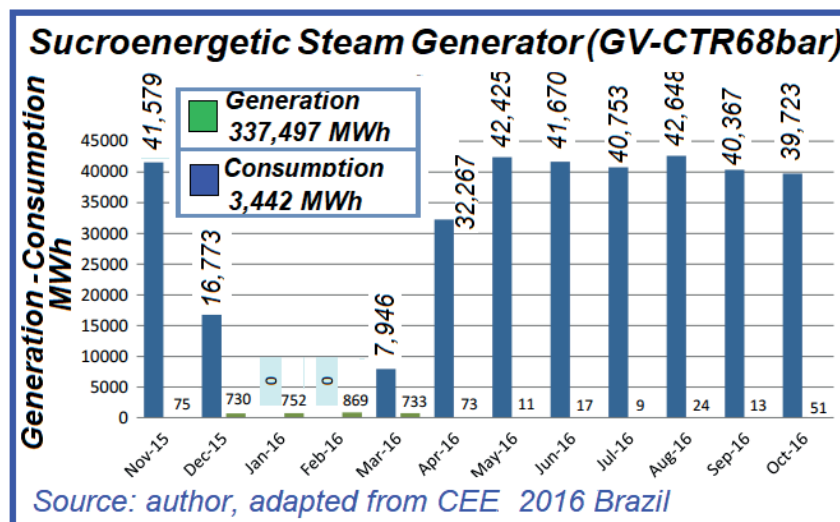


Figure 07 Electricity Excess exported / imported in SIN, 2016 harvest GV-CTR-68bar, LT 138 kV / UTE Boa Vista - SE Quirinópolis - GO.

The UTE Boa Vista energy consumption is, as from 2017, under a free contracting regime, belonging to Group A, Subgroup A2, Blue Rate Modality, with the seasonality benefit. It has a 38.9 MW Physical Guarantee for the year 2016. (DE ABREU, 2015; CCEE, 2016).

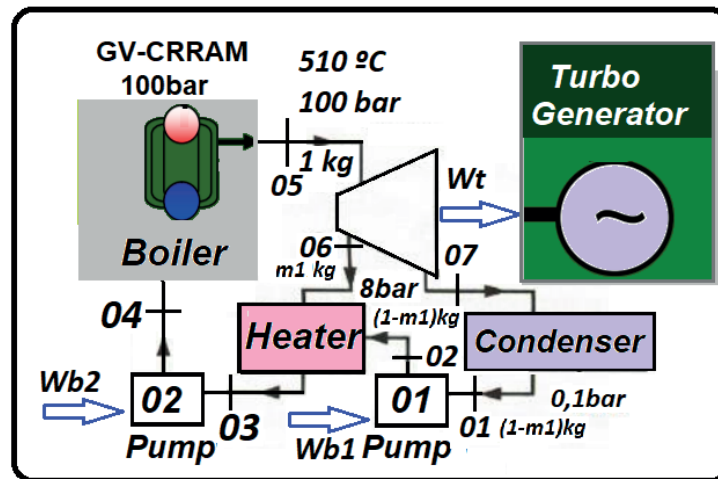
### 3.2 Regenerative Rankine Cycle with 100 bar Sucroenergetic Plant Steam Generator and Mixer Heater (GV-CRRAM 100 bar)

Shows up in the figure (08), the GV-CRRAM system 100 bar simplified structure, and figure (09), the parameters obtained from the steam tables, to obtain the theoretical efficiency, as shown in equations (28) to (40). Shows up in the figure 10 the excess electricity exported and imported balance in the SIN, 2016 harvest, by the UTE Boa Vista, whose is GV-CRR 100 bar generation system, which supplies the 138 kV (138 kV) electricity transmission line from UTE Boa Vista up to Electrical Substation (SE) Quirinópolis – GO (DE ABREU, 2015; CCEE, 2016).

The thermal efficiency improvement, shown in equations (19) and (28) from 38.97% to 42.80 %, was the base factor for the increase in the surplus electric energy production, as shown in figure (10). It is observed that despite a seemingly low 2.756 % efficiency increase  $[(1.4280 / 1.3897 - 1) \cdot 100]$ , an enormous surplus energy amount was generated, in the 86,499 MWh amount, representing 25.63 %, reflecting the efficiency improvement that affects all the biomass used, and the surplus electric energy generation, occurs only after meeting the energy Plant demands.

The total annual generation, after updating to GV-CRR 100 bar, resulted in 434,868 MWh, and considering net generation, including own consumption and the basic grid losses, resulted in 423,996 MWh. In order to adjust the new generation configuration due to this net generation increase, an amount to 9.87 MW in the Physical Guarantee was added to the existing 38.9 MW, totaling 48.77 MW. The proposed changes did not

significantly affect the unit's own electricity consumption, and for this reason it was not considered for modeling purposes. It is important to note that UTE Boa Vista will use the same biomass amounts in the current steam generator.



Regenerative Rankine Cycle with Mixing Heater (CRRAM) enthalpy (h), entropy (s), specific volume (v)

	h (kJ/kg)	s (kJ/kg.K)	s <sub>l</sub> (kJ/kg.K)	s <sub>v</sub> (kJ/kg.K)	v (m <sup>3</sup> /kg)
1	191.81	-	-	-	0.00101
2	-	-	-	-	-
3	721.10	-	-	-	0.001115
4	-	-	-	-	-
5	3,399.06	-	-	-	-
6	-	-	2.0461	4.6166	-
7	-	-	0.6493	7.5009	-

Source: author with VAN WYLEN (2003) adaptations

Figure 08 and 09 the GV-CRRAM 100bar, and values extracted from the steam tables

Source: author, adapted from VAN WYLEN (2003).

For the Rankine Thermal Cycle GV-CRRAM modality the efficiency calculation, as described in (2.2), was found the value of  $\eta_t$  (%) = 42.80%, being:

$$\eta_t (\%) = w_{liq}/q_h \quad 1,141.76/2,667.70 = 42.80 \% \quad (28)$$

$$w_{liq} = w_t - (1-m_1) \cdot w_{b1} - w_{b2} \quad 1,141.76 \text{ kJ/kg} \quad (29)$$

$$w_{b1} = h_2 - h_1 = \int v \cdot dp \quad 0.00101(800-10) = 0.80 \text{ kJ/kg} \quad (30)$$

$$h_2 = h_1 - w_{b1} \quad 191.9 - (-0.80) = 192.61 \text{ kJ/kg} \quad (31)$$

$$w_{b2} = h_4 - h_3 = \int v \cdot dp \quad 0.001115(10.000-800) = 10.26 \text{ kJ/kg} \quad (32)$$

$$h_4 = h_3 - w_{b2} \quad 721.10 - (-10.26) = 731.36 \text{ kJ/kg} \quad (33)$$

$$S_5 = S_6 = S_{L6} + x_6 \cdot S_{Lv6} \quad 6.6284 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K} \quad (34)$$

$$h_6 = h_{L6} + x_6 \cdot S_{Lv6} \quad 721.10 + 0.9832(2048) = 2,734.69 \text{ kJ/kg} \quad (35)$$

$$S_5 = S_7 = S_{L7} + x_7 \cdot S_{Lv7} \quad 6.6284 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K} \quad (36)$$

$$h_7 = h_{L7} + x_7 \cdot S_{Lv7} \quad 191.81 + 0.8051(2392.80) = 2,118.25 \text{ kJ/kg} \quad (37)$$

$$h_3 = m_1 \cdot h_6 + (1-m_1) \cdot h_2 \quad m_1 = 0.2079 \quad (38)$$

$$w_t = (h_5 - h_6) \cdot m_1 + (1-m_1) \cdot (h_5 - h_7) \quad 1,152.65 \text{ kJ/kg} \quad (39)$$

$$x_6 \quad 0.9832 \quad (40)$$

$$x_7 \quad 0.8051 \quad (41)$$

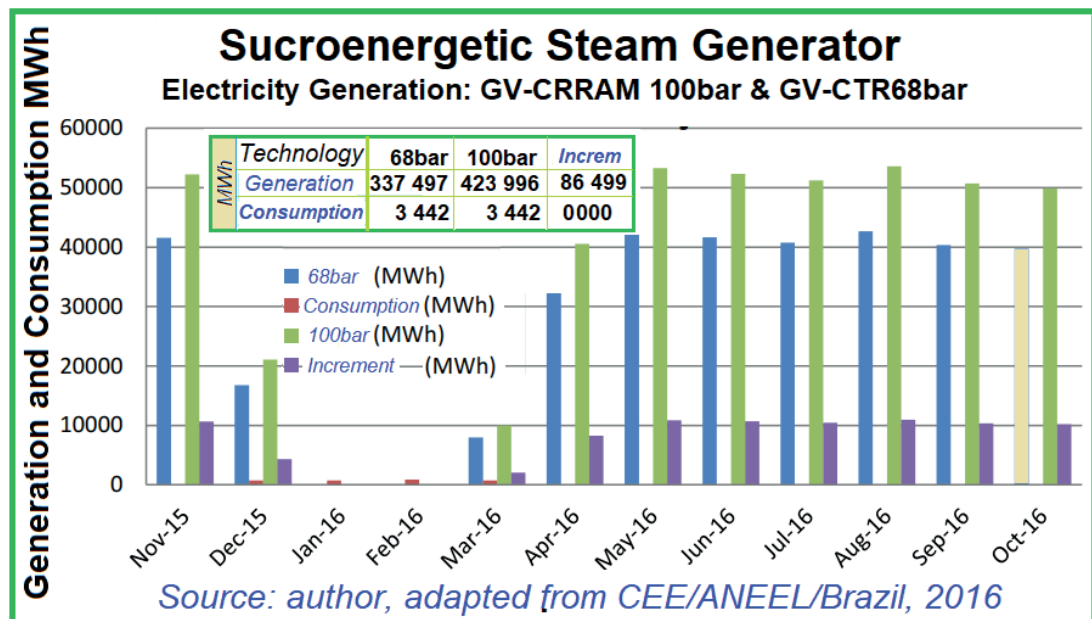


Figure (10) Annual balance, Electric Energy Surplus exported / imported in SIN, GV-CTR-68bar & GV-CTR100bar, 2016 harvest, 138 kV LT / UTE Boa Vista - Quirinópolis - GO

## 4 | CONCLUSIONS

Considering the technical aspects, the steam generator modernization is an extreme importance requirement, as shown in the model presented for the GV-CTR-68bar system by GV-CTR100 bar system, where an 2.756% efficiency increase the electricity surplus amount was 25.63%, or 86,499 MWh / harvest, equivalent to R\$ 15.57 million, for the MWh sold at CCEE at R\$ 180.00 / MWh. The biomass amount for the system operation was 212.80 ton / h (sugarcane bagasse tons per hour). The 68 bar and 100 bars units' yields were modeled with 38.97% and 42.80% efficiency. When assessing the economic and financial aspects, other issues can be considered, such as the necessary cost for the appropriate substitutions, according to the different technologies systems, since more current technologies may have non-linear costs for substitution and, therefore, the analysis should be taking this question into account.

## REFERENCES

ANEEL/EPE-DPG-SGB-BIOS; **Cenários de Oferta de Etanol e Demanda do Ciclo Otto** NT-02-2016 Data: 16 de setembro de 2016.

DE ABREU, D. I. P. **Memorial Descritivo UTE Boa Vista - Central Geradora Termelétrica**. Nukleon. Piracicaba, p. 16. 2015

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, PDE, 2022, **Plano Decenal de Expansão de Energia**

2022 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2013.

OLIVEIRA, C. A., **Cogeração a partir do Bagaço da Cana de Açúcar: Histórico, Situação Atual e Perspectivas para o Setor. Monografia**, UFSC, Programa de Pós-Graduação em Gestão do Setor Sucreenergético MTA, 2013, Sertãozinho, SP

SANTOS, R. D. D. **O Uso da Biomassa da Cana de Açúcar para Cogeração e Produção de Energia Elétrica: Análise Termodinâmica, Termo-econômica e Econômica**, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2014.

SMITH, J. M.; VAN NESS, H. C.; ABBOTT, M. M. **Introdução à Termodinâmica da Engenharia Química**. 7<sup>a</sup>. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

SOSA ARNAO, J. H, **Caldeiras Aquatubulares de Bagaço – Estudo do Sistema de Recuperação e Energia**, Tese de Doutorado, Unicamp, 2007

SOUZA, Z. J.; AZEVEDO, P. F., **Geração de energia elétrica excedente no setor sucroalcooleiro: um estudo a partir das usinas paulistas**, Rev. Econ. Sociol. Rural vol.44 n°.2 Brasília, 2006, ISSN 0103-2003.

SOUZA, Z. J.; AZEVEDO **Protocolo de Kyoto e co-geração no meio rural: configuração institucional e organizacional e perspectivas**. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 6., 2006, Campinas. *Proceedings online...*, P. F. Available from:<[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC000000022006000200036&lng=en&nrm=abn](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022006000200036&lng=en&nrm=abn)>. Access on: 18 Mar. 2017.

VAN WYLEN, G. J.; SONNTAG, R. E.; BORGNAKKE, C. **Fundamentals of Thermodynamics**. 6. ed. [S.I.]: Wiley, 2003.

## ANÁLISE DE CERTIFICADOS DIGITAIS EM DOMÍNIOS BRASILEIROS

### Matheus Aranha

Universidade Federal do Rio de Janeiro, PESC/  
COPPE

Rio de Janeiro - Rio de Janeiro

### Diogo Pereira

Laboratório Nacional de Computação Científica

Petrópolis - Rio de Janeiro

### Artur Ziviani

Laboratório Nacional de Computação Científica

Petrópolis - Rio de Janeiro

### Fábio Borges

Laboratório Nacional de Computação Científica

Petrópolis - Rio de Janeiro

**RESUMO:** Apresentamos um requisito de segurança e sua avaliação de segurança para um protocolo da Internet. Especificamente, este trabalho apresenta uma verificação das chaves RSA dos certificados digitais presentes nos domínios brasileiros que usam o protocolo HTTPS. Tal verificação depende da aleatoriedade na geração de números primos. Utilizamos conceitos de Teoria dos Grafos para obtermos três resultados baseados nos dados que coletamos de centenas de milhões de domínios. No primeiro resultado, realizamos uma iteração sobre os certificados, gerando centenas de milhões de verificações. Felizmente, mostramos que o HTTPS está seguro a este ataque. No segundo, mostramos

que muitos domínios partilham a mesma chave criptográfica. No terceiro, mostramos que apenas 1% das autoridades certificadoras são relevantes.

**PALAVRAS-CHAVE:** https, internet, segurança, iot

### HTTPS KEYS IN THE BRAZIL

**ABSTRACT:** We introduce a security requirement and its security assessment for an Internet protocol. Specifically, this work presents a verification of the RSA keys of digital certificates present in the Brazilian domains that use the HTTPS protocol. Such verification depends on randomness in the generation of prime numbers. We use Graph Theory concepts to get three results based on the data we collected from hundreds of millions of domains. In the first result, we performed an iteration on the certificates, generating hundreds of millions of verifications. Luckily, we show that HTTPS is safe from this attack. In the second, we show that many domains share the same cryptographic key. In the third, we show that only 1% of the certification authorities are relevant.

**KEYWORDS:** https, internet, security, iot

### 1 | INTRODUÇÃO

Fisicamente possuímos métodos que

permitem a autenticidade de nossas ações e comprovação de nossa identidade, seja por um documento emitido por um órgão oficial, amplamente reconhecido, ou seja, por uma assinatura física. De forma similar, os sites na internet também possuem formas que validam sua autenticidade, garantindo que a informação enviada pelo usuário ao site realmente será enviada ao destinatário correto. A forma mais utilizada para um site validar sua autenticidade é por meio da utilização de certificados digitais, certificados válidos garantem que o site em questão é realmente válido e seguro.

Certificados digitais são produzidos com algoritmos criptográficos assimétricos que geram as assinaturas digitais. Os algoritmos assimétricos mais usados na internet são o RSA (Rivest, Shamir e Adleman) introduzido por (RIVEST; SHAMIR; ADLEMAN, 1978) e os baseados em curvas elípticas que foram introduzidas simultaneamente por (KOBLOITZ, 1987) e (MILLER, 1986) como uma alternativa eficiente para gerar algoritmos assimétricos.

Basicamente, os certificados digitais são documentos digitais que possuem características únicas, como a chave pública de um site, informações inerentes ao site para o qual o certificado foi emitido, seu período de validade e informações relacionadas a sua autoridade certificadora. Em resumo, pode-se adquirir um certificado digital dirigindo-se a uma autoridade de registro que coleta os dados para produção do certificado digital e verifica a validade de tais dados. A autoridade de registro transmite um arquivo com os dados para uma autoridade certificadora que assina tal arquivo com sua chave privada, gerando o certificado digital. Podemos verificar a validade do certificado porque as chaves públicas das autoridades certificadoras estão embutidas no software que usamos, por exemplo, o próprio sistema operacional ou algum navegador (browser).

Neste trabalho, analisamos somente certificados que utilizam o RSA como algoritmo de criptografia. Além de ser muito utilizado em assinatura de certificados digitais, o RSA também é utilizado na transmissão segura de dados em sistemas comerciais, privacidade e autenticidade de e-mails, sistemas de pagamentos, cartões de crédito, entre outros sistemas, por conta disso as vulnerabilidades presentes no RSA são muito estudadas (BONEH, 1999).

Um dos requisitos de segurança do RSA é a aleatoriedade na geração dos números primos, ou seja, entropia alta. Algoritmos de geração de números pseudo aleatórios de baixa qualidade acabam gerando números primos repetidos, provocando uma vulnerabilidade em protocolos baseados no RSA, que tem módulo  $n=pq$  onde  $p$  e  $q$  são primos. Se, pelo menos, duas chaves públicas de RSA possuem um fator comum em seus módulos, o atacante que possuir tais chaves públicas pode utilizá-las para fatorar os módulos e conseqüentemente gerar a chave privada de cada um dos certificados. Usando esta técnica, (LENSTRA et al., 2012) e (BARBULESCU et al., 2016) conseguiram descobrir diversas chaves privadas geradas com RSA. No entanto, não fica claro se alguma das chaves comprometidas pertence ao domínio brasileiro, nem ao menos fica claro se alguma das chaves comprometidas era de certificados

usados no HTTPS (Hyper Text Transfer Protocol Secure). Faz-se necessário uma avaliação de segurança nos certificados gerados com RSA para o protocolo HTTPS.

Inicialmente, levantamos a hipótese que as chaves comprometidas foram geradas para outros protocolos, usando algoritmos inapropriados como no fato das chaves fracas em ambiente Linux, relatado por (YILEK et al., 2009). Felizmente, os domínios brasileiros com HTTPS passaram na avaliação de segurança. Note que tal avaliação de segurança deveria ser feita para cada novo certificado.

Outro ponto importante abordado neste trabalho está relacionado com a infraestrutura de chaves públicas, tais estruturas têm como principal núcleo as autoridades certificadoras, que são responsáveis pela manutenção dos certificados digitais (BRAUN et al., 2014). Em particular, grande parte dos certificados digitais confiáveis atuais estão concentrados em uma pequena quantidade de autoridades certificadoras, não sendo necessário grande parte das autoridades certificadoras existentes, permitindo a emissão de certificados com um índice maior de confiabilidade (BRAUN; RYNKOWSKI, 2013).

Neste trabalho, coletamos e extraímos informações presentes nos certificados digitais dos domínios brasileiros (com extensão .br) com intuito de verificar este requisito de segurança das chaves RSA que são transmitidas nos certificados. Além da verificação das chaves, outro ponto foi a realização de uma análise destes certificados, permitindo ter uma visão geral de como os certificados estão distribuídos nos domínios. Também foi possível analisar a distribuição e importância das autoridades certificadoras utilizadas pelos domínios brasileiros.

As demais seções deste trabalho estão organizadas da forma descrita a seguir. Na Seção 2, apresentamos a metodologia utilizada para execução do trabalho, assim como uma breve descrição das técnicas utilizadas. Na Seção 3, apresentamos os resultados obtidos com a verificação das chaves, também são apresentadas análises sobre os dados coletados e análise dos grafos gerados com os dados e seus respectivos resultados. Por fim, na Seção 4, apresentamos a conclusão deste trabalho e possíveis trabalhos futuros.

## **2 | METODOLOGIA**

Esta seção apresenta informações sobre a obtenção dos certificados, sobre o requisito de segurança e sua respectiva avaliação de segurança das chaves criptográficas do RSA no HTTPS.

### **2.1 Coleta dos certificados digitais e extração das informações**

O processo de coleta dos dados dos certificados digitais que utilizam o RSA foi limitado somente para domínios que possuem extensão .br, registrados entre os anos de 2012 e 2013, disponíveis no site <https://dnscensus2013.neocities.org>.



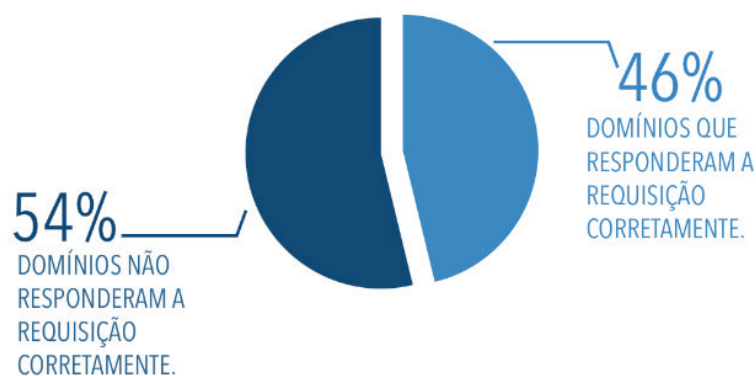


Figura 1 - Taxa de sucesso e erro das requisições.

Para domínios brasileiros, foi totalizado uma quantidade de 572.506 domínios registrados na base de dados utilizada, onde apenas 264.511 responderam de forma satisfatória a requisição para obtenção das chaves públicas do RSA nos certificados, o restante dos domínios, totalizando 307.995 domínios, apresentaram erros de requisição (tempo expirado, domínio inválido, entre outros erros), impossibilitando a coleta dos dados dos certificados. A Figura 1 apresenta a relação entre sucesso e falhas na coleta das chaves pública do RSA nos certificados brasileiros.

Em relação aos domínios que responderam de forma satisfatória a requisição dos certificados digitais, realizamos uma categorização de acordo com os padrões utilizados pelo domínio .br, obtendo uma noção de como os domínios brasileiros que possuem certificados válidos estão distribuídos, tal categorização pode ser observada na Figura 2.

Para o processo de categorização foram utilizados os padrões registrados pelo domínio .br, disponível em <https://registro.br/dominio/categoria.html>. Por isto, utilizamos as categorias “Genéricos”, “Universidades”, “Com restrição” e “DNSSEC obrigatório”. Os domínios contabilizados na categoria “Outros” são domínios que não se enquadram nas categorias mencionadas.

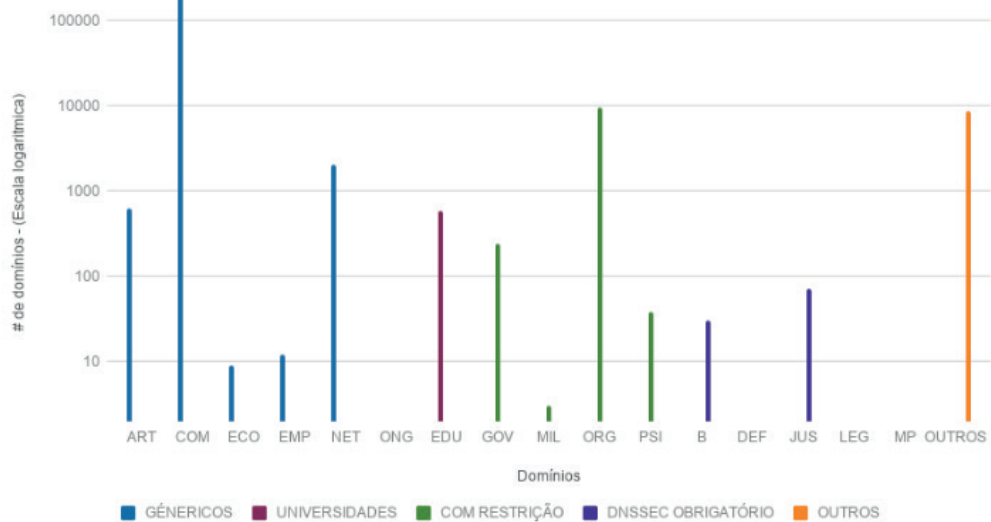


Figura 2 - Categoria de domínios brasileiros em escala logarítmica dos certificados coletados.

Durante o processo de coleta dos certificados foram extraídas informações importantes para verificação e análise, tais como: autoridade certificadora, domínios associados ao certificado, validade do certificado e algoritmo de hash utilizado, além de expoente e módulo de cada chave pública do RSA. As informações extraídas foram armazenadas em um dataset, utilizado posteriormente no processo de verificação e análise dos dados.

Para a coleta, extração dos certificados e criação do dataset, escrevemos um script em Python que utiliza a biblioteca `asn1crypto.x509` (WBOND, 2018). O script utilizado pode ser obtido em <https://github.com/mattslv/rsa-sanity-check>.

## 2.2 Avaliação de segurança das chaves rsa no https de domínios brasileiros

Após a extração do módulo de cada chave RSA nos certificados digitais, foi realizado a verificação das chaves RSA que consiste no cálculo do máximo divisor comum (MDC) de todos os módulos combinados dois a dois utilizando o algoritmo de Euclides, obtendo como saída os módulos cujo MDC fosse maior que 1. Lembre-se que cada módulo deveria ter no mínimo 1024 bits, ou seja, um número de aproximadamente 309 dígitos em decimal. No entanto, observamos que 101 certificados estão abaixo do número mínimo de bits aceitos para uma chave RSA. Tabela 1 mostra a frequência do tamanho dos módulos de chaves RSA nos certificados. (BORGES DE OLIVEIRA, 2017) e (TÉLLEZ; BORGES, 2018) apresentam uma relação entre o tamanho das chaves do RSA e seu respectivo nível de segurança.

Tamanho dos módulos	Quantidade de certificados
<b>512 bits</b>	101 certificados
<b>1024 bits</b>	4.848 certificados
1040 bits	1 certificados
2018 bits	1 certificados

2046 bits	1 certificados
<b>2048 bits</b>	251.080 certificados
2058 bits	1 certificados
2096 bits	1 certificados
2432 bits	1 certificados
3072 bits	14 certificados
<b>4096 bits</b>	8.462 certificados

Tabela 1 - Tamanho dos módulos e suas quantidades nos certificados.

Apesar dos tamanhos de chaves inapropriados, observamos que todos os expoentes dos domínios coletados têm valores iguais a 65.537, mostrando que os certificados digitais dos domínios brasileiros estão em conformidade com valores amplamente utilizado no RSA. (LENSTRA et al., 2012) e (BARBULESCU et al., 2016) encontraram expoentes com outros valores em outros protocolos. Felizmente, nenhum certificado usa a função de hash MD5. A Figura 3 mostra a porcentagem das frequências das funções de hash encontradas nos certificados.

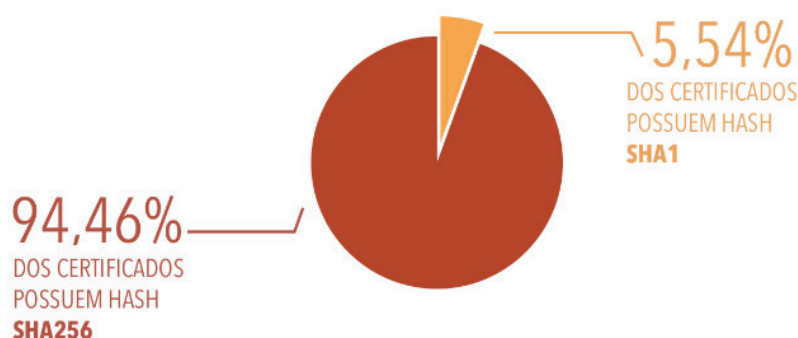


Figura 3 - Algoritmos de hash utilizados nos certificados.

No total foram calculados 415.080.078 funções MDC. Note que o MDC tem complexidade polilogarítmica, sendo muito mais rápido que algoritmos de fatoração, e portanto, já foi usado em ataques ao RSA (BORGES, 2008).

De fato, este ataque apresenta uma forma de descobrir os fatores de módulos que eventualmente tenham algum fator em comum. Vários outros algoritmos criptográficos usam produtos de primos nos módulos (BORGES; LARA; PORTUGAL, 2017), conseqüentemente, também podem ser atacados com a mesma estratégia. Neste caso, a segurança é baseada na aleatoriedade dos números primos que compõem os módulos.

Para o cálculo do MDC entre os módulos, escrevemos um script usando a biblioteca gmpy2 (MARTELLI, 2017) que possibilita operações aritméticas de múltipla precisão, o script pode ser obtido em <https://github.com/mattslv/rsa-sanity-check>.

### 3 | DISCUSSÕES E RESULTADOS

Esta seção apresenta discussões e resultados obtidos após a coleta e verificação dos dados extraídos dos certificados digitais. Foram realizadas análises das informações extraídas dos certificados digitais utilizando conceitos de Teoria dos Grafos e analisando a distribuição de grau, centralidade e modularidade dos grafos gerados com os dados.

Ao longo deste trabalho foram gerados grafos com representações distintas, utilizando parte das informações obtidas na Seção 2. Para cada grafo gerado, foram utilizadas diferentes representações de dados, possibilitando diferentes análises com o mesmo conjunto de dados. Especificamente, geramos três grafos a partir dos dados coletados.

No primeiro grafo, utilizamos apenas as chaves que possuem módulos únicos, com intuito de verificar a existência de certificados que possuem módulos com MDC maior que um. No segundo grafo, utilizamos os módulos e domínios dos certificados, com intuito de verificar se os domínios partilham ou não o mesmo módulo. No terceiro grafo, utilizamos como base os domínios e os nomes das suas autoridades certificadoras com a finalidade de verificar a quantidade de domínios por autoridade certificadora.

Tais representações através dos grafos podem ser observadas com mais detalhes nas seções abaixo, bem como seus respectivos resultados.

#### 3.1 Primeira representação por grafo

Na primeira representação utilizada na análise, consideramos como nós os módulos únicos extraídos dos certificados digitais. Consideramos como arestas a existência de um MDC maior que 1 entre ambos.

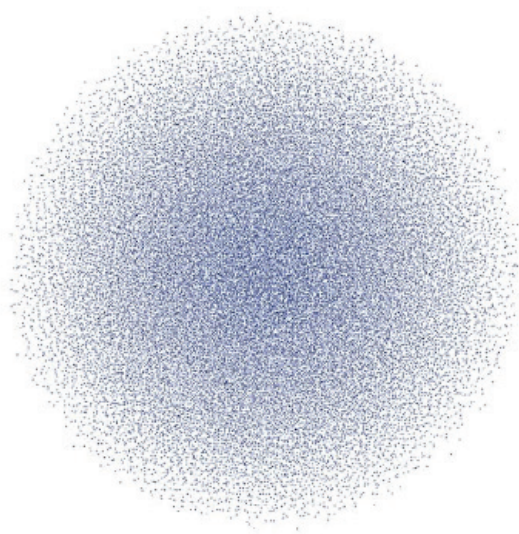


Figura 4 - Grafo gerado pelo MDC entre os módulos únicos.

Durante o processo de verificação do requisito de segurança das chaves não foi encontrado MDC maior que um entre os módulos obtidos, desta forma, foi obtido um grafo com um total de 28.813 nós e nenhuma aresta entre os nós, com grau médio igual a zero, i.e., sem conexão. A Figura 4 apresenta o grafo obtido. É notável observar na figura que foi obtida uma nuvem desconexa de pontos, não existindo componentes ligados entre os nós do grafo.

Para o âmbito de segurança, temos um ótimo resultado. Mostrando que os algoritmos utilizados para geração de números aleatório nos domínios brasileiros são satisfatórios, e conseqüentemente, os domínios não são vulneráveis entre si a esta classe de ataques. No entanto, quanto maior o número de módulos coletados, o ataque efetua mais verificações aumentando a chance de sucesso do ataque. Portanto, estamos trabalhando para coletarmos todos os módulos presentes no HTTPS.

### 3.2 Segunda representação por grafo

Foi gerada um grafo bipartido, onde os nós utilizados na primeira representação foram trocados de módulos únicos por módulos e endereços dos domínios (URLs - Uniform Resource Locators) extraídos dos certificados digitais. Com essa nova representação, foi obtido um grafo com um total de 292.824 nós e 264.511 arestas, com grau médio igual a 0,903.

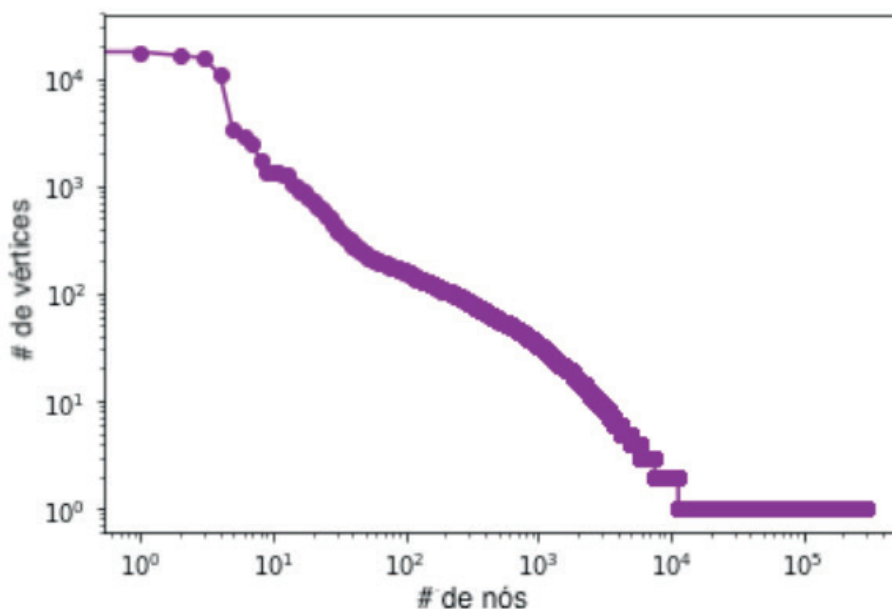


Figura 5 - Distribuição de grau do grafo gerado em escala logarítmica.

Por meio da Figura 5, podemos observar a distribuição de grau gerada. Analisando a imagem, podemos perceber muitos nós possuindo uma concentração muito alta de arestas, ou seja, existem muitos módulos que possuem conexão com vários domínios, mostrando que uma grande quantidade de domínios brasileiros (na grandeza de 10<sup>4</sup>) partilham o mesmo módulo. Conseqüentemente, quem tem

conhecimento uma única chave destas quatro maiores concentrações, tem acesso as transações de dezenas de milhares de sites brasileiros que usam o HTTPS.

(BARABÁSI; PÓSFAL, 2016) apresentam que este tipo de grafo segue um modelo de rede complexa de escala livre regida por uma lei de potência, sendo bastante vulnerável a ataques direcionados. Sendo assim, um ataque direcionado aos nós que possuem uma grande quantidade de domínios associados podem fazer um grande estrago, por exemplo, o vazamento da chave privada ou a fatoração de um módulo da chave do RSA associado a milhares de domínios causaria um grande impacto para estes domínios.

Apesar de a grande maioria dos domínios terem apenas um módulo, para a área de segurança, o ideal seria a existência de um módulo diferente para cada domínio registrado, não havendo este compartilhamento de módulos entre os domínios.

### 3.3 Terceira representação por grafo

Utilizamos os nomes das autoridades certificadoras e os domínios como nós para gerar um grafo bipartido. As arestas são relações entre autoridades e módulos. A partir desta representação, obtivemos um grafo com 29.161 nós e 28.321 arestas, com grau médio igual a 0,971.

É possível observar na Figura 6 que existe uma pequena quantidade de autoridades certificadoras que são responsáveis pela certificação da grande maioria dos domínios brasileiros. Também é possível visualizar que o grafo segue um padrão parecido com o do grafo anterior, ou seja, o grafo também é suscetível a ataques direcionados, sendo prejudicial se um atacante direcionar um ataque para uma autoridade certificadora responsável por muitos certificados digitais. Contrariamente, é muito melhor que se tenha poucas autoridades para confiar. (BRAUN; RYNKOWSKI, 2013) defendem que é muito mais fácil auditar e confiar em um número pequeno de certificadoras do que em um número muito alto.

Outro ponto importante a ser observado, caso 99% das autoridades certificadoras menos influentes que atuam nos domínios brasileiros fossem retiradas, aproximadamente 90% dos domínios que possuem certificados digitais ainda seriam certificados por uma autoridade válida, corroborando o ponto mostrado por (BRAUN; RYNKOWSKI, 2013). Em particular, os certificados poderiam ser distribuídos baseados na localidade geográfica, seguindo um modelo similar ao DNS (Domain Name System).

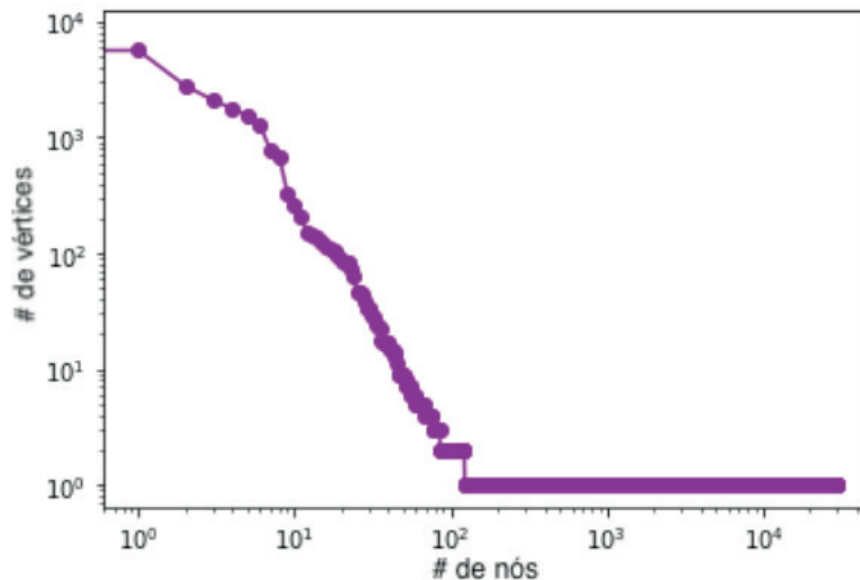


Figura 6 - Distribuição de grau do grafo gerada em escala logarítmica.

Outra análise realizada para este grafo foi o cálculo de modularidade, onde foi obtido uma modularidade igual a 0,858 com um total de 849 comunidades formadas, mostrando que o grafo obtido tem alta chance de formar comunidades com nós de características parecidas, ou seja, grandes autoridades certificadoras tendem a continuar atuando e certificando grande parte dos certificados digitais. A distribuição de nós e modularidade pode ser observada na Figura 7.

#### 4 | CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho apresenta a realização da avaliação de segurança de um requisito de segurança das chaves do RSA presentes nos certificados digitais dos domínios com extensão .br. No processo de verificação, fizemos uma análise através de Teoria dos Grafos e encontramos um resultado diferente de outros trabalhos na literatura. A diferença deve ser devida aos algoritmos de geração de números pseudo aleatórios de outros protocolos.

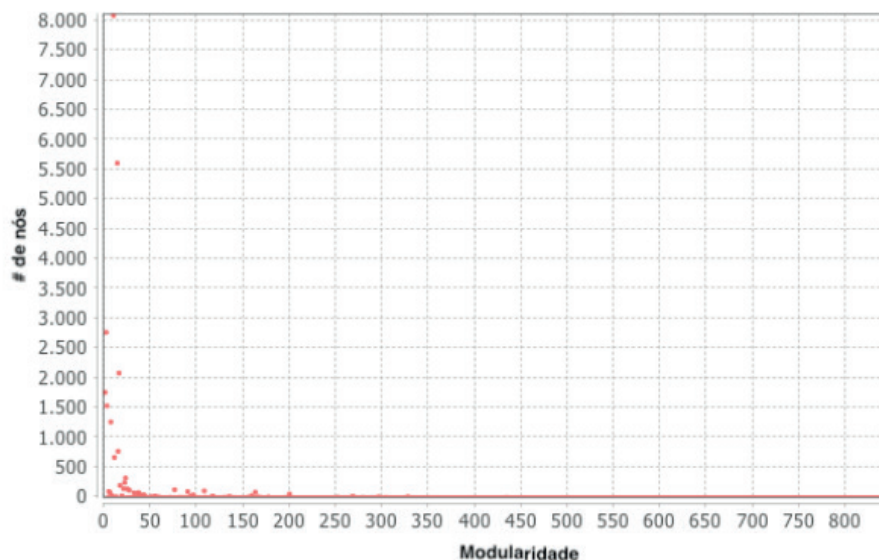


Figura 7. Distribuição de nós por modularidade do grafo gerado.

Mostramos na seção 3.1 que os domínios brasileiros estão livres entre si desta classe de ataques utilizando o módulo das chaves nos certificados. Porém, é preciso realizar esta verificação em um escopo maior, pois a amostra utilizada é relativamente pequena para tirar conclusões definitivas.

Mostramos na seção 3.2 que grande parte dos domínios brasileiros partilham os mesmos módulos e conseqüentemente os mesmos certificados, o que gera um grande problema de segurança, bastando que a chave privada de apenas um seja exposta para prejudicar os demais domínios pertencentes ao mesmo grupo.

Por fim na seção 3.3, mostramos a existência de uma concentração muito grande das autoridades certificadoras, sendo possível visualizar que grande parte dos domínios brasileiros são certificados por poucas autoridades. Temos que 99% das autoridades certificadoras dos certificados coletados são irrelevantes atualmente para manter os domínios brasileiros certificados.

É interessante realizar as mesmas análises para todos os domínios da Internet, principalmente a verificação das chaves RSA. Já estamos trabalhando nesta direção. Estamos buscando também a realização de outras representações, através de grafos, com os dados extraídos.

## REFERÊNCIAS

BARABÁSI, A.-L.; PÓSFAL, M. **Network science**. Cambridge: Cambridge University Press, 2016.

BARBULESCU, Mihai et al. RSA weak public keys available on the Internet. In: **International Conference for Information Technology and Communications**. Springer, Cham, 2016. p. 92-102.

BONEH, Dan et al. Twenty years of attacks on the RSA cryptosystem. **Notices of the AMS**, v. 46, n. 2, p. 203-213, 1999.



BORGES DE OLIVEIRA, Fábio. Selected Privacy-Preserving Protocols. In: **On Privacy-Preserving Protocols for Smart Metering Systems**. Springer, Cham, 2017. p. 61-100.

BORGES, F. Um Novo Algoritmo Probabilístico para Fatoração de Inteiros com Primos Relativamente Distantes. In: **Anais do VIII SBSEG – Simpósio Brasileiro em Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais**. SBC, 2008. p. 269-270.

BORGES, Fábio; LARA, Pedro; PORTUGAL, Renato. Parallel algorithms for modular multi-exponentiation. **Applied Mathematics and Computation**, v. 292, p. 406-416, 2017.

BRAUN, Johannes et al. CA trust management for the web PKI. **Journal of Computer Security**, v. 22, n. 6, p. 913-959, 2014.

BRAUN, Johannes; RYNKOWSKI, Gregor. The potential of an individualized set of trusted cas: Defending against ca failures in the web pki. In: **2013 International Conference on Social Computing**. IEEE, 2013. p. 600-605.

KOBLITZ, Neal. Elliptic curve cryptosystems. **Mathematics of computation**, v. 48, n. 177, p. 203-209, 1987.

LENSTRA, Arjen et al. **Ron was wrong, Whit is right**. IACR, 2012.

MARTELLI, A. **gmpy2 Library**. <https://github.com/aleaxit/gmpy2> Library, 2017. Disponível em: <<https://github.com/aleaxit/gmpy2>>

MILLER, Victor S. Use of elliptic curves in cryptography. In: **Conference on the theory and application of cryptographic techniques**. Springer, Berlin, Heidelberg, 1985. p. 417-426.

RIVEST, Ronald L.; SHAMIR, Adi; ADLEMAN, Leonard. A method for obtaining digital signatures and public-key cryptosystems. **Communications of the ACM**, v. 21, n. 2, p. 120-126, 1978.

TÉLLEZ, Claudio; BORGES, Fábio. Trade-off between Performance and Security for Supersingular Isogeny-Based Cryptosystems. In: **Anais do XVIII Simpósio Brasileiro em Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais**. SBC, 2018. p. 113-126.

WBOND. **asn1crypto Library**. <https://github.com/wbond/asn1crypto> GitHub, 2018. Disponível em: <<https://github.com/wbond/asn1crypto>>

YILEK, Scott et al. When private keys are public: Results from the 2008 Debian OpenSSL vulnerability. In: **Proceedings of the 9th ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement**. ACM, 2009. p. 15-27.

## ANÁLISE DO IMPACTO DO ROTEAMENTO ALTERNATIVO EM REDES ÓPTICAS ELÁSTICAS TRANSLÚCIDAS CONSIDERANDO DIFERENTES CENÁRIOS DE DEGRADAÇÃO DA QUALIDADE DE TRANSMISSÃO

### **Arthur Hendricks Mendes de Oliveira**

Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Engenharia Elétrica e Informática, Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica  
Campina Grande - Paraíba

### **Helder Alves Pereira**

Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Engenharia Elétrica e Informática, Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica  
Campina Grande – Paraíba

**RESUMO:** Este capítulo apresenta uma avaliação do impacto de se considerar o algoritmo clássico de roteamento alternativo em diferentes cenários e topologias de redes ópticas elásticas translúcidas. Para isso, considerou-se o ruído de emissão espontânea amplificada gerado nos amplificadores ópticos (de potência, de linha e pré-amplificador), dispostos ao longo dos nós e enlaces da rede, formatos de modulação e taxas de transmissão de bit diferentes para as solicitações de chamada. O desempenho foi avaliado em termos da probabilidade de bloqueio de chamadas em função do número de regeneradores instalados na rede. Os resultados mostram que, além de se considerar um conjunto de rotas alternativas para o estabelecimento das chamadas, deve-se considerar também a política de utilização de regeneradores para otimizar o número de chamadas estabelecidas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Algoritmo de Roteamento Alternativo, Algoritmo de Utilização de Regeneradores, Rede Óptica Elástica Translúcida.

### ANALYSIS OF THE IMPACT OF ALTERNATIVE ROUTING IN TRANSLUCENT ELASTIC OPTICAL NETWORKS CONSIDERING DIFFERENT QUALITY OF TRANSMISSION DEGRADATION SCENARIOS

**ABSTRACT:** This chapter presents an analysis of the impact of considering the classical alternative routing in different scenarios of translucent elastic optical networks. We considered in our simulations the amplified spontaneous emission noise generated in the optical amplifiers (power amplifier, in-line and preamplifier), presented along the nodes and network links, modulation formats and different transmission bit rates for the call requests. The performance was evaluated in terms of the blocking probability of call requests as a function of the number of regenerators installed in the network. The results show that, in addition of considering a set of alternative routes for call request establishment, one should also consider the policy of assigning regenerators to optimize the number of established call requests.

**KEYWORDS:** Regenerator Assignment Algorithm, Routing Algorithm, Translucent

## 1 | INTRODUÇÃO

A propagação de um sinal óptico em uma rede óptica elástica (EON – *Elastic Optical Network*) tem a característica de utilizar a largura de banda de acordo com a taxa de transmissão de bit solicitada e o formato de modulação utilizado. Dessa forma, redes EONs proporcionam uma maior flexibilidade na admissão de chamadas, fornecendo maior eficiência, em termos de utilização do espectro de frequência, quando comparadas com as redes ópticas que utilizam a multiplexação por comprimento de onda (WDM – *Wavelength Division Multiplexing*) (CHATTERJEE et al., 2015).

Entretanto, ao passo que o sinal óptico se propaga na rede, independente do tipo de rede óptica considerada, pode ocorrer a degradação da qualidade de transmissão do sinal (QoT – *Quality of Transmission*) (CAVALCANTE et al., 2015). Dessa maneira, há necessidade de se utilizar recursos de regeneração, ao longo dos caminhos ópticos (*lightpaths*), por meio de nós que apresentam essa característica (nós translúcidos), visando regenerar a qualidade do sinal óptico transmitido e estabelecer o maior número de chamadas (CAVALCANTE et al., 2017a; CAVALCANTE et al., 2017b). Dessa forma, em redes ópticas translúcidas, surgem duas situações importantes, em termos de recursos de regeneração, são elas (CAVALCANTE et al., 2017a; CAVALCANTE et al., 2017b): (1) atribuir de forma eficiente nós com capacidade de regeneração (RPP – *Regenerator Placement Problem*) e (2) utilizar de forma eficiente os recursos de regeneração disponíveis no nós translúcidos (RAP – *Regenerator Assignment Problem*).

Este capítulo tem como contribuição a análise do desempenho do algoritmo de roteamento alternativo clássico, o algoritmo de Yen (YEN, 1970), aplicado em diversos cenários de degradação da QoT, quando se considera duas políticas de utilização de regeneradores em três topologias diferentes e bem conhecidas na literatura de redes ópticas elásticas. Para isso, considerou-se o ruído de emissão espontânea amplificada (ASE – *Amplified Spontaneous Emission*), gerado nos amplificadores ópticos dispostos nos nós e enlaces da rede, como penalidade física, além de diferentes taxas de transmissão de bit e formatos de modulação.

## 2 | ESTRATÉGIADEROTEAMENTOALTERNATIVOCLÁSSICOECONSIDERAÇÕES SOBRE AS SIMULAÇÕES

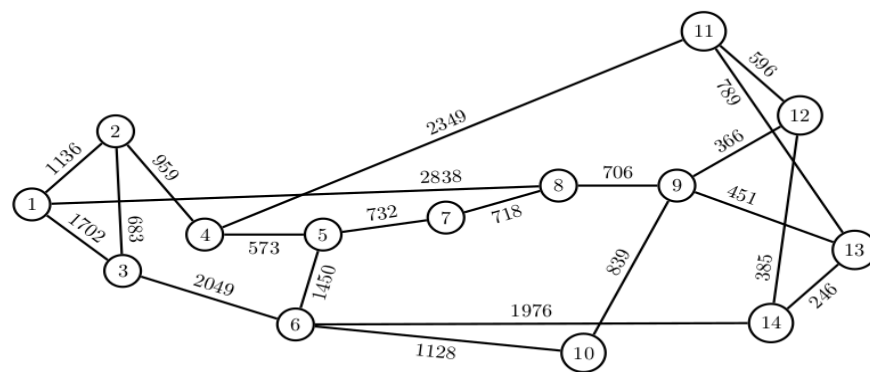
Neste capítulo, considerou-se o algoritmo de roteamento clássico alternativo de Yen (YEN et al., 1970), para se analisar o desempenho de três topologias bem conhecidas na literatura, em dois cenários de degradação da QoT. Para análise de desempenho da rede, em termos de probabilidade de bloqueio de chamadas, foram

consideradas até 5 rotas alternativas ( $k=5$ ).

Nas simulações, foram utilizadas três topologias bem conhecidas na literatura, são elas (CAVALCANTE et al., 2017a): (1) NSFNet, (2) *US Backbone* e (3) Europeia, conforme ilustrado na Figura 1. Os ganhos dos amplificadores ópticos foram dimensionados de modo a compensar exatamente as perdas dos nós e enlaces da rede. Cada nó possui arquitetura denominada de comutação de espectro (*spectrum switching*), adaptada para utilização de regeneradores (CAVALCANTE et al., 2015).

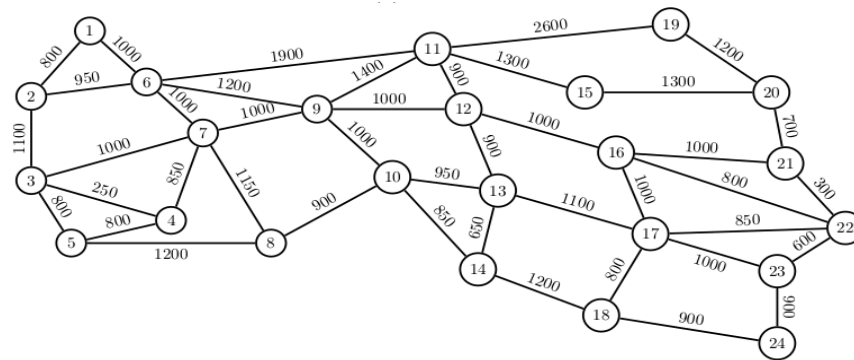
A relação sinal-ruído óptica obtida no nó destino ( $OSNR_{RX}$ ) pode ser calculada conhecendo-se os valores das perdas nos dispositivos, dos ganhos e do ruído ASE gerado nos amplificadores ópticos, levando-se em conta a taxa de transmissão de bit e o formato de modulação (CAVALCANTE et al., 2015). Assumiu-se ainda que: (1) as chamadas solicitadas seguem uma distribuição poissoniana, (2) a duração de cada chamada estabelecida segue uma distribuição exponencial e (3) a seleção dos pares fonte-destino e da taxa de transmissão de bit, para um dado pedido de requisição de chamada, seguem uma distribuição uniforme. Para um determinado pedido de requisição de chamada, o algoritmo de roteamento de menor distância física (SP – *Shortest Path*) e o de atribuição espectral de primeiro preenchimento (FF – *First Fit*) verificam se a chamada pode ser estabelecida (ZANG et al., 2000).

Foram considerados dois algoritmos de utilização de regeneradores (CAVALCANTE et al., 2017a; CAVALCANTE et al., 2017b): (1) o de maior alcance transparente (FLR – *First Longest Reach*) e (2) o de melhor utilização espectral (FNS – *First Narrowest Spectrum*). Assumiu-se também que os regeneradores podem, além de regenerar o sinal óptico, realizar conversão espectral e de formato de modulação.



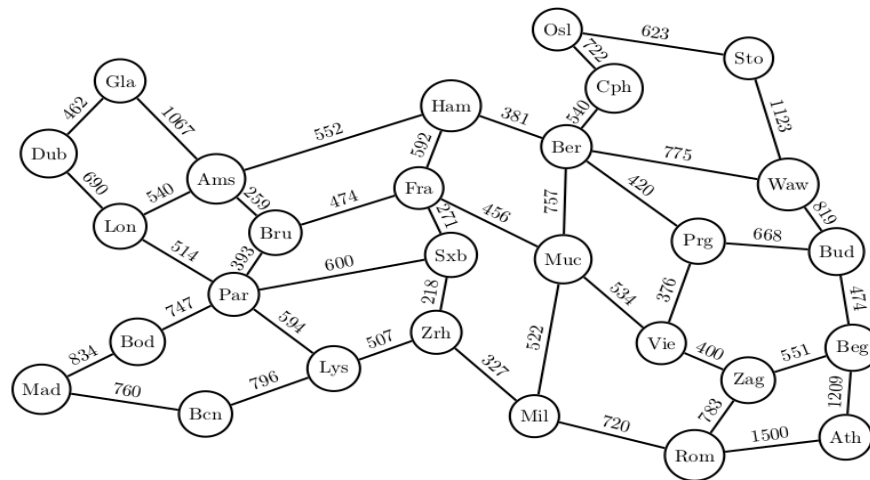
(a) NSFNet.

NSFNet.



(b) US Backbone.

(b) US Backbone.



(b) European.

(c) Europeia.

Figura 1: Topologias de redes ópticas translúcidas consideradas e bem conhecidas na literatura: (a) NSFNet, (b) US Backbone e (c) Europeia.

Os valores dos parâmetros utilizados nas simulações foram os seguintes: (1) espaçamento de 60 e 70 km ( $P_1$  e  $P_2$ ) entre amplificadores de linha (*span length*) foram utilizados para as topologias NSFNet e Europeia, e 50 e 60 km para a topologia US Backbone, de modo que  $P_1$  representa o cenário em que é possível obter *lightpaths*, entre qualquer par fonte-destino da rede, sem necessidade de se utilizar recursos de regeneração e  $P_2$  o cenário em que é necessário a utilização de recursos de regeneração para estabelecer conexões na rede, (2) 50% dos nós com capacidade de regeneração, obtidos por meio da utilização do algoritmo de prioridade do grau do nó (NDF – *Node Degree First*) (CAVALCANTE et al., 2017b), (3) carga da rede igual a 800 Erlangs para as topologias Europeia e US Backbone e 700 Erlangs para a NSFNet, (4) 320 slots por enlace, (5) formatos de modulação utilizados: 4, 8, 16, 32 e 64-QAM, (6) taxa de transmissão de bit de 100 a 500 Gbps com distribuição uniforme, (7) 12,5 GHz de largura de banda de um slot, (8) 12,5 GHz de largura de banda de referência, (9) 5 dB de figura de ruído nos amplificadores ópticos, (10) 0 dBm de potência de entrada do sinal óptico e (11) 30 dB de OSNR na transmissão ( $OSNR_{TX}$ ). As simulações foram realizadas utilizando-se o software de código aberto SimEON

(CAVALCANTE et al., 2017c). Todos os parâmetros utilizados nas simulações estão descritos na Tabela 1.

Parâmetros	Valor
Frequência central	193,4 THz
Fator de ruído dos amplificadores ópticos	5 dB
Relação sinal-ruído óptica de entrada	30 dB
Potência óptica de entrada	0 dBm
Perdas nos elementos de comutação	5 dB
Formatos de modulação utilizados	4, 8, 16, 32 e 64-QAM
Relação sinal-ruído óptica por bit	6,8; 8,6; 10,5; 12,6 e 14,8 [dB] para 4, 8, 16, 32 e 64-QAM, respectivamente
Carga da rede	700 Erlang (NSFNet) e 800 Erlang ( <i>US Backbone</i> e Europeia)
Número de <i>slots</i> de frequência por enlace	320
Largura de banda de referência	12,5 GHz
Largura de banda do <i>slot</i>	12,5 GHz
Taxas de bits de transmissão	100 até 500 Gbps com distribuição uniforme

Tabela 1: Parâmetros utilizados nas simulações.

### 3 | RESULTADOS

A Figura 2 mostra a probabilidade de bloqueio de chamadas em função do número de regeneradores por nó, considerando o algoritmo de roteamento clássico de Yen (YEN, 1970) aplicado aos algoritmos de utilização de regeneradores FLR e FNS para as topologias NSFNet, *US Backbone* e Europeia nos cenários de degradação da QoT do sinal óptico propagante ( $P_1$  e  $P_2$ ).

Nota-se que existe um ponto de encontro entre as estratégias FLR e FNS, independente do número de rotas alternativas utilizadas. Isso constata resultados observados na literatura de redes ópticas elásticas translúcidas (CAVALCANTE et al., 2017a; CAVALCANTE et al., 2017b). A estratégia FLR apresenta melhor desempenho em cenários de escassez de recursos de regeneração e a FNS quando esses recursos de regeneração são abundantes na rede (CAVALCANTE et al., 2017a; CAVALCANTE et al., 2017b).

Em todas as topologias e cenários analisados neste capítulo, percebe-se que o aumento no número de rotas alternativas permite melhorar o desempenho da rede em termos de probabilidade de bloqueio de chamadas. Considerando a Figura 1(a), utilizar YEN-FNS-5 melhora em 3 ordens de grandeza o resultado obtido com YEN-FLR-1 em um cenário de recursos abundantes de regeneração (melhor caso). Considerando a Figura 1(b), YEN-FNS-5 resulta em uma melhoria de 4 vezes em comparação com o resultado obtido com YEN-FLR-1 (pior caso). Esse comportamento

também é observado nas outras duas topologias (*US Backbone* e *Europeia*). É importante perceber também que, adotando-se a estratégia YEN-FLR-5 em qualquer cenário ( $P_1$  e  $P_2$ ), obtêm-se resultados melhores, em termos de probabilidade de bloqueio de chamadas, que qualquer outra estratégia de roteamento analisada que utilize a política de utilização de regeneradores FNS e considere um número de rotas alternativas menor, ou igual, que 3 ( ).

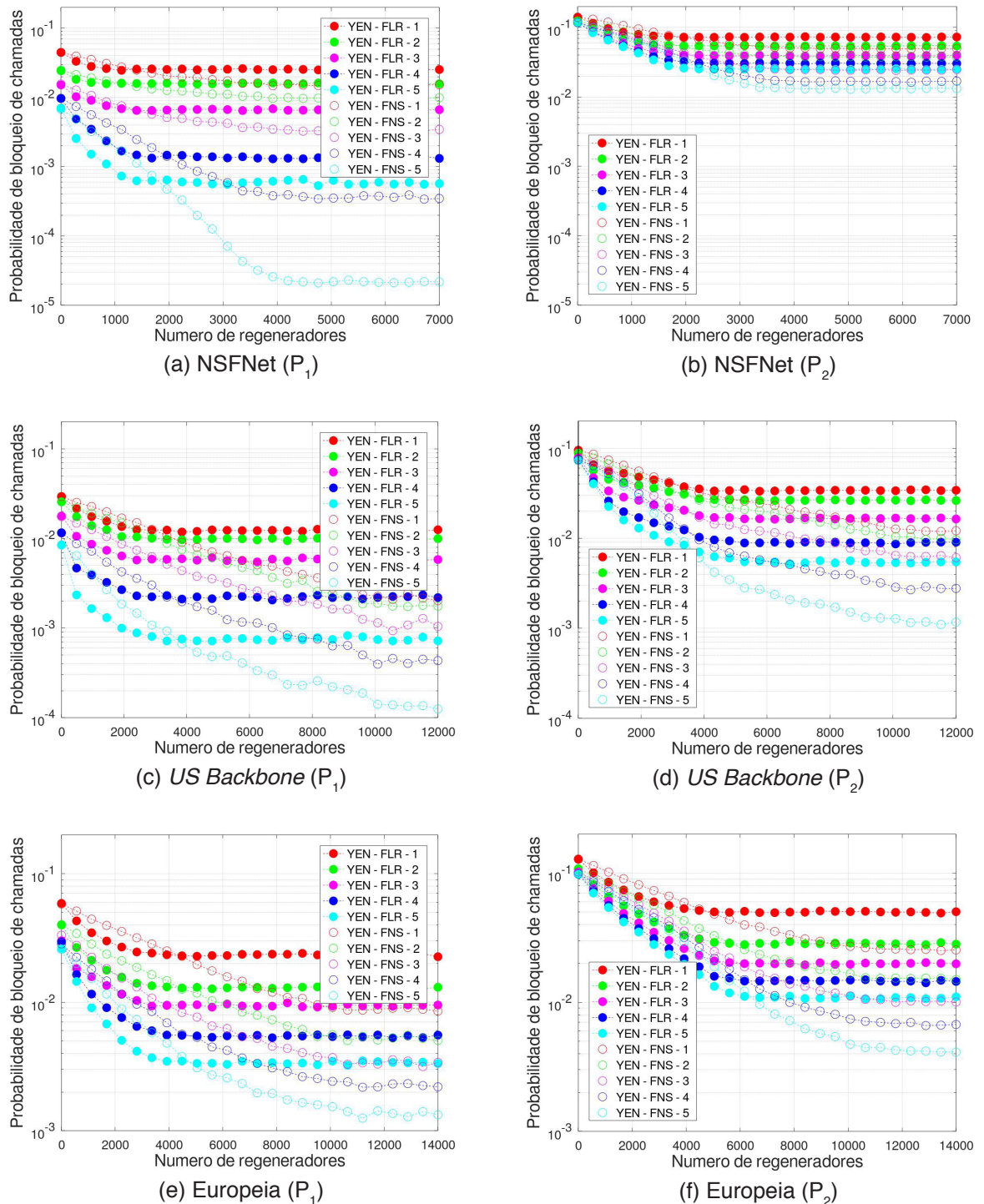


Figura 1: Probabilidade de bloqueio de chamadas em função do número de regeneradores por nó, considerando o algoritmo de roteamento clássico de Yen (YEN, 1970) aplicado aos algoritmos de utilização de regeneradores FLR e FNS para as topologias NSFNet, *US Backbone* e *Europeia* nos cenários de degradação da QoT do sinal óptico propagante ( $P_1$  e  $P_2$ ).

## 4 | CONCLUSÕES

Neste capítulo foi analisado o impacto do roteamento alternativo clássico em diferentes cenários e topologias de redes ópticas translúcidas bem conhecidas na literatura. Para tanto, considerou-se o ruído de emissão espontânea amplificada, gerado nos amplificadores ópticos dispostos nos nós e enlaces da rede, como penalidade física, além de diferentes taxas de transmissão de bit e formatos de modulação.

Pôde-se perceber que a degradação da QoT do sinal óptico propagante piorou o desempenho de todas as estratégias de roteamento analisadas, em termos de probabilidade de bloqueio de chamadas. Além disso, constatou-se o comportamento das políticas de utilização dos recursos de regeneração com as informações presentes na literatura, uma vez que os cenários de abundância e escassez proporcionam melhores resultados para FNS e FLR, respectivamente.

Observou-se que, ao utilizar um número de rotas alternativas elevado ( $N$ ), obteve-se uma melhora no desempenho das redes em todos os cenários analisados. Por fim, adotando-se a estratégia YEN-FLR-5 em qualquer cenário ( $P_1$  e  $P_2$ ), obteve-se resultados melhores, em termos de probabilidade de bloqueio de chamadas, que qualquer outra estratégia de roteamento analisada que utilizou a política de utilização de regeneradores e considerou um número de rotas alternativas menor, ou igual, que 3 ( $N=3$ ).

## REFERÊNCIAS

CAVALCANTE, Matheus A. et al. Applying power series routing algorithm in transparent elastic optical networks. In: **SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC)**. IEEE, 2015. p. 1-5.

CAVALCANTE, Matheus A. et al. Estado da Arte de Redes Ópticas Elásticas Translúcidas para Cenários de Tráfego Dinâmico em Redes Metropolitanas e de Longas Distâncias. **Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação**, v. 7, n. 2, p. 24-32, 2017.

CAVALCANTE, Matheus A. et al. Heurística híbrida para alocação de regeneradores em redes ópticas elásticas translúcidas. **Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação**, vol. 7, no. 1, pp. 39–44, 2017.

CAVALCANTE, Matheus A. et al. SimEON: an open-source elastic optical network simulator for academic and industrial purposes. **Photonic Network Communications**, v. 34, n. 2, p. 193-201, 2017.

CHATTERJEE, Bijoy C. et al. Routing and spectrum allocation in elastic optical networks: A tutorial. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 17, n. 3, p. 1776-1800, 2015.

YEN, J. Y. et al. An algorithm for finding shortest routes from all source nodes to a given destination in general networks. **Quarterly of Applied Mathematics**, vol. 27.4, pp. 526–530, 1970.

ZANG, Hui et al. A review of routing and wavelength assignment approaches for wavelength-routed optical WDM networks. **Optical networks magazine**, v. 1, n. 1, p. 47-60, 2000.



## SENSORIAMENTO ELETRÔNICO DE BAIXO CUSTO NO MONITORAMENTO HIDRÁULICO DE BOMBAS CENTRÍFUGAS

### **Lidiane Bastos Dorneles**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense Campus Pelotas – Rio Grande do Sul.

### **Samuel dos Santos Cardoso**

Universidade Federal de Santa Catarina – Santa Catarina.

### **Samanta Tolentino Ceconello**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense Campus Pelotas – Rio Grande do Sul.

### **Jocelito Saccol de Sá**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense Campus Pelotas – Rio Grande do Sul.

**RESUMO:** O uso de experimentos envolvendo tecnologia assistida tem-se mostrado promissora para o desenvolvimento de atividades pedagógicas, criando oportunidades para o aprendizado. O objetivo desse trabalho foi avaliar a aplicabilidade do sensoriamento analógico-digital de baixo custo no monitoramento hidráulico de bombas centrífugas associadas em série e em paralelo. Para isso, foi utilizada composta por uma estrutura de aço e rodízios, conexões de PVC, duas bombas centrífugas, um sensor de pressão diferencial e um sensor de vazão de efeito Hall e placa de prototipação Arduino MEGA 2560. Para análise

da aplicabilidade do sensoriamento eletrônico, foram comparadas as curvas características altura manométrica versus vazão, obtidas em tempo real, das bombas associadas em série e em paralelo com as curvas características teóricas. O sensoriamento eletrônico da pressão e vazão apresentou viabilidade econômica pelo baixo custo de aquisição dos sensores e técnico pela exatidão dos resultados obtidos, possibilitando seu uso como uma ferramenta didática acessível e permitindo aos alunos a compreensão prático-teórica das relações hidráulicas existentes em um sistema de bombeamento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sensor de pressão, sensor de vazão, Arduino, associação de bombas.

### LOW-COST ELECTRONIC SENSING IN HYDRAULIC MONITORING CENTRIFUGAL PUMPS

**ABSTRACT:** The use of experiments involving assistive technology has shown promise for the development of pedagogical activities, creating opportunities for learning. The objective of this work was to evaluate the applicability of low cost analog-digital sensors in the hydraulic monitoring of series and parallel associated centrifugal pumps. For this, has used a didactic workbench composed of: a steel frame and

castors, PVC connections, two centrifugal pumps, a differential pressure sensor and a Hall effect flow sensor and Arduino MEGA 2560 prototyping plate. To analyze the applicability of the electronic sensing, has compared the characteristic curves head versus flow rate, obtained in real time, of the pumps associated in series and in parallel with the theoretical characteristic curves. Electronic sensing of the head and flow rate presented economic viability due to the low cost of sensor acquisition and technical due to the accuracy of the obtained results, allowing its use as an accessible didactic tool and allowing students the practical-theoretical understanding of the hydraulic relations existing in a system pumping.

**KEYWORDS:** Pressure sensor, flow rate sensor, Arduino, association of pumps.

## 1 | INTRODUÇÃO

Com o passar dos tempos vem se percebendo na educação, uma dificuldade de contextualização no ensino de ciências, problema este detectado no ensino básico até a graduação. Para sanar tais problemas vem se tornando frequente a busca por metodologias didáticas que favoreçam a associação de matérias teóricas com práticas laboratoriais (DE CASTRO, 2016).

O uso de experimentos envolvendo tecnologia tem-se mostrado cada vez mais promissor no campo do ensino, principalmente para o uso em laboratório, pois traz ao professor uma opção de ferramenta didática para o ensino e para o aluno, uma oportunidade de envolver-se diretamente com seu experimento (HAAG et al., 2005).

A utilização dessas tecnologias pode, por vezes, ser de difícil acesso às instituições de ensino devido aos altos custos de aquisição, taxas de importação, exportação e impostos, além da burocracia para compra através de pregões públicos (DA ROCHA et al., 2013).

Além dos altos custos impostos às ferramentas tecnológicas para fins didáticos, esses equipamentos possibilitam somente o seu uso sem que o usuário saiba como realmente funcionam. Esses modelos de ferramentas não favorecem ao aluno um aprendizado autônomo, pois não o deixa conhecer os princípios físicos nem os métodos que foram empregados para o desenvolvimento do experimento (DE CASTRO, 2016).

Para tanto, o que se vê no mercado atualmente é a disponibilidade de plataformas eletrônicas e sensores eletrônicos que têm preços acessíveis, os quais permitem fazer a aquisição de dados através de sensores eletrônicos que também se mostram muito úteis para fins didáticos. Tais módulos eletrônicos são comandados por microcontroladores, os quais são capazes de efetuarem comandos através de códigos de programação, o que é um grande ganho já que assim é possível fazer ajustes conforme o que se desejar comandar (DE SOUZA et al., 2011).

Atualmente existem plataformas de código e hardware abertos que possibilitam o desenvolvimento de protótipos e também de sistemas completos, com os mais diversos propósitos. Uma dessas plataformas é o Arduino, que oferece um sistema

de hardware e software livre, e cujo objetivo é fornecer uma plataforma acessível, flexível e de baixo custo (JACQUET, 2010).

Nessa plataforma toda a programação, o que inclui o processamento de dados matemáticos e conversões de dados digitais e analógicos, é recebida e enviada através do acoplamento físico, devidamente planejado, da plataforma com os periféricos a serem utilizados (DA ROCHA et al., 2013).

No contexto descrito as bancadas didáticas de ensaios são equipamentos indispensáveis em atividades educacionais relativas ao estudo de bombas e instalações de bombeamento, porém, o alto custo desses equipamentos muitas vezes torna-se um empecilho para sua aquisição em instituições públicas de ensino (MARTINEZ et al., 2001).

Deste modo, o desenvolvimento de equipamentos didáticos compatíveis com a capacidade de investimento atual das universidades é uma alternativa viável para se minimizar a carência existente nos atuais cursos de engenharia (NASCIMENTO et al., 2013).

Ao perceber-se o custo envolvido e a carência do uso da tecnologia como ferramenta de ensino, principalmente para disciplinas que envolvam mecânica dos fluidos, buscou-se com esse trabalho realizar um estudo sobre a aplicabilidade do sensoriamento analógico-digital de baixo custo para o estudo do comportamento hidráulico de bombas centrífugas associadas em série e em paralelo em uma bancada didática.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Laboratório de Hidrodinâmica Ambiental do Curso de Saneamento Ambiental do Instituto Federal Sul-rio-grandense Campus Pelotas, baseado em trabalhos realizados por Cavalcante et al. (2014); Nascimento et al. (2013) e Da Rocha e Guadagnini (2013).

Para o desenvolvimento do sensoriamento analógico-digital em bombas centrífugas, foi utilizada uma bancada didática constituída de duas partes: estrutura metálica (gaiola) e o sistema hidráulico. A gaiola tem por função tornar possível a locomoção e a sustentação da bancada e também possibilitar o desnível entre o reservatório e as bombas centrífugas, além do alinhamento adequado entre elas.

O sistema hidráulico foi responsável pela condução do fluido pela tubulação e reservatório. Esse sistema foi constituído por um reservatório de 30 litros, duas bombas centrífugas, registros de gaveta para o controle da vazão, conexões e tubulações de PVC. As conexões utilizadas foram: joelho soldável de 90°, curva soldável e roscável de 90°; união soldável, luva de redução roscável, niple roscável, tê soldável, dentre outras. Foi utilizado o diâmetro de 25 mm para todas as conexões e os tubos de PVC.

Para análise da associação em série e em paralelo de bombas centrífugas,

foram utilizadas duas bombas do modelo Schneider BCR-2000-0.25 M60-220, com vazão mínima 13,33 L/min e máxima 58,33 L/min, pressão máxima de 16,0 mca, diâmetro da tubulação de sucção e de recalque de 3/4” e rotação máxima de 3500 RPM. Na Figura 1, pode-se observar a estrutura metálica, o reservatório de água, as tubulações e as conexões de PVC, as bombas centrífugas e os sensores de pressão e de vazão utilizados.

Para realizar a associação das bombas foram utilizados três registros de esfera de PVC de 25 mm de diâmetro. Para determinação da vazão e pressão na associação em paralelo o registro 1 e 3 eram mantidos abertos e o registro 2 fechado. Já para associação em série o registro 2 era mantido aberto e os registros 1 e 3 fechados. Na Figura 1, pode-se observar a posição dos registros de PVC para associação em série.

Para o sensoriamento foi utilizada uma placa de prototipação Arduino MEGA 2560 com um microcontrolador ATmega 2560 integrado. Essa placa apresenta um maior número de entradas e saídas digitais e analógicas, possibilitando a ligação de vários sensores e a elaboração de projetos mais complexos (DE SOUZA et al., 2011).

Foi utilizada a porta analógica A0 e a porta digital 18 da placa de prototipação Arduino. Sendo que a entrada analógica foi utilizada para fazer a conversão do sinal analógico em um sinal digital oriundo do sensor de pressão. Já a entrada digital recebeu o sinal pulsante do sensor de vazão. Os sinais são processados pelo microcontrolador e por meio da programação convertidos em valores de pressão manométrica e de vazão.

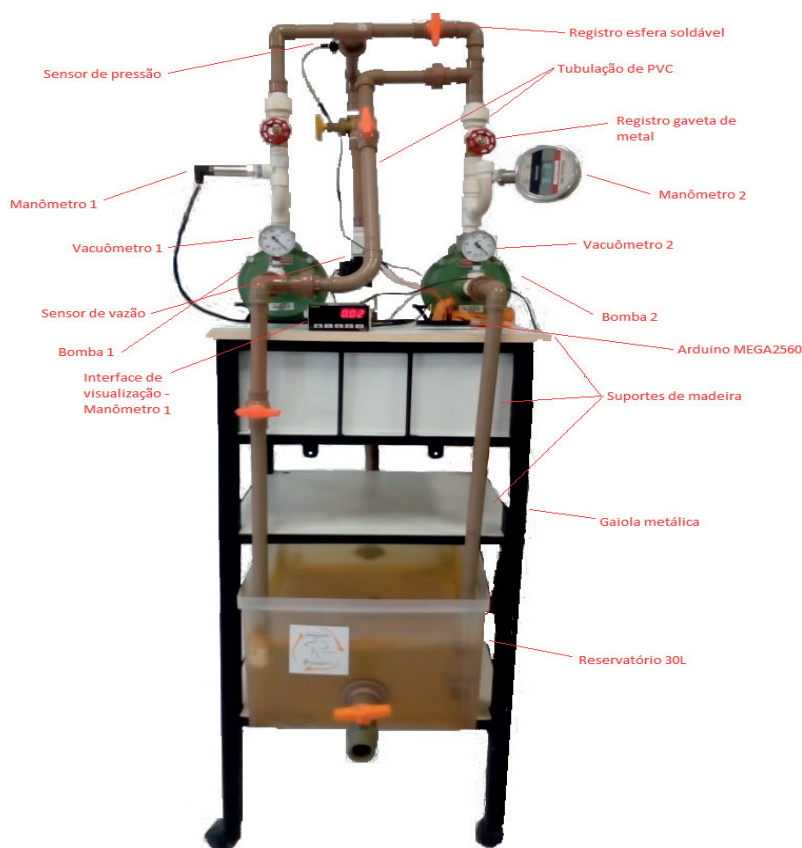


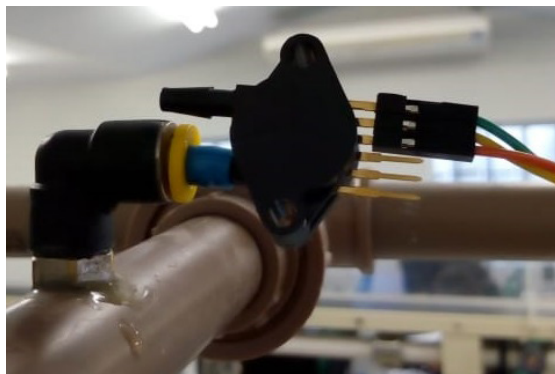
Figura 1: Bancada didática para associação de bombas.

Fonte: Autores (2019).

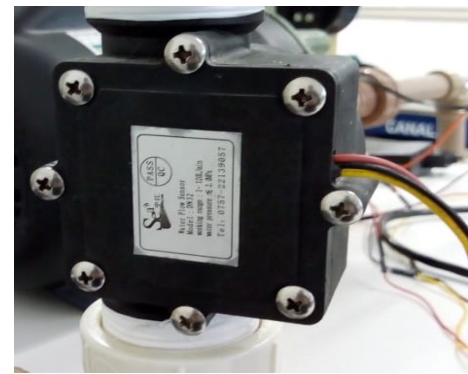
A programação do Arduino é baseada na linguagem C e C++. Essa programação é *open source*, o que significa que seu código fonte é totalmente aberto, ou seja, pode ser ajustado para a finalidade que o usuário determinar (DE SOUZA et al., 2011).

A escolha do sensor de pressão foi baseada em pesquisa dos modelos disponíveis no mercado considerando o preço e a funcionalidade do mesmo quando acoplado a uma tubulação de PVC em circuito fechado. Desse modo, foi utilizado o sensor de pressão modelo MPX5700DP, que permite medições de pressão diferencial ou absoluta entre 0 e 700 kPa.

Segundo Oliveira (2010), a série MPX5700 é constituída por transdutores de pressão piezoresistivos com uma alta gama de aplicações, principalmente para aquelas que fazem uso de microcontroladores ou microprocessadores para conversões analógicas. Na Figura 2, pode-se observar o sensor de pressão MPX5700DP conectado à tubulação de PVC por meio de uma tomada de pressão de 6,0 mm de diâmetro.



(a)



(b)

Figura 2. Sensor de pressão MPX5700DP (a) e sensor de vazão de efeito Hall, modelo YF-21 (b) utilizados para o sensoriamento digital analógico de um sistema de bombeamento.

Fonte: Autores (2019).

Para a medição de vazão foi escolhido um sensor de vazão eletromagnético, de efeito Hall, modelo YF-21, não intrusivo, ou seja, o elemento transdutor do sensor não entra diretamente em contato com o fluxo que se pretende medir (HORIGOSHI, 2016).

O sensor de efeito Hall possui internamente uma turbina, que gira com o fluxo do fluido no interior do sensor (Figura 2). Ao girar, a turbina desloca um ímã e este ao se deslocar cria um campo eletromagnético gerando pulsos elétricos. Os pulsos são detectados pelo sensor, a frequência dos pulsos é proporcional ao fluxo do fluido no interior da tubulação, conseqüentemente a vazão é determinada pelo número de pulsos por unidade de tempo e por uma constante de proporcionalidade. Essa constante deve ser determinada na calibração do sensor.

Para o uso correto dos sensores utilizados nesse estudo, se fez a calibração e

a compensação dos mesmos de modo a eliminar ou diminuir os erros de medição. Segundo Vidal (2009), a calibração de um instrumento ou sensor é um processo pelo qual é feito o levantamento dos parâmetros dos mesmos através de um sistema de referência ou métricas pré-estabelecidas no manual do fabricante ou em norma vigente. A calibração pode ser feita e expressa através de uma curva de calibração, diagramas de calibração, dentre outros.

A calibração do sensor de vazão de efeito Hall foi obtida pela relação do número de pulsos em função da vazão do fluido bombeado. A vazão foi determinada diretamente pelo método volumétrico conforme orientações da ISO 4185/1980.

Desse modo, a vazão foi obtida pelo volume de água coletado em um recipiente plástico com capacidade de 20 litros e o tempo cronometrado em um cronometro digital. Foram contabilizados o tempo, a contagem de pulsos e a pesagem, em uma balança, do fluido contido no recipiente. Esse procedimento foi repetido em diferentes pontos de abertura do registro de gaveta, sendo considerado o registro totalmente aberto e totalmente fechado, pontos de máxima e mínima vazão, respectivamente.

Os dados foram coletados com uma bomba funcionando por vez, com as bombas associadas em série e com as bombas associadas em paralelo.

Para o sensor de pressão diferencial, a calibração foi realizada por comparação com valores de pressão de referência obtidos em uma Bomba Calibrativa de comparação da marca Polimed, modelo A0039 e um manômetro padrão com capacidade de 100 mca.

Nos testes de calibração, o sensor e a bomba calibrativa foram postos em funcionamento simultaneamente. Assim para que fosse realizada a calibração foram analisados os seguintes parâmetros: a tensão na saída do sensor de pressão (Pino 1), a pressão obtida pela equação de calibração fornecida pelo fabricante do sensor e o valor de pressão no manômetro padrão.

Com o aumento progressivo da pressão na bomba e a leitura do manômetro padrão como referência, foi realizado o registro da tensão na saída do sensor e da pressão fornecida pelo fabricante do sensor MPX5700DP. Após o processo de aquisição de dados obteve-se uma equação de calibração baseada nas leituras do manômetro utilizado como referência, que posteriormente foi inserida na programação do Arduino.

Os dados dos sensores de pressão e vazão foram transferidos em tempo real para uma planilha do Excel via microprocessador Arduino e o software PLX-DAQ, permitindo assim a plotagem de gráficos em tempo real, possibilitando a visualização das relações entre pressão e vazão do sistema de bombeamento.

O levantamento da curva característica da relação da altura manométrica versus vazão, com o sistema de sensoriamento analógico-digital (Curva Estimada), foi realizado nas seguintes situações: com as bombas operando individualmente e com as bombas associadas em série e em paralelo.

As curvas características obtidas pelo sensoriamento foram comparadas com

as curvas características teóricas para associação em série e em paralelo. Para associação em série, a curva característica teórica foi obtida pela soma das alturas manométricas de cada bomba, mantendo-se a vazão constante. Para associação em paralelo, a curva foi obtida pela soma das vazões para uma mesma altura manométrica (pressão) conforme Azevedo Netto et al. (2015).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, para o fator qualitativo (altura manométrica para associações em série e vazão para associação em paralelo) foi realizada a comparação entre médias pelo teste de Tukey à 5% de significância além da determinação do Erro Médio. Para as análises estatísticas utilizou o software livre R (R CORE TEAM, 2017).

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comparativamente, o custo de aquisição e confecção da bancada produzida neste projeto com uma bancada didática comercial semelhante, cujo valor é R\$ 21.333,00 (COMPRASNET, 2018), foi significativamente inferior, resultando em uma economia de aproximadamente R\$ 20.000,00. Sendo assim, em termos de custos, a bancada construída demonstra-se ser mais econômica e de valor acessível para utilização em aulas práticas que envolvam estudos sobre fluidos. Na Tabela 2, estão relacionados os quantitativos e os materiais utilizados para a montagem e adaptação da bancada e o respectivo custo de aquisição dos mesmos.

<b>Materiais</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor (R\$)</b>
Motobomba 1/4 CV	2 uni.	841,14
Placa Arduino MEGA 2560	1 uni.	63,90
Cabos para conexão Arduino	18 uni.	9,00
Sensor de Pressão MPX-5700DP	1 uni.	59,40
Sensor de vazão Efeito Hall	1 uni.	45,90
Tubulações e conexões	65 uni.	268,00
Reservatório de 30L	1 uni.	52,00
	<b>Total</b>	<b>1339,34</b>

Tabela 2 – Quantitativo dos materiais utilizados na bancada didática de associação de bombas centrífugas e respectivos custos de aquisição.

Fonte: Autores (2019).

Nascimento et al. (2013), desenvolveram uma bancada didática de bombas centrífugas com um custo total de R\$ 523,00, valor inferior ao investido nesse projeto, porém, no trabalho citado não foi contabilizado o custo de aquisição das bombas centrífugas e manômetros, além de não haver um sistema de aquisição eletrônico de dados de pressão e vazão.

Além dos baixos custos com a implementação dos sensores na bancada didática,

os resultados obtidos na calibração do sensor de pressão, foram coincidentes com os valores obtidos pela equação fornecida pelo fabricante do mesmo.

A resposta do sensor ( $V_{out}$ ) apresentou um comportamento linear crescente com o aumento de pressão. Segundo Horigoshi (2016), o valor do coeficiente de proporcionalidade do sensor de vazão, varia conforme o modelo do sensor e com as características do fluido, como a viscosidade.

Na Figura 3, pode-se observar a relação linear dos valores de pressão (mca) e o sinal de saída do sensor ( $V_{out}$ ) quando submetidos à calibração na bomba calibrativa de referência (PPADRÃO) e do fabricante do sensor de pressão (PSENSOR) e suas respectivas equações de calibração e coeficientes de ajuste ( $R^2$ ).

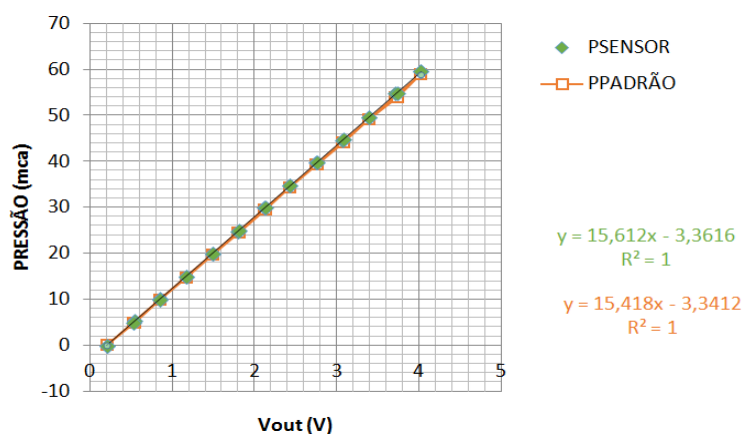


Figura 3: Curvas de calibração geradas a partir do manômetro de referência e pelo sensor MPX5700DP.

Fonte: Autores (2019).

Para o sensor de vazão, foi observada uma relação linear da vazão do fluido com o número de pulsos eletromagnéticos detectados pelo sensor de efeito Hall, corroborando com observações realizadas por Delmeé (2003).

Pela equação de ajuste obteve-se o coeficiente de proporcionalidade de 1,94. Dessa forma, a vazão foi determinada pela Equação 1.

$$Q=1,94 \times NP \quad (\text{Eq 1})$$

Onde:

Q é a vazão em L/min, e

NP é o número de pulso por minuto.

A Equação 1 e a equação obtida na calibração do sensor de pressão de referência foram inseridas na programação do processador presente no Arduino MEGA 2560, permitindo a obtenção de dados de pressão e de vazão do sistema de bombeamento em tempo real.

As bombas utilizadas nesse estudo apresentam características idênticas, porém, foram observados valores distintos de vazão e de pressão, quando colocadas em



operação.

Para a bomba 1, verificou-se uma vazão máxima de 45,54 L/min, sendo que a vazão máxima indicada pelo fabricante é igual a 58,33 L/min, representando uma diferença de aproximadamente 22%. Já a bomba 2, o valor obtido também difere do fornecido pelo fabricante, porém, a diferença foi inferior a 5%. Nesse caso, a vazão máxima da bomba testada foi de 55,45 L/min.

Essa situação também se repetiu em relação à altura manométrica. Para esse parâmetro, a pressão máxima média determinada pelo sensor foi de 14,4 mca para a bomba 1 e de 15,9 mca para a bomba 2. Para o modelo de bomba utilizado, o valor da altura manométrica máxima, informado pelo fabricante é de 16,0 mca. Nesse caso, a bomba 2 apresenta-se em condições próximas as informadas pelo fabricante. Já a bomba 1, apresentou um desempenho inferior, o que pode ser atribuído, provavelmente, à desgastes mecânicos ocasionados pelo uso do equipamento. Na Figura 4, podem ser visualizadas as curvas características da relação da altura manométrica versus vazão das bombas 1 e 2.

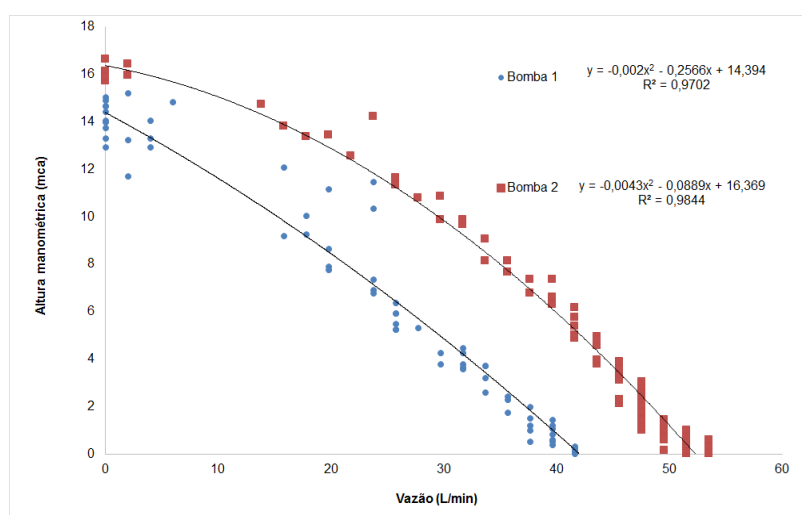


Figura 4: Curva característica da altura manométrica versus vazão das bombas centrífugas B1 e B2 utilizadas no estudo, obtidas pelo sensoriamento analógico-digital de pressão e vazão.

Fonte: Autores (2019).

As curvas características da relação altura manométrica versus vazão das bombas 1 e 2, apresentaram um comportamento que pode ser ajustado a um polinômio quadrático, conforme mencionado por Mesquita et al. (2006).

Na associação em série a curva estimada, obtida pelo sensoriamento, em relação à curva teórica, obtida pela soma das alturas manométricas, não apresentou diferenças significativas pelo teste de Tukey à 5 % de probabilidade. Porém, observaram-se valores superiores de altura manométrica na curva estimada, sendo a altura manométrica média observada de  $13,1 \pm 2,78$  mca. Já a curva teórica a altura manométrica média foi de  $11,9 \pm 2,41$  mca. Observa-se que as maiores discrepâncias das medidas ocorreram com vazões inferiores a 30 L/min. Na Figura 5,

são apresentadas as curvas características da altura manométrica versus vazão da associação em série estimada e teórica e suas respectivas equações de ajuste.

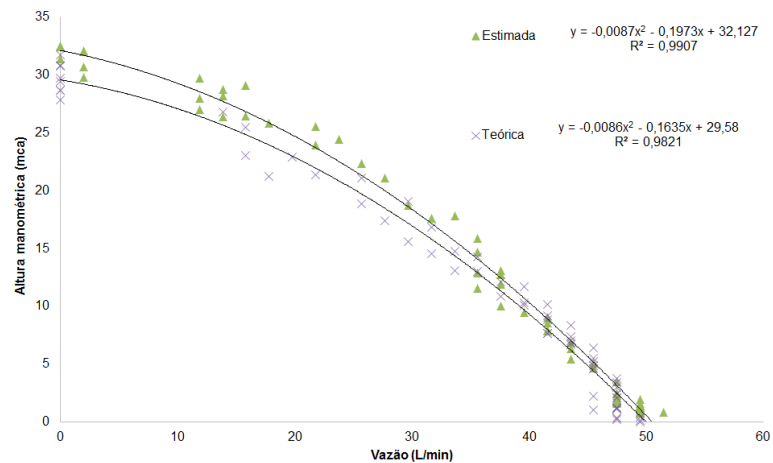


Figura 5: Curva característica da altura manométrica versus vazão das bombas centrífugas, obtidas pelo sensoriamento analógico-digital em associação em série.

Fonte: Autores (2019).

Na associação em paralelo, os valores de vazão obtidos pelo sensoriamento foram inferiores aos observados na curva teórica. Essa diferença foi em média de 20%, sendo significativa pelo teste de Tukey à 5 % de probabilidade.

Na Figura 6, são apresentadas as curvas características da altura manométrica versus vazão da associação em paralelo estimada e teórica e suas respectivas equações de ajuste. A vazão teórica média observada foi de  $74,65 \pm 5,65$  L/min e de  $60,4 \pm 5,09$  L/min para a estimada. Nesse caso, as maiores diferença ocorreram com vazões superior a 70 L/min.

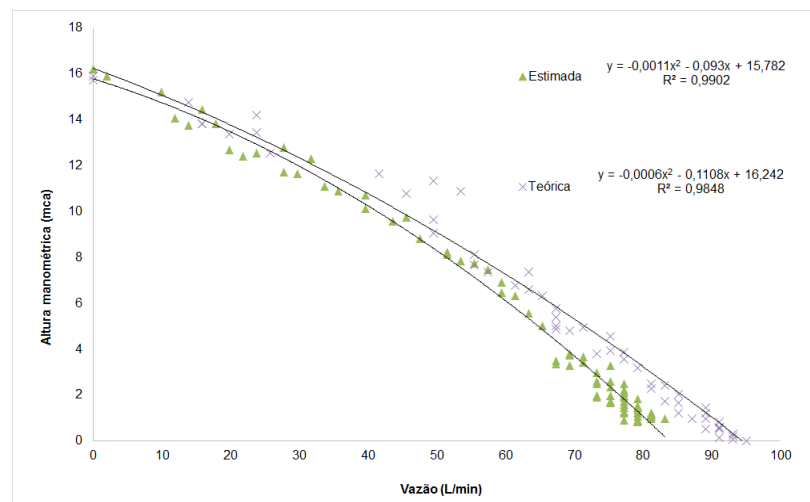


Figura 6: Curva característica da altura manométrica versus vazão de bombas centrífugas associadas em paralelo, obtidas pelo sensoriamento analógico-digital.

Fonte: Autores (2019).

## 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de sensores em microprocessadores de programação em Arduino no estudo do comportamento hidráulico de bombas associadas em série e paralelo apresentaram viabilidade econômica pelo custo apresentado e técnico pela exatidão dos resultados obtidos. Possibilitando seu uso como uma ferramenta didática de baixo custo, permitindo aos alunos a compreensão prático-teórica do que lhe foi ensinado em sala de aula, através da visualização em tempo real das relações hidráulicas entre pressão e vazão em um circuito de bombeamento.

Posteriormente, pretende-se aprimorar a ligação e o ajuste dos sensores para a redução de ruídos no sinal e na aquisição de dados e utilizar a transmissão de dados para smartphones ou computadores por meio de aplicativos via Wi-fi.

## REFERÊNCIAS

AZEVEDO NETTO, José Martiniano; FERNANDEZ, Miguel Fernandez; ARAUJO, Roberto; ITO, Acácio Eiji. **Manual de hidráulica**. 9. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998. 670 p

CAVALCANTE, Michelle M.; SILVA, João Lucas de S.; VIANA, Esdriane C.; DANTAS, Jamilson R. **A plataforma Arduino para fins didáticos: Estudo de caso com recolhimento de dados a partir do PLX-DAQ**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 38, nº 3, 3503, abr. 2016.

COMPRAS NET. **Bancada didática**. Disponível em < [http://comprasnet.gov.br/aceso.asp?url=/ConsultaLicitacoes/ConsLicitacao\\_texto.asp](http://comprasnet.gov.br/aceso.asp?url=/ConsultaLicitacoes/ConsLicitacao_texto.asp) > Acesso em 21 jun. 2018

DA ROCHA, Fabio Saraiva; GUADAGNINI, Paulo Henrique. **Projeto de um sensor de pressão manométrica para ensino de física em tempo real**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 31, n. 1, p. 124-148, abr. 2014.

DE CASTRO, Luis Henrique Monteiro. **Objetos educacionais de baixo custo com o Arduino e o Processing**. Dissertação (Mestrado: Ensino de Física). Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF) – UNIRIO, p. 20, set. 2016.

DE SOUZA, Anderson R.; PAIXÃO, Alexssander C.; UZÊDA, Diego D.; DIAS, Marco A.; AMORIM, Helio S. **A placa Arduino: uma opção de baixo custo para experiências de física assistidas pelo PC**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 33, nº 1, 1702, mar. 2011.

DELMEÉ, Gérard J. **Manual de medição de vazão**. 3ª edição, Edgar Blücher, São Paulo, 2003.

HAAG, Rafael; ARAUJO, Ives Solano; VEIT, Eliane Ângela. **Por que e como introduzir a aquisição automática de dados no laboratório didático de física**. Física na escola. São Paulo. Vol. 6, n. 1 (maio 2005), p. 69-74, 2005.

HORIGOSHI, Francis Massashi. **Uso de sensor efeito Hall para medição da vazão de fluidos no processo de produção de palatabilizantes a base de proteína animal em escala piloto**. 2016. Dissertação (Mestrado em Gestão e Inovação na Indústria Animal) - Universidade de São Paulo - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Pirassununga, 2016.

JACQUET, Antônio Perdomo. **Atividade Arduino**. Mato Grosso do Sul. UFMS, 2010.

MARTINEZ, Carlos Barreira; NASCIMENTO, Jair Filho; SANTOS, Hersília Andrade. **Bancada didática de ensaios de turbobombas**. CONBENGE 2001 Disponível em: < <http://www.abenge.org.br/>

cobenge/arquivos/18/trabalhos/MTE045.pdf>. Acesso: 12 set. 2018.

MESQUITA, André Amarante; SILVA, Lázaro da Silva; ABRAHIM JÚNIOR, Otávio; PEREIRA, José Almir; SILVA, Aldo César. **Aspectos importantes na utilização de bombas centrífugas em velocidade variável para a redução do consumo de energia.** Seminário de Abastecimento Urbano de Água. Anais João Pessoa: Universidade Federal Paraíba, 2006.

NASCIMENTO, Everton Rodrigo Brito; DE SOUSA, Cleiton Lima; RIBEIRO, Ruan de Souza; PADILHA, Jessé Luís; FONSECA, Wellington da Silva. **Construção de uma bancada didática de baixo custo para realizações de ensaios com bombas em série e paralelo.** XLI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia – COBENGE, 2013.

OLIVEIRA, Aureo Santana de. **Desenvolvimento de um sensor para avaliar a pressão exercida ao solo decorrente do tráfego de máquinas agrícolas.** Dissertação (Mestrado em Ciências: Máquinas Agrícolas) Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, p. 39, 2010.

R CORE TEAM. R. **The R Project for Statistical Computing.** Disponível em: <<http://www.r-project.org/>>. Acesso em 15 abril 2017.

VIDAL, Ricardo Jorge Rebelo. **Sistema de calibração de sensores de temperatura baseados em redes de Bragg em fibra óptica.** Dissertação (Mestrado em Engenharia: Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) Faculdade de Engenharia do Porto, p. 23, 2009.

## TUTORIAL SOBRE REPETIDORES DE DADOS MÓVEIS

### Carine Mineto

Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Engenharia Elétrica e Informática, Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica  
Campina Grande - Paraíba

### Lyang Leme de Medeiros

Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Engenharia Elétrica e Informática, Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica  
Campina Grande - Paraíba

### Helder Alves Pereira

Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Engenharia Elétrica e Informática, Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica  
Campina Grande – Paraíba

**RESUMO:** O principal objetivo da utilização dos repetidores de dados móveis é de aumentar a área de cobertura dos sistemas de comunicação. Ao se utilizar um repetidor, realiza-se a replicação do sinal. Esse processo consiste em captar, restaurar, se necessário, amplificar e emitir o sinal recebido tanto do equipamento do usuário quanto da estação base (EB). Sua utilização também reflete em economia financeira e de energia, possuindo instalação e manutenção mais simples, quando comparado com a EB. No entanto, verifica-se na literatura que os repetidores não só contribuem com a melhoria no estabelecimento da conexão, como também podem gerar problemas na adição de

ruído, além de interferir na transmissão da EB. A contribuição deste capítulo é de apresentar um tutorial sobre os repetidores de dados móveis, incluindo os estados da arte e da técnica e, conseqüentemente, discutir sua implementação e usabilidade em comunidades com dificuldades no estabelecimento da comunicação móvel celular.

**PALAVRAS-CHAVE:** Comunicação Móvel Celular, Espectro de Frequência, Rádio Frequência, Rede Celular, Repetidor de Dados Móveis.

### MOBILE DATA REPEATERS: A TUTORIAL

**ABSTRACT:** The main purpose of using mobile data repeaters is to increase the coverage area of the communication systems. When a repeater is used, signal replication is performed. This process consists in capturing, restoring, if necessary, amplifying and transmitting the received signal from both the user's equipment and the base station (BS). The use of this equipment also reflects in financial and energy savings, having simpler installation and maintenance when compared to BSs. However, it is verified in the literature that the mobile data repeaters do not only contribute to the improvement in the establishment of the connection, but also can generate problems in the addition of noise, besides interfering in the

transmission of the BSs. The contribution of this chapter is to present a tutorial on mobile data repeaters, including the state of the art and the state of technique, and, consequently, to discuss its implementation and usability in communities with difficulties in the establishment of mobile cellular communication.

**KEYWORDS:** Cellular Network, Frequency Spectrum, Mobile Cellular Communication, Mobile Data Repeater, Radio Frequency.

## 1 | INTRODUÇÃO

A popularização do acesso à rede mundial de computadores (*internet*) tem feito com que o tráfego de dados aumente a cada ano. Esse aumento acarreta na necessidade de melhoria na infraestrutura da rede [BURIOL et al., 2003]. No entanto, nos grandes centros urbanos pode existir restrição para instalação de novas antenas, além do espectro de frequência, requerido para essa expansão, ser limitado (CORRÊA et al., 2016). Além disso, a expansão das redes não acontece de forma homogênea pois há áreas que podem se tornar isoladas pela dificuldade na recepção de sinais de rádio-frequência (RF). Com isso, alguns usuários são prejudicados por essa circunstância (STEWART, 2012). Ademais, produzir um sistema capaz de repetir o sinal de RF, que ao longo de sua transmissão pode sofrer de atenuação e possíveis interferências, resolveria o problema de algumas comunidades (rurais, por exemplo), que porventura podem receber um sinal de RF com degradação de qualidade (FARIA, 2010).

O objetivo principal da utilização dos repetidores de dados móveis é de aumentar a área de cobertura dos sistemas de comunicação (ALI et al., 2004). Ao se empregar um repetidor, realiza-se a replicação do sinal, que consiste em amplificar o sinal recebido, tanto do equipamento do usuário (EU) quanto da estação base (EB) (LEE et al., 2000; SCHULTZ, 2004; FARIA, 2010; LÄHDEKORPI, P. et al., 2010). Sua utilização também reflete em economia financeira e de energia, possuindo instalação e manutenção mais simples, quando comparado com a EB (NASCIMENTO, 2012; MARTIN, 2015). No entanto, verifica-se na literatura que os repetidores não só contribuem com a melhoria no estabelecimento das conexões como também podem gerar problemas na adição de ruído ao sinal de RF, além de interferir na transmissão da EB (LEE et al., 2000).

A contribuição deste capítulo é de apresentar um tutorial sobre os repetidores de dados móveis, incluindo os estados da arte e da técnica e, conseqüentemente, discutir sua implementação e usabilidade em comunidades com dificuldades no estabelecimento da comunicação móvel celular.

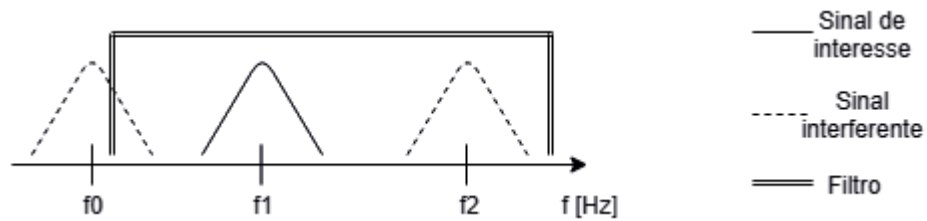
## 2 | REPETIDORES DE DADOS MÓVEIS

Na literatura, verifica-se que pode ocorrer inviabilização na comunicação móvel

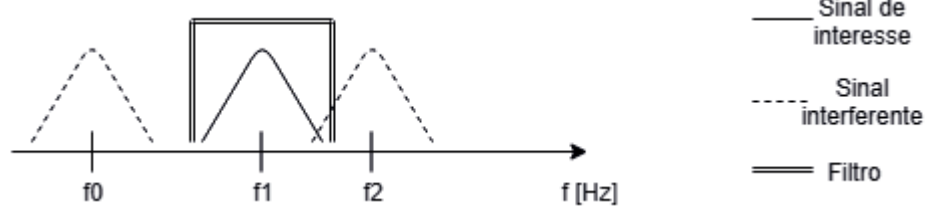
celular em determinadas áreas, as quais a cobertura do sinal não seja adequadamente realizada pela EB. Essas áreas podem corresponder a vales, túneis em rodovias, ou ferrovias, por exemplo. Repetidores de dados móveis são geralmente considerados para lidar com esse tipo de problema (ALI et al., 2004). Na estrutura do repetidor é necessária a presença de duas antenas: (a) a que recebe e transmite o sinal da EB, definida como antena coletora e (b) a que recebe e transmite o sinal do EU, definida como antena servidora. Os repetidores podem ser classificados em dois tipos (LEE et al., 2000): (1) de filtragem e (2) de transmissão.

Quanto à filtragem os repetidores podem ser (LEE et al., 2000): (1a) de banda larga; (1b) seletivos em banda e (1c) seletivos em canal, conforme ilustrado na Figura 1. O primeiro (1a) é de baixo custo, porém pode amplificar sinais diferentes dos transmitidos pela EB. Isso implica em aumento no nível de interferência, além do baixo ganho por canal e possível saturação do amplificador. O segundo (1b) apresenta problemas semelhantes ao primeiro (1a). No entanto, possibilita amplificação apenas da banda de frequência correspondente à EB, o que diminui a degradação da qualidade do sinal de outra operadora. Enquanto que o terceiro (1c) apresenta melhor desempenho pois seleciona apenas o sinal da EB, não realizando amplificação de canais que podem ser interferentes. Contudo, é pouco utilizado, em comparação com os outros dois, devido ao fato de que seu circuito é bastante complexo, comparando-se ao de uma EB.

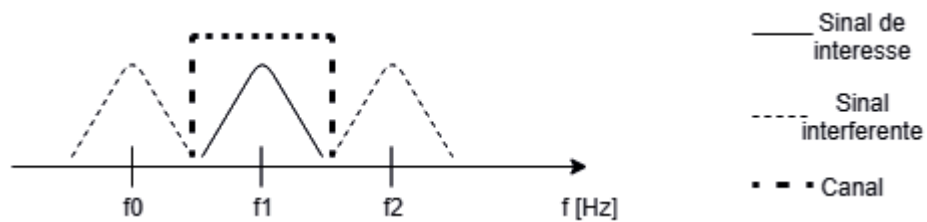
Quanto à transmissão, os sinais podem se propagar no repetidor utilizando, ou não, fibra óptica. Dessa forma, os repetidores podem transmitir (SCHULTZ, 2004): (2a) na frequência de transmissão e (2b) com deslocamento da frequência, conforme ilustrado na Figura 2. O primeiro (2a) pode aplicar qualquer um dos processos de filtragem descritos anteriormente, sendo conveniente para implementação em locais em que exista isolamento natural ou em coberturas de ambientes interiores. O isolamento natural ocorre quando não há interferência entre o sinal das antenas coletora e servidora, sem a existência de um circuito dedicado. O que problematiza sua aplicação é a difícil isolamento entre as antenas coletora e servidora pois estão dispostas no mesmo dispositivo. Se houver acoplamento entre elas, pode ocorrer limitação do ganho máximo. O ganho máximo é definido como o limite superior ao qual o repetidor eleva o sinal sem atingir a saturação do equipamento. Se o sinal estiver bastante atenuado pela propagação, considerando a limitação do ganho, é provável que a amplificação não seja o suficiente. O segundo (2b) possibilita o uso apenas com filtragem seletiva de canal. Seu funcionamento necessita de duas unidades: a unidade remota e a EB. A unidade remota faz o papel do repetidor, sendo responsável por converter a frequência do sinal em outra frequência, respectivamente. Isso acarreta em maiores custos por utilizar circuitos diferentes. No entanto, é possível obter ganhos maiores por reduzir o problema da isolamento.



(a) Repetidor de banda larga.



(b) Repetidor seletivo em banda.

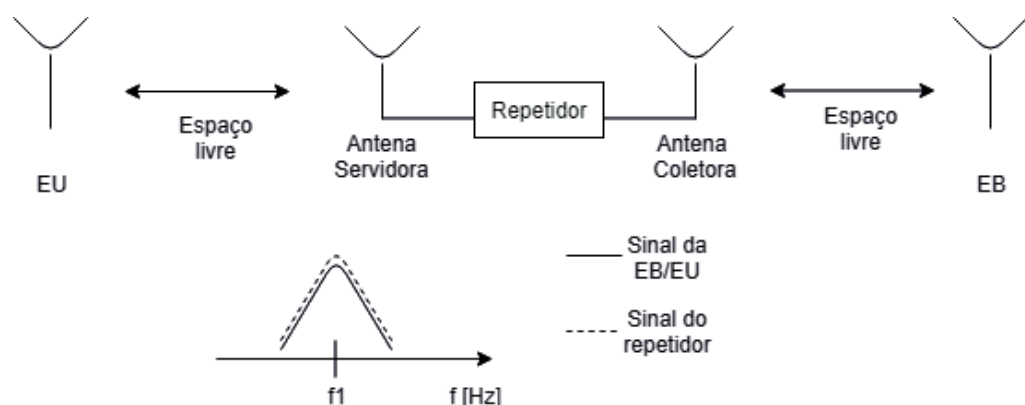


(c) Repetidor seletivo em canal.

Figura 1. Tipos de repetidores de dados móveis quanto ao aspecto da filtragem: (a) repetidor de banda larga, (b) repetidor seletivo em banda e (c) repetidor seletivo em canal.

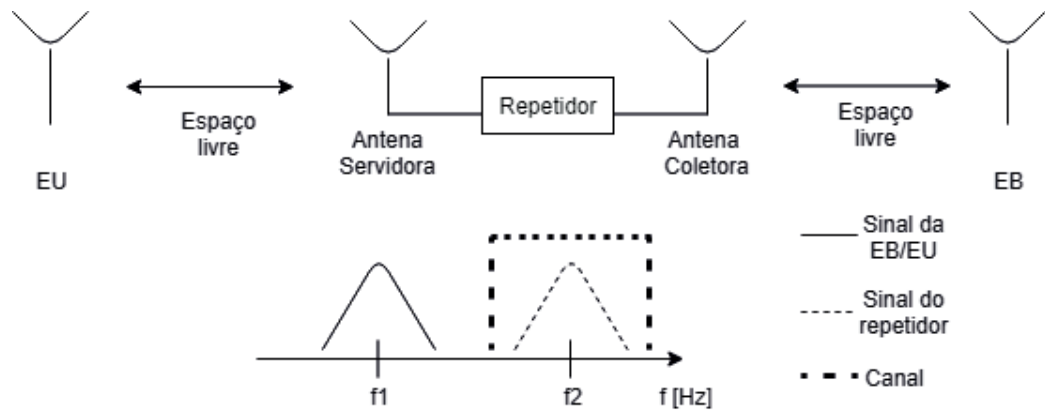
Para o caso de se utilizar fibra óptica no repetidor (SCHULTZ, 2004), conforme ilustrado na Figura 3, duas unidades (a remota e a central) são necessárias, podendo utilizar qualquer tipo de filtragem.

A utilização da fibra óptica no repetidor acarreta em perdas mais baixas na transmissão. Tem maior viabilidade para aplicação em ambientes internos pois as estações remotas podem ser espalhadas pelo ambiente sem que haja muita perda nos enlaces. Para utilização em ambientes externos, seu uso fica economicamente e operacionalmente complexo pois há necessidade da passagem da fibra óptica no ambiente externo, o que onera o projeto e aumenta o seu tempo de implantação.



Repetidor na frequência de transmissão.





Repetidor com deslocamento da frequência.

Figura 2. Tipos de repetidores de dados móveis quanto ao aspecto da transmissão sem utilizar fibra óptica: (a) repetidor na frequência de transmissão e (b) repetidor com deslocamento da frequência.

Com relação ao modo de operação, os repetidores devem operar de forma bidirecional para que haja efetividade no estabelecimento das conexões (LEE et al., 2000). Isso se deve ao fato de que é preciso existir comunicação da EB com o EU e vice-versa, de modo que a troca de dados possa ser estabelecida.

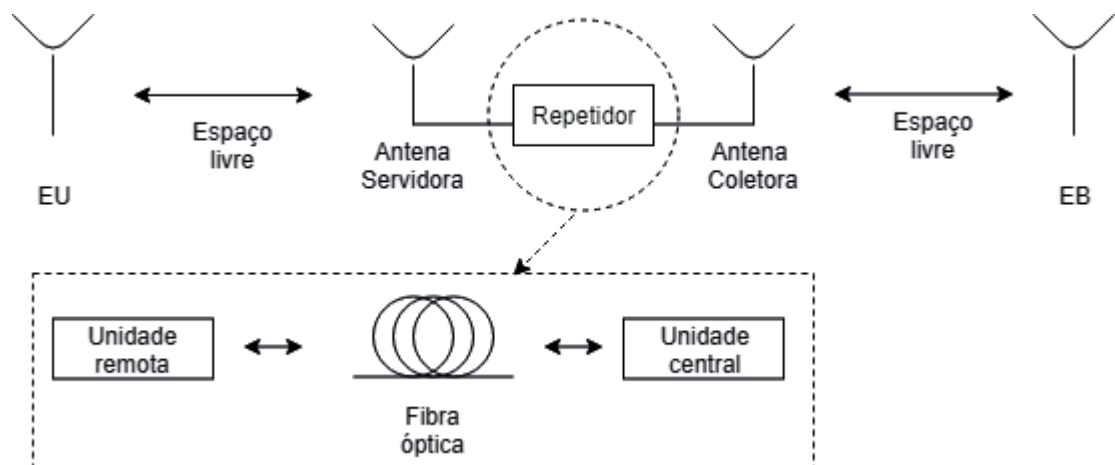


Figura 3. Tipos de repetidores de dados móveis quanto ao aspecto da transmissão utilizando fibra óptica.

### 3 | REVISÃO DA LITERATURA

Nesta seção, os estados da arte e da técnica são descritos, ambos referentes à utilização dos repetidores de dados móveis para comunicação móvel celular.

#### 3.1 Estado da Arte

Lee et al. (2000) consideraram um cenário de simulação envolvendo um ambiente de terreno plano. As métricas de avaliação de desempenho para o cenário considerado foram as seguintes: (a) área de cobertura, (b) capacidade do sistema, (c) ganho de processamento, definido como a razão entre a largura de banda transmitida

pela largura de banda da informação, (d) fator de atividade de voz, o qual foi modelado como uma variável multiplicativa com valores iguais a 0 ou a 1, em que 0 estava associado ao estado de silêncio, enquanto que 1 estava associado ao estado de fala, (e) relação sinal-ruído, (f) relação de interferência entre sinais, assim como (g) a potência recebida no EU. Lee et al. (2000) observaram que, para o caso de uma EB e um certo número de repetidores, a área de cobertura era ampliada e a capacidade da rede se mantinha sem alterações. Enquanto que, para várias EBs com alguns repetidores, além de aumentar a área de cobertura, a capacidade da rede também aumentava.

Ali et al. (2004) analisaram o desempenho dos repetidores por meio da conexão entre o EU e a EB (*uplink*). Foram analisados dois cenários de atuação do repetidor por meio de simulações, tais como: (1) o impacto da transmissão considerando áreas de sombra e (2) a ampliação da área de cobertura da EB. No primeiro, o EU não recebia nenhum tipo de sinal devido aos obstáculos presentes ao longo de sua propagação, enquanto que, no segundo, não havia obstáculos entre o EU e a EB, de modo que a EB poderia receber o sinal tanto do EU quanto do repetidor. Desse modo, a EB recebia o sinal resultante do EU e do repetidor com diferentes atrasos. Para análise dos dois cenários de simulação, foram utilizados: (a) a taxa de erro por bit (BER – *Bit Error Rate*), considerando a presença do ruído gaussiano branco (AWGN – *Additive White Gaussian Noise*) e múltiplos percursos de canais com desvanecimento Rayleigh, (b) a área de cobertura, (c) a capacidade do sistema, (d) o atraso de propagação e (e) o custo. Algumas considerações foram feitas para as simulações, tais como: o repetidor e o EU usavam a mesma codificação de canal e havia uma perfeita isolação entre as antenas do repetidor. As taxas de transmissão utilizadas foram 144 kbps e 384 kbps. Foram considerados ainda os seguintes formatos de modulação: deslocamento binário de fase (BPSK – *Binary Phase Shift Keyed*) e deslocamento de fase em quadratura (QPSK – *Quadrature Phase Shift Keyed*). Por fim, com os resultados obtidos, Ali et al. (2004) concluíram que os repetidores forneciam sinal de RF de boa confiabilidade nesses casos, particularmente com baixas taxas de transmissão, sendo robustos para os casos em que o EU estava em movimento, além de atenderem à área de cobertura de locais com sinais de RF com baixa taxa de transmissão de forma rápida e efetiva, em termos de custo.

Hiltunen (2006) realizou simulações para analisar o impacto na implementação de um repetidor em um edifício. Os parâmetros de avaliação foram os seguintes: (a) a área de cobertura, (b) o ganho de processamento e (c) a capacidade do sistema. Os resultados das simulações mostraram que a implementação do repetidor aumentava a cobertura no edifício. Além disso, a capacidade do sistema foi consideravelmente ampliada quando comparada ao cenário de cobertura sem a utilização do repetidor de dados móveis.

Lähdekorpi et al. (2010) analisaram: (a) a área de cobertura e (b) a relação de interferência entre sinais com relação à eficiência da rede móvel celular em termos

de repetidores utilizados. Dessa forma, compararam diferentes configurações de repetidores por meio de simulações e medições. Para realização do comparativo, foram considerados os seguintes aspectos: (a) o tipo de antena coletora, (b) a inclinação da antena coletora e (c) a localização do repetidor. Por meio de simulações, mostrou-se como a largura do feixe da antena coletora impactava a área de implantação do repetidor. Como exemplo, obteve-se um aumento de 57% na área de cobertura quando a largura do feixe horizontal da antena coletora diminuiu de 65° para 33°, considerando uma rede hexagonal ideal. Com relação à interferência entre sinais, Lähdekorpi et al. (2010) mostraram que, se os repetidores fossem utilizados em todas as células da rede móvel celular, verificar-se-ia uma maior robustez da rede móvel celular. No entanto, considerando um número reduzido de repetidores, o uso de repetidores tornou possível utilizar ângulos de inclinação da antena servidora mais elevados em comparação com os valores ideais sem redução nos valores das interferências entre sinais.

Nascimento (2012) descreveu que seria possível economizar, em termos financeiros e energéticos, com a substituição de uma EB, completamente rodeada por outras estações, por um número de repetidores compreendido entre 1 e 9. No cenário de simulação analisado, foram consideradas: (a) a área de cobertura e (b) a capacidade da rede, utilizando modelos distintos de propagação.

Sharma et al. (2015) propuseram um repetidor que detectava canais ativos no espectro de frequência atribuído à transmissão do sinal. Esse dispositivo permitia também que o processo de amplificação fosse realizado de acordo com a potência recebida do sinal. Para realizar essa verificação no espectro, fez-se uso da técnica de sensoriamento espectral (SS – *Spectrum Sensing*) (BRAGA et al., 2016), cujo principal objetivo é de encontrar disponibilidade espectral de forma dinâmica de modo a se alocar um usuário secundário (SU – *Secondary User*), maximizando assim a eficiência espectral. Os parâmetros de avaliação de desempenho considerados foram: (a) as eventuais perdas no caminho entre a EB e o EU e vice-versa, (b) a potência recebida do sinal, (c) a potência recebida do ruído e (d) a potência do sinal interferente no EU. Os resultados das simulações mostraram até 13% de melhoria na taxa de transferência para o conjunto de parâmetros considerados. Além disso, observou-se que a capacidade do sistema dependia da ocupação dinâmica dos canais e dos erros SS que poderiam ocorrer durante o processo de detecção.

A tabela 1 apresenta um resumo das métricas de avaliação de desempenho utilizadas na literatura com relação aos repetidores de dados móveis.

Métricas de Desempenho	LEE et al. (2000)	ALI et al. (2004)	HILTUNEN (2006)	LÄHDEKORPI et al. (2010)	NASCIMENTO (2012)	SHARMA et al. (2015)
Antena coletora	-	-	-	X	-	-
Área de cobertura	X	X	X	X	X	-
Atraso de propagação	-	X	-	-	-	-
Capacidade do sistema	X	X	X	-	X	-
Custo	-	X	-	-	-	-
Fator de atividade de voz	X	-	-	-	-	-
Ganho de processamento	X	-	X	-	-	-
Inclinação da antena servidora	-	-	-	X	-	-
Localização do repetidor	-	-	-	X	-	-
Potência recebida	X	-	-	-	-	X
Relação de interferência entre sinais	X	-	-	X	-	X
Relação sinal-ruído	X	-	-	-	-	X
Taxa de erro por bit	-	X	-	-	-	-

Tabela 1. Métricas de avaliação de desempenho dos repetidores de dados móveis utilizadas na literatura.

### 3.2 Estado da Técnica

Martin (2015) apresentou um sistema repetidor para estender a cobertura do sinal de RF para comunicação móvel celular. Esse sistema incluía: (1) uma antena, que captava o sinal na banda de frequência da portadora para transmitir e receber sinais de RF de uma EB, (2) outra antena, que compreendia a banda de frequência necessária para transmissão direta do sinal de RF entre os repetidores e o EU e (3) o sistema do repetidor, que trabalhava com esses sinais de RF para serem transmitidos em ambos os sentidos (*uplink* e *downlink*).

Wilson et al. (2010) descreveram um circuito de amplificação. O circuito incluía: (a) um módulo de ganho variável, tendo a entrada configurada para receber o sinal de *uplink* de um EU, (b) um detector de potência e (c) um módulo de controle de ganho. Todos configurados para limitar a saída do módulo de ganho variável de modo que o nível de potência do *uplink* não excedesse um limite predeterminado.

Barros et al. (2012) apresentaram um repetidor na frequência de operação de WiMAX que possibilitava contornar os problemas causados pela perda da linha de visada (LOS – *Light of Vision*) entre a EB e os EUs. O dispositivo utilizou o conceito de realimentação com o objetivo de minimizar o impacto dos múltiplos percursos do sinal (ecos e oscilações) na retransmissão. No entanto, desperdiçava-se um canal e limitava-se o reuso de frequência do sistema. Essa proposta demandava um alto custo computacional para processamento de dados, exigindo um circuito complexo, o que refletia no custo financeiro de implementação do circuito.

Proctor et al. (2012) abordaram sistemas de transmissão duplex por divisão de frequência (FDD – *Frequency Division Duplex*) em redes que forneciam serviço sem fio em diversas bandas de frequência. Propuseram transmissão do sinal em ambas

as direções de *downlink* e *uplink*, utilizando cabos já existentes no local de instalação. Caso o local de instalação ainda não possuísse cabos instalados, sugeria-se utilizar condutores de simples conexões que facilitassem o manuseio (por exemplo, cabos de televisão). Os sinais poderiam ser transmitidos na frequência de transmissão ou em uma frequência intermediária. No caso de ser utilizada uma frequência intermediária, um sinal de referência, gerado por meio de um oscilador local, seria gerado juntamente com o sinal baseado na frequência intermediária. Desse modo, os sinais seriam transmitidos entre as unidades mestre e escravo utilizando um protocolo de comunicação.

Na descrição do sistema, previa-se que a unidade mestre estivesse acoplada à antena coletora para uma maior cobertura sem fio. Como era proposto utilizar os cabos já existentes do local de instalação, um filtro passa faixa era utilizado para separar o sinal da TV do sinal sem fio que seria repetido. Não sendo possível evitar que sinais de outras EBs alcancem o repetidor, em sistemas que utilizam acesso múltiplo por divisão de código (CDMA - *Code Division Multiple Access*) acontece o *soft handoff*. *Soft handoff* é um processo pelo qual sinais de mais de uma EB são recebidos ao mesmo tempo e, quando o nível de potência da EB fornecedora do sinal estiver abaixo de um limite pré-definido, há uma troca, imperceptível ao EU, de qual EB está fornecendo sinal a ele. Como os repetidores possuem detector de potência, eles irão retransmitir apenas o sinal que estiver dentro da faixa esperada de potência, sem repassar ao EU os sinais das EBs adjacentes.

Proctor et al. (2014) apresentaram como devem ser realizadas as configurações de um repetidor. Primeiramente, seria necessário ter um isolamento entre as antenas servidora e coletora. Esse isolamento seria obtido, geralmente, por separação física, padrões de antena ou polarização. Ademais, o ganho do dispositivo não poderia ultrapassar níveis de potência que mantivessem esse isolamento de modo a não resultar em oscilações do sinal no repetidor. Utilizaram ainda uma métrica de qualidade de sinal e outra de isolamento associadas com o desempenho de uma antena de recepção e transmissão, utilizada pelo repetidor, de modo que o conjunto de frequências a serem filtradas e repetidas poderia ser adaptado em tempo real.

A tabela 2 apresenta um resumo das principais contribuições das patentes referentes aos repetidores de dados móveis.

#### **4 | RÁDIO DEFINIDO POR SOFTWARE**

Anand et al. (2012) descreveram como poderia ser implementada uma rede local de baixo custo para comunicação celular que se conectava com a *internet* já existente na região. A rede local foi projetada com uma arquitetura modular e facilmente extensível. As EBs da rede local eram compostas por um rádio definido por *software* (RDS) controlado por computador executando o *OpenBTS*. Por meio do RDS, o *OpenBTS* gerenciava o uso das bandas de frequência na faixa de GSM

para completar chamadas e permitir serviço de troca de mensagens (SMS – *Short Messaging Service*) na rede local. Para implementar o protótipo descrito, foram utilizados equipamentos do tipo USRP que serviram como EBs. Nessa implementação, as EBs operaram na frequência de 900 MHz e nenhum sistema de amplificação de sinal na saída dos RDSs foi utilizado, o que restringiu a área de cobertura do sinal da rede somente ao interior do laboratório, onde os equipamentos estavam localizados. No laboratório, foram realizados testes com diferentes modelos de aparelhos de telefonia móvel celular. Nesses testes também foi verificada a taxa de transferência de dados das conexões do tipo voz sobre IP (VoIP). Ao final da análise foi verificado que as redes apresentavam uma perda de pacotes de apenas 1,4%, quando o tolerável considerado foi de uma perda de até 10%.

Contribuição	WILSON et al. (2010)	BARROS et al. (2012)	PROCTOR et al. (2012)	PROCTOR et al. (2014)	MARTIN (2015)
Configurações do equipamento	-	-	-	X	-
Função de cancelamento de eco	-	X	-	-	-
Limite de amplificação da potência	X	-	-	-	-
Sistema repetidor bidirecional	-	-	-	-	X
<i>Soft handoff</i>	-	-	X	-	-

Tabela 2. Principais contribuições das patentes referentes aos repetidores de dados móveis.

Kapekov (2012) publicou um artigo sobre o funcionamento básico de um RDS, descrevendo desde os fatores limitantes que devem ser levados em conta na elaboração do projeto, bem como ilustrando suas vantagens na realização de pesquisas. Kapekov (2012) também descreveu um projeto disponível à comunidade científica (*open-hardware*), possuindo um custo de produção relativamente baixo quando comparado aos demais equipamentos (*hardwares*) disponíveis no mercado, oferecendo suporte a *softwares* de código aberto (*softwares open-source*), por exemplo: *OpenBTS* e *GNUradio*, apresentando diversas funcionalidades, dentre elas, controle de RDSs.

Stewart et al. (2015) apresentaram um RDS com baixo custo, aproximadamente 20 dólares. O dispositivo tinha como objetivo a conexão com computadores pessoais via USB 2.0, tornando possível, através de *drivers*, uma interface direta com o MatLAB, assim como com suas ferramentas, por exemplo, o *Simulink*. Dentro da gama de frequências que o dispositivo trabalhava estão as seguintes faixas de frequência: (1) FM, (2) ISM, (3) GSM, (4) 3G, (5) LTE e (6) GPS. A tabela 3 apresenta as principais características das implementações de rádio definido por *software*, no contexto de repetidores de dados móveis, disponíveis na literatura.

Características	ANAND et al. (2012)	KAPENKOV (2012)	STEWART et al. (2015)
Implementação de redes de repetidores	X	X	-
Integração com MatLAB	-	-	X
<i>Open source</i>	X	X	X

Tabela 3. Principais características das implementações de rádio definido por *software*, no contexto de repetidores de dados móveis, disponíveis na literatura.

## 5 | CONCLUSÕES

A contribuição deste capítulo foi de apresentar um tutorial sobre os repetidores de dados móveis, incluindo os estados da arte e da técnica e, conseqüentemente, discutir sua implementação e usabilidade em comunidades com dificuldades no estabelecimento da comunicação móvel celular. Além disso, foi discutido também como a tecnologia de rádio definido por *software* vem sendo utilizada na literatura para que os repetidores de dados móveis possam ser utilizados de modo a aumentar a cobertura e a capacidade da rede de comunicação móvel celular.

## REFERÊNCIAS

- ALI, A. H. et al. The performance of repeaters in UMTS networks. In: **Proceedings of the IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference**, 2004. p. 465-468.
- ANAND, A. et al. VillageCell: Cost effective cellular connectivity in rural areas. In: **Proceedings of the International Conference on Information and Communication Technologies and Development**. ACM, 2012. p. 180-189.
- BARROS, A. D. S. et al. **Método para Mitigação de Realimentações de Sinal em Repetidor Isofrequencial com Duplexação TDD**. BR Patente PI 1 001 895-6 A2, 27 março. 2012.
- BRAGA, A. J. et al. Continuous spectrum sensing and transmission in MIMO cognitive radio network. **IEEE Latin America Transactions**, v. 14, n. 6, p. 2605-2610, 2016.
- BURIOL, L. et al. Otimizando o roteamento do tráfego na internet. **XXXV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, p. 1722-1732, 2003.
- CORRÊA, F. A. M. et al. Impacto da implantação de uma *small cell* em uma região altamente congestionada. **XIV CEEL**, p. 1-6, 2016. ISSN 2178-8308.
- FARIA, D. R. M., **Repetidor de Sinais da Telefonia Móvel Celular em Faixa Larga**, BR. Patente MU 9 002 156-8 U2, 10 novembro. 2010.
- HILTUNEN, K. Using RF repeaters to improve WCDMA HSDPA coverage and capacity inside buildings. In: **IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications**, 2006. p. 1-5.
- KAPENKOV, A. Open source software defined radio. In: **IV International Conference “Problems of Cybernetics and Informatics”**, Baku-Azerbaijan. 2012.
- LÄHDEKORPI, P. et al. Implementation aspects of RF-repeaters in cellular networks. In: **IEEE**

**International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications**, 2010. p. 2511-2516.

LEE, W. C. et al. The impact of repeaters on CDMA system performance. In: **IEEE Vehicular Technology Conference**, 2000. p. 1763-1767.

MARTIN, A. C. **Repeater system for extended cell coverage**. U.S. Patent n. 9,002,260, 7 abril. 2015.

NASCIMENTO, J. M. P. **Avaliação do impacto energético resultante da utilização de repetidores em sistema LTE**. 2012. Tese de Doutorado. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Instituto Politécnica de Lisboa.

PROCTOR, J. A. et al. **Repetidor Sem Fio com Configuração Mestre/Escravo**. BR. Patente PI 0 712 668-9 A2,04 setembro. 2012.

PROCTOR, J. A. et al. **Configuração de um Repetidor**, BR. Patente PI0808538-2 A2, 26 agosto. 2014.

SCHULTZ, L. R. K. **Estudo das alternativas de comunicação para a população da região rural do interior do Estado do Paraná**. 2004. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Paraná.

SHARMA, S. K. et al. Repeater for 5G wireless: A complementary contender for spectrum sensing intelligence. In: **IEEE International Conference on Communications**, 2015. p. 1416-1421.

STEWART, J. N. **Cell phone/internet communication system for RF isolated areas**. U.S. Patent n. 8,326,156, 4 dezembro. 2012.

STEWART, R. W. et al. A low-cost desktop software defined radio design environment using MATLAB, simulink, and the RTL-SDR. **IEEE Communications Magazine**, v. 53, n. 9, p. 64-71, 2015.

WILSON, J. W. et al. **Cellular network amplifier with automated output power control**. U.S. Patent n. 7,783,318, 24 agosto. 2010.



## **SOBRE O ORGANIZADOR**

**Helenton Carlos da Silva** - Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (2007), especialização em Gestão Ambiental e Desenvolvimento Sustentável pelo Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais (2010) é MBA em Engenharia Urbana pelo Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais (2014), é Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental na Universidade Estadual de Ponta Grossa (2016), doutorando em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa e pós-graduando em Engenharia e Segurança do Trabalho. A linha de pesquisa traçada na formação refere-se à área ambiental, com foco em desenvolvimento sem deixar de lado a preocupação com o meio ambiente, buscando a inovação em todos os seus projetos. Atualmente é Engenheiro Civil autônomo e professor universitário. Atuou como coordenador de curso de Engenharia Civil e Engenharia Mecânica. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em projetos e acompanhamento de obras, planejamento urbano e fiscalização de obras, gestão de contratos e convênios, e como professor na graduação atua nas seguintes áreas: Instalações Elétricas, Instalações Prediais, Construção Civil, Energia, Sustentabilidade na Construção Civil, Planejamento Urbano, Desenho Técnico, Construções Rurais, Mecânica dos Solos, Gestão Ambiental e Ergonomia e Segurança do Trabalho. Como professor de pós-graduação atua na área de gerência de riscos e gerência de projetos.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Alto forno 105, 108

### B

Bancada didática 120, 123, 129, 273, 274, 277, 281, 282

### C

Cartografia 131

Casca de arroz 131, 133, 135, 136, 137, 138, 139, 140

Cidades Inteligentes (CI) 1, 5, 7, 8

Comissionamento das unidades hidrelétricas 157, 165, 167

Concentrador solar 170

Conscientização ambiental 93

CPC 170, 171, 172, 175, 176

### D

Dimensionamento 170, 171, 175, 176, 193

### E

Educação ambiental 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104

Educação na escola 93

Energia solar 170, 171, 186, 187, 228, 233

Engenheiro de produção 53, 54, 55, 58, 59, 61, 62, 63, 64

Ensino universitário 13

Ergonomia 26, 27, 28, 35, 40, 41, 42, 51, 52, 58, 295

Estilo de liderança 53, 54, 55, 57, 58, 60, 61, 62, 63, 64

### F

Fenômenos organizacionais 80

Função de produção hidrelétrica 160, 169

### G

Gerador síncrono isolado 143

Governança corporativa 80, 82, 88, 89, 90, 91

### I

Índice de aproveitamento 13

Indústria 4.0 120, 122, 123, 125, 126, 128, 129, 130

Inovação 3, 6, 7, 8, 57, 66, 67, 68, 73, 74, 75, 77, 78, 79, 281, 295

(Inter) Multidisciplinaridade 1, 2, 9

## L

Liderança 38, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 60, 61, 62, 63, 64, 65

## M

Método de Suzanne Rodgers 26, 28, 29, 34

Métodologias ativas 13

Método OWAS 26, 42, 44, 45, 50, 51

Microcontrolador PIC 143

Miniusinas 131, 139

## O

Óptica 170, 175, 264, 265, 266, 268, 282, 285, 286, 287

## P

Plano diretor 1

Política industrial 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 75, 76, 77, 78, 79

Política pública 66

Prevenção a acidentes 105

Programação não-linear inteira-mista 157, 158, 162

Projetos urbanos 1

## Q

Questionário nórdico 26, 30, 34, 37

## R

Regulador automático de tensão 143, 144, 145, 149, 150

Responsabilidade social 58, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 89, 90, 91, 200

## S

Saúde do colaborador 26

Segurança do trabalho 38, 40, 52, 58, 295

Sistema de excitação 143, 145

Sistemas hidrelétricos 120, 121, 123, 124, 129, 130, 157

Sustentabilidade 7, 10, 58, 71, 80, 82, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 104, 295

## T

Tecnologia da informação e comunicação (TIC) 1, 2, 3, 12

Temas transversais 93, 96, 98, 103, 127

Temperatura 36, 37, 105, 106, 107, 108, 109, 112, 116, 117, 118, 143, 147, 170, 172, 173, 174, 175, 179, 218, 220, 225, 226, 227, 229, 230, 231, 232, 233, 238, 282

## V

Vigilância 40, 45, 47, 50

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-697-3

