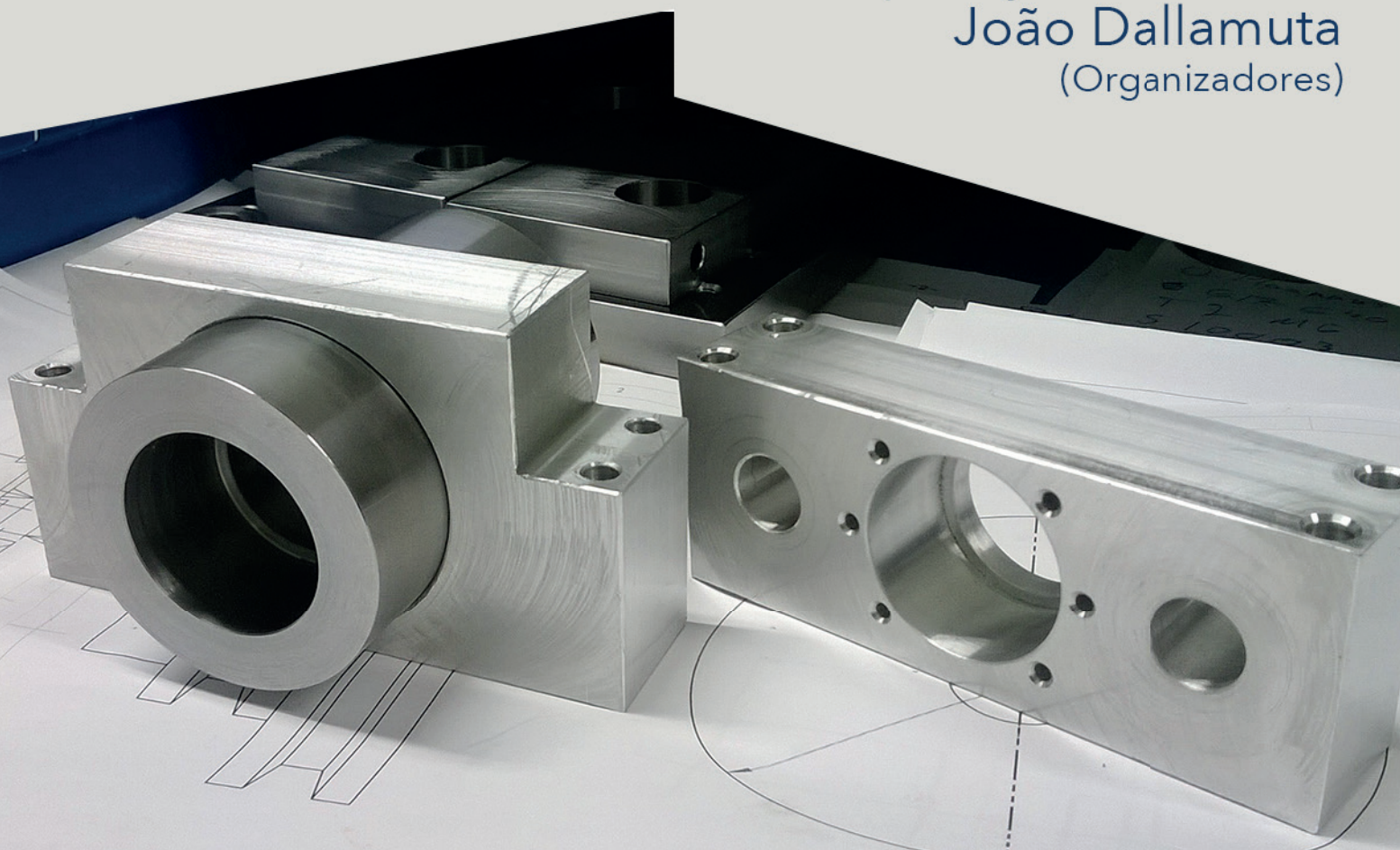


# Engenharias Mecânica e Industrial: Gestão e Simulação

Franciele Bonatto  
Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
(Organizadores)



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
SURFACE FINISH:  
TOLERANCES:  
LINEAR:  
ANGULAR:  
FIT:  
TOLERANCE:  
SURFACE FINISH:  
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:

**Atena**  
Editora

Ano 2018

**Franciele Bonatto**  
**Henrique Ajuz Holzmann**  
**João Dallamuta**  
(Organizadores)

# **Engenharias Mecânica e Industrial: Gestão e Simulação**

Atena Editora  
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

Revisão: Os autores

#### Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
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. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
E57	Engenharias mecânica e industrial [recurso eletrônico] : gestão e simulação / Organizadores Franciele Bonatto, Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018.  Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web ISBN 978-85-85107-77-2 DOI 10.22533/at.ed.772180506  1. Automação industrial. 2. Engenharia mecânica. 3. Produtividade industrial. I. Bonatto, Franciele. II. Holzmann, Henrique Ajuz. III. Dallamuta, João.  CDD 670.427
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

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.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

A engenharia mecânica provavelmente seja a mais versátil de todas as engenharias. Sua gama de atuação envolve praticamente todas as atividades industriais e inúmeros temas transversais como materiais, métodos, gestão e qualidade. Temas estes que se subdividem em vários outros, o que torna a organização de um livro de engenharia mecânica é uma tarefa desafiadora, porém gratificante. Nesta obra é possível verificar a diversidade de temas envolvendo a engenharia mecânica e industrial com metodologias de simulação e gestão.

A simulação é na sua essência uma ferramenta experimental e refere-se a um modelo de realidade que nos permite avaliar e prever a dinâmica de desdobramento dentro de condições pré definidas.

É uma das bases da atividade de engenharia, sem a qual viabilidades econômicas e sobretudo de segurança em projetos de componentes e sistemas não seriam obtidas. Processos de simulação buscam melhores índices de segurança e retorno para o projeto.

Neste livro são apresentados vários trabalhos, alguns com resultados práticos, sobre simulações em vários campos da engenharia industrial, nas áreas de escoamentos, elementos de máquinas e aproveitamento energético.

Igualmente importante para a segurança, mas sobretudo para o retorno econômico de projetos, são as técnicas de gestão adequadas. São apresentados trabalhos de análise de qualidade de vida, acidentes de trabalho e melhoria contínua do ambiente industrial. Estas abordagens trazem o elemento humano para a discussão e ratificam a importância do profissional de engenharia para a sociedade como um todo.

Boa leitura

Franciele Bonatto  
Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
ANÁLISE DA CARÇAÇA INTERTRAVADA DE UM TUBO FLEXÍVEL PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS	
<i>Virgínia Siqueira Gonçalves</i>	
<i>Elias Rocha Gonçalves Júnior</i>	
<i>Álvaro de Azeredo Araújo de Carvalho</i>	
<i>Juliana Araujo Brasil</i>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>15</b>
ESCOAMENTO GÁS-LÍQUIDO NO PADRÃO ANULAR: UMA ANÁLISE DE CORRELAÇÕES PARA O FATOR DE ATRITO INTERFACIAL	
<i>Cidelei Ferreira de Paula Junior</i>	
<i>Luiz Eduardo Melo Lima</i>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>28</b>
MODELAGEM NUMÉRICA EM LÂMINA DE MOLA SEMIELÍPTICA	
<i>Marcella Monnique Mello da Silva</i>	
<i>Leonel Leonardo Delgado Morales</i>	
<i>Vinícius Rodrigues Moraes Silva</i>	
<i>Yanique Vidal Costa</i>	
<i>André Nepomuceno Trajano</i>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>37</b>
DETECÇÃO DE DEFEITOS EM ROLAMENTOS INDUSTRIAIS ATRAVÉS DE REDES NEURAS ARTIFICIAIS E ANÁLISE DE VIBRAÇÃO	
<i>Luís Henrique Ferreira de Oliveira</i>	
<i>Jorge Nei Brito</i>	
<i>Lucas Costa Brito</i>	
<i>Daniel Junio Soares Rodrigues</i>	
<i>Vinícius Augusto Diniz Silva</i>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>49</b>
AVALIAÇÃO E COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE SOMMERFELD E OCVRK PARA MANCAIS HIDRODINÂMICOS RADIAIS	
<i>Gabriel Alves Costa</i>	
<i>Erickson Fabiano Moura Sousa Silva</i>	
<i>Sillas de Oliveira Cezar</i>	
<i>Victor Hugo Martins de Almeida</i>	
<i>Vaneide Gomes</i>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>63</b>
ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À FADIGA DE UM TRANSPORTADOR DE LÂMINAS DE CLÍNQUER	
<i>Raphael Calazans Cardoso</i>	
<i>Frederico Castro Souza</i>	
<i>Abraão Santos Silva</i>	
<i>Gustavo Dória Lima</i>	
<i>Sandro Griza</i>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>74</b>
TRAÇADO DO DIAGRAMA DE INTERAÇÃO N, M DE PILARES EM CONCRETO ARMADO SOB FLEXÃO NORMAL COMPOSTA	
<i>Ana Carolina De Oliveira Ribeiro</i>	
<i>Caroline Martins Calisto</i>	
<i>Cristiane Caroline Campos Lopes</i>	
<i>Thamires Carvalho Neves</i>	

<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>82</b>
ANÁLISE DO POTENCIAL ENERGÉTICO DE ONDA NA PLATAFORMA CONTINENTAL BRASILEIRA	
<i>Ricardo Cardoso Guimarães</i>	
<i>Phelype Haron Oleinik</i>	
<i>Eduardo de Paula Kirinus</i>	
<i>Bruno Vasconcellos Lopes</i>	
<i>William Correa Marques</i>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>90</b>
APLICATIVO EM AMBIENTE MATLAB PARA METODOLOGIA EDUCACIONAL NO DIMENSIONAMENTO DE PROJETOS FOTOVOLTAICOS	
<i>Bruno de Alencar Carneiro</i>	
<i>Rubens Soeiro Gonçalves</i>	
<i>Rômulo Diêgo Marinho Siqueira</i>	
<i>Ricardo Medeiros Rodrigues</i>	
<i>Dalmir dos Santos Matos</i>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>106</b>
ANÁLISE E DISCUSSÕES SOBRE ACIDENTES DE TRABALHO NAS OPERAÇÕES COM TRATORES AGRÍCOLAS NA REGIÃO DO ALTO SERTÃO SERGIPANO	
<i>Antonio Cardoso Ferreira</i>	
<i>Fábio Santos de Oliveira</i>	
<i>Fabício Oliveira da Silva</i>	
<i>Jubirai José Galliza Júnior</i>	
<i>Vagner dos Anjos Costa</i>	
<i>Silvio Leonardo Valença</i>	
<i>Cochiran Pereira dos Santos</i>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>118</b>
AS DIFERENTES NUANCES NA QUALIDADE DE VIDA NO TRABALHO (QVT) NA CONSTRUÇÃO CIVIL: ESTUDO COMPARATIVO EM EQUIPES DE MANUTENÇÃO E PROJETOS	
<i>André Luis Martins de Souza</i>	
<i>Renata Alessandra Evangelista</i>	
<i>Alexandre Assis Bueno</i>	
<i>Lucas Oliveira Magalhães</i>	
<i>Pedro de Freitas Silva</i>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>132</b>
O USO DA KAIZEN NO SETOR DE MONTAGEM	
<i>Maikon Ricardo Peruchini</i>	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES</b> .....	<b>145</b>

## ANÁLISE DA CARÇAÇA INTERTRAVADA DE UM TUBO FLEXÍVEL PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

### **Virgínia Siqueira Gonçalves**

Universidade Candido Mendes  
Campos dos Goytacazes – Rio de Janeiro

### **Elias Rocha Gonçalves Júnior**

Universidade Candido Mendes  
Campos dos Goytacazes – Rio de Janeiro

### **Álvaro de Azeredo Araújo de Carvalho**

Universidade Candido Mendes  
Campos dos Goytacazes – Rio de Janeiro

### **Juliana Araujo Brasil**

Universidade Estácio de Sá  
Campos dos Goytacazes – Rio de Janeiro

**RESUMO:** As carcaças intertravadas são estruturas fundamentais para o desenvolvimento da indústria do petróleo e são utilizadas em tubos flexíveis. Os flexíveis são tubos aplicados em estruturas submarinas para o deslocamento de fluidos e/ou instrumentalizar sistemas em plataformas. Neste trabalho, foram desenvolvidas análises da carcaça de um tubo flexível de 4 polegadas sob carregamentos externos de tração utilizando o método de elementos finitos. As simulações foram realizadas pelo software Autodesk Inventor®, versão estudantil 2015. Através do monitoramento dos carregamentos de tração, pode-se assim determinar suas propriedades mecânicas, a fim de minimizar a possibilidade de ocorrência de falhas, aumentar a vida útil

e otimizar a confiabilidade operacional. Para realizar a análise da carcaça, foi utilizado um perfil próprio de 48 x 1,2 mm e o aço inoxidável AISI 304 como material de teste. A partir da análise realizada, pode-se afirmar que o perfil selecionado teve comportamento equivalente ao esperado, uma vez que a face que estava engastada deveria ser o ponto com menor e a face tracionada o de maior tensão. Além disso, verificou-se que a tensão máxima exercida no aço AISI 304 em teste é aproximadamente igual ao valor, deste mesmo material, de tensão máxima teórica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Carcaça intertravada, Carregamentos externos, Tubos flexíveis.

**ABSTRACT:** Interlocked carcasses are essential structures for the development of the petroleum industry and are used in flexible hoses. The flexible are tubes applied in underwater structures for the displacement of fluids and / or instrumentalize systems on platforms. In this work, analyzes of the carcass of a 4-inch flexible tube under external traction loads were developed using the finite element method. The simulations were carried out using Autodesk Inventor® software, student version 2015. Through the monitoring of traction loads, it is possible to determine its mechanical properties in order to minimize the possibility of

occurrence of failures, increase the useful life and optimize the reliability Operational. To perform the analysis of the carcass, a 48 x 1,2 mm profile and AISI 304 stainless steel were used as test material. From the analysis performed, it can be affirmed that the selected profile had behavior equivalent to that expected, since the face that was embedded should be the point with smaller and the traction face with the higher tension. Furthermore, it has been found that the maximum stress exerted on the test AISI 304 steel is approximately equal to the value of the theoretical maximum stress of the same material.

**KEYWORDS:** Interlocked Carcass, External loads, Flexible pipelines.

## 1 | INTRODUÇÃO

Sabe-se que com toda a expansão ocorrida no mercado do petróleo, o aumento da exploração, produção e exportação foi bem visível nas últimas décadas. No Brasil, há uma das maiores petrolíferas do mundo, a Petróleo Brasileiro S/A, mais conhecida como PETROBRAS (FRANCISCO, 2016). A partir disso, tornou-se necessário que novos estudos fossem realizados para o desenvolvimento de novas tecnologias, transporte de fluido e gases, o que levou a uma evolução relevante na forma de obter o óleo. Assim, as empresas offshores começaram a fazer uso dos tubos flexíveis, com camadas concêntricas plásticas e metálicas. A característica que confere ao tubo essa flexibilidade é a carcaça, camada mais interna do duto, que, por ser intertravada, possibilita certo movimento (PORTAL PETROBRAS, 2016).

Nas empresas petrolíferas, são encontrados dois tipos de tubos, rígidos e flexíveis, sendo estes utilizados para o transporte de vários tipos de fluido como petróleo, água de injeção e gases utilizados para gaslift ou injeção, e produtos químicos, geralmente trabalhando em condições severas e altas pressões.

A partir de um significativo número de estudos, observou-se a viabilização do uso de tubos flexíveis, considerada uma das formas mais seguras de produzir petróleo. Por isso, é importante aprofundar os conhecimentos sobre estes, pois suas falhas podem causar vazamento de fluido, imobilização de sistemas de operação, atraso de produção e danos ao meio-ambiente.

Os flexíveis possuem alto custo de fabricação, sendo utilizados em grandes lâminas d'água, tanto no pré-sal, como no pós-sal, em lâminas pequenas como na exploração terrestre do petróleo, também denominada onshore. A capacidade de carga é derivada de sua flexibilidade e, nesse caso, necessitam do apoio do solo e resistem a cargas de menor valor. Estes são classificados como: *risers* e *flowlines*. Os *risers* são dutos utilizados para aplicações de caráter dinâmico e aqueles utilizados para aplicações estáticas são denominados *flowlines* (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE TUBO DE CONCRETO, 2016).

As duas classificações apresentam estruturas tubulares, formadas por



sobreposição de camadas metálicas, utilizadas para equilíbrio estrutural, suportar os esforços internos do fluido transportado e também carregamentos externos como pressão hidrostática e correnteza marítima, além de possuir camadas poliméricas que tem a função impermeabilizante (BICUDO, 2009).

Para a prevenção do colapso do tubo causado pelas camadas helicoidais quando submetidos a esforços externos, utilizamos a carcaça intertravada. Esta tem por funções sustentar as cargas radiais, resistir aos esforços de compressão diametral e a pressões externas. Geralmente, é composta de aços inoxidáveis do tipo ANSI 316L ou 304L (AK STEEL, 316/316L Stainless Steel; 304/304L Stainless Steel).

Como o objetivo do trabalho é analisar o comportamento estrutural da carcaça intertravada de um tubo flexível de quatro polegadas sob carregamentos externos de tração, vale fazer uma sucinta explicação sobre os tipos de esforço citados anteriormente. “1. Tração é o ato ou efeito de puxar, arrastar e movimentar”; “2. Ação de uma força que desloca o objeto móvel por meio de corda ou algo mais intermediário.” (FERREIRA, 1999).

Neste trabalho, os ensaios mecânicos não foram empregados, sendo análise numérica qualitativa dos esforços feita através do método de elementos finitos, utilizando-se do software Autodesk Inventor® 2015, versão estudantil.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

O tubo flexível foi inicialmente proposto pelo Instituto Francês de Petróleo (IFP) em 1960 e foi comercializado em 1972 (MACHADO, 1980). Em 1977, o campo de Garoupa, na Bacia de Campos, teve seus primeiros tubos flexíveis instalados. Aproximadamente 80% da produção atual de petróleo e gás brasileiros se dão pelo uso dos tubos flexíveis (CARNEVAL; MARINHO, 2006). Há cerca de 1200 flexíveis em operação e uma malha de quase 5.300 km se conectam as variadas estruturas de produção, como por exemplo, plataformas e boias.

Os flexíveis são tubos aplicados em estruturas submarinas para o deslocamento de fluidos e/ou instrumentalizar sistemas em plataformas, conforme Figura 1. Witz (1996) afirma:



Figura 1. Tubo flexível típico

A estrutura do flexível tende a variar conforme o fabricante, o local de sua aplicação, a tecnologia adotada em sua fabricação, a especificação do fluido e a profundidade da lâmina d'água. Mas, fundamentalmente, é composta por camadas de aço que são enroladas helicoidalmente e de camadas homogêneas de termoplásticos com diferentes geometrias e materiais (TARFAOUI; GNING; COLLOMBET, 2009).

Conforme a sua fabricação, são classificados em não aderentes (*unbonded*) ou aderentes (*bonded*):

- Aderentes: Camadas ligadas através de adesivo ou pela aplicação simultânea de pressão e calor, tendo como resultado uma estrutura única;
- Não aderentes: Camadas independentes, deslizamentos podem ocorrer.

Quanto à aplicação, o flexível pode ser denominado como *Risers* ou *Flowlines*.

## 2.2 *Risers*

Os *risers* podem ser identificados como tubos de longos comprimentos constituídos de diferentes camadas que permitem o transporte do petróleo em águas ultra profundas, também interligam a unidade produtora e exploradora ao *flowline*. Podem ser rígidos ou flexíveis, sendo que estes possuem variadas aplicações voltadas para o campo da engenharia offshore, segundo a norma API RP 17B (2002) são classificadas em:

- Produção – petróleo, gás, condensados e água;
- Injeção – água, gás e produtos químicos para o poço;
- Exportação – petróleo semi-processado e gás;
- Serviços – produtos químicos de topo de poço e fluidos de controle.

Conforme a sua fabricação, são classificados em não aderentes (*unbonded*) ou aderentes (*bonded*):

- *Riser Bonded*: Com adesivo entre as camadas para reforçar a matriz polimérica;
- *Riser Unbonded*: Sem adesivo entre as camadas.

## 2.2 *Flowlines*

Os *flowlines*, assim como os *risers*, são formados por seções transversais compostos por camadas variadas, apresentando funções específicas. É caracterizado pelo seu assentamento no leito marinho após sua instalação, aplicados em serviços estáticos de interligação de equipamentos marinhos. A organização de suas camadas difere dos *risers*, não possuem camadas antidesgaste já que somente haverá movimento relativo em sua instalação e a disposição de algumas camadas poliméricas (SANTOS, 2011).

## 2.3 Características estruturais e mecânicas

Como Lopes (2013) afirma, os flexíveis são estruturados por camadas concêntricas. Assim, é esperado que as seguintes propriedades sejam alcançadas:

- Elevada resistência à tração;
- Baixa rigidez à flexão, permitindo o bobinamento e armazenamento;
- Elevada rigidez axial;
- Capacidade de resistir e ter seu peso próprio suportado durante o lançamento;
- Capacidade de acomodar os movimentos naturais aos processos de instalação e operação;
- Resistência à pressão interna e externa e a possíveis esforços de sua despressurização rápida;
- Estrutura esbelta.

A estrutura dos tubos flexíveis é complexa e de camadas variadas em função das condições de operação para as quais serão aplicadas, com características, finalidades e funcionalidades especificadas para cada camada.

Segundo Pagotto (2013), as camadas de um tubo flexível são as seguintes:

- Camada de isolamento térmico;
- Capa externa;
- Armadura de tração;
- Camada anti-desgaste;
- Armadura de pressão;
- Camada plástica interna;
- Carcaça intertravada.

## 2.4 Carcaça intertravada

Como este trabalho tem por finalidade analisar o comportamento estrutural da mesma sob esforços externos, faz-se necessário um conhecimento mais pertinente do seu processo de fabricação, materiais mais utilizados, conformação das fitas, entre outras características.

O processo de fabricação é dado por sucessivas conformações e soldagens. Para iniciar o processo, utiliza-se uma “fita” de aço inoxidável duplex que é conformada e enrolada em hélice em torno de um mandril, que é responsável por intertravar cada seção possibilitando a armação dessa “espiral”. Como o processo de “espiralagem” é contínuo, as fitas de aço vão sendo soldadas umas às outras até a obtenção da extensão pretendida em formatação em “S” para um encaixe sequencial (PEREIRA et al., 2014).

Com isso, as juntas devem exibir boas características mecânicas em função da severidade da conformação. Então, se concretiza dessa forma o que se conhece como

carcaça intertravada (OLIVEIRA; LUZ, 2013).

Segundo Pagotto (2013), a carcaça intertravada é utilizada pela capacidade de prevenir o colapso do tubo quando submetido à pressão externa e suporta também a camada plástica interna.

Com o aumento da agressividade do fluido interno, o tipo de aço adequado para a carcaça intertravada passa gradativamente do aço carbono para o aço-liga com alto teor de níquel (SOUSA, 2005).

A carcaça intertravada é feita de aço inox austenítico, o qual obrigatoriamente possui boa resistência à corrosão por hidrocarbonetos e água. Utilizam-se aços inoxidáveis do tipo AISI 304, AISI 316, AISI 409, entre outros (SOUSA, 1999).

A Tabela 1 demonstra, segundo Bastian (2000), a relação entre as propriedades de alguns componentes da camada intertravada. Não houve a consideração da ação do encruamento no processo de fabricação nestes valores.

Tipo de AÇO	Tensão de Escoamento	Ruptura	
		Tensão	Deformação
AISI 304	310 MPa	620 MPa	30,0%
AISI 304L	310 MPa	620 MPa	30,0%
AISI 316	310 MPa	620 MPa	40,0%
AISI 316L	310 MPa	620 MPa	30,0%
AISI 409	205 MPa	380 MPa	20,0%
AISI 430	205 MPa	450 MPa	22,0%
UNS S31803	450 MPa	620 MPa	25,0%

**Tabela 1.** Propriedade dos aços utilizados para fabricação da carcaça intertravada.

## 2.5 Método dos Elementos Finitos

A modelagem numérica desempenha um papel muito importante na análise do comportamento das estruturas submetidas ao carregamento rápido (TARFAOUI; GNING; COLLOMBET, 2009). Esta análise, baseada na resolução da equação de equilíbrio dinâmico e na equação de conservação de energia com as condições de contorno impostas à estrutura, requer o uso do comportamento mecânico do material envolvido

O Método dos Elementos Finitos (MEF) é uma eficiente ferramenta numérica de resolução de problema de um meio contínuo. Proporciona modelagens realísticas, seguras com aplicações práticas na engenharia, sendo mais econômicas que os modelos físicos, que são utilizados usualmente em escala reduzida e em laboratórios (SORIANO, 2003).

Segundo Pereira (2005), pode-se afirmar que atualmente este método é o modelo numérico mais utilizado na obtenção de soluções de diversos problemas com importância para a Engenharia.

O MEF permite o estudo de deslocamento e o estado de tensão e de deformação de um sólido de geometria sob esforços externos. Quando utilizado para projetar uma

estrutura, é usual que diversas análises e modificações das suas características sejam realizadas, com o objetivo de se alcançar um resultado satisfatório na verificação dos pré-requisitos funcionais e regulamentares, além de alcançar níveis econômicos convenientes, o que viabilizaria o projeto (CLOUGH, 1960).

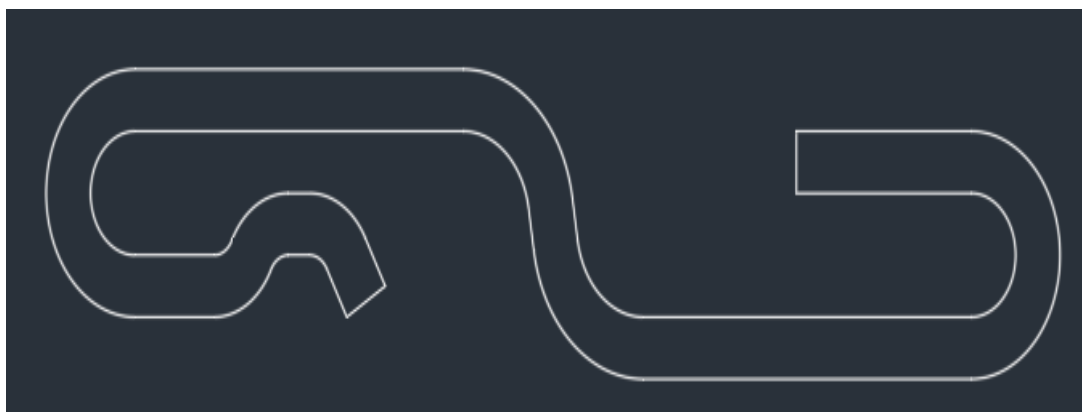
## 2.6 Modelagem e simulação de carregamentos externos

Foi realizada uma simulação de análise de tensão axial e, para tal, utilizou-se o software Autodesk Inventor® 2015, baseado no método de elementos finitos. Esta análise buscou avaliar o comportamento da carcaça intertravada de um tubo flexível, além de determinar o comportamento do material escolhido para a mesma, neste caso o aço inox AISI 304, e para validação do modelo de carcaça utilizado.

A simulação foi realizada com a aplicação de carga na carcaça intertravada de um *riser*, pelo fato de este ser o tipo de tubo flexível que está sujeito a esforços dinâmicos, uma vez que o *flowline* fica disposto no leito marinho, livre de quaisquer esforços do tipo dinâmico ou impactos. A força a ser aplicada teve um módulo de 14380 Newtons, sendo que esse valor foi encontrado devido aos vários testes realizados na amostra, a fim de atingir a tensão máxima suportada pelo material.

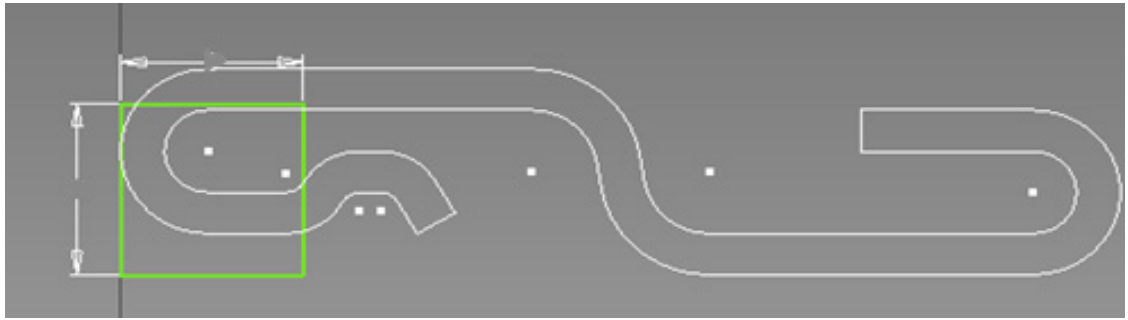
Foi desenvolvido um modelo próprio de carcaça intertravada foi adotado para esta análise de tensão. O perfil da fita foi de 48 x 1,2 mm. O desenho do perfil “S” foi feito no Autodesk Autocad® 2017, em seguida, o desenho foi importado para o Autodesk Inventor® 2015 para a criação do modelo sólido de 4 polegadas. Em uma conversão de polegada para milímetro, obtemos 101,6 de diâmetro interno.

O desenho inicial foi feito no Autodesk Autocad® 2017, ilustrado na Figura 2, e em seguida a carcaça foi projetada em 3D no Autodesk Inventor® 2015.

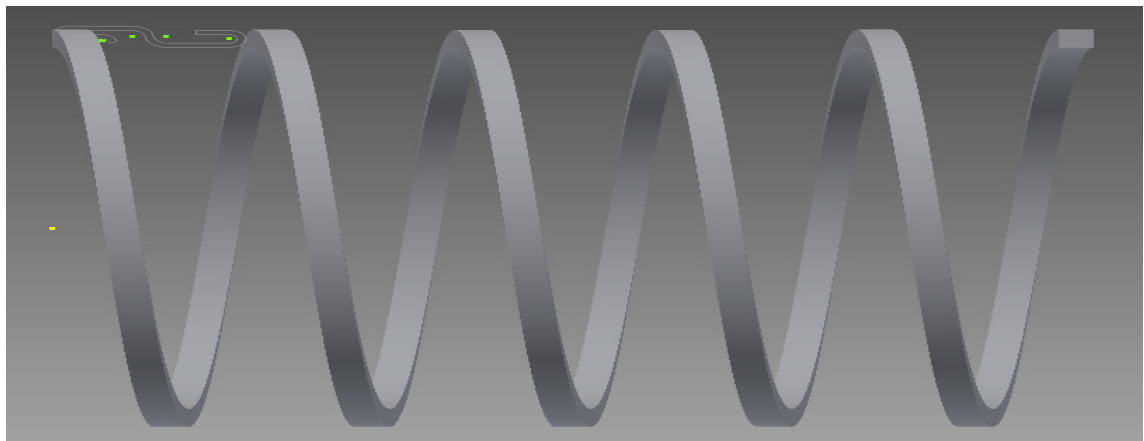


**Figura 2.** Desenho do perfil da carcaça intertravada no Autodesk Autocad® 2017

Para que o desenho tenha o perfil cilíndrico de um tubo, desenhou-se um quadrado pequeno na parte inferior da carcaça, vide Figura 3, para que o comando “coil” pudesse ser realizado com passo de 28,5 mm, vide Figura 4, com a intenção de ser utilizado como base para modelagem da carcaça.



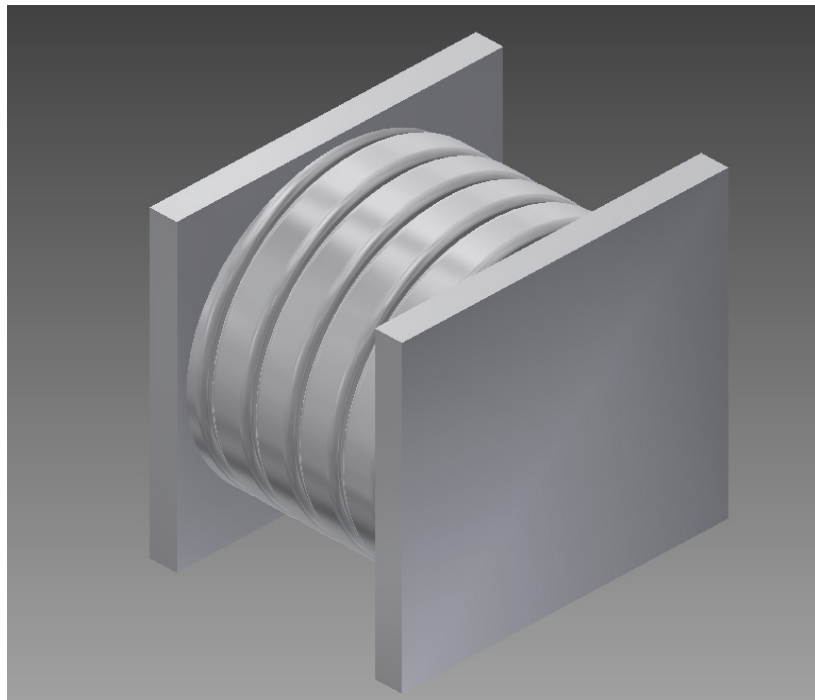
**Figura 3.** Quadrado utilizado para molde



**Figura 4.** Comando “coil” no perfil quadrado

O comando utilizado para que o perfil intertravado acompanhasse o perfil quadrado foi o “sweep” e as espiras foram cortadas de forma que ficassem verticalmente uniformes para receberem as placas.

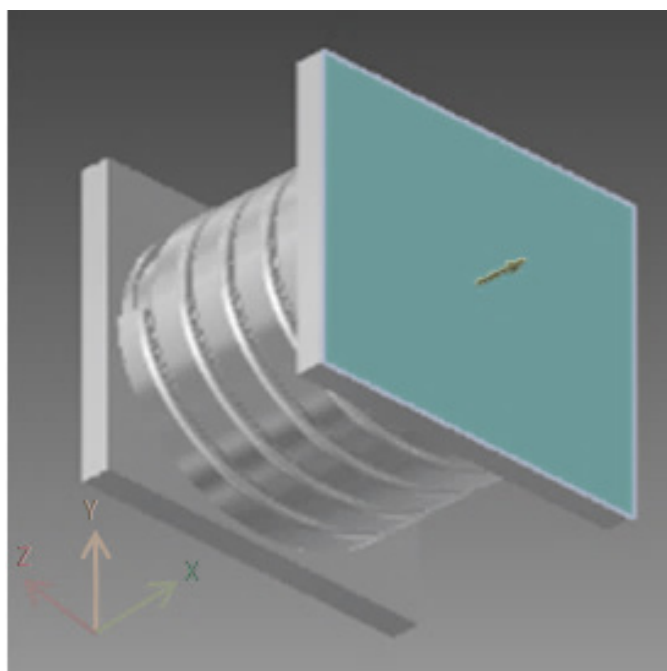
Duas placas que foram anexadas às extremidades da carcaça, com a finalidade de que a carga seja aplicada de forma uniforme e homogênea em toda a sua estrutura para resultados mais confiáveis. O tamanho inicial do corpo da amostra da carcaça intertravada utilizado na análise de estresse foi de 70 mm e cada placa anexada às extremidades possui 5 mm, conforme Figura 5.



**Figura 5.** Estrutura final para teste

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a modelagem da carcaça intertravada, realizou-se a simulação de estresse, que consiste na aplicação axial de força. As placas anexadas aos limites da carcaça intertravada, visto que uma face foi engastada, ou seja, fixada, e a extremidade oposta ficou sujeita a carga de tração, como demonstrado na Figura 6.



**Figura 6.** Face da estrutura sujeita a aplicação de carga de tração

Na Tabela 2, podem ser verificadas algumas informações apresentadas pelo relatório gerado pelo software Autodesk Inventor® 2015 ao fazermos a análise. Os dados foram reportados em inglês, logo uma versão traduzida para português será apresentada neste trabalho.

Nome	Aço inoxidável AISI 304	
Geral	Densidade da Massa	8 g/cm <sup>3</sup>
	Força de Rendimento	215 MPa
	Resistência a Tração	505 MPa
Estresse	Módulo de Young	195 GPa
	Coefficiente de Poisson	0.29 ul
	Módulo de Cisalhamento	75.58 GPa

**Tabela 2.** Informações base do Aço Inoxidável AISI 304.

A carga de tração aplicada na imagem acima teve um módulo de 14380 Newtons, como mostrado na Tabela 3.

Tipo de carga	Força
Magnitude	14380,000 N
Vetor X	- 14380,000 N
Vetor Y	0,000 N
Vetor Z	0,000 N

**Tabela 3.** Módulo da carga aplicada, extraído do relatório de análise de estresse

Dos resultados obtidos durante a análise de tensão, os valores que serão levados em consideração são os de Análise de Estresse de Von Mises (*Von Mises Stress*) e o Deslocamento.

### 3.1 Método dos Elementos Finitos Análise de estresse de Von Mises

Segundo Cury (2016), a teoria de Von Mises se correlaciona melhor com os dados experimentais, e por isso é a mais utilizada. Nessa teoria, são levados em consideração os conceitos de energia de distorção de certo corpo, ou seja, a energia associada nas mudanças na forma do elemento e não do seu volume.

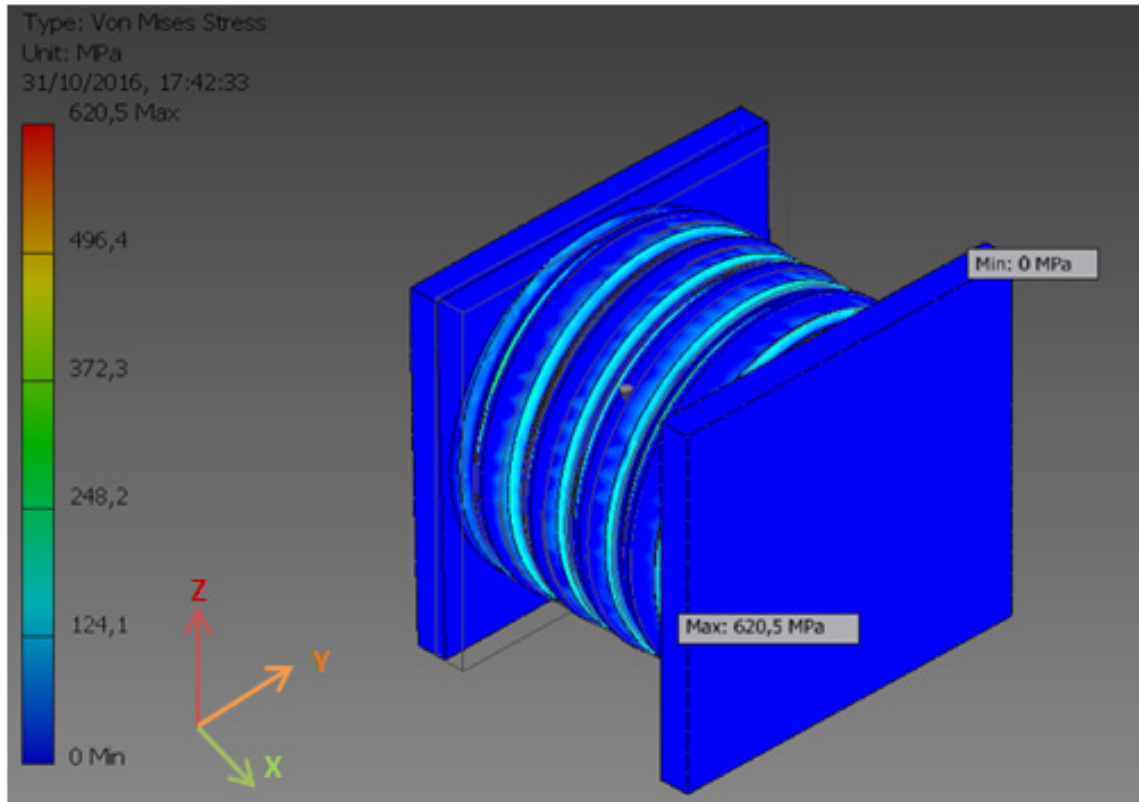
O critério de Von Mises se enuncia como (CURY, 2016):

Um elemento estrutural (dúctil) irá falhar se a energia associada à mudança de forma de um corpo, submetido a um carregamento multiaxial, ultrapassar a energia de distorção de um corpo de prova submetido a um ensaio uniaxial de tração.

A partir da aplicação de uma carga de 14380 N, obtiveram-se os valores mínimos e máximos de tensão que foram registrados no corpo e informados pelo software. O



módulo de tensão de ruptura do material aço inoxidável AISI 304 obtido no teste é de 620,5 MPa, conforme Figura 7.



**Figura 7.** Estresse de Von Mises após realização da simulação

Na Tabela 4, é destacada a tensão máxima e mínima informadas pela amostra através do relatório de ensaio gerado pelo *software*.

Nome	Mínimo	Máximo
Volume	371989 mm <sup>3</sup>	-
Massa	2,97591 kg	-
Von Mises Stress	0,00753533 MPa	620,472 MPa

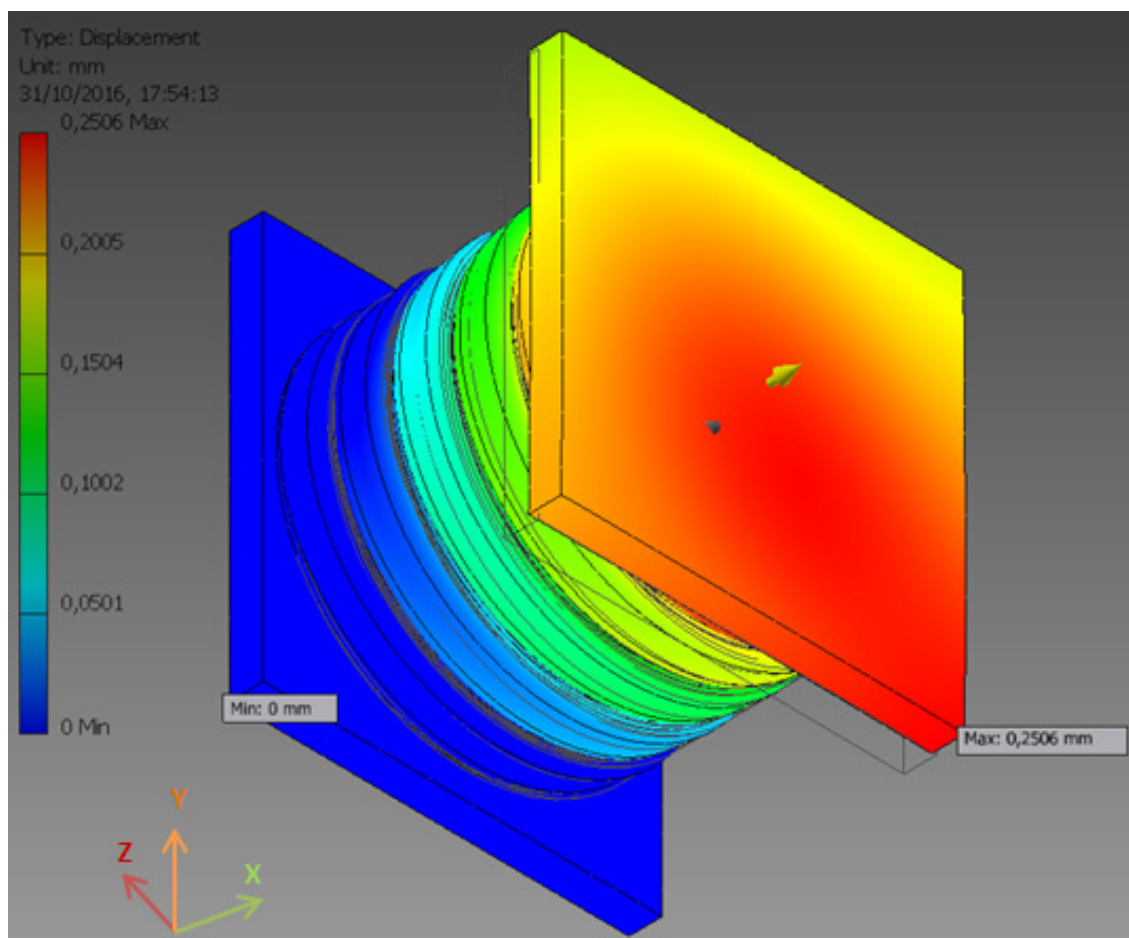
**Tabela 4.** Módulos, máximo e mínimo, de tensões

### 3.2 Análise de deslocamento

Segundo O deslocamento, como o próprio nome já diz, é a quantidade que um corpo tende a se deformar com a aplicação de uma força. No caso da aplicação de carga de tração, o corpo tende a se alongar. O software adotado para a análise de tensão disponibiliza dois tipos de deslocamento: o deslocamento geral e deslocamento que se dá nos três eixos: x, y e z.

Porém, apenas o deslocamento geral será ilustrado, uma vez que, este sozinho, já demonstra o comportamento estrutural da carcaça intertravada com uma carga de tração aplicada em uma de suas extremidades.

A Figura 8 demonstra em cores, do azul (mínimo) ao vermelho (máximo), o deslocamento sofrido pela amostra. Deve-se salientar que o deslocamento se dá de forma mais acentuada na face que sofre o carregamento externo de tração.



**Figura 8.** Gráfico de campo escalar para o deslocamento sofrido pela carcaça intertravada

O módulo de deslocamento máximo obtido foi de 0,2506 mm, detalhado na Tabela 5, com as informações disponibilizadas pelo relatório de análise de estresse, gerado pelo Autodesk Inventor® 2015.

Nome	Mínimo	Máximo
Deslocamento Geral	0 mm	0.250601 mm
Deslocamento X	-0.248606 mm	0.00112781 mm
Deslocamento Y	-0.023277 mm	0.0416777 mm
Deslocamento Z	-0.0375316 mm	0.0212512 mm

**Tabela 5.** Módulos

## 4 | CONCLUSÃO

Como apresentado anteriormente na Tabela 1, a tensão de ruptura do material

aço inoxidável AISI 304 informada foi de 620 MPa, enquanto o valor obtido em teste foi de aproximadamente 620,5 MPa, como demonstrado na Tabela 4.

Assim, pode-se afirmar que a tensão máxima exercida no material AISI 304 em teste (simulação de es-tresse) é aproximadamente igual ao valor, deste mesmo material, de tensão máxima teórica. A Tabela 4 apresenta a tensão máxima suportada pelo aço inoxidável AISI 304, valor este informado pelo relatório de análise de estresse, disponibilizado pelo software, exposto anteriormente.

O comportamento da amostra em tais condições de tensão foi equivalente ao esperado, uma vez que a face que estava engastada deveria ser o ponto com menor tensão e a face tracionada possuiria o ponto de maior tensão. A partir da distribuição da coloração de teste pelo corpo da carcaça após a aplicação de um carregamento, pode-se afirmar que é equivalente ao deslocamento sofrido pela estrutura.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE TUBO DE CONCRETO. **Avaliação comparativa de desempenho entre tubos rígidos e flexíveis para utilização em obras de drenagem em águas pluviais**. Jaguaré: ABTC, 2016.

BASTIAN, F. L. **Materiais**. In: Curso de Extensão em Tubos Flexíveis e Cabos Umbilicais, Laboratório de Tecnologia Submarina da COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2000.

BICUDO, R. G. P. **Análise de Instalação de Linhas Flexíveis**. Dissertação de M. Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2009.

CARNEVAL, R. O.; MARINHO, M. G. Flexible line inspection. In: **9ª Conferência Europeia de NDT**, p. 1-11, Berlim, Alemanha, 25-29 Set. 2006.

CLOUGH, R. W. The Finite Element in Plane Stress Analysis. In: **2ª Conferência em Computação Eletrônica da ASCE**, Pittsburgh, Pa., USA, 1960.

CURY, A. A. **Crítério de Falha**. Departamento de mecânica aplicada e computacional, Rio de Janeiro, MAC/UFJF, 2016.

FERREIRA, A. B. H. **Aurélio do século XXI: o dicionário da Língua Portuguesa**. 3. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1999.

FRANCISCO, W. C. **A Petrobrás**. Portal Brasil Escola. Disponível em: <<http://brasilecola.uol.com.br/brasil/a-petrobras.htm>>. Acesso em: 15 maio. 2017.

LOPES, D. G. **Avaliação das tensões residuais na montagem de conectores em armaduras de tração de dutos flexíveis**. Dissertação de M. Sc., CEFET/RJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2013.

MACHADO, Z. L.; DUMAY, J. M. Dynamic Production Riser on Enchova Field Offshore Brazil. In: **Offshore Brazil Conference – Latin America Oil Show**, Rio de Janeiro, RJ, Jun.1980.

NORMA API RP 17B. Recommended practice for flexible pipe, 3ª ed, 2002.

OLIVEIRA, I. P. G.; LUZ, T. S. Estudo do processo de fabricação de tubos flexíveis de aço inoxidável duplex UNS 32304 utilizados na indústria de petróleo e gás. **Revista Soldagem & Inspeção**, v. 18, n.

1, p. 02-11, 2013.

PAGOTTO, L. D. **Modelos analíticos e numéricos para análise estrutural axissimétrica de risers flexíveis**. Dissertação de M. Sc., CECS/UFABC, Santo André, SP, Brasil, 2013.

PEREIRA, O. J. B. A. **Introdução ao método de elementos finitos na análise de problemas planos de elasticidade**. Instituto Superior Técnico, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2005.

PEREIRA, I. F.; VIGNOLI, L. L.; MONTEIRO, R. R. J. O. **Análise Estrutural de Carcaças Intertravadas**. Tese de Bel., CEFET/RJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2014.

PORTAL PETROBRAS. **Equipamentos e sistemas submarinos**. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/fatos-e-dados/conhecacuriosidades-sobre-equipamentos-de-nossos-sistemas-submarinos.htm>>. Acesso em 21 maio 2017.

RIZZO, N. A. S. **Análise da instabilidade das armaduras de dutos flexíveis pelo método de elementos finitos**. Dissertação de M. Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2010.

SANTOS, F. P. **Avaliação dos Efeitos da Pressão Parcial de CO<sub>2</sub> no Processo de Corrosão Fadiga em Armaduras de Tração de Dutos Flexíveis**. Dissertação de M. Sc., CEFET/RJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2011.

SORIANO, H. L. **Método de Elementos Finitos em Análises de Estruturas**. São Paulo: Edusp, 2003.

SOUSA, J. R. M. **Análise numérica de risers flexíveis**. Dissertação de M. Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 1999.

SOUSA, J. R. M., **Análise local de linhas flexíveis pelo método de elementos finitos**. Tese de D. Sc., CO-PPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2005.

TARFAOUI, M., GNING, P.B., COLLOMBET, F. Damage Modelling of Impacted Tubular Structures by Using Material Property Degradation Approach. In: Boukharouba T., Elboujdaini M., Pluvinage G. (eds), **Damage and Fracture Mechanics**, p. 227-235. Dordrecht: Springer Science, 2009.

WITZ, J. A. A Case Study in the Cross-section Analysis of Flexible Risers. **Marine Structures**, v. 9, p. 885-904, 1996

## ESCOAMENTO GÁS-LÍQUIDO NO PADRÃO ANULAR: UMA ANÁLISE DE CORRELAÇÕES PARA O FATOR DE ATRITO INTERFACIAL

### **Cidelei Ferreira de Paula Junior**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Câmpus Ponta Grossa, Departamento Acadêmico  
de Mecânica

Ponta Grossa – Paraná

### **Luiz Eduardo Melo Lima**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Câmpus Ponta Grossa, Departamento Acadêmico  
de Mecânica

Ponta Grossa – Paraná

**RESUMO:** escoamentos gás-líquido em tubos podem se apresentar na forma de um escoamento anular, no qual o líquido escoava como um filme fino na parede e o gás escoava no centro do tubo. Este padrão de escoamento ocorre frequentemente em processos de ebulição e condensação, por exemplo, nas indústrias de geração de vapor, refrigeração ou petróleo. No escoamento anular, o fator de atrito interfacial é um dos parâmetros importantes para o fechamento das equações governantes, influenciando a tensão de cisalhamento interfacial e, por consequência o gradiente de pressão. Na literatura, são encontradas várias correlações para a estimativa do fator de atrito interfacial. O objetivo deste trabalho consiste na realização de uma análise comparativa de algumas destas correlações contra dados experimentais, também obtidos da literatura.

Foram observadas as características e limitações de cada correlação analisada, bem como a precisão de cada uma em relação aos dados experimentais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Escoamento anular. Fator de atrito interfacial. Correlações.

**ABSTRACT:** Gas-liquid flows in pipes can be in the form of an annular flow in which the liquid flows as a thin film on the wall and gas flows in the pipe center. This flow pattern occurs frequently at boiling and condensation processes, for example, in the industries of steam generation, cooling or petroleum. In annular flow, the interfacial friction factor is one of the important parameters for closing the governing equations influencing the interfacial shear stress and therefore the pressure gradient. In the literature, several correlations are found to estimate the interfacial friction factor. The objective of this work is to carry out a comparative analysis of some of these correlations against experimental data also obtained from literature. The features and limitations of each correlation were observed, as well as the accuracy of each in relation to the experimental data.

**KEYWORDS:** Annular flow. Interfacial friction factor. Correlations.

## 1 | INTRODUÇÃO

Escoamentos multifásicos são aqueles em que mais de uma fase ou componente escoam simultaneamente em um duto, sendo o caso mais simples o bifásico, por exemplo, o escoamento gás-líquido. Segundo Pauchon et al. (1993), os escoamentos gás-líquido podem ser geralmente classificados, de acordo com a distribuição espacial das fases, em três padrões: disperso (Fig. 1a,g), separado (Fig. 1b,e,f,j,k) e intermitente (Fig. 1c,d,h,i). Os escoamentos estratificado e anular são subclassificações do escoamento separado e ocorrem quando duas correntes de fluidos escoam simultaneamente separadas por uma interface bem definida, como resultado das forças desenvolvidas no escoamento.

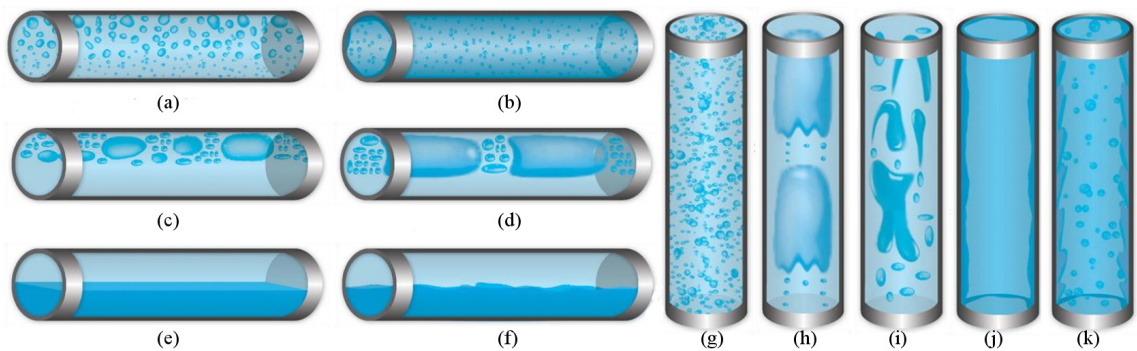


Figura 1. Padrões de escoamento gás-líquido em tubos: na horizontal (a; b; c; d; e; f) e na vertical (g; h; i; j; k).

Fonte: Adaptada de Bratland (2010).

O escoamento anular é frequentemente encontrado em várias aplicações industriais, por exemplo, em sistemas onde ocorre ebulição de líquido e condensação de vapores: condensadores, caldeiras, reatores, torres de refrigeração e tubulações de petróleo. O escoamento anular ocorre quando se forma um filme de líquido escoando em contato com a parede interna do tubo e um núcleo gasoso escoando na parte central do tubo, que por sua vez carrega uma pequena parte do líquido em forma de gotículas. O filme de líquido no escoamento anular pode se apresentar de três formas: liso, em transição ou rugoso (PEDRAS, 1993). O núcleo gasoso escoando em contato com o filme de líquido sofre ação de uma força de atrito interfacial devido à diferença de velocidade e de propriedades físicas. Este atrito interfacial, de forma análoga ao atrito com paredes, pode ser definido em função de um fator de atrito interfacial.

É possível encontrar na literatura um número razoável de correlações para estimativa do fator de atrito interfacial, obtidas com base nos fenômenos físicos envolvidos, bem como a partir da análise de dados experimentais (NAJI, 2011). Muitas destas correlações têm uma faixa de aplicação limitada e, geralmente, apresentam uma precisão satisfatória somente em condições semelhantes àsquelas consideradas na sua definição.

Taitel e Dukler (1976) propuseram uma definição para o fator de atrito interfacial como sendo equivalente ao fator de atrito na parede da fase gasosa, em escoamentos nos padrões estratificado e anular, porém a tensão de cisalhamento interfacial é definida em termos da massa específica do gás, da velocidade relativa e da definição do fator de atrito interfacial proposta por eles.

Cheremisinoff e Davis (1979) desenvolveram uma correlação para o fator de atrito interfacial obtida a partir de experimentos de escoamento estratificado, mas que pode também ser utilizada em escoamento anular, apresentando incertezas relativamente baixas. Nesta correlação, o número de Reynolds do líquido é o único parâmetro de entrada, cuja definição é um pouco diferente da frequentemente utilizada em escoamentos monofásicos.

Hewitt (1981) desenvolveu uma correlação para o fator de atrito interfacial utilizando o modelo de rugosidade aparente (ARM, do inglês *Apparent Roughness Model*) descrito por Wallis (1969). Esta correlação utiliza o fator de atrito da parede da fase líquida (monofásico) para o cálculo do fator de atrito interfacial em escoamento anular. Também utilizando o ARM, Bharathan e Wallis (1983) desenvolveram uma correlação para o fator de atrito interfacial em função da espessura adimensional de filme de líquido no escoamento anular.

Crowley, Wallis e Rothe (1986) relacionaram o atrito interfacial com o atrito de parede da fase gasosa, como já havia sido realizado por outros autores. Mas, eles propuseram suas próprias relações de fechamento, utilizando a espessura de filme de líquido como fator determinante para o escoamento anular gás-óleo.

Hamersma e Hart (1987) propuseram uma correlação para determinação da rugosidade interfacial, que pode ser utilizada para determinação do fator atrito interfacial em escoamentos estratificado e anular, através da solução da equação implícita de Colebrook-White (COLEBROOK, 1939). Da mesma forma, Baker, Nielsen e Gabb (1988) também desenvolveram correlações para a determinação da rugosidade interfacial. Com base nestas correlações de rugosidade interfacial é possível determinar o fator de atrito interfacial utilizando correlações para o fator de atrito na parede da fase gasosa, disponíveis na literatura para escoamentos monofásicos.

Xiao, Shoham e Brill (1990) propuseram um modelo mecanicista para ser utilizado em escoamentos horizontais ou quase horizontais. Este modelo tem por objetivo a determinação do padrão de escoamento, demonstrando a relação entre a queda de pressão e a defasagem do líquido em relação ao gás, para escoamentos estratificado, intermitente, anular e bolhas dispersas. Eles realizaram comparações com alguns dos modelos empíricos descritos anteriormente, obtendo uma maior precisão para seu modelo, que é aplicado exclusivamente em escoamentos estratificado e anular.

Também com base no ARM, Pedras (1993) constatou que o arraste de gotas de líquido está diretamente ligada ao fator de atrito interfacial, uma vez que as gotas de líquido dispersas no gás são formadas pelo líquido que se desprende das cristas das ondas do filme de líquido. Com isto, as gotas adquirem a velocidade do gás. Por

outro lado, as gotas dispersas também tendem a se depositar no filme de líquido. Com estes fenômenos, o gás transfere quantidade de movimento para o líquido. Em comparação com o escoamento sem o arraste de gotas, a tensão de cisalhamento na parede aumenta e a tensão de cisalhamento na interface diminui. A partir dos seus experimentos, ele mostrou também que a gravidade pode ser desconsiderada na determinação do fator de atrito interfacial.

Fukano e Furukawa (1998) realizaram experimentos com escoamento anular ascendente na vertical, alterando a viscosidade cinemática do líquido por meio de uma mistura de água e glicerol, com a promessa de resultados mais precisos. Através dos dados medidos para o fator de atrito interfacial, eles realizaram comparação de sua correlação juntamente com as de outros autores.

O objetivo geral deste trabalho é realizar uma análise comparativa de algumas correlações disponíveis na literatura para estimativa do fator de atrito interfacial no escoamento anular gás-líquido. Esta análise passa pela realização de um breve levantamento bibliográfico sobre estas correlações, suas aplicações e limitações, bem como pela verificação de quais correlações apresentam os melhores resultados contra dados experimentais.

## 2 | METODOLOGIA

Nesta metodologia são apresentadas: uma descrição do escoamento anular, as correlações para o fator de atrito interfacial analisadas neste trabalho e a descrição do método utilizado para a análise destas correlações.

### 2.1 Escoamento Anular e suas Variáveis

Considere uma mistura de gás ( $G$ ) e líquido ( $L$ ) escoando num tubo vertical de diâmetro interno  $D$ , de comprimento  $L$  e de área de seção transversal  $A$ . No escoamento anular, Fig. 2, o gás escoar no centro do tubo com velocidade  $U_G$ , muito superior à velocidade do líquido  $U_L$ , na forma de filme de espessura  $H_L$ . Este filme de líquido escoar na periferia do tubo, exercendo uma tensão de cisalhamento na parede  $\tau_L$ , e em contato com o gás exercendo uma tensão interfacial  $\tau_p$  que pode ser definida em termos de um fator de atrito interfacial  $C_{f,p}$  de forma análoga a tensão de cisalhamento na parede.  $\phi_L$  e  $\phi_D$  representam as frações de líquido na forma de filme e de gotículas de líquido no gás e  $E_D$  corresponde à fração de arraste de gotículas (*entrainment fraction*) pelo núcleo gasoso.  $S_L$  é o perímetro do tubo molhado pelo filme de líquido e  $S_I$  é o perímetro da interface gás-líquido, que depende da espessura de filme de líquido  $H_L$ , assim como as áreas ocupadas pelo gás  $A_G$  e pelo líquido na forma de filme  $A_L$ .



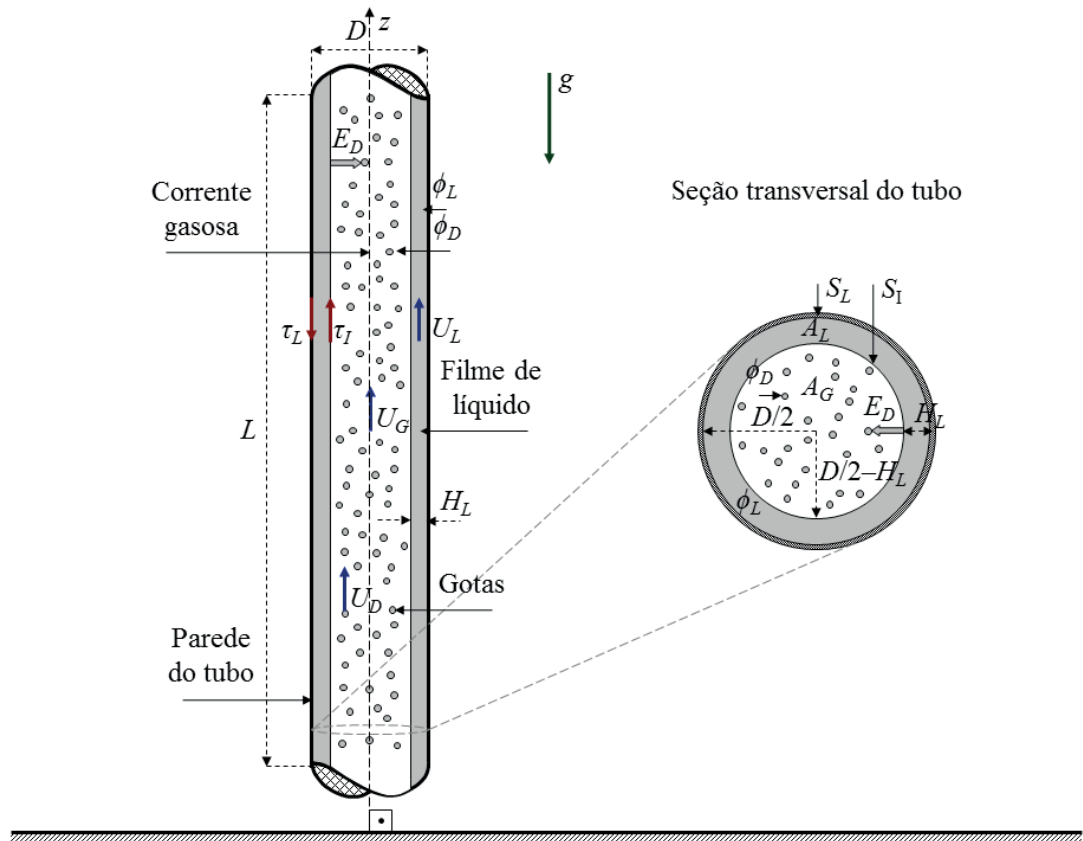


Figura 2. Representação esquemática do escoamento gás-líquido no padrão anular e suas variáveis num tubo vertical.

Fonte: Adaptada de Lima (2011).

A aplicação de balanços de força para o núcleo gasoso e para o filme de líquido resulta em:

$$-A_G \left( \frac{dp}{dz} \right) - \tau_I S_I - A_G \rho_G g = 0 \quad (1)$$

$$-A_L \left( \frac{dp}{dz} \right) + \tau_I S_I - \tau_L S_L - A_L \rho_L g = 0 \quad (2)$$

sendo  $\rho_G$  e  $\rho_L$  as massas específicas de gás e de líquido e  $g$  a aceleração gravitacional. Taitel e Dukler (1976) propuseram que o gradiente de pressão ( $dp/dz$ ) é igual para as duas fases, tal que a combinação das Eqs. (1) e (2) resulta em uma equação de *momentum* para o padrão de escoamento anular, cuja solução (implícita) depende da determinação da espessura de filme de líquido  $H_L$ :

$$\tau_L \frac{S_L}{A_L} - \tau_I S_I \left( \frac{1}{A_L} + \frac{1}{A_G} \right) + \rho_L - \rho_G g = 0 \quad (3)$$

A tensão de cisalhamento do filme de líquido na parede,  $\tau_L$ , é definida em termos de um fator de atrito de Fanning  $C_{f,L}$  de acordo com a expressão:

$$\tau_L = \frac{1}{2} C_{f,L} \rho_L U_L |U_L| \quad (4)$$

A tensão interfacial,  $\tau_p$ , pode ser também definida de forma análoga à expressão apresentada na Eq. (4), utilizando a massa específica da fase gasosa  $\rho_G$ , a velocidade relativa ( $U_G - U_L$ ) e o fator de atrito interfacial  $C_{f,p}$ .

## 2.2 Correlações para o Fator de Atrito Interfacial

Foram encontrados vários trabalhos na literatura que apresentam correlações para o fator de atrito interfacial,  $C_{f,p}$ . A maioria destas correlações tende a apresentar estimativas relativamente precisas para  $C_{f,p}$  desde que sejam aplicadas em condições apropriadas e dentro das limitações das mesmas. Naji (2011) realizou uma análise comparativa entre algumas correlações da literatura, incluindo a desenvolvida pelo próprio. Neste trabalho é realizada uma análise comparativa considerando 10 correlações para  $C_{f,p}$  conforme apresentado na Tab. 1, incluindo algumas das utilizadas na análise realizada por Naji (2011).

Autor	$C_{f,i}$	Referência
Taitel e Dukler (1976)	$C_{f,G}$	C1
Cheremisinoff e Davis (1979)	$0,008 + 2 \times 10^{-5} \text{Re}_{J,L}$	C2
Hewitt (1981)	$C_{f,G} \left[ 1 + 24\delta_L \left( \frac{\rho_L}{\rho_G} \right)^{1/3} \right]$	C3
Bharathan e Wallis (1983)	$0,005 + 406\delta_L^{2,04}$	C4
Crowley, Wallis e Rothe (1986)	$C_{f,G}(1 + 75\delta_L)$	C5
Hamersma e Hart (1987)	$\frac{1}{4} \left[ \log \left( \frac{\varepsilon_H}{3,7D} + \frac{5,74}{\text{Re}_{U,G}^{0,9}} \right) \right]^{-2}$	C6
Baker, Nielsen e Gabb (1988)	$\frac{1}{4} \left[ \log \left( \frac{\varepsilon_B}{3,7D} + \frac{5,74}{\text{Re}_{U,G}^{0,9}} \right) \right]^{-2}$	C7
Xiao, Shoham e Brill (1990)	$0,053 N_D^{-0,46} N_{\mu,L}^{0,076} N_{U,G}^{0,23} N_{U,L}^{0,202}$	C8
Pedras (1993)	$-7,8 \times 10^{-3} + 52 \left( 1 - \sqrt{\phi_G} \right) \left( \frac{\rho_G}{\rho_L} \right) \text{Re}_{V,G}^{2/5}$	C9
Fukano e Furukawa (1998)	$0,425(12)^{-1,33} (1 + 12\delta_L)^8$	C10

Tabela 1. Correlações para o fator de atrito interfacial,  $C_{f,p}$  aplicadas em escoamentos gás-líquido no padrão separado.

Fonte: Autoria própria.

O fator de atrito (Fanning) da fase gasosa na parede,  $C_{f,G}$ , adotado nas correlações C1, C3 e C5, é definido de acordo com as correlações clássicas desenvolvidas para tubos lisos:

$$C_{f,k} = A \text{Re}_{U,k}^{-B}, \text{ sendo } \begin{cases} A = 16 \text{ e } B = 1; & \text{se laminar} \\ A = 0,046 \text{ e } B = 0,2; & \text{se turbulento} \end{cases} \quad (5)$$

sendo  $k$  um subíndice utilizado para representar uma fase ( $G$  para gás ou  $L$  para líquido) e  $\text{Re}_{U,k}$  o número de Reynolds da fase, adotado também nas correlações C2, C6, C7 e C9, cuja definição é dada por:

$$\text{Re}_{U,k} = \frac{U_k D_k}{\nu_k} \quad (6)$$

sendo  $U_k$ ,  $D_k$  e  $\nu_k$  a velocidade, o diâmetro hidráulico e a viscosidade cinemática da fase.

Na correlação C2, o número de Reynolds baseado da velocidade superficial do

líquido,  $Re_{J,L}$ , é definido pela Eq. (6) utilizando a velocidade superficial do líquido,  $J_L$ , e o diâmetro do tubo,  $D$ . Por definição, a velocidade superficial de uma fase,  $J_k$ , é definida como sendo a vazão volumétrica da fase,  $Q_k$ , dividida pela área de seção transversal do tubo,  $A$ . Na correlação C3, o fator de atrito na parede da fase gasosa,  $C_{f,G}$ , é definido pela Eq. (5) utilizando um número de Reynolds definido em termos da velocidade superficial de gás,  $J_G$ , e do diâmetro do tubo,  $D$ . Tem-se ainda  $\delta_L = H_L / D$  como sendo a espessura de filme de líquido adimensional, também presente nas correlações C4, C5 e C10, e  $r_k$  que corresponde à massa específica da fase ( $k = G$  ou  $L$ ), também presente na correlação C9. Nas correlações C6 e C7, as rugosidades absolutas da interface gás-líquido são definidas por  $\varepsilon_H = 2,3 H_F$  e  $\varepsilon_B = 34 \sigma / (r_G U_L^2)$ , respectivamente, sendo  $\sigma$  a tensão superficial gás-líquido.

Na correlação C8, os parâmetros adimensionais adotados são definidos por:

$$N_D = D \sqrt{\frac{g \rho_L}{\sigma}}, \quad N_{\mu,L} = \mu_L^4 \sqrt{\frac{g}{\rho_L \sigma^3}} \quad \text{e} \quad N_{U,k} = U_k^4 \sqrt{\frac{\rho_k}{g \sigma}}, \quad k = G \text{ ou } L \quad (7)$$

Na correlação C9,  $\phi_G$  é a fração de gás e  $Re_{V,G}$  é um número de Reynolds da fase gasosa baseado na velocidade de deslizamento média do gás  $V_{G,J}$ . As definições para  $\phi_G$  e  $V_{G,J}$  propostas por Pedras (1993) são apresentadas nas Eqs. (8) e (9), respectivamente:

$$\frac{\phi_G}{1 - \phi_G} = 1,225 \times 10^{-3} \text{Re}_{J,L}^{0,56} \left| \frac{J_G}{J_L} \right| \quad (8)$$

$$V_{G,J} = \left( \frac{1}{1,225 \times 10^{-3} \text{Re}_{J,L}^{0,56}} - 1 \right) J_L \quad (9)$$

As correlações para  $C_{f,l}$  apresentadas na Tab. 1 foram desenvolvidas por seus respectivos autores a partir de dados obtidos em diversas configurações de escoamento. Estas diversas configurações podem, em alguns casos, se apresentar como uma limitação na precisão das correlações e, portanto, torna-se necessário conhecê-las. Na Tabela 2 são apresentadas algumas informações a respeito das configurações adotadas na definição das correlações para  $C_{f,l}$  apresentadas na Tab. 1.

Correlação	Fluidos	Padrão	Inclinação	Parâmetros
C1	Ar-água	Anular; estratificado	0° a 90°	$C_{f,G}$
C2	Ar-água	Anular	90°	$Re_{J,L}$
C3	Ar-água	Anular; estratificado	0° a 45°	$\delta_L; r_k$
C4	Ar-água	Anular; estratificado	0° a 45°	$\delta_L$
C5	Gás-líquido	Anular	-	$\delta_L; C_{f,G}$
C6	Ar-água	Anular	90°	$\varepsilon_{H^*}; Re_{U,G}$
C7	Gás-líquido	Anular; estratificado	-	$\varepsilon_B; Re_{U,G}$
C8	Gás-líquido	Anular; estratificado	0° a 45°	$N_D; N_{.L}; N_{U,k}$
C9	Ar-água	Anular	90°	$\rho_k; \phi_G; Re_{V,G}$
C10	Gás-líquido	Anular	90°	$\delta_L$

Tabela 2. Configurações de escoamento assumidas nas definições para as correlações de fator de atrito interfacial,  $C_{f,p}$  aplicadas em escoamentos gás-líquido no padrão separado.

Fonte: Autoria própria.

### 2.3 Método para a Análise das Correlações

A análise da precisão das correlações para o fator de atrito interfacial,  $C_{f,p}$ , apresentadas na Tab. 1, baseia-se na determinação do desvio relativo,  $\varepsilon_{rel}$ , entre o valor calculado com cada correlação e o valor medido experimentalmente (PEDRAS, 1993), cuja definição é dada pela Eq. (10). Para uma melhor comparação dos resultados é utilizada a raiz do valor quadrático médio (RMS, do inglês *Root Mean Square*), dos desvios relativos para os  $N$  pontos experimentais realizados por Pedras (1993), cuja definição é dada pela Eq. (11):

$$\varepsilon_{rel} = \frac{(C_{f,I})_{calculado} - (C_{f,I})_{medido}}{(C_{f,I})_{medido}} \quad (10)$$

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum \varepsilon_{rel}^2}{N}} \quad (11)$$

Os dados experimentais, utilizados para análise comparativa das correlações apresentadas na Tab. 1, são obtidos do trabalho de Pedras (1993), que realizou 49 testes utilizando um tubo vertical de 27,1 mm de diâmetro interno e ar e água como fluidos, permitindo a ocorrência do padrão anular. As faixas de operação das variáveis obtidas nestes testes podem ser observadas na Tab. 3: velocidades superficiais das fases,  $J_k$ ; pressão,  $p$ ; temperatura,  $T$ ; gradiente de pressão,  $(dp/dz)$ ; espessura de filme de líquido,  $H_f$ ; fator de atrito interfacial,  $C_{f,r}$

Variável	$J_L$	$J_G$	$\rho$	$T$	$(dp/dz)$	$H_F$	$\phi_G$	$C_{f,l}$
Unidade	[m/s]	[m/s]	[Pa]	[°C]	[Pa/m]	[mm]	[-]	[-]
Valor mínimo	0,02333	13,24	96166,9	21	(-722,4)	0,17	0,942	0,01724
Valor máximo	0,07065	35,51	98014,1	26	(-2248,0)	0,40	0,988	0,08399

Tabela 3. Faixas de valores das variáveis obtidas nos 49 testes experimentais realizados por Pedras (1993) para casos de escoamento anular de ar e água num tubo vertical.

Fonte: Autoria própria.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a análise dos resultados obtidos para o fator de atrito interfacial,  $C_{f,l}$ , a partir das correlações apresentadas na Tab. 1, são mostrados dois gráficos na Fig. 3. Nestes gráficos, a abscissa apresenta os valores de  $C_{f,l}$  obtidos a partir das medidas experimentais realizadas por Pedras (1993), para os 49 testes de escoamento anular vertical, e a ordenada apresenta os valores de  $C_{f,l}$  calculados a partir de cada uma das correlações analisadas neste trabalho. O primeiro gráfico (esquerda) apresenta os resultados para as correlações C1 a C5 e o segundo gráfico (direita) apresenta os resultados para as correlações C6 a C10. Em cada um dos gráficos foram adicionadas faixas equivalentes a  $\pm 30\%$  de desvio relativo entre os valores calculados e medidos.

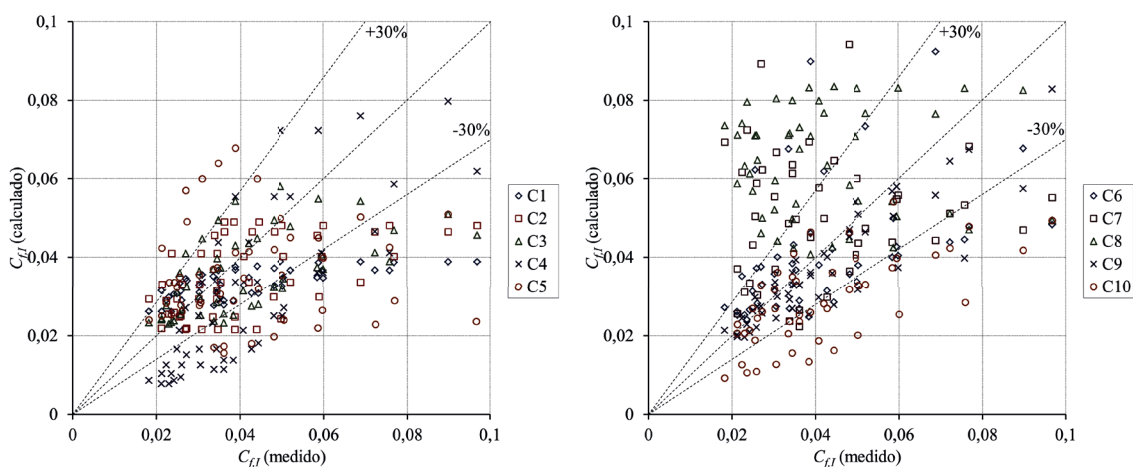


Figura 3. Análise comparativa dos desvios relativos,  $\epsilon_{rel}$ , apresentadas pelas correlações de fator de atrito interfacial,  $C_{f,l}$ , aplicadas em casos de escoamento de ar-água num tubo vertical no padrão anular.

Fonte: Autoria própria.

No gráfico da esquerda na Fig. 3, é possível observar que a correlação C1 demonstra uma melhor precisão dos resultados nas condições de escoamento nas quais  $C_{f,l}$  não ultrapassa o valor de 0,05, de forma semelhante para as correlações C2, C3 e C5. Por outro lado, a correlação C4 apresenta resultados melhores somente para valores de  $C_{f,l}$  acima de 0,04, mas apesar disto, uma quantidade significativa de pontos se encontra fora das faixas de desvio relativo de  $\pm 30\%$ .

No gráfico da direita na Fig. 3, as correlações C6 e C9 são as que demonstram

uma maior proximidade com os valores de  $C_{f,i}$  medidos experimentalmente. É possível verificar também que os maiores desvios relativos são observados nos resultados das correlações C7 e C8, nas quais a maior parte de seus pontos se encontram acima da faixa de +30% de desvio relativo. Por sua vez, a correlação C10 apresenta uma parcela dos seus pontos abaixo da faixa de -30% de desvio relativo.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados para o RMS do desvio relativo entre os valores calculados e medidos para o fator de atrito interfacial,  $C_{f,r}$ . Os valores obtidos para o RMS estão entre 1,4% e 10,6%.

Correlação	RMS / [%]
C1	6,1
C2	4,9
C3	4,2
C4	8,2
C5	6,4
C6	3,9
C7	10,6
C8	9,3
C9	1,4
C10	5,8

Tabela 4. RMS dos desvios relativos das correlações para o fator de atrito interfacial,  $C_{f,r}$ , em relação aos valores obtidos experimentalmente por Pedras (1993).

Fonte: Autoria própria.

A correlação C1, apesar de ser aplicável para escoamentos estratificado e anular, com inclinação variando de horizontal a vertical, apresentou resultados satisfatórios para o RMS, do mesmo modo que a correlação C2, visto que está foi desenvolvida em condições operacionais similares aos dados experimentais utilizados nesta análise. A correlação C3 também apresentou resultados satisfatórios, apesar de ser aplicável para escoamentos horizontais, assim como a correlação C4, que juntamente com as correlações C7 e C8, apresentam o pior desempenho dentre as correlações analisadas. Apesar de ter sido desenvolvida para escoamento gás-óleo, a correlação C5 também apresentou bons resultados, porém a correlação C10, que é uma correlação específica para escoamento anular vertical, se mostrou melhor. Por fim, as correlações C6 e C9 foram as que apresentaram os menores valores para o RMS, a primeira por estar baseada em conceitos físicos relacionados ao modelo de rugosidade aparente (ARM) e a segunda por estar mais bem ajustada às condições experimentais obtidas pelo seu referido autor e cujos dados experimentais foram utilizados nesta análise.

## 4 | CONCLUSÕES

Este trabalho foi realizado com a finalidade de se fazer um levantamento prévio de algumas correlações para a determinação do fator de atrito interfacial em casos

de escoamento anular gás-líquido. A partir deste levantamento foram realizadas comparações de algumas das correlações obtidas na literatura contra dados experimentais, a fim de verificar a precisão destas correlações.

É de grande importância se ter um conhecimento prévio de quais correlações para o fator de atrito interfacial apresentam melhores resultados para uma determinada configuração de escoamento, tendo em vista que a tensão de cisalhamento interfacial e, por consequência, o gradiente de pressão dependem disto. Isto pode ser utilizado na melhoria dos resultados obtidos por modelos de escoamentos bifásicos utilizados em simuladores, por exemplo.

Os resultados obtidos neste trabalho demonstram que as correlações para o fator de atrito interfacial analisadas, apesar das suas diferentes características, apresentam resultados satisfatórios. A correlação de Pedras (1993) apresentou os melhores resultados, possivelmente pelo fato de levar em conta parâmetros importantes do escoamento como a velocidade de deslizamento da fase gasosa e as características da fase líquida, mas também por ter sido ajustada com base nos dados experimentais obtidos pelo próprio autor.

Para uma melhor aplicação de correlações para o fator de atrito interfacial, torna-se necessário a realização de análises mais abrangentes envolvendo outras correlações disponíveis na literatura, bem como fazendo o uso de outros conjuntos de testes experimentais, em diferentes configurações. Além disto, devem ser propostas novas correlações para o fator de atrito interfacial, que levem em consideração todos os fenômenos envolvidos, bem como os parâmetros importantes que influenciam a dinâmica do escoamento.

## 5 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Tecnológica Federal do Paraná pelo apoio recebido para a realização do presente trabalho.

## REFERÊNCIAS

BAKER, A.; NIELSEN, K.; GABB, A. Pressure loss, liquid holdup calculations developed. **Oil and Gas Journal**, v. 86, n. 11, p. 55-59, 1988.

BHARATHAN, D.; WALLIS, G. B. Air-water countercurrent annular flow. **International Journal of Multiphase Flow**, Elsevier, v. 9, n. 4, p. 349-366, 1983.

BRATLAND, O. **Pipe Flow 2: Multi-phase Flow Assurance**. 1<sup>st</sup> ed. Dr. Ove Bratland's Flow Assurance Site, 2010. Disponível em: <<http://www.drbratland.com/>>.

CHEREMISINOFF, N. P.; DAVIS, E. J. Stratified turbulent-turbulent gas-liquid flow. **AIChE Journal**, v. 25, n. 1, p. 48-56, 1979.

COLEBROOK, C. F. Turbulent flow in pipes, with particular reference to the transition region between



the smooth and rough pipe laws. **Journal of the Institution of Civil Engineers**, Thomas Telford, v. 11, n. 4, p. 133-156, 1939.

CROWLEY, C. J.; WALLIS, G. B.; ROTHE, P. H. **State of Art Report on Multiphase Methods for Gas and Oil Pipelines**. AGA Pipelines Research Committee, 1986. Report code PR-172-609.

FUKANO, T.; FURUKAWA, T. Prediction of the effects of liquid viscosity on interfacial shear stress and frictional pressure drop in vertical upward gas-liquid annular flow. **International Journal of Multiphase Flow**, Elsevier, v. 24, n. 4, p. 587-603, 1998.

HAMERSMA, P. J.; HART, J. A pressure drop correlation for gas/liquid pipe flow with a small liquid holdup. **Chemical Engineering Science**, v. 42, n. 5, p. 1187-1196, 1987.

HEWITT, G. F. **Prediction of Pressure Drop in Annular Flow by Phenomenological Modeling**. In: Handbook of Multiphase Systems. Washington, USA: Hemisphere, 1981.

LIMA, L. E. M. **Análise do Modelo de Mistura Aplicado em Escoamentos Isotérmicos Gás-Líquido**. 2011. 147 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/264105>>.

NAJI, A. S. Interfacial friction factor in horizontal and inclined annular two-phase flow in pipes. **Journal of Babylon University**, Pure and Applied Sciences, v. 19, n. 2, p. 723-739, 2011.

PAUCHON, C.; DHULESIA, H.; LOPEZ, D.; FABRE, J. **Tacite: A Comprehensive Mechanistic Model for Two-Phase Flow**. In: Proceedings of 6<sup>th</sup> International Conference on Multiphase Production. Cannes, France: BHR Group, p. 29-50, 1993.

PEDRAS, M. H. J. **Atrito Interfacial em Escoamento Anular Transicional**. 1993. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, São Paulo, 1993. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/264126>>.

TAITEL, Y.; DUKLER, A. E. A Model for predicting flow regimes transitions in horizontal and near horizontal gas-liquid flow. **AIChE Journal**, v. 22, n. 1, p. 47-55, 1976.

WALLIS, G. B. **One Dimensional Two-Phase Flow**. New York, USA: McGraw Hill, 1969.

XIAO, J. J.; SHOHAM, O.; BRILL, J. P. **A Comprehensive Mechanistic Model for Two-Phase Flow in Pipes**. In: Proceedings of the 65<sup>th</sup> Annual Technical Conference and Exhibition. New Orleans, USA: Society of Petroleum Engineers, p. 14, 1990. Paper code: SPE 20631.

## MODELAGEM NUMÉRICA EM LÂMINA DE MOLA SEMIELÍPTICA

### **Marcella Monnique Mello da Silva**

Centro Universitário do Distrito Federal – UDF,  
Escola de Engenharia e Tecnologia. Engenharia  
Mecânica  
Brasília – DF

### **Leonel Leonardo Delgado Morales**

Universidade de Brasília, Faculdade de  
Tecnologia, Departamento de Engenharia  
Mecânica, Programa de Pós-Graduação em  
Ciências Mecânicas.  
Campus Universitário Darcy Ribeiro  
Brasília – DF

### **Vinícius Rodrigues Moraes Silva**

Universidade de Brasília, Faculdade de  
Tecnologia, Departamento de Engenharia  
Mecânica.  
Campus Universitário Darcy Ribeiro  
Brasília – DF

### **Yanique Vidal Costa**

Centro Universitário do Distrito Federal – UDF,  
Escola de Engenharia e Tecnologia. Engenharia  
Mecânica  
Brasília – DF

### **André Nepomuceno Trajano**

Universidade de Brasília, Faculdade de  
Tecnologia, Departamento de Engenharia  
Mecânica, Programa de Pós-Graduação em  
Ciências Mecânicas. Campus Universitário Darcy  
Ribeiro  
Brasília – DF

**RESUMO:** Os aços possuem diferentes características químicas, físicas e mecânicas, mas todos são produzidos e processados para atingir um elevado padrão de qualidade. De acordo com a Associação Americana de Testes e Materiais (ASTM), para a fabricação de molas com solicitação dinâmica, principalmente na indústria automotiva, utiliza-se o aço AISI 6150. O presente trabalho consiste em investigar, por meio de simulações computacionais, ensaios de compressão uniaxial, que nos permitem analisar as perturbações mecânicas de diferentes intensidades e durações. As simulações foram aplicadas em uma mola Mono-lâmina retirada de um feixe de molas empregado em veículos automotivos pesados, com o aço AISI 6150, através do software comercial de elementos finitos ABAQUS. Os ensaios numéricos atingiram ao esperado, no qual obteve-se uma tensão de von Mises abaixo do limite de escoamento do material.

**PALAVRAS-CHAVE:** feixe de molas, AISI 6150, ABAQUS.

**ABSTRACT:** Steels have many different chemical, physical and mechanical characteristics, but all of them are produced and processed to achieve a high pattern of quality. According to American Society for Testing and Materials, for the fabrication of springs with dynamical request, especially in

automotive industries, steel AISI 6150 is used. The present study aims at investigating, by computational simulations, uniaxial compression tests, which allow us to analyze mechanical disturbances of different durations and intensities. The simulations will be applied in Monoleaf spring, which has been withdrawn from a leaf spring that is used on heavy automotive vehicles. Those simulations will be performed through a finite element commercial software ABAQUS with the steel AISI 6150. Numerical tests have reached the expected, in which we obtained a von Mises stress below the yield limit of the material.

**KEYWORDS:** leaf spring, AISI 6150, ABAQUS.

## 1 | INTRODUÇÃO

As molas são uma das peças que mais recebem tensões de trabalho em um veículo de carga, afetam diretamente a dirigibilidade e tornam-se, portanto, componentes de segurança primordiais. Sua falha pode levar à perda de controle do veículo, possíveis danos materiais e acidentes fatais.

Devido às altas exigências que as molas sofrem durante o uso, e para conferir as propriedades elásticas necessárias a essas componentes, o seu processo de fabricação deve garantir um alto limite de escoamento e resistência, conferidos através de tratamento térmico de têmpera, aumentando esse limite de 30% a 40%. A fabricação deve também garantir resistência da mola aos esforços cíclicos por meio de um tratamento superficial.

Atualmente, são utilizados principalmente os materiais SAE 6150 e SAE 9254 para fabricação de molas em lâmina (YAMADA, 2007). O material é recebido das usinas siderúrgicas na forma de barras chatas de diferentes bitolas, em comprimentos por volta de seis metros. A estrutura do material, nesta etapa, é basicamente perlita-ferrita pro-eutectoide, bruta de laminação a quente. O resfriamento, após a laminação, se dá à temperatura ambiente (SCURACCHIO, 2012).

O objetivo deste trabalho é examinar as diferentes perturbações em uma lâmina de mola semi-elíptica, geradas através de ensaios de compressão, simuladas por meio do software comercial ABAQUS.

## 2 | METODOLOGIA

Para o estudo e análise das diferentes perturbações mecânicas foram pesquisados os tipos de mola utilizadas em veículos pesados, seu material e suas características. Optou-se, então, por uma mola semi-elíptica, feita com aço AISI 6150 seguindo as especificações da AZOM Materials, fonte especializada em provisão de informações sobre materiais.

Para as simulações computacionais foi utilizado o software comercial de

elementos finitos ABAQUS, onde foram realizados o ensaios numéricos e simulações de compressão uniaxial.

Na Fig. 1 é apresentado o diagrama Tensão – deformação, no qual para determinados materiais é possível observar que o trecho OP tem característica linear. Esta relação linear, entre as deformações e as cargas axiais, foi apresentada por Robert Hook em 1678 e é conhecida como Lei de Hook (NASH, 1961). Utiliza-se a Eq. (1) para representar esse trecho linear do diagrama tensão-deformação, onde  $E$  é conhecido como módulo de elasticidade do material ou módulo de Young (cientista inglês 1773-1829) e  $\epsilon$  a deformação do material (BEER, 1996).

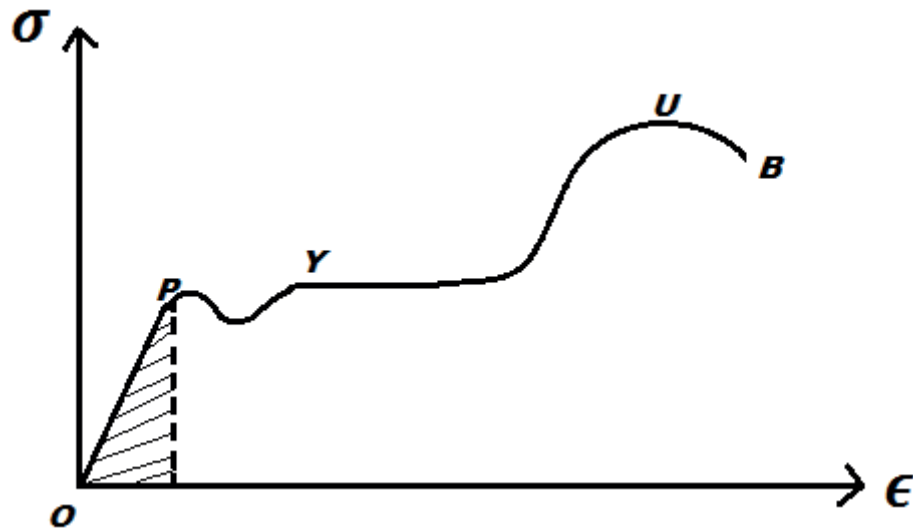


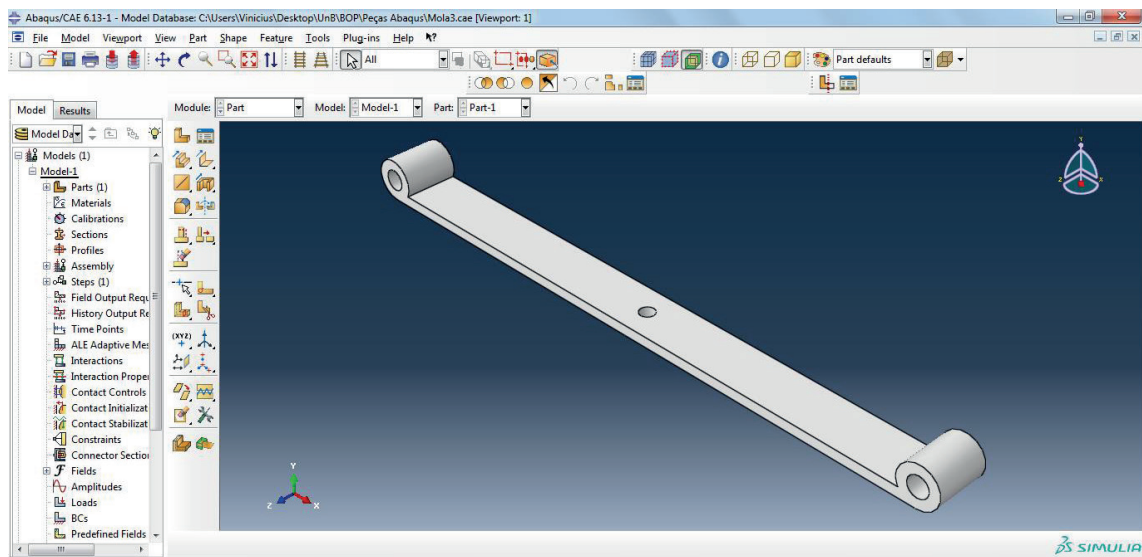
Figura 1. Diagrama Tensão-deformação

$$\sigma = \epsilon E \quad (1)$$

Richard Edler von Mises (1883-1953) propôs um critério denominado de critério de escoamento por energia de distorção. Este propõe que o escoamento de um material dúctil ocorre quando sua tensão equivalente de von Mises atinge um valor crítico denominado de tensão de escoamento. O critério de von Mises é amplamente utilizado para materiais dúcteis e isotrópicos cujas resistências à compressão e à tração são aproximadamente as mesmas e cuja resistência ao cisalhamento é menor que a resistência à tração (NORTON, 2013).

## 2.1 Procedimento experimental

O desenho da mola, representada na Fig. (2), foi realizado no ABAQUS com as dimensões exatas conferidas na Tab. 1



**Figura 2.** Desenho da mola realizada no software ABAQUS

Largura (mm)	Comprimento (mm)	Diâmetro da circunferência interna (mm)	Espessura (mm)	Diâmetro do furo (mm)	Comprimento até o furo (mm)
63,8	740	25	12,35	9,1	37

**Tabela 1.** Dimensões da mola

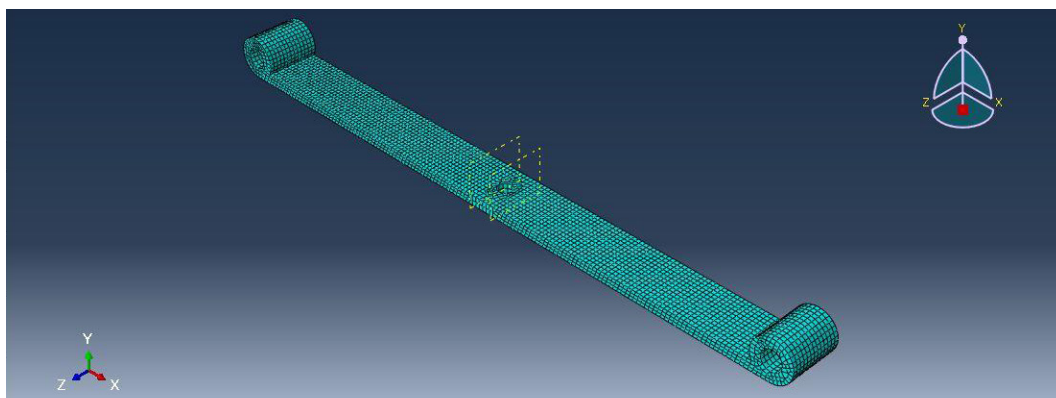
As propriedades do material utilizado foram: módulo de elasticidade  $E = 207$  GPa, coeficiente de Poisson  $\nu = 0,3$  para o aço AISI 6150 com limite de escoamento de 615 MPa. Os ensaios numéricos gerados pelo software de elementos finitos ocorreram no regime antes do material atingir a plasticidade. A Tabela 2 apresenta as características do aço aplicado nas simulações.

AISI 6150			
Composição Nominal	Resistência à Tração	Módulo de Elasticidade	Limite de Escoamento
%	$psix10^3$ MPa	$psix10^3$ MPa	MPa
C – 0,48/0,53 Cr – 0,80/1,10 V – 0,15min	670	207	615

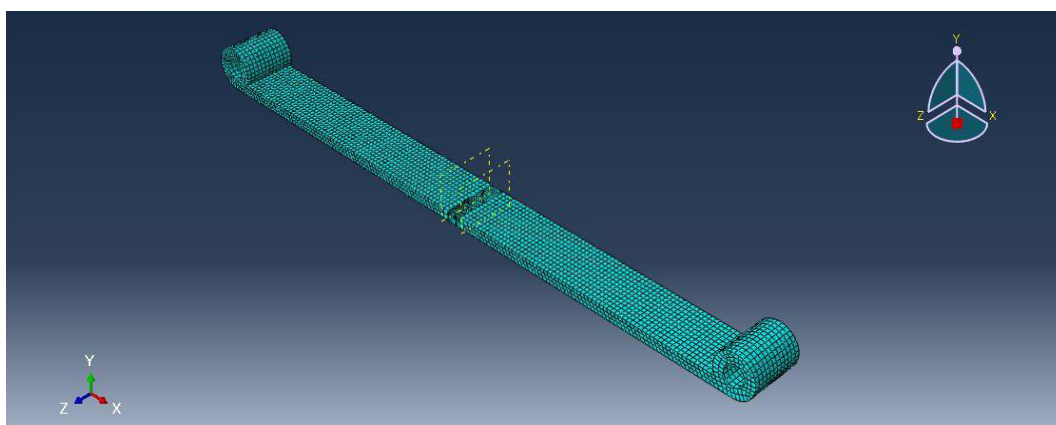
**Tabela 2.** Características do aço AISI 6150

Nas simulações por meio de integração reduzida, a malha utilizada no software ABAQUS, foi escolhida de forma que os elementos tivessem um tamanho proporcional com forma hexagonal, um nó a cada 2,5 mm na parte refinada e estruturada, próxima ao furo, e 5mm no restante da peça, evitando assim problemas numéricos. A Fig. (3) apresenta esta malha antes de ser melhor particionada para o refinamento, a Fig. (4)

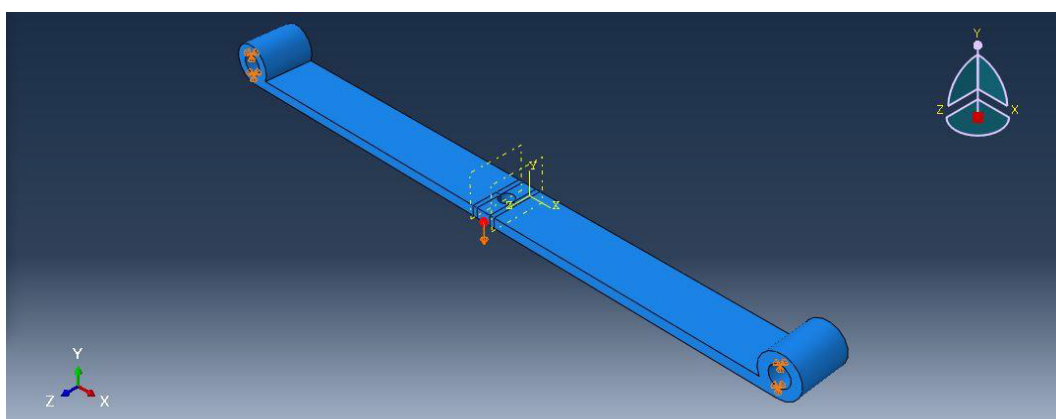
apresenta a malha refinada composta de 6852 elementos, e a Fig. (5) as condições de contorno e as cargas consideradas.



**Figura 3.** Mola em malha sem refinamento



**Figura 4.** Mola em malha refinada



**Figura 5.** Cargas consideradas na mola

Foi considerado no experimento que a peça está sofrendo ação de compressão em uma carga concentrada no centro, com um valor igual a 7725 N e suas extremidades estão fixas por pinos.

Esse valor foi determinado assumindo que o veículo cujas molas operam, seria uma Hilux, conforme a Tab. 3, a qual possui peso total de 3090 Kg, aproximadamente de 30900 N. Esse valor foi dividido por quatro, que corresponde ao número total de rodas. Como há um furo exatamente onde seria colocada a força de 7725 N, foi inserido

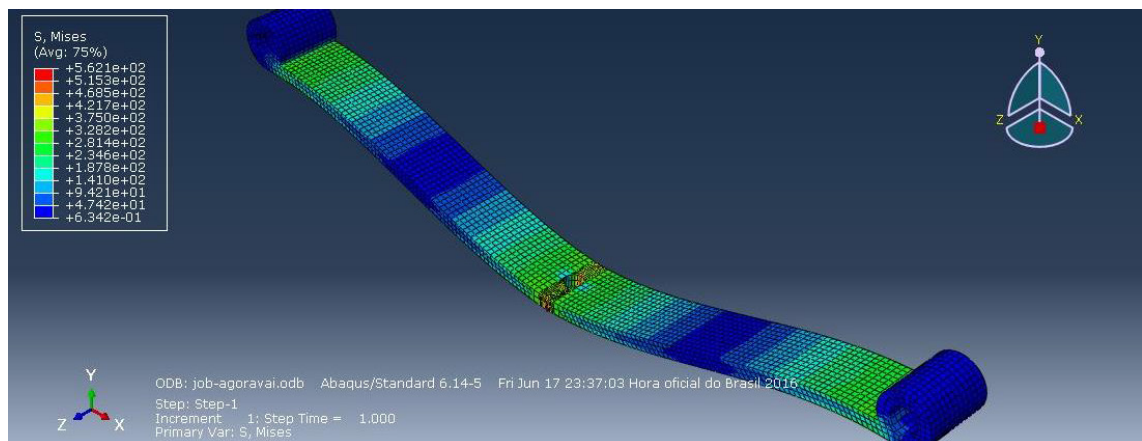
duas forças nas extremidades laterais da peça com intensidades de 3862,5 N cada, correspondendo metade do valor original.

Hilux – SRX A/T		
Peso em Ordem de Marcha (kg)	Capacidade de Carga (kg)	Peso Bruto Total (kg)
2090	1000	3090

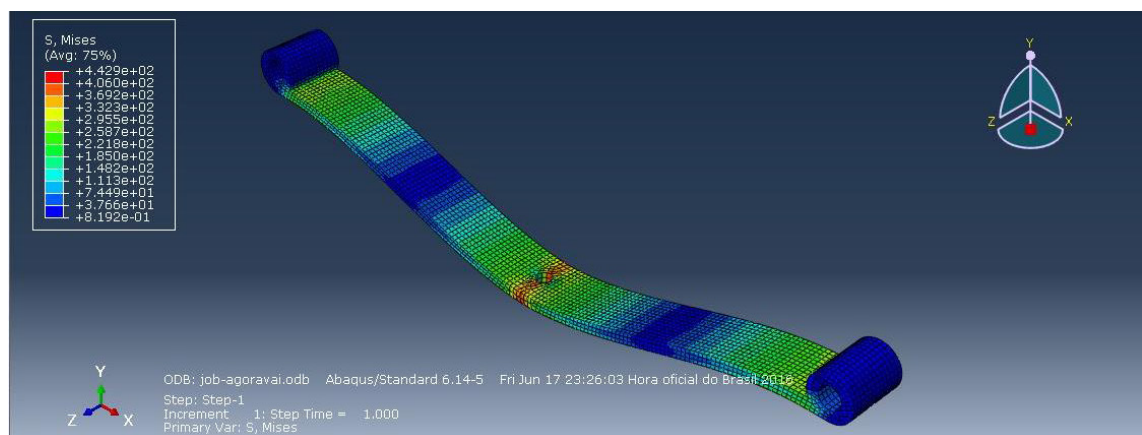
**Tabela 3.** Especificações de carga Hilux

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a mola Mono-lâmina avaliada neste trabalho, apresenta-se na Fig. (6) a configuração deformada da mola com refinamento na malha próxima ao furo e na Fig. (7) a configuração deformada da mola sem refinamento.



**Figura 6.** Configuração deformada da mola com refinamento próximo ao furo, apresentando a distribuição de tensões de Von Mises

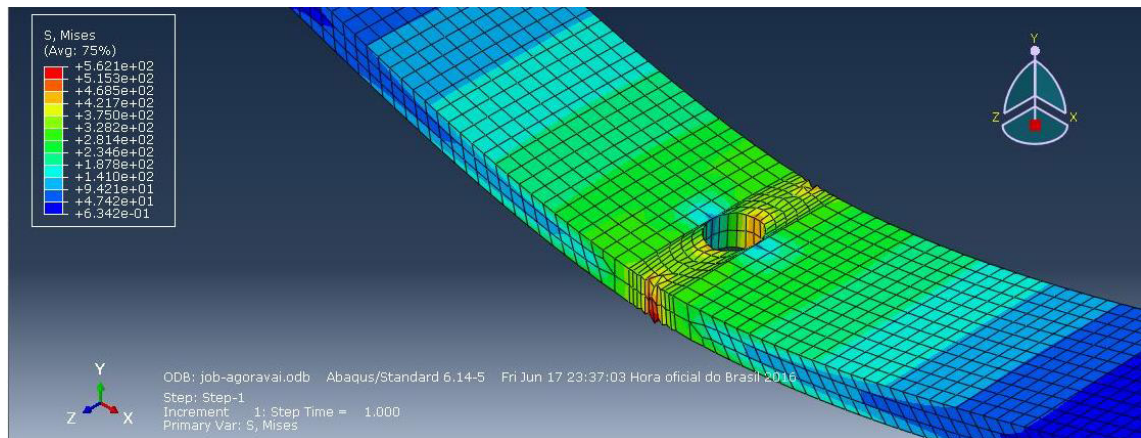


**Figura 7.** Configuração deformada da mola sem refinamento

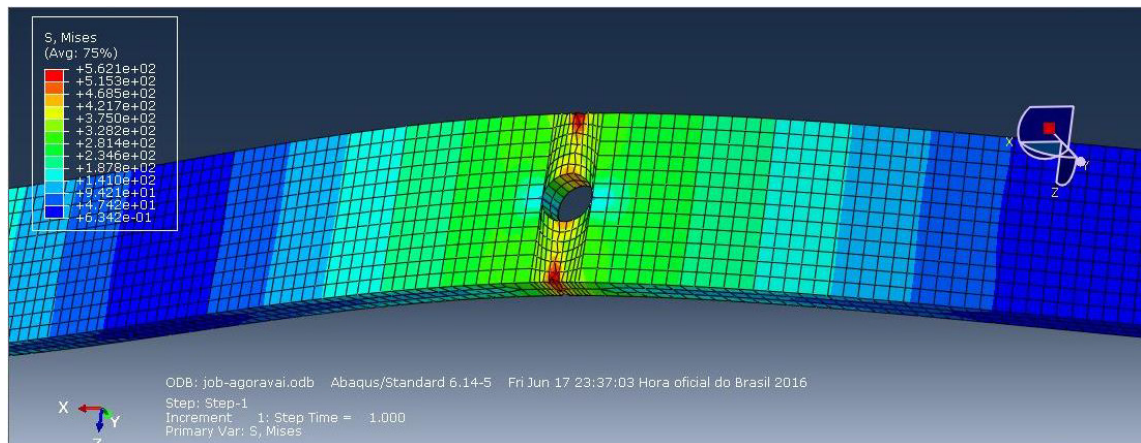
Nota-se que as tensões máximas de von Mises na Fig. (6) e na Fig. (7) são 562,1 MPa e 442,9 MPa, respectivamente. Essa diferença existe, pois quanto melhor se

refina a malha, mais concentrada a força estará no ponto indicado. Torna-se assim, uma aproximação ao valor real de resistência da peça.

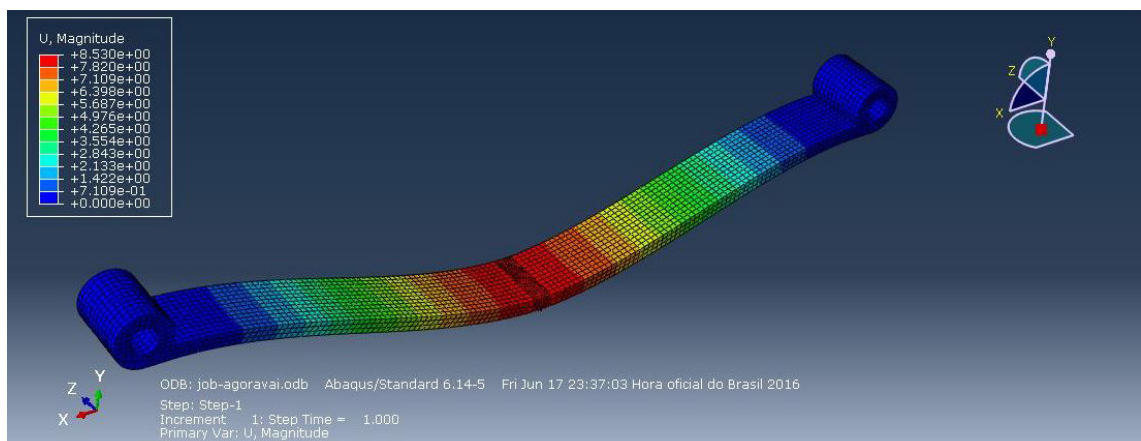
A Figura 8 representa a configuração deformada no detalhe da parte superior da face do furo, a Fig. (9), o detalhe na parte inferior e a Fig. (10) a magnitude da carga na mola.



**Figura 8.** Detalhe na parte superior da face do furo



**Figura 9.** Detalhe na parte inferior da face do furo



**Figura 10.** Deslocamento em mm da peça

Observando-se da Fig. (8) a Fig. (10), verifica-se que as maiores tensões ocorrem no centro da mola na parte inferior do furo. E através da observação da Fig. (6), que



apresenta a distribuição de tensões de Von Mises na peça, nota-se as cargas aplicadas não são suficientes para que a mola seja rompida.

Pela carga escolhida, a máxima tensão de von Mises foi de 562,1 MPa. Sendo o limite de escoamento da mola de 615 MPa e, adotando que no seu processo de fabricação a mola foi submetida a um tratamento térmico de têmpera que resultou em um aumento de 40% no seu limite de escoamento, este torna-se 861 MPa. Com esses valores, calcula-se a diferença percentual entre o limite de escoamento e a tensão máxima de von Mises, resultando em 35% . Os feixes de segurança alto para esse componente. Tendo como diferença percentual de 35% pode-se concluir que o material é satisfatório para exercer esta função.

## 4 | CONCLUSÃO

Neste trabalho foi estudado o comportamento de uma mola Mono-lâmina, retirada de um feixe de molas de veículos automotivos pesados, por meio de simulações computacionais em software comercial de elementos finitos ABAQUS. A pesquisa aqui exposta foi realizada tendo como base os ensaios de compressão e a análise numérica.

Pelos resultados expostos aqui é possível afirmar que a metodologia para análise numérica desenvolvida é satisfatória para representar o comportamento estrutural de mola Mono-lâmina de aço AISI 6150, ensaiadas por simulações computacionais, cumprindo, portanto, o objetivo inicialmente proposto.

A lâmina de mola semi-elíptica no estudo é capaz de assumir razoáveis deformações quando submetidas a forças axiais de compressão. Esta mola tem apresentado comportamento linear elástico, que obedece à lei de Hooke, sendo uma condição que depende não só da geometria da mola como também do material que foi construída.

Em projetos futuros far-se-á análises para a melhoria da modelagem da peça, em que se estudará também o ponto de contato do parafuso empregado em seu furo central, até atingir a modelagem completo do sistema de amortecimento.

## 5 | AUTORIZAÇÕES/RECONHECIMENTO

Ao submeter o trabalho, os autores tornam-se responsáveis por todo conteúdo da obra.

## REFERÊNCIAS

Beer, Ferdinand P., Johnson, Elwood R., 1995, **Resistência dos Materiais**, 3ª Edição, São Paulo:

Pearson Makron Mooks, pp. 76.

Nash, Willian A., 1961, **Resistência dos Materiais**, Rio de Janeiro, Brasil, pp. 14-15.

Norton, Robert L., **Projetos de Máquinas [recurso eletrônico]: uma abordagem integrada**, 4ª Edição, Porto Alegre: Bookman, 2013, pp. 285.

Scuracchio, Bruno Geoffroy, **Tensões residuais induzidas por shot-peening e durabilidade de molas em lâmina**, São Paulo, 2012

Yamada, Y., **Materials for Springs**. Japan Society of Springs Engineers, 2007

## DETECÇÃO DE DEFEITOS EM ROLAMENTOS INDUSTRIAIS ATRAVÉS DE REDES NEURAS ARTIFICIAIS E ANÁLISE DE VIBRAÇÃO

### **Luís Henrique Ferreira de Oliveira**

Universidade Federal de São João del Rei,  
Departamento de Engenharia Mecânica  
São João del Rei - Minas Gerais

### **Jorge Nei Brito**

Universidade Federal de São João del Rei,  
Departamento de Engenharia Mecânica  
São João del Rei - Minas Gerais

### **Lucas Costa Brito**

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade  
de Engenharia Mecânica  
Uberlândia - Minas Gerais

### **Daniel Junio Soares Rodrigues**

Universidade Federal de São João del Rei,  
Departamento de Engenharia Mecânica  
São João del Rei - Minas Gerais

### **Vinícius Augusto Diniz Silva**

Universidade Federal de São João del Rei,  
Departamento de Engenharia Mecânica  
São João del Rei - Minas Gerais

**RESUMO:** As falhas de rolamentos são muito comuns em vários segmentos industriais. Monitoração do seu funcionamento por meio de técnicas de preditivas é essencial para evitar que falhas inesperadas ocorram. Por isso, é possível aumentar a disponibilidade de equipamentos dentro da planta industrial. Um dos parâmetros de monitoramento mais relevantes para classificar o trabalho de condição do

equipamento está em examinar como ele vibra. No entanto, os sinais de vibração de defeitos nos rolamentos são de natureza transitória, que não são bem analisadas por técnicas de análise convencionais. O objetivo deste trabalho é apresentar um estudo comparativo das técnicas de análise de envelope (tradicionalmente utilizado na indústria) e Redes Neurais Artificiais para a detecção de falhas em rolamentos demonstrando as vantagens e limitações. Defeitos foram inserido em rolamentos, montadas numa bancada didática, e os sinais foram coletados através do equipamento Microlog GX-75 SKF. As Redes Neurais foram treinadas e validadas no MatLab. Os resultados mostram o potencial e a viabilidade em que as Redes Neurais Artificiais possam ser inseridas no programa de manutenção preditiva.

**PALAVRAS-CHAVE:** Defeitos e Rolamentos, Manutenção Preditiva, Análise de Envelope, Redes Neurais Artificiais.

**ABSTRACT:** The bearing failures are very common in various industrial segments. Monitoring the functioning status through predictive techniques is essential to prevent unexpected failures occur. So it is possible to increase the availability of equipment within the industrial plant. One of the most relevant monitoring parameters to rate the working condition of equipment is examining how it

vibrates. However, the vibration signals from defects in rolling bearings are transient in nature, which are not well analyzed by conventional analysis techniques. The objective of this paper is to present a comparative study of the envelope analysis techniques (traditionally used in industry) and Artificial Neural Networks for the detection of bearing failures demonstrating that advantages and limitations. Defects was inserted into the bearings, mounted on a test bench, and the signals was collected through the Microlog GX-75 SKF. Neural networks was trained and validated on MatLab. The results show the potential and viability of Artificial Neural Networks, can be included in Predictive Maintenance programs.

**KEYWORDS:** Bearings Defects, Predictive Maintenance, Envelope Analysis, Artificial Neural Networks.

## 1 | INTRODUÇÃO

A busca crescente pela redução de custos visando a lucratividade gera como consequência um investimento em pesquisa maior na área de manutenção, pois segundo Mobley (2002), em geral, os custos de manutenção representam a maior parte das operações da empresa. Mobley (2008) também afirma que a maior parte dos problemas pode ser minimizada se eles forem detectados e reparados com antecedência.

Segundo Tao *et al.* (2007) o monitor das condições das máquinas rotativas, têm sido de grande importância na indústria moderna. Tao *et al.* (2007) também afirma que a maior causa de falhas ocorridas em máquinas rotativas, ocorrem devido aos rolamentos, estes que podem falhar devido a lubrificação excessiva ou a falta da mesma, desalinhamento do seu eixo, cargas excessivas, dentre outras. Isto justifica a necessidade do seu monitoramento através de técnicas preditivas para que não ocorra uma falha na máquina, muitas vezes causando um prejuízo maior do que o custo da própria máquina que apresentara a falha.

Segundo Kardec e Nascif (2009) a manutenção pode ser dividida em três gerações. A primeira, até a Segunda Guerra Mundial, tinha o foco na manutenção corretiva. Posteriormente, até a década de 70, tinha o foco na manutenção preventiva. A partir dessa década o foco da manutenção passou a ser manutenção preditiva considerada a primeira grande mudança de padrões na manutenção. Ela baseia-se na monitoração e diagnóstico de máquinas, ou componentes, através de acompanhamento de parâmetros diversos (vibração, temperatura, pressão, dentre outros).

Através da manutenção preditiva é possível prever quando uma falha irá ocorrer, Brito (2012). Sua implantação tem um investimento inicial mais elevado, mas, em geral, de cada dólar investido têm-se cinco outros de retorno. A manutenção preditiva é uma técnica de manutenção onde nos mostra condições reais de funcionamento de máquinas e equipamentos com base em dados que informam a situação atual

de funcionamento e desgaste que esses se encontram, e claro, se há algum defeito ou mesmo a iminência de algum. Uma das técnicas mais efetivas da manutenção preditiva é a análise de vibrações que, de acordo com Menna (2007) e Santiago (2004), tem sido amplamente utilizada no diagnóstico de falhas e monitoração da condição de máquinas rotativas e é feita geralmente no domínio do tempo ou no domínio da frequência.

Na análise espectral no domínio da frequência, são analisadas as existências de picos de amplitudes nas frequências característica de cada tipo de defeito do rolamento (SEERA *et al.*, 2012; IMMOVILLI *et al.*, 2012).

Está cada vez mais usual o uso de técnicas de Inteligência Artificial na manutenção preditiva, neste trabalho optou-se por utilizar a técnica das Redes Neurais Artificiais (RNA). De acordo com Brito *et al.* (2005) as Redes Neurais Artificiais (RNAs) são modelos matemáticos e computacionais inspirados nos conhecimentos das neurociências.

As RNAs são compostas de elementos não lineares de processamento paralelo e são capazes de ‘aprender’ através de exemplos. Elas apresentam a capacidade de aprender, generalizar a informação obtida, organizar dados, definir padrões e podendo até tomar decisões. Dessa forma é possível espelhar várias funções cognitivas e motoras que o cérebro humano é capaz de fazer. Através dos sinais de vibração é possível montar um banco de dados para “treinar” e “ensinar” uma Rede Neural Artificial (RNA) a identificar um padrão de defeito.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia que possa contribuir para o estudo e detecção de falhas em rolamentos usando RNAs treinadas a partir de sinais de vibração obtidos experimentalmente. Para treinamento e qualificação das RNAs usou-se o Neural Network Toolbox, ferramenta do MATLAB. Os sinais de vibração foram coletados através do MICROLOG-GX, tecnologia SKF. Os resultados obtidos serão utilizados para auxiliar numa futura análise de defeitos nos rolamentos testados e poderão ser utilizados futuramente para uma análise em monitoramento online.

## 2 | FALHAS EM ROLAMENTOS

Os rolamentos, como qualquer outra peça rotativa, sofrem desgaste e deterioração com o uso, que podem evoluir para algum defeito. Entretanto, um rolamento pode apresentar defeitos prematuros por diversas razões, dentre estas as mais comuns são: Lubrificação inadequada, montagem incorreta, desalinhamento e carga excessiva. Mesmo não ocorrendo defeito devido a estas razões, todos rolamentos estão sujeitos aos defeitos por fadiga natural. Bezerra (2004).

O método mais utilizado na manutenção preditiva para a detecção de defeitos em rolamentos é o método da análise de vibração, pois além de identificar se o rolamento

está com defeito ou não, com este método se consegue emitir a localização do defeito no rolamento.

Para Mc Fadden e Smith (1984) cada vez que uma superfície com defeito em um rolamento, entra em contato com outra superfície deste mesmo rolamento, seja pista interna ou externa, é gerado um impulso muito rápido de vibração, o qual gera um pico de amplitude que excita ressonâncias no rolamento e no equipamento, o qual ele está instalado. Os rolamentos industriais são compostos por pista interna, pista externa, gaiola e elementos rolantes. Para cada um desses componentes existe uma frequência característica de defeito, ou seja, caso haja algum defeito no rolamento, o pico de amplitude ocorrerá em uma frequência que é determinada pela localização deste defeito.

Essas frequências (BPFO - Pista Externa; BPFI - Pista Interna; BSF - Elemento Rolante e FTF - Gaiola) estão representadas pelas Equações (1), (2), (3) e (4), respectivamente, onde, onde  $f_r$  é a frequência de rotação (Hz),  $d$  é o diâmetro da esfera ou do rolo (mm),  $D$  é o diâmetro primitivo do rolamento (mm),  $n$  é o número de esferas ou rolos e  $\theta$  é o ângulo de contato do rolamento.

$$BPFO = \frac{n}{2} f_r \left( 1 - \frac{d}{D} \cdot \cos\theta \right) \quad (1)$$

$$BPFI = \frac{n}{2} f_r \left( 1 + \frac{d}{D} \cdot \cos\theta \right) \quad (2)$$

$$BSF = \frac{d}{2D} f_r \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^2 \cos^2\theta \right] \quad (3)$$

$$FTF = \frac{1}{2} f_r \left( 1 + \frac{d}{D} \cdot \cos\theta \right) \quad (4)$$

Caso o rolamento apresente algum defeito, irão aparecer, no espectro de vibrações, picos de amplitudes em algumas dessas frequências. Vai depender da localização do defeito. Figura 1 têm-se os elementos de um rolamento.

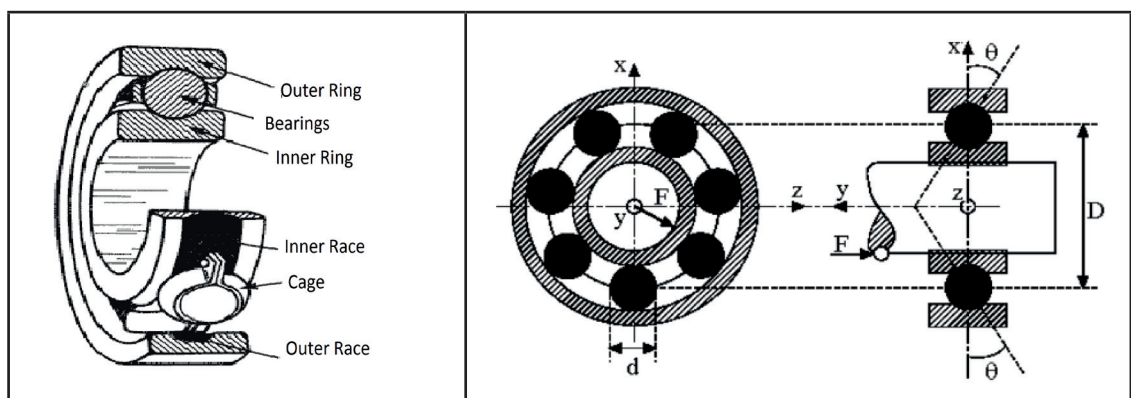


Figura 1. Elementos do Rolamento. Fonte: Mesquita *et al.* (2002).

### 3 | BANCADA EXPERIMENTAL

Os testes foram realizados na bancada experimental, Figura 2, disponível no Laboratório de Sistemas Dinâmicos (LASID) do Departamento de Engenharia Mecânica (Demec) da Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ).

Foi utilizado um rolamento Timken W209PP sem defeito, um rolamento SKF 3209 sem defeito, um Timken W209PP com defeito e um rolamento SKF 3209 com defeito. O Motor da bancada é de Indução Trifásico [1], modelo C184T4-E1611, Fabricante Eberle, quatro polos, A rotação (RPM e Hz) 1745 - 29, Potência (HP e kW) 5 e 3,72. Mancal MDS SN 509 (LP-Lado da polia) [2]; mancal MDS SN 509 (LD - Lado do disco) [3]. Para a aplicação de carga utilizou-se o freio mecânico Twiflex da TecTor Modelo MR 12,7 [4] e foi usado um multímetro para controlar a carga aplicada através da corrente do motor elétrico.

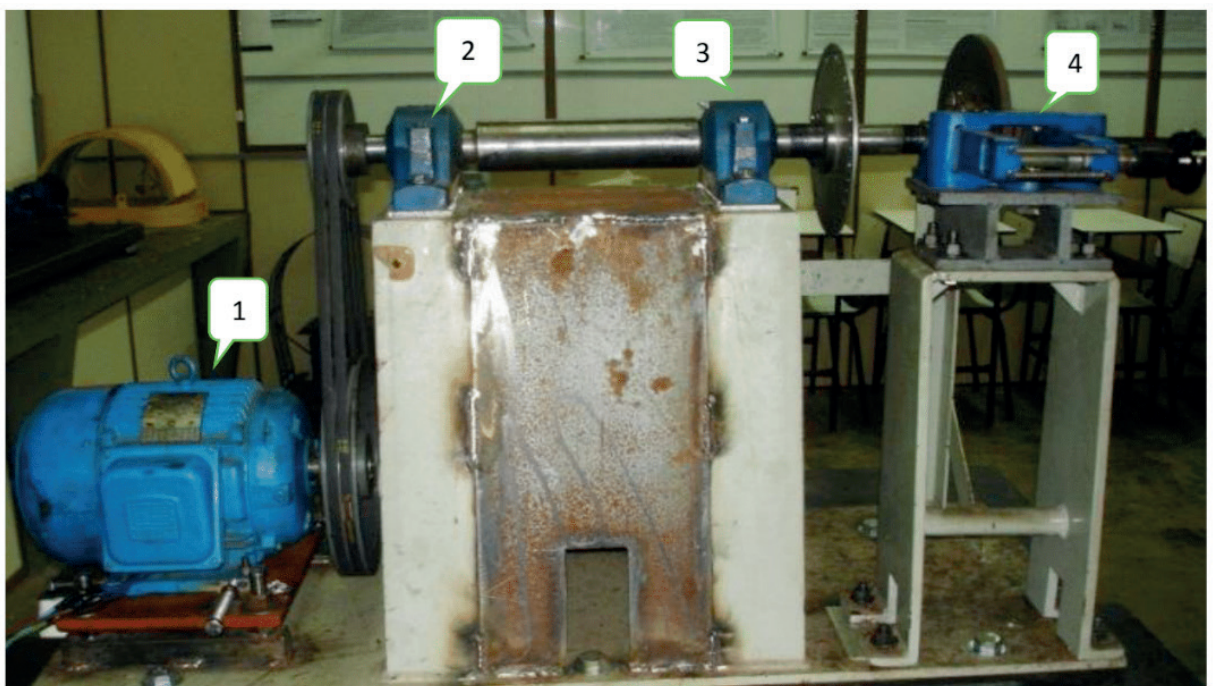


Figura 2. Bancada Experimental. Fonte: Autor.

Para aquisição de sinais de vibração foi utilizado o coletor/analizador de dados SKF Microlog GX -75. Os sinais coletados podem ser analisadas diretamente no equipamento ou transferidos para o computador através do *software SKF @mplitude Analyst*. Nessa opção tem-se um ambiente mais confortável, permitindo uma análise mais detalhada, emissão de relatórios, inclusão de alarmes e montagem do banco de dados. Através desse equipamento também é possível coletar espectros de envelope, comumente usado para análise de defeitos em rolamentos.

Para aquisição de vibração os sinais foram coletados com o acelerômetro SKF CMSS2200, com uma sensibilidade de 100 mV, colocadas alternadamente na posição vertical e horizontal nos mancais de rolamento.

## 4 | CRIAÇÃO DO BANCO DE DADOS PARA A REDE NEURAL

Segundo Haykin (2009) uma rede neural concretiza seu reconhecimento de padrões passando inicialmente por uma seção de treinamento, durante a qual se apresenta repetidamente à rede, um conjunto de exemplos de entrada, junto com a categoria a qual cada exemplo particular pertence. As Redes Neurais Artificiais são uma ferramenta computacional baseada nos neurônios cerebrais dos seres vivos. Redes neurais artificiais são utilizadas em diversas áreas de conhecimento, como o controle de processos, análise e processamento de sinais, classificação de dados, reconhecimento de padrões, análise de imagens, diagnóstico científico etc. Na área industrial utiliza-se de maneira eficaz as Redes Neurais, por se tratar de uma ferramenta que consegue resolver problemas de difícil quantificação matemática, ineficazes podendo até solucionar problemas impossíveis.

A primeira etapa para o desenvolvimento da RNA é a criação de um banco de dados de vibração coletados dos mancais com os rolamentos sem defeitos e os rolamentos com defeito. Um vasto banco de dados com muitas coletas, gera muitos exemplos de entrada para a RNA, fazendo com que esta tenha uma grande eficiência e qualidade.

Segundo Ponci e Cunha (2005) os defeitos em rolamentos geram vibrações de alta frequência e com menor intensidade do que as geradas por componentes de baixa frequência, como desalinhamento, desbalanceamento, folgas e etc. Portanto, analisar as vibrações de alta frequência geradas pelos defeitos de rolamentos, excluindo os sinais vibrações de baixa frequência, garantem o sucesso e precisão na detecção de defeitos em rolamentos.

Samanta e Al-Balushi (2003) trabalharam com máquinas rotativas e utilizaram dados de vibração do domínio do tempo como entrada de uma RNA do tipo MLP para detecção de defeitos em rolamentos destas máquinas. Cinco características foram extraídas e usadas como sinais de entrada, raiz quadrada média (rms), variação, assimetria (terceiro momento central normalizado), curtose (momento central normalizado do quarto) e sexto momento central normalizado. As RNAs tiveram ótimos resultados, algumas delas com 100% de sucesso. Os autores também notaram a importância de remover as baixas frequências (causando por componentes de interferências). Portanto, eles usaram um filtro passa-alta e passagem de banda, análise de envelope e transformação de wavelets nessas cinco características e fizeram os testes nas RNAs. O filtro passa-alta, o filtro passa-banda e o envelope causaram uma leve melhora nos resultados das RNAs. A transformação wavelet não apresentou melhora significativa nos resultados. Provando que esses cinco recursos também podem ser uma boa metodologia para diagnosticar falhas nos rolamentos.

Neste trabalho utilizou-se a técnica de envelope na coleta de dados de vibração dos mancais de rolamentos, pois as frequências características dos defeitos de rolamentos são difíceis de serem detectadas em uma simples análise espectral. O envelope faz



com que seja detectado no espectro frequência x amplitude, as frequências de defeito dos rolamentos com maior facilidade e precisão. O envelope do sinal fornecerá os dados necessários para serem usados como variáveis de entrada para a Rede Neural Artificial.

Na Tabela 1 tem-se as frequências determinísticas de defeito de cada rolamento analisado. Nas Figuras 3 a 7 tem-se os respectivos espectros de vibrações.

<b>Rolamento SKF 3209ATN9</b>	<b>Frequências</b>
BPFO (Pista Externa)	$4,18 f_r$
BPFI (Pista Interna)	$5,82 f_r$
BSF (Elemento Rolante)	$2,51 f_r$
FTF (Gaiola)	$0,42 f_r$
<b>Rolamento Tinkem W209PP</b>	<b>Frequências</b>
BPFO (Pista Externa)	$3,62 f_r$
BPFI (Pista Interna)	$5,38 f_r$
BSF (Elemento Rolante)	$2,46 f_r$
FTF (Gaiola)	$0,40 f_r$

Tabela 1. Frequências determinísticas de defeito.

Fonte: Autor

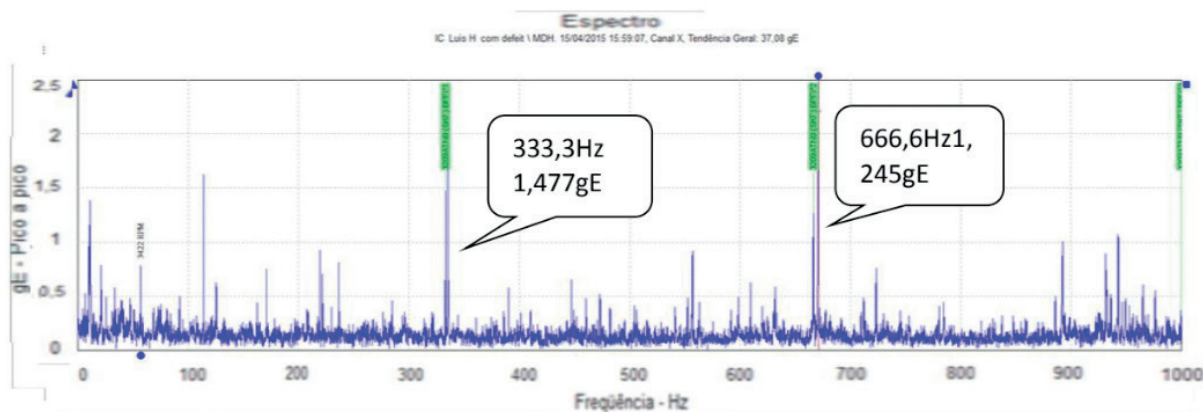


Figura 3. Espectro do Rolamento SKF 3209 com defeito na pista interna. Fonte: Autor.

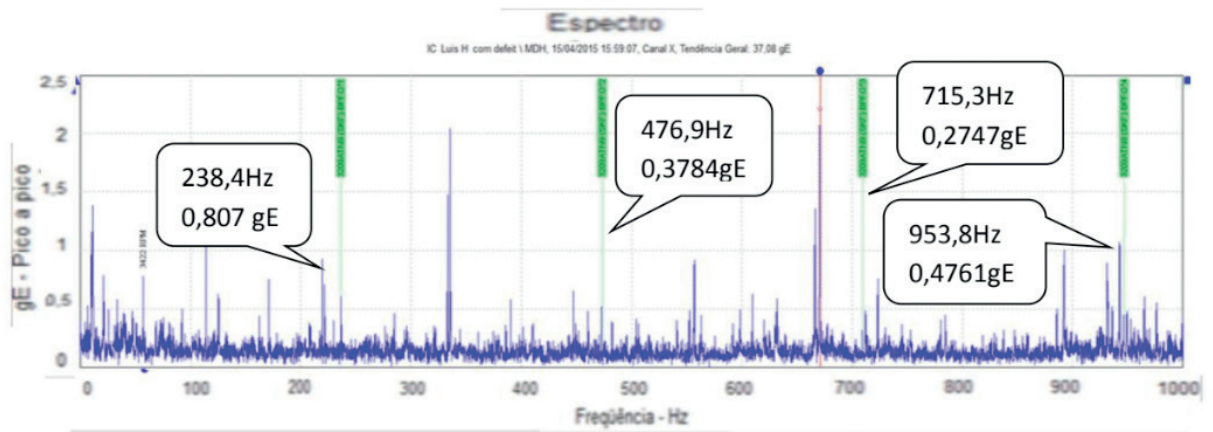


Figura 4. Espectro do Rolamento SKF 3209 com defeito na pista externa. Fonte: Autor

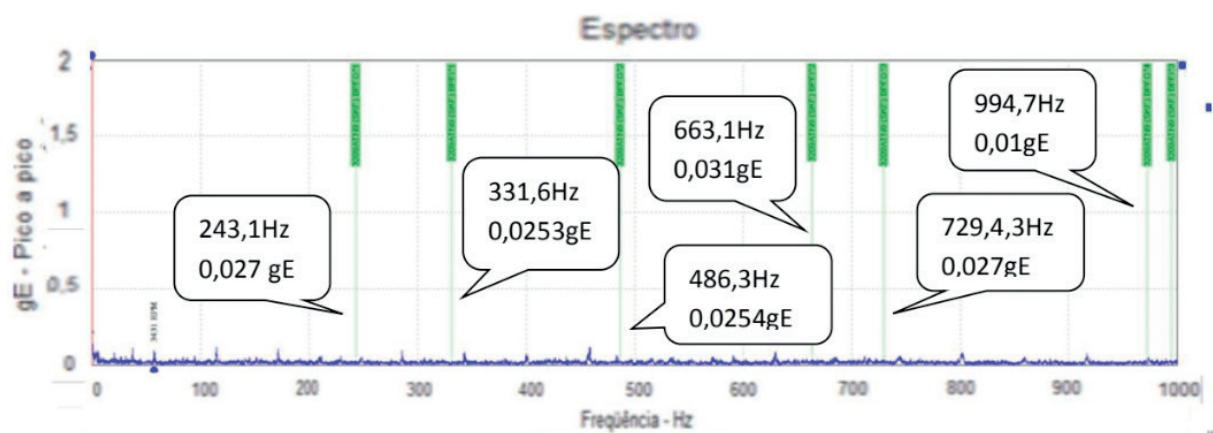


Figura 5. Espectro do Rolamento SFK 3209 sem defeito. Fonte: Autor

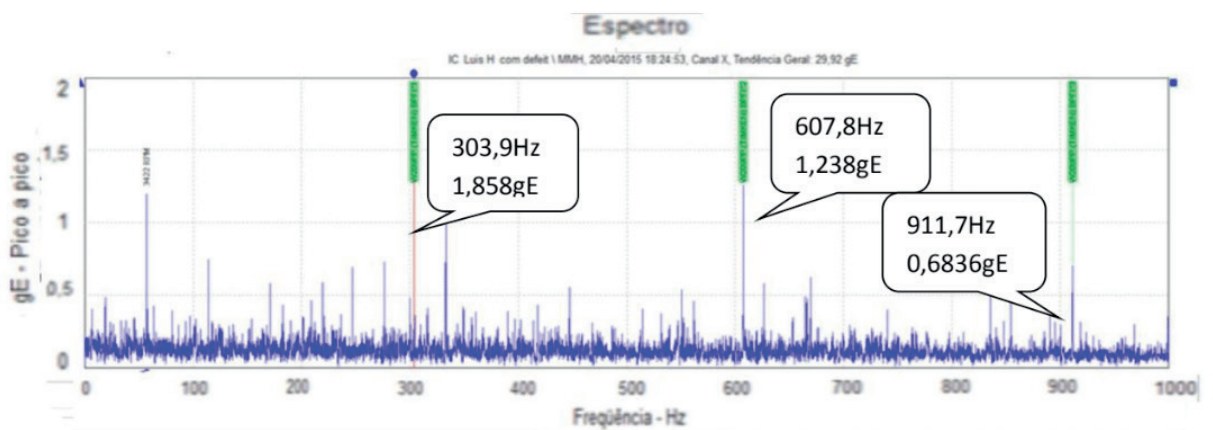


Figura 6. Espectro do Rolamento Timken W209PP com defeito. Fonte: Autor.

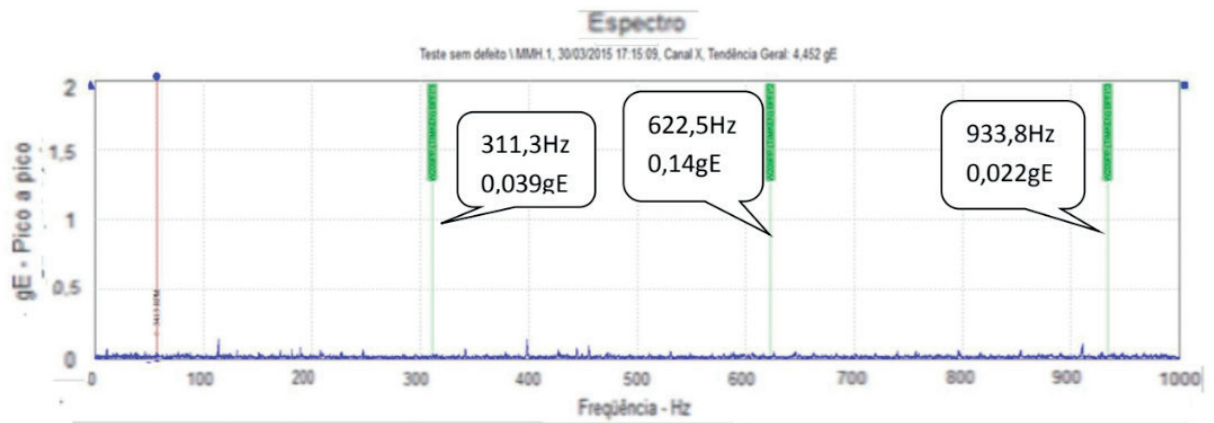


Figura 7. Espectro Rolamento Timken W209PP sem defeito. Fonte: Autor.

## 5 | DESENVOLVIMENTO DAS REDES NEURAIS E SEUS RESULTADOS

Foram feitas 40 coletas na posição vertical e na horizontal em cada rolamento, gerando um total de 320 espectros (160 sem defeito e 160 com defeito). Cada coleta foi feita em um intervalo de 2 horas. A coleta de dados foi feita como Microlog-GX, tecnologia SKF, e Software SKF @mplitud Analyst, nos forneceu o espectro de envelope do sinal. Coletamos as amplitudes das frequências características de defeito, as quais serviram de dados de entrada para a rede neural.

Analisando os resultados da análise de envelope, optou-se por montar a rede neural apenas com os valores das coletas na Horizontal, devido esta posição ter gerado um espectro mais “limpo” e “claro” na detecção de picos de amplitudes específicos de defeitos em rolamentos

As Redes Neurais foram montadas no software Matlab, que contém o Neural Network Toolbox, uma ferramenta prática, simples e eficiente no desenvolvimento de Redes Neurais Artificiais.

Os rolamentos analisados foram dois Timken W209PP um sem defeito e o outro com defeito na pista interna. Dois da SKF 3209 um sem defeito e o outro com defeito na pista interna e externa. Os valores de entrada para as redes neurais foram as amplitudes das frequências de defeitos dos rolamentos e suas harmônicas.

A rede neural para os rolamentos Tinkem W209PP foram criadas da seguinte maneira, extraímos as amplitudes de 3 harmônicos de defeito na pista interna, tanto no rolamento com defeito como para o rolamento sem defeito. Foi “apresentada” para a rede neural na entrada as amplitudes do rolamento sem defeito e as amplitudes para o rolamento com defeito. Para as amplitudes sem falha foi definido como saída o número “0” e para as amplitudes de defeito foi definido como saída o número “1”.

Para os rolamentos SKF3209 ATN a metodologia foi a mesma utilizada nos rolamentos Tinkem W209PP a diferença foi no número de entradas. Foram apenas 2 entradas para a rede com defeito na pista interna, pois o espectro nos forneceu

apenas 2 harmônicos de defeito. E 4 entradas para a Rede Neural com defeito na pista externa, pois o espectro nos forneceu 4 harmônicos de defeito.

As redes utilizadas foram do tipo Feed-Foward, algoritmo de treinamento utilizados foram o algoritmo 'Backpropagation' e o algoritmo de otimização 'Levenberg-Marquardt', as funções de transferência foram as de Tangente Hiperbólica. A velocidade de ativação foi 0,01, número máximo de épocas foi 1000 e o erro desejado 0,1%, a taxa de aprendizagem de 0,01 e a inicialização dos pesos foi aleatória. Fora usado 60% dos espectros para treinamento, 20% para validação e 20% para teste. Para os valores das amplitudes da condição sem defeito fora denominada a saída '0' e para os valores das amplitudes da condição com defeito for a denominada a saída '1'. Foram testadas as redes com arquitetura mostradas na Tabela 2.

SKF 3209		Tinkem W209PP
Defeito na Pista Interna	Defeito na Pista Externa	Defeito na Pista Interna
2x2x1	3x3x1	3x3x1
2x4x1	3x6x1	3x6x1
2x2x2x1	3x3x3x1	3x3x3x1

Tabela 2. Arquiteturas das Redes Neurais. Fonte: Autor

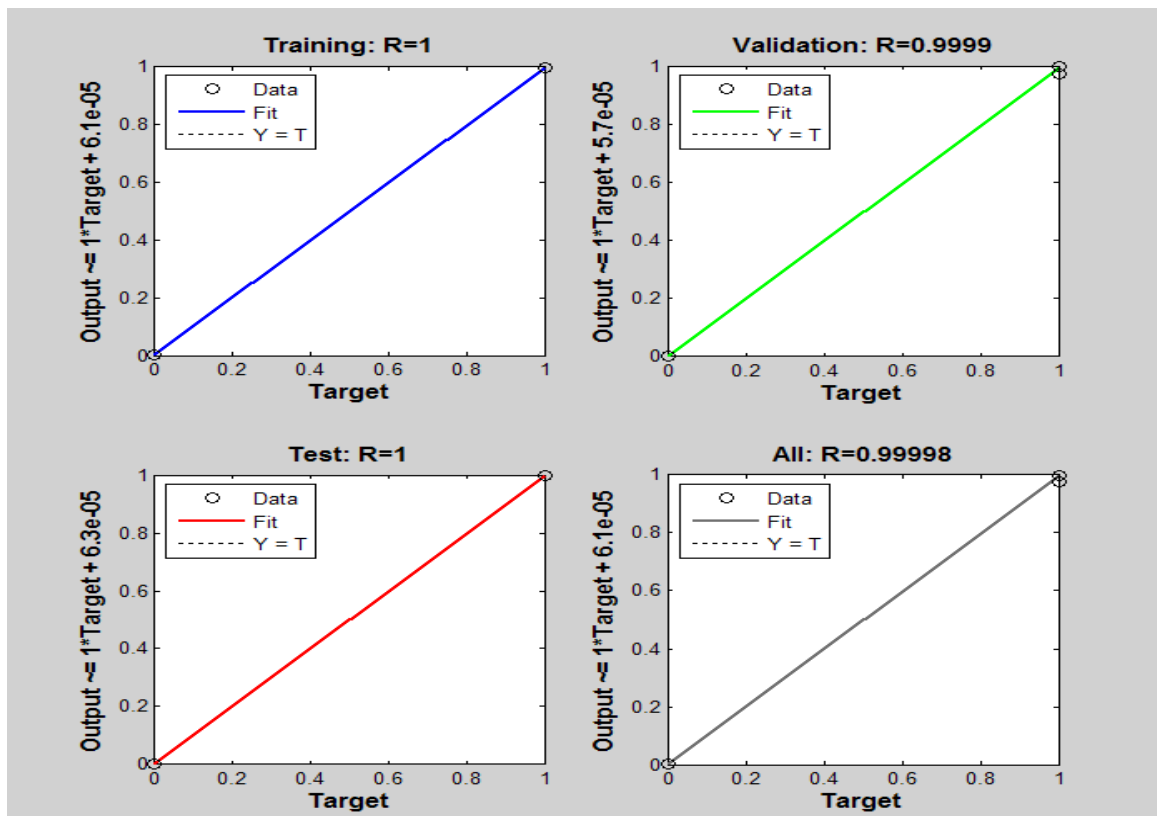


Figura 8. Resultado de teste, treinamento e validação da Rede Neural. Fonte: Autor

O resultado, como esperado, foi muito satisfatório, todas as redes testadas obtiveram 100% de acerto. Resultado já esperado, por ser uma rede de classificação de padrões entre as amplitudes das frequências de um rolamento sem defeito e as amplitudes das frequências determinísticas de rolamentos com defeitos.

## 6 | COCLUSÃO

A Análise de Vibração pode ser considerada o método de análise mais efetiva da manutenção preditiva. Com esta detecta-se a iminência de defeitos antes que estes se tornem uma falha. Identifica-se esta eficiência da análise de vibração e além da detecção de defeito, a análise de vibração foi muito efetiva no fornecimento do banco de dados que serviu para a criação da Rede Neural.

As Redes Neurais têm despertado interesse nos últimos anos em pesquisadores de diversas áreas, devido sua vasta capacidade funções, sendo uma destas o reconhecimento de padrões usados na manutenção preditiva. Além de ser uma ferramenta utilizada para o monitoramento online, visando a minimização do tempo, praticidade e otimização das informações obtidas para o diagnóstico do problema.

Para definir os parâmetros para a Rede Neural necessita-se primeiro do conhecimento prévio da metodologia utilizada pelo projetista, no nosso caso a metodologia utilizada foi colocar como dados de entrada as amplitudes das frequências de defeito dos rolamentos. O projetista necessita também de conhecimento sobre as topologias de rede, é importante que saiba os algoritmos de treinamento e otimização de melhor escolha, para determinado objetivo, é importante saber as funções de ativação que devem ser utilizadas e ter um conhecimento para definir a arquitetura da Rede Neural. Mesmo tendo grande conhecimento sobre tais assuntos, não existe uma ‘fórmula certa’, cada caso tem-se uma resposta diferente, cada Rede Neural responde de uma diferente maneira para cada tipo de diagnóstico.

As Redes Neurais se convergiram facilmente obtendo uma taxa de acerto de 100%, isto é, devido ao fato do diagnóstico solucionado ser um diagnóstico simples. Mas essas Redes Neurais são uma ferramenta que facilitam no uso na indústria onde se coletam dados de vibração de milhares de rolamentos, além destas Redes Neurais podem ser usadas no monitoramento online, otimizando e minimizando o tempo de coleta, proporcionando assim um melhor diagnóstico e maior lucro para a indústria.

## REFERÊNCIAS

BEZERRA, R. A., PEDERIVA, R. **Detecção de Falhas em Rolamentos por Análise de Vibração**. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, Brasil. Dissertação (Doutorado),2004.

- BRITO, J. N., PORTES, D. F., TAVARES, F., PINTO, G. R. **Detecção de imperfeições em Máquinas Rotativas através de Redes Neurais Artificiais**. Artigo científico, COBEM, 2005.
- BRITO, L. C., LACERDA, A. L. M., REIS, R. A., LAMIM FILHO, P. C. M., BRITO, J. N. **Estudo comparativo de diferentes técnicas de Análise de Sinais de Vibração aplicadas na detecção de falhas em Rolamentos**. Artigo científico, CONEM, 2012.
- HAYKIN, S. **Neural networks and learning machines**. 3. ed. Upper Saddle River: Pearson Education, 906 p., 2009.
- IMMOVILLI, F.; BIANCHINI, C.; COCCONCELLI, M.; BELLINI, A.; RUBINI, R. **Bearing fault model for induction motor with externally induced vibration**. IEEE Transactions on Industrial Electronics, PP, n. 99, p. 1, 2012.
- KARDEC, A., NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica**. Qualitymark Ed., Rio de Janeiro, 384 p, ISBN 85-7303-898-5, Terceira Edição, 2009.
- MCFADDEN, P. D.; SMITH, J. D. **Vibration monitoring of rolling element bearings by the high-frequency resonance technique — a review**. Tribology International, v. 17, n. 1, p. 3– 10, fev. 1984.
- MENNA, A.R. **Detecção de falhas em mancais de rolamento por análise de vibrações em banda larga: um caso prático de aplicação em uma população de elementos rotativos**. Dissertação(Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil, 2007.
- MOBLEY, R. K.,. **An Introduction to Predictive Maintenance**. 2. ed. Elsevier Science 438 p.,2002.
- MOBLEY, R. K.; HIGGINS, L. R.; WIKOFF, D. J. **Maintenance Engineering Handbook**. 7. ed. United States: McGraw-Hill, 1243 p., 2008.
- PONCII L., CUNHA P. **Previsão de Falha de Rolamentos por Análise Espectral de Envelope**. Teknikao, 2005.
- SAMANTA, B.; AL-BALUSHI, K. R. **Artificial Neural Network Based Fault Diagnostics of Rolling Element Bearings Using Time-Domain Features, Mechanical Systems and Signal Processing**. v. 17, n. 2, p. 317-328., 2003.
- SANTIAGO, D. F. A. **Diagnóstico de Falha em Máquinas Rotativas Utilizando Transformada de Wavelet Redes Neurais Artificiais**. Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica), 2004.
- SEERA, M.; LIM, C. P.; ISHAK, D.; SINGH, H. **Fault detection and diagnosis of induction motors using motor current signature analysis and a hybrid FMM-CART model**. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, v. 23, n. 1, p. 97-108, jan. 2012.
- TAO, B.; ZHU, L.; DING, H.; XIONG, Y. **An alternative time-domain index for condition monitoring of rolling element bearings - a comparison study**. Reliability Engineering & System Safety, v. 92, n. 5, p. 660–670, 2007.

## AVALIAÇÃO E COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE SOMMERFELD E OCVRK PARA MANCAIS HIDRODINÂMICOS RADIAIS

### **Gabriel Alves Costa**

Faculdade de Engenharia de Bauru –  
Universidade Estadual Paulista  
Bauru – São Paulo

### **Erickson Fabiano Moura Sousa Silva**

Universidade Estadual de Santa Cruz  
Ilhéus – Bahia

### **Sillas de Oliveira Cezar**

Universidade Estadual de Santa Cruz  
Ilhéus – Bahia

### **Victor Hugo Martins de Almeida**

Universidade Estadual de Santa Cruz  
Ilhéus – Bahia

### **Vaneide Gomes**

Universidade Estadual de Santa Cruz  
Ilhéus – Bahia

**RESUMO:** Este trabalho apresenta um estudo sobre mancais hidrodinâmicos, no qual foram abordados assuntos referentes a elementos de máquinas como lubrificação, teoria de lubrificação, bem como os modelos que podem ser adotados e seus respectivos funcionamentos. Foram apresentadas as resoluções dos problemas pelos métodos de Ocvirk e Sommerfeld, para mancais curtos e longos, respectivamente, através da determinação da relação do mancal de entrada como sendo largura por diâmetro igual a 1, na qual os dois métodos seriam eficientes. Foi

feita a comparação dos resultados de ambos os métodos posteriormente, alterando a largura dos mancais, observando-se a convergência e divergência entre os valores de Sommerfeld e Ocvirk em determinados intervalos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sommerfeld, Ocvirk, mancal hidrodinâmico.

**ABSTRACT:** This work presents a study of bushing hydrodynamic, in which were addressed issues related to machine elements as lubrication, lubrication theory and models that can be adopted and their related workings. They were presented the resolutions of the problems by methods Ocvirk and Sommerfeld, for short and long bushings, respectively, by determining the bushing whit ratio width per diameter equal 1, where the two methods are efficient. Was made the comparison of the results of both methods posteriorly, change the width of the bearings, observing the convergence and divergence between Sommerfeld and Ocvirk values at certain intervals.

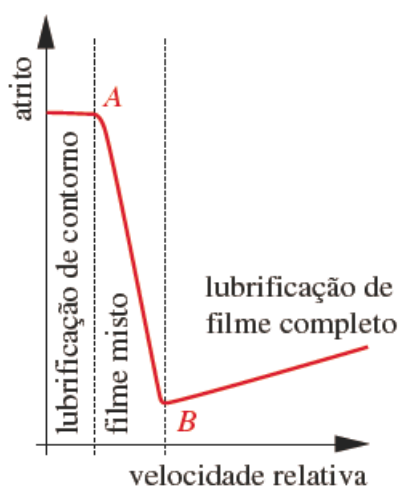
**KEYWORDS:** Sommerfeld, Ocvirk, hydrodynamic bearings.

### 1 | INTRODUÇÃO

De acordo com Norton (2013), um mancal é definido como qualquer par de componentes

mecânicos que realizam movimento relativo entre si, independente da forma de construção apresentada. Em máquinas em geral, os mancais são elementos de suporte de eixos, podem ser encontrados em dois modelos de construção, tendo os mancais de rolamento, constituídos de elementos rolantes que evitam que as peças deslizem entre si, e os mancais de deslizamento, que se baseiam no deslizamento entre a superfície da peça que está sendo apoiada e a do mancal com intermédio de um lubrificante que substitui o atrito seco entre as peças por um atrito viscoso com o fluido, reduzindo o desgaste do material.

A aplicação do lubrificante no mancal de deslizamento deve ser devidamente dimensionada, tendo em vista a quantidade de lubrificante e o tipo de lubrificação desejada. Norton (2013) define três tipos de lubrificação e a relação com a velocidade relativa e o atrito no mancal, como mostrado na figura 1, sendo a lubrificação de contorno, em que o filme de fluido que não é espesso o suficiente para eliminar o atrito seco, apenas o reduzindo e não impedindo a ocorrência de desgaste, de filme misto, em que o mancal vai apresentar regiões com filme completo e regiões de contorno, e de filme completo, em que a espessura de filme do fluido lubrificante é espessa o suficiente para suportar a carga do elemento central e manter a folga de contato entre as partes, o que apresenta um atrito viscoso no elemento.



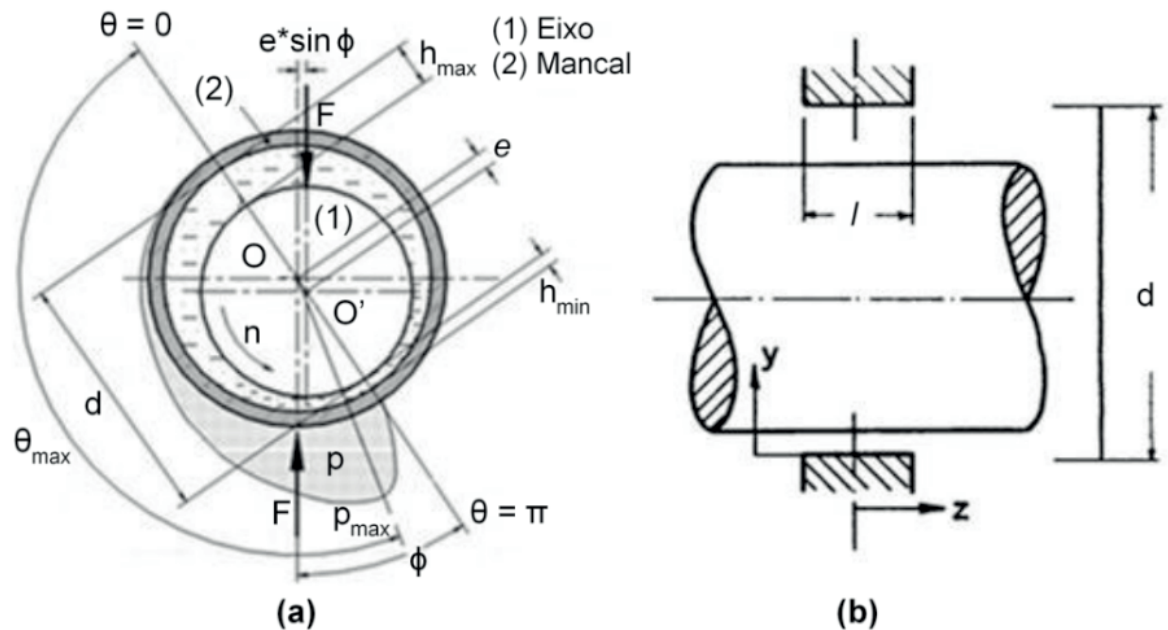
**Figura 1** - Mudança do atrito com a velocidade relativa em um mancal de deslizamento

Fonte: Norton (2013)

Incluso na classificação de filme completo, Duarte (2005) descreve dois esquemas de lubrificação, os mancais hidroestáticos, que utilizam de uma pressurização externa para manter a espessura do filme e pressão suficiente para suportar a carga, sendo mais aplicados para mecanismos de alta precisão, e os mancais hidrodinâmicos, com a pressurização do filme para suporte de carga ocorrendo devido ao próprio movimento entre os componentes, sendo este o mais comum. Como foco de estudo, a figura 2 mostra as principais características geométricas de um mancal hidrodinâmico radial, tendo e definindo a excentricidade entre o mancal e o eixo,  $O-O'$  como a linha de



centro ou eixo de excentricidade, os diâmetros  $d$  para o mancal e  $D$  para o eixo,  $h_{min}$  como a espessura mínima do filme de óleo,  $c$  como a folga radial do conjunto,  $l$  como a largura do mancal e  $F$  uma carga externa aplicada ao sistema, sendo geralmente referenciada ao peso.

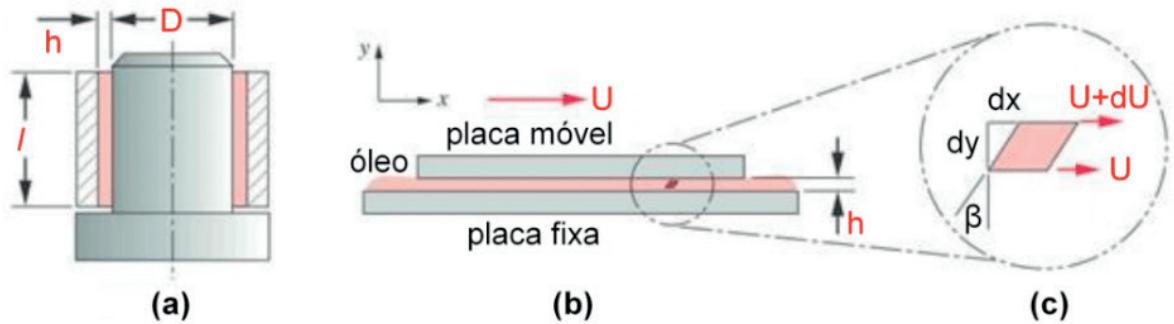


**Figura 2** - Características geométricas de mancais radiais (a) frontal e (b) lateral

Fonte: Shigley (2005) adaptado

As relações que regem o comportamento físico de mancais hidrodinâmicos remetem a conceitos de mecânica dos fluidos. No final do século XIV os trabalhos independentes de Nicolai P. Petrov, Beauchamp Tower e Osborn Reynolds explicaram o mecanismo de lubrificação hidrodinâmica, tendo a percepção de que o processo de lubrificação não ocorria devido à interação mecânica entre superfícies sólidas, mas a dinâmica da película de fluido entre eles. (DUARTE, 2005)

Petrov postulou que a propriedade importante do fluido com relação ao atrito não é a densidade, mas sim a viscosidade, e que a natureza do atrito num mancal hidrodinâmico é resultado do atrito viscoso do fluido entre as superfícies. Analisando a figura 3, observa-se que a folga diametral entre o mancal e o eixo é muito pequena em comparação ao diâmetro dos componentes, podendo-se fazer uma aproximação da curvatura à um conjunto de placas planas paralelas para análise do fluido.



**Figura 3** - Um filme de óleo cisalhado entre duas superfícies paralelas (folgas exageradas). (a) Extremidade de eixo concêntrico no mancal; (b) placas paralelas cisalhando um filme de óleo; (c) elemento diferencial em cisalhamento

Fonte: Norton (2013) adaptado

Mantendo a placa inferior estacionária e movendo a placa superior com velocidade  $U$ , o fluido entre as placas é cisalhado da mesma maneira que no intervalo concêntrico. Pela aderência do fluido nas placas, tem-se que junto à placa estacionária a velocidade é zero e junto à placa móvel é  $U$ . Com a tensão de cisalhamento  $t_x$  agindo no elemento diferencial, a força de cisalhamento é dada pela equação 1, onde  $A$  será a área da placa.

$$F = A\tau_x = \mu A \frac{u}{h} \quad (1)$$

Para a extremidade de eixo concêntrica ao mancal utiliza-se o valor de espessura de filme  $h = c_d/2$ , onde  $c_d$  é a folga diametral. A velocidade é dada por  $U = \pi d n'$ , no qual  $n'$  é dado em revoluções por segundo, e a área de cisalhamento é  $A = \pi d l$ . O torque  $T_o$  requerido para cisalhar o filme é então descrito conforme a equação 2, sendo esta a equação de Petroff para o torque sem carga em um filme de fluido. (NORTON, 2013)

$$T_o = \frac{d}{2} F = \frac{d}{2} \mu A \frac{u}{h} = \frac{d}{2} \mu \pi d l \frac{\pi d n'}{c_d/2}$$

$$T_o = \frac{\mu \pi^2 d^3 l n'}{c_d} \quad (2)$$

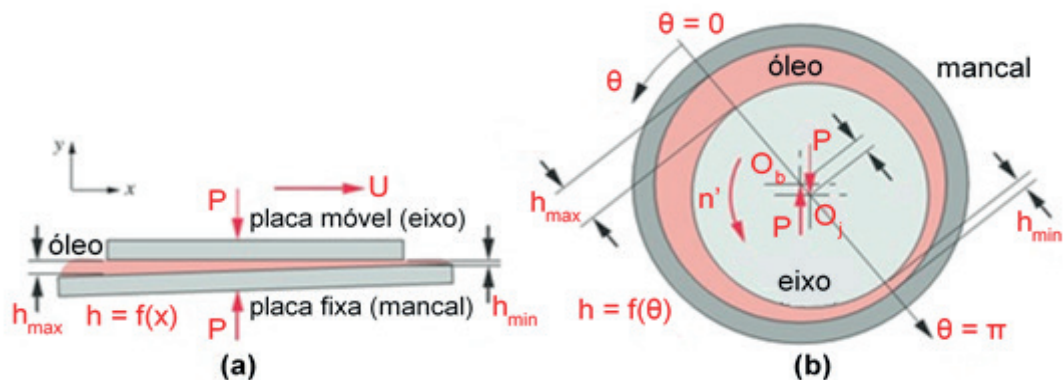
Como observado na figura 4, um eixo com carga em um mancal proporciona um deslocamento entre os centros das partes envolvidas. Com o início do movimento o eixo roda dentro da camisa do mancal, e neste momento, o eixo arrasta um pouco do fluido para o contato entre as superfícies, gerando assim o filme de lubrificante entre elas, produzindo o fenômeno chamado efeito cunha.



**Figura 4** - Efeito cunha em um mancal radial. (a) Eixo em repouso; (b) início do movimento e (c) movimento desenvolvido

Fonte: Norton (2013) adaptado

Como visto na figura 5, com a excentricidade a aproximação do mancal em placas não se apresenta de forma paralela, apresentando uma angulação entre elas. Nessa configuração, o fluido presente entre as placas é pressionado enquanto as placas se aproximam, e é essa pressão gerada é o que suporta a carga do mancal.



**Figura 5** - Filme de óleo entre superfícies não paralelas. (a) Placas não paralelas cisalhando um filme de óleo; (b) um eixo excêntrico é equivalente a placas não paralelas

Fonte: Norton (2013) adaptado

Supondo que o fluido lubrificante seja newtoniano, incompressível e de viscosidade constante para determinada temperatura, é selecionado um elemento infinitesimal no filme e definidas as forças que atuam nos lados desse elemento. A partir do conjunto de equações resultantes do equilíbrio de forças, Reynolds obteve uma equação diferencial que descreve e soluciona o problema, chegando na equação 3.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{h^3}{\mu} * \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{h^3}{\mu} * \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 6U \frac{\partial h}{\partial x} \quad (3)$$

Com base nessa equação, vários estudos foram feitos em busca de soluções para a devida caracterização do problema, tendo em destaque a solução de Sommerfeld e a de Ocvirk.

Como explicitado por Shigley (2005), a solução obtida por Sommerfeld é aplicável à mancais longos, ou seja, com comprimento suficiente para se ignorar a perda lateral de lubrificante. Com isso, o termo diferencial na direção  $z$  da equação 3 é desprezado, e obtém-se a expressão matemática mostrada na equação 4, onde  $\phi$  representa uma relação funcional,  $r$  é o raio do mancal,  $c$  é a folga radial,  $f$  é o coeficiente de atrito,  $\mu$  é a viscosidade do fluido,  $N$  é a velocidade e  $P$  é a carga por unidade de área.

$$\frac{r}{c} f = \phi \left[ \left( \frac{r}{c} \right)^2 * \frac{\mu N}{P} \right] \quad (4)$$

Com o modelo de Sommerfeld, A. A. Raimondi e Jonh Boyd desenvolveram uma técnica computacional de se resolver a equação, tendo como resultado diversos gráficos e tabelas de informações numéricas sobre parâmetros do mancal em função dos parâmetros de projeto pré-definidos, expressos em relação ao número de Sommerfeld, apresentado na equação 5.

$$S = \left( \frac{r}{c} \right)^2 * \frac{\mu N}{P} \quad (5)$$

Os gráficos de Raimondi e Boyd foram definidos para quatro configurações da razão comprimento por diâmetro do eixo, sendo elas  $l/d = 1/4$ ;  $l/d = 1/2$ ;  $l/d = 1$  e  $l/d = \infty$ . Para razões diferentes destas, utiliza-se de uma equação de interpolação entre os valores padrões. Com os gráficos, podemos obter parâmetros como espessura mínima de filme, coeficiente de atrito e pressão máxima no filme para o projeto e aplicação de mancais.

Como explicitado por Norton (2013), a solução obtida por Ocvirk é direcionada a mancais curtos, não desprezando o termo de fluxo lateral, e obtendo como resultado a equação 6. A posição  $\theta = 0$  é definida para a espessura máxima de filme ( $h = h_{max}$ ).

$$p = \frac{U * \mu}{r * c_r^2} * \left( \frac{l^2}{4} - z^2 \right) * \frac{3 * \varepsilon * \sin \theta}{1 + \varepsilon * \cos \theta^3} \quad (6)$$

Com as resoluções para obtenção da força necessária produzida no filme de lubrificante para suprir a carga do eixo, tem-se a obtenção de um fator chamado de número de Ocvirk, equação 7, relacionado ao fator adimensional  $K_o$  representado na

equação 8.

$$O_N = \left[ \left( \frac{P_{med}}{\mu * N} \right) * \left( \frac{d}{l} \right)^2 * \left( \frac{c_d}{d} \right)^2 \right] = 4\pi * K_\varepsilon \quad (7)$$

$$K_\varepsilon = \frac{\varepsilon \left[ \pi^2 1 - \varepsilon^3 + 16\varepsilon^3 \right]^{0,5}}{4 1 - \varepsilon^2} \quad (8)$$

Para ambas as soluções, o número característico do mancal é definido pelas variáveis pré-determinadas do projeto, de acordo com o dimensionamento do mancal, com as informações sobre a carga aplicada e velocidade, e com a viscosidade do lubrificante na temperatura de trabalho do mesmo. Com essas informações, as características de formação do filme são obtidas pela utilização dos métodos apresentados, e com isso é feito o dimensionamento do sistema.

Dentre os trabalhos acerca da área, Melo (2010) apresenta um estudo de uma solução numérica para a equação de Reynolds que rege os mancais hidrodinâmicos utilizando o método das diferenças finitas, com o objetivo de realizar a modelagem e simular a atuação de um mancal hidrodinâmico radial. Greco (2015) apresenta em seu trabalho um estudo dos efeitos térmicos e elásticos devidos à pressão de sustentação apresentada no filme lubrificante de mancais de deslizamento, utilizando de uma solução modificada da solução de Ocvirk para mancais curtos com uma análise numérica pelo método das diferenças finitas. Ferreira, et. al. (2008) utilizaram do método de análise computacional por volumes finitos para avaliar a curva de pressão no filme de óleo em um mancal utilizando como base o método do algoritmo de Thomas (TDMA) para solução da equação de Reynolds.

O objetivo desse trabalho é o desenvolvimento de um programa computacional para a comparação entre os métodos de Sommerfeld, indicado para mancais longos que apresentam a relação  $l/d > 1$ , e de Ocvirk, indicado para mancais curtos, de relação  $l/d < 1$ .

## 2 | METODOLOGIA

Com os conceitos apresentados, foi desenvolvida uma rotina computacional de modo realizar algumas situações de valores de entrada para uma relação  $l/d = 1$ , com o objetivo de os dois métodos possuírem valores semelhantes. Posteriormente foi feita a variação da largura do mancal ( $l$ ), mantendo o diâmetro do eixo ( $d$ ) constante, para que fossem mostradas as divergências entre os valores obtidos em ambos os métodos. Para o programa foi utilizado o óleo lubrificante SAE 20, que é um óleo monoviscozo de verão, para trabalho em altas temperaturas, com viscosidade dinâmica de 125 cP

(0,125 kg/m\*s).

A função de Sommerfeld utiliza os valores iniciais  $F$  (força),  $c$  (folga radial),  $N$  (rotações por minuto),  $l$  (largura do mancal),  $r$  (raio do eixo) além das características do óleo selecionado. Nessa função, foram usadas algumas matrizes baseadas nos gráficos de Raimondi e Boyd. Usou-se a matriz para o cálculo admissional de atrito, espessura mínima, fluxo total de óleo, pressão máxima, relação entre o fluxo lateral e fluxo total, posição limitante da película e posição da pressão máxima na película.

Não sendo possível conseguir uma curva capaz de ajustar todos os valores dos gráficos, a função de Sommerfeld fica dependente de interpolações de dados. O método de interpolação de Lagrange é dado pelas equações de 9 a 12, onde  $S$  é o número de Sommerfeld não contido na tabela,  $y_n$  e  $x_n$  coordenadas inferiores ao  $S$  de entrada,  $y_m$  e  $x_m$  coordenadas superiores ao  $S$  de entrada e  $y_{n-1}$  e  $x_{n-1}$  coordenadas inferiores menos uma posição ao  $S$  de entrada.

$$y_{\text{resp}} = y_{n-1}l_1 + y_n l_2 + y_m l_3 \quad (9)$$

$$l_1 = \frac{S - x_n}{x_{n-1} - x_n} \frac{S - x_m}{x_{n-1} - x_m} \quad (10)$$

$$l_2 = \frac{S - x_{n-1}}{x_n - x_{n-1}} \frac{S - x_m}{x_n - x_m} \quad (11)$$

$$l_3 = \frac{S - x_n}{x_n - x_{n-1}} \frac{S - x_{n-1}}{x_m - x_n} \quad (12)$$

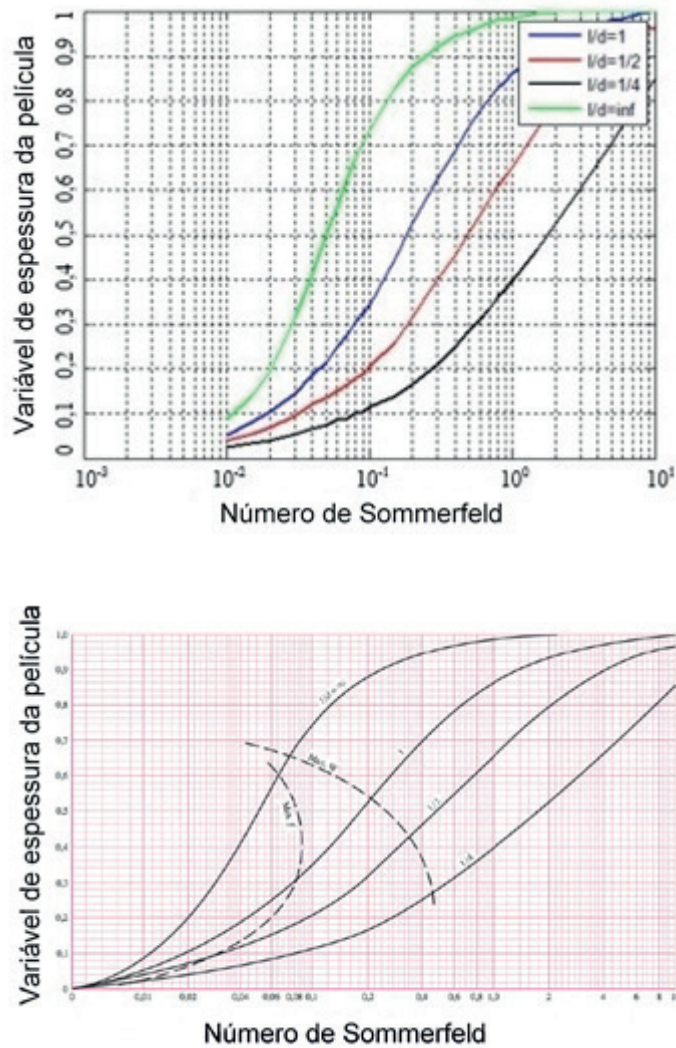
Como teste do método, pode-se observar na Tabela 1, a confiabilidade da interpolação presente na rotina, tendo em vista que a maior diferença entre os resultados tabelados e experimentais é de apenas 1,23%, tornando-a bem satisfatória.

Número de Sommerfeld	Resultado da Interpolação	Resposta Real	Erro (%)
1,00	3,41	3,38	0,88
2,50	3,29	3,25	1,22
5,00	3,24	3,20	1,23
7,50	3,21	3,19	0,62
9,00	3,20	3,18	0,62

**Tabela 1** - Valores da interpolação.

Fonte: Autor

Para uma análise gráfica, a figura 6 apresenta o fluxo adimensional gerado pelo programa e o gráfico retirado do Shigley.



**Figura 6** - Representação dos pontos e gráfico para comparação com  $l/d = 1$

Fonte: Autor e Shigley (2005)

A partir dos valores de entrada apresentado em Sommerfeld, serão determinados os mesmos valores para o cálculo de mancais curtos na função de Ocvirk, tendo nesse caso os valores obtidos a partir das fórmulas apresentadas e não a partir de matrizes e interpolação.

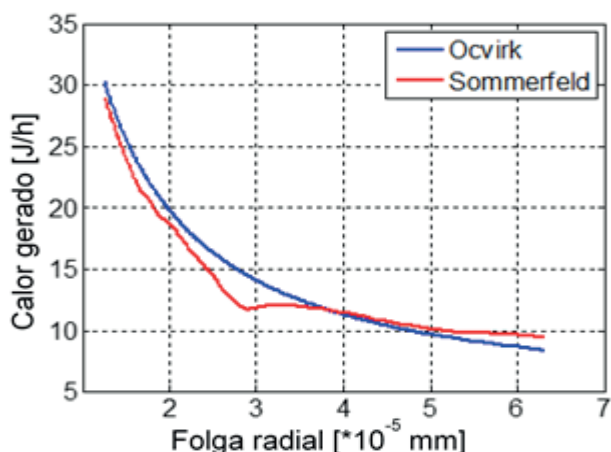
### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para obtenção de resultados foi simulado um mancal de munhão com dimensões de 40 mm de diâmetro, 40 mm de largura e folga radial variando de 0.0125 até 0.63, e parâmetros físicos de rotação de 1200 RPM, temperatura de entrada de 40° C e força de 2500 N. Essa primeira situação foi colocada para mostrar uma relação  $l/d = 1$  e o comportamento dos valores para a variação da folga radial.

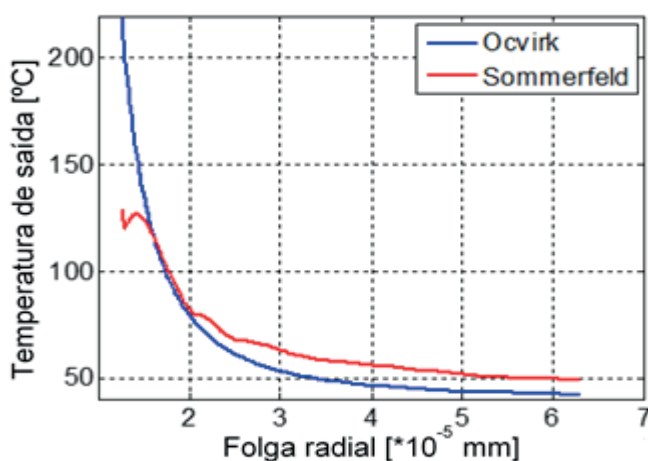
Para a segunda situação manteve-se uma folga radial de 0.038 mm e foi feita uma variação da largura de 20 até 120 mm, esse programa demonstrará a divergência entre os valores apresentados em Sommerfeld e Ocvirk.

Foram suprimidos alguns valores de saída da rotina por conta do excesso de informação para uma mesma explicação. No caso da espessura temos o envolvimento da relação de excentricidade  $\epsilon$ , fator através do qual pode-se calcular os números de Sommerfeld e Ocvirk, ou no caso da potência perdida por atrito, tem-se envolvimento do torque gerado pelo atrito e do próprio coeficiente de atrito, que está ligado ao aquecimento do óleo.

Os resultados obtidos estão apresentados nas figuras 7 a 13. Os quatro primeiros gráficos mostram os valores de calor gerado, temperatura de saída, espessura mínima do filme de óleo e vazão total de óleo.



**Figura 7** - Curvas para os métodos de Sommerfeld e Ocvirk para o calor gerado  
Fonte: Autor

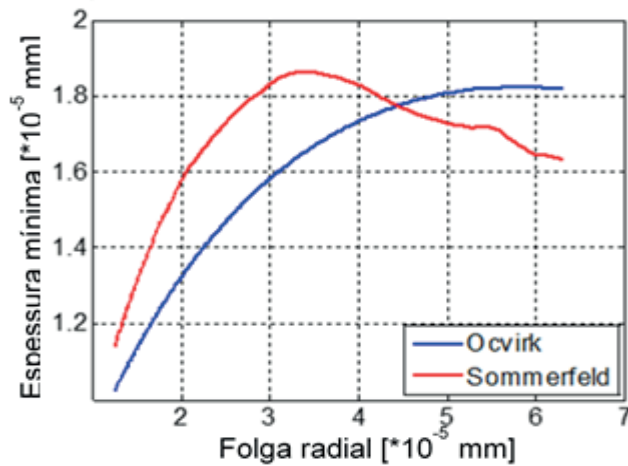


**Figura 8** - Curvas para os métodos de Sommerfeld e Ocvirk para a temperatura de saída  
Fonte: Autor

Observa-se na figura 7 que os valores do calor gerado em ambos os métodos estão bem próximos, sendo levemente superiores para mancais curtos para folgas menores e inferiores para folgas maiores. Como esperado, a figura 8 mostra que a



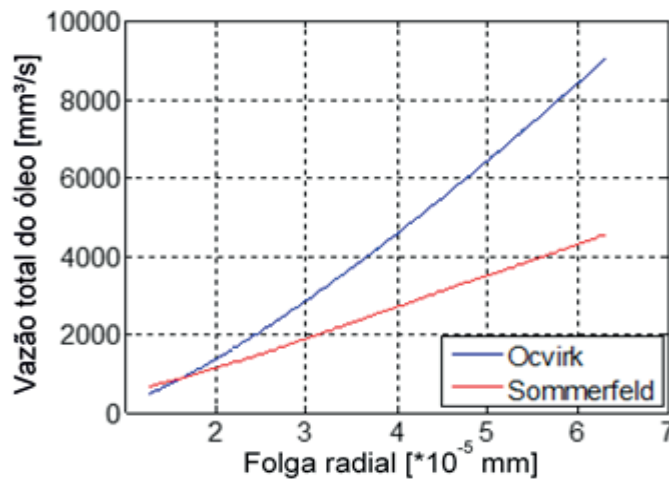
temperatura de saída para mancais curtos e longos também são relativamente próximas, exceto para folgas radiais menores que  $1,8 \cdot 10^{-5}$  mm, nos quais a temperatura de saída do mancal curto é praticamente o dobro do mancal longo, ocorrência que pode ser explicada pela ação acentuada do atrito para essa folga.



**Figura 9** - Curvas para os métodos de Sommerfeld e Ocvirk para a espessura mínima

Fonte: Autor

Na figura 9 observa-se o parâmetro de espessura mínima para o filme de óleo. Tem-se para ambos os modelos o crescimento com a folga radial até aproximadamente  $3 \cdot 10^{-5}$  mm, com uma taxa de crescimento cada vez menor para o método de Ocvirk e um decréscimo bem característico para o método de Sommerfeld.

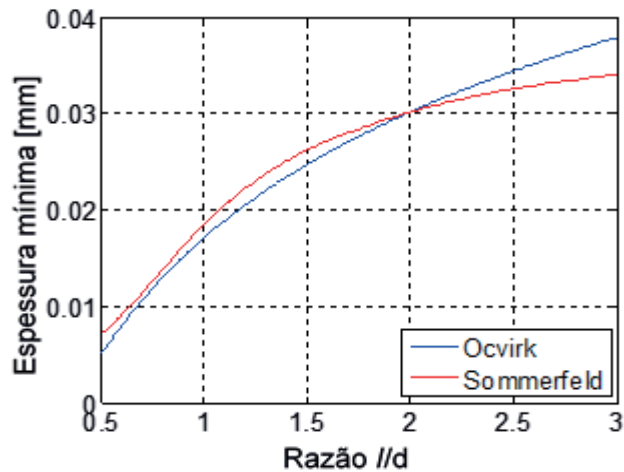


**Figura 10** - Curvas para os métodos de Sommerfeld e Ocvirk para a vazão total

Fonte: Autor

Na figura 10, a aparente divergência gráfica entre os métodos se deve ao fluxo total estar em  $\text{mm}^3$ , dando a impressão que há uma grande diferença entre os gráficos. No entanto a diferença é bem pequena entre ambos levando em consideração a sua magnitude.

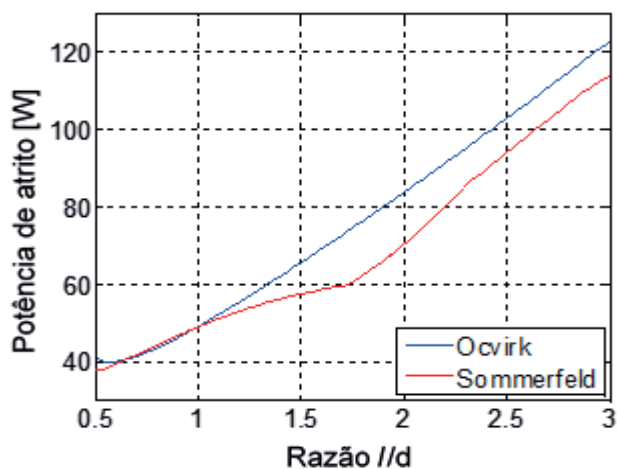
Nas figuras 11 a 13 são demonstradas as variações da largura do mancal, fazendo com que a relação  $l/d$  varie de  $l/d = 0,5$  à  $l/d = 3$ , apresentando exemplos para espessura mínima e potência de atrito, com o valor de  $d$  considerado de 40 mm. Percebe-se que o aumento dessa relação faz com que haja uma divergência nos valores, até uma relação de  $l/d = 2$ , os valores estão bem próximos, mas com o aumento dessa relação temos uma divergência de valores. Apesar da divergência após a razão  $l/d = 2$ , os modelos se mostram semelhantes até uma razão de aproximadamente 2,8.



**Figura 11** - Curvas para a espessura mínima variando a largura do mancal

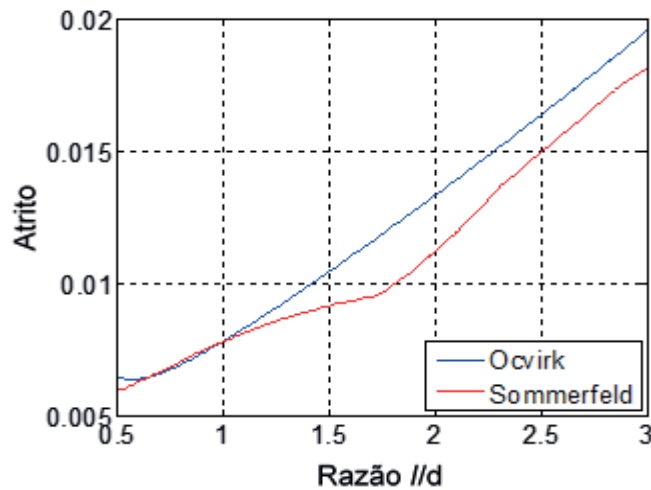
Fonte: Autor

Na figura 11, pode-se observar que a espessura mínima para os métodos apresentados cresce conforme a relação  $l/d$  aumenta, sendo que a diferença de espessura dos métodos é muito próxima convergindo da relação 0,5 para 2, onde se interceptam, voltando a divergir após esse ponto.



**Figura 12** - Curvas para potência de atrito variando a largura do mancal

Fonte: Autor



**Figura 13** - Curvas para o atrito variando a largura do mancal

Fonte: Autor

Como já citado anteriormente, a solução obtida para os mancais curtos leva em consideração a perda lateral de lubrificante, o que acarretaria em um possível aumento de atrito se comparado à solução para mancais longos. Esse efeito pode ser observado nas figuras 12 e 13 e certamente foi crucial para o resultado obtido das figuras 7 e 8.

#### 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os modelos de mancais curtos e longos utilizados nestas hipóteses foram possíveis graças a uma revisão bibliográfica sobre os métodos de Ocvirk e Sommerfeld, buscando a melhor forma de sua implementação. Para a solução de Sommerfeld, foram utilizadas matrizes e a interpolação de Lagrange, de modo que as curvas pudessem fornecer resultados mais próximos dos valores empíricos dos gráficos de Boyd e Raimondi.

Observou-se através da rotina que os métodos de Ocvirk e Sommerfeld, para mancais curtos e longos, respectivamente, apesar de possuírem soluções distintas, analítica e experimental, possuem resultados relativamente parecidos quanto mais próximos forem da razão  $l/d = 1$ .

Os resultados gráficos para Sommerfeld apresentam erros relacionados ao programa, sejam eles devidos à extração dos pontos das matrizes utilizadas ou as aproximações da interpolação. Ainda assim o programa se mostrou bastante confiável, já que o resultado das interpolações e dos valores obtidos através da rotina, de forma analítica, se mostram bastantes fieis aos resultados experimentais apresentados por Raimondi e Boyd, como pôde se observar na figura 6.

Pôde-se observar uma diferença gráfica relacionada aos dois métodos presentes nas figuras 7 a 13, podendo ser justificadas pela consideração de Ocvirk da existência

de vazão lateral do lubrificante. Como os mancais longos tem aplicações específicas, correndo o risco de pequenas deflexões do eixo ou deslizamentos reduzirem a folga radial a zero, os mancais curtos são os mais utilizados nos maquinários, bem como o método de Ocvirk correspondente a eles.

## REFERÊNCIAS

DUARTE JÚNIOR, D. **Tribologia, Lubrificação e Mancais de Deslizamento**. 1ª ed. São Paulo: Ciência Moderna, 2005. p. 1-21.

FERREIRA, R. B.; CAVALCA, K. L.; TRINDADE, W. **Análise Numérica da Distribuição de Pressão no Filme de Óleo Utilizando o Método dos Volumes Finitos**. In: V CONGRES-SO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 2008, Salvador.

GRECO, L. C. **Análise da Abrangência de Modelo Modificado para Mancais Curtos com Deformação**. 2015. 134 f. Dissertação (Mestrado em ciências) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2015.

MELO, F. X. **Modelagem e Simulação de Mancais Hidrodinâmicos Radiais**. 2010. 131 f. Trabalho de Final de Curso - Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 2010.

NORTON, R. L. **Projeto de Máquinas: uma Abordagem Integrada**. 4ª ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 2013. p. 543-597.

SHIGLEY, J. E.; MISCHKE, C. L.; BUDYNAS, R. G. **Projeto de Engenharia Mecânica**. 7ª ed. [s.i]: Editora Bookman, 2005. p. 578-626.

## ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À FADIGA DE UM TRANSPORTADOR DE LÂMINAS DE CLÍNQUER

### **Raphael Calazans Cardoso**

Universidade Federal de Sergipe (UFS),  
Departamento de Ciência e Engenharia de  
Materiais  
Aracaju – Sergipe

### **Frederico Castro Souza**

Votorantim Cimentos – Unidade Laranjeiras  
Aracaju – Sergipe

### **Abraão Santos Silva**

Universidade Federal de Sergipe (UFS),  
Departamento de Ciência e Engenharia de  
Materiais  
Aracaju – Sergipe

### **Gustavo Dória Lima**

Universidade Federal de Sergipe (UFS),  
Departamento de Ciência e Engenharia de  
Materiais  
Aracaju – Sergipe

### **Sandro Griza**

Universidade Federal de Sergipe (UFS),  
Departamento de Ciência e Engenharia de  
Materiais  
Aracaju – Sergipe

**RESUMO:** No presente trabalho um transportador de lâmina de clínquer foi analisado para verificar se a alteração no projeto feita pela aplicação de uma chapa de reforço para aumentar a resistência à fadiga junto ao mancal do eixo dos carrinhos será efetiva para eliminar a

ocorrência de falhas futuras. A análise consistiu na confecção do modelo em 3D, verificação de deformações por extensometria, calibração do modelo 3D com o resultado da extensometria e verificação das tensões atuantes em decorrência de todos os esforços aplicados no carrinho. Foram analisadas diferentes condições de operação, com variação no ângulo de inclinação do equipamento ( $0^\circ$ ,  $30^\circ$  e  $45^\circ$ ) e na capacidade de carga (60% e 100%). Os resultados demonstraram que a tensão atuante máxima no reforço é de 140 MPa. Verificou-se também, que a aplicação de 60% da capacidade máxima pode evitar a ocorrência de falhas por fadiga. No entanto, a resistência a fadiga pode ser reduzida ainda mais por fatores tais como defeitos metalúrgicos e dimensionais da solda, além de sobrecargas imprevistas no modelo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fadiga, Transportador, Simulação Computacional, Extensômetros.

**ABSTRACT:** In this paper, a clinker conveyor was analyzed to verify if a change in the design made by the application of a reinforcement sheet to increase the fatigue strength next to the carts shaft bearing will be effective to eliminate the event of future failures. The analysis consisted of the preparation of a model 3D, verification of the strain using strain gauges, calibration of the 3D model and verification of the stress acting because of the entire load applied to the carts.

Different operating conditions were analyzed with variation in the inclination angle of the equipment ( $0^\circ$ ,  $30^\circ$  e  $45^\circ$ ) and in load capacity (60% e 100%). The results showed that the maximum stress in the reinforcement is 140 MPa. It also verified that the application of 60% of the maximum capacity could avoid the occurrence of failures. However, fatigue strength can be further reduced by factors such as metallurgical and dimensional weld defects, as well as unforeseen overloads in the model.

**KEYWORDS:** Fatigue, Conveyor, Computer Simulation, Strain Gauges.

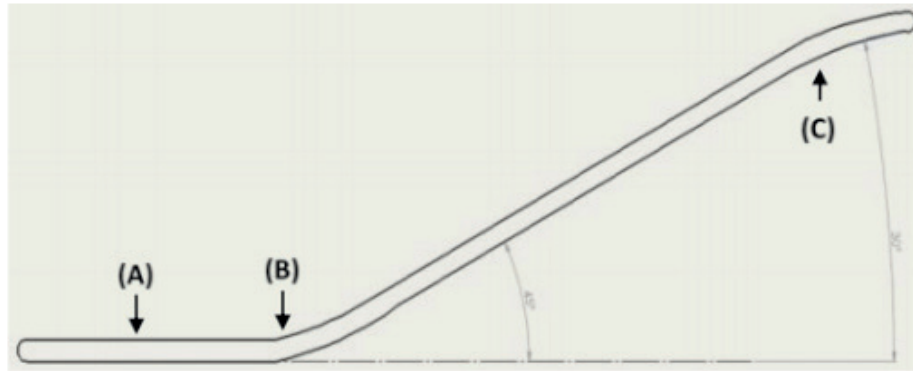
## 1 | INTRODUÇÃO

Fadiga é um modo de falha associada a esforços cíclicos. A ruptura ocorre a uma tensão inferior do que a necessária para provocar a falha devida a um carregamento estático (DIETER, 1986). Diferente de uma falha associada a esforço estático, a falha por fadiga ocorre de maneira súbita, sendo portanto perigosa, uma vez que pode não haver sinais visíveis antes da falha (SHIGLEY, 2005). De acordo com DIETER (1986) a falha por fadiga corresponde a 90% do total de todos os modos de falhas mecânicas.

O transportador é um equipamento de transporte contínuo muito usado na indústria. Possui alta eficiência e grande capacidade de transporte, construção simples, além de requerer pequena manutenção. Este equipamento pode ser usado em diferentes distâncias e transportar diferentes materiais.

Alguns estudiosos se dedicaram à análise de falhas de transportadores mecânicos, tais como ZHAO e LIN (2011) que analisaram modos típicos de falhas de transportadores de correias além de métodos de prevenção e eliminação de falhas para garantir o seu funcionamento. Pode-se citar, também, FEDORKO et al (2014) que analisaram o dano no transportador de correia causado pela queda do material, DOVICA e FEDORKO (2013), que analisaram as falhas de uma correia transportadora de borracha têxtil danificada pelo desgaste e NGUYEN e ROMIOS (2014) com a investigação das causas da falha de eixo do transportador de uma centrífuga.

O presente estudo trata da análise de extensometria e da simulação numérica do transportador de lâminas de clínquer, cujo objetivo é verificar a integridade estrutural do conjunto quando em serviço. A Figura 1 apresenta esquema do trilho por onde transitam os carrinhos do transportador de lâmina.



**Figura 1:** Esquema do transportador analisado. Posição horizontal inicial em (A). Em (B), o trilho apresenta inclinação em rampa de 45 graus. O declive é reduzido em (C). Na extremidade superior, os carrinhos giram, descarregam o clínquer e retornam para o início por baixo do trilho. Fonte: Autor (2017)

## 2 | METODOLOGIA

A análise das deformações do carrinho foi realizada através da técnica de extensometria, a qual consiste na medida da diferença de potencial elétrico em decorrência do afastamento dos pontos de aquisição de sinal existente em um extensômetro de resistência elétrica, *strain gauge*. Foi utilizado aquisitor de dados LYNX ADS 2000 e extensômetros axiais, modelo KYOWA KFG 10 120 C1 11, com comprimento de 10 mm. Foi utilizada uma configuração de ¼ de ponte com três fios para a aquisição dos dados (ALMEIDA e RODRIGUES, 2002). Os sinais foram adquiridos no ponto A1 e A2, com deformação longitudinal ao eixo de simetria do sistema e transversal ao eixo, respectivamente, conforme ilustrado na Figura 2.



**Figura 2.** Os dois extensômetros axiais foram colados respectivamente no sentido do eixo de simetria do sistema (extensômetro A1) e no sentido transversal (extensômetro A2). Fonte: Autor (2017)

O carregamento do transportador foi feito manualmente com a quantidade de clínquer transportada em serviço normal. Os valores de deformação devido ao carregamento foram, então, adquiridos. O transportador foi movido até o ponto B (Figura 1) onde se reiniciou a aquisição dos dados até completar uma volta, parando no mesmo ponto. Neste ciclo foram adquiridos os sinais do extensômetro A1. As deformações foram convertidas em tensões elásticas através da lei de Hooke (BEER, 1982) estabelecida pela Equação 1.

$$\sigma = E \times \varepsilon \quad (1)$$

Onde:

$\sigma$  = Tensão (MPa);

E = Módulo de elasticidade da liga (GPa);

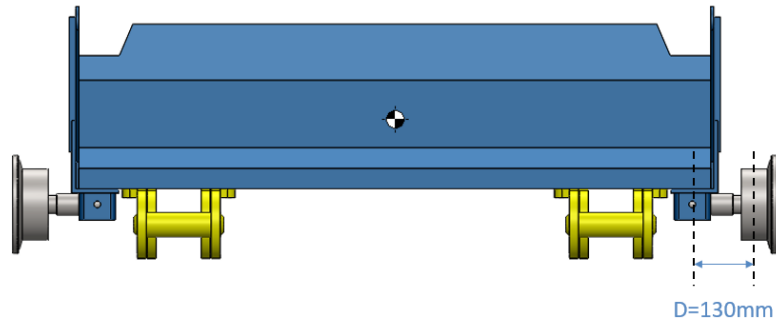
$\varepsilon$  = Deformação (mm/mm).

O desenvolvimento do estudo de simulação foi dividido em duas partes. Na primeira foi realizada uma simulação considerando apenas o peso do carregamento do clínquer. Verificada a concordância dos resultados com o ensaio de extensometria, a segunda parte foi realizada, considerando o peso da estrutura. Nesta última foram variados o ângulo de inclinação na máquina entre 0°, 30° e 45° e a capacidade de carga do equipamento, com 100% e 60% do clínquer carregado na máquina.

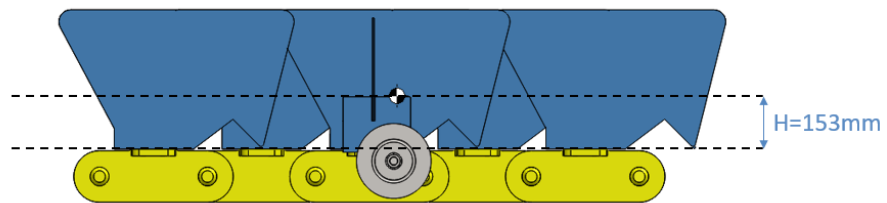
## 2.1 Modelagem do Conjunto

Tendo em vista que o sistema é suportado por roldanas, que estão espaçadas através de 4 lâminas de aço, foi considerado que o conjunto de apoio está submetido ao peso e a carga de carregamento de clínquer referentes a 4 compartimentos de carrinho do transportador. Dessa forma, esse conjunto foi modelado com o objetivo de extrair a posição do centro de massa do sistema, bem como a massa da estrutura (considerando que os componentes são fabricados em aço ASTM A36). Observou-se que o peso da estrutura é de aproximadamente 660 kg e que o centro de massa está localizado no plano de simetria transversal e no plano que contém os centros das roldanas em uma distância de 153 mm da fixação da estrutura, conforme as Figuras 3 e 4, respectivamente.





**Figura 3.** Plano frontal da estrutura. Fonte: Autor (2017)

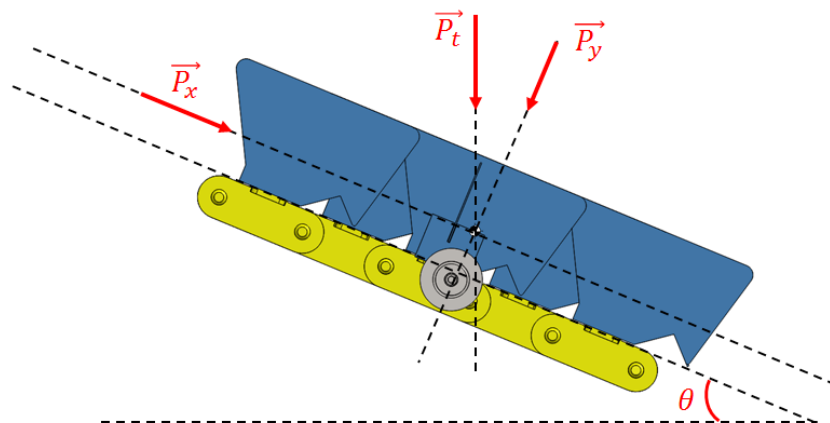


**Figura 4.** Plano Lateral da estrutura. Fonte: Autor (2017)

Além disso, através da modelagem, foi possível determinar o volume interno de cada compartimento (161 litros para 100% e 97 litros para 60% da sua capacidade) e conhecendo a densidade do clínquer (1,38 kg/L), foi calculada a massa referente ao seu carregamento para os 4 compartimentos (892 kg).

## 2.2 Determinação dos Carregamentos

A força atuante no sistema corresponde ao peso da estrutura ( $P_{est}$ ) e o peso do cliquer ( $P_{cl}$ ). Quando essa estrutura está em serviço em um plano inclinado, a força peso total do sistema ( $P_t$ ) foi decomposta em duas componentes, como ilustrado na Figura 5.



**Figura 5.** Estrutura em um plano inclinado. Fonte: Autor (2017)

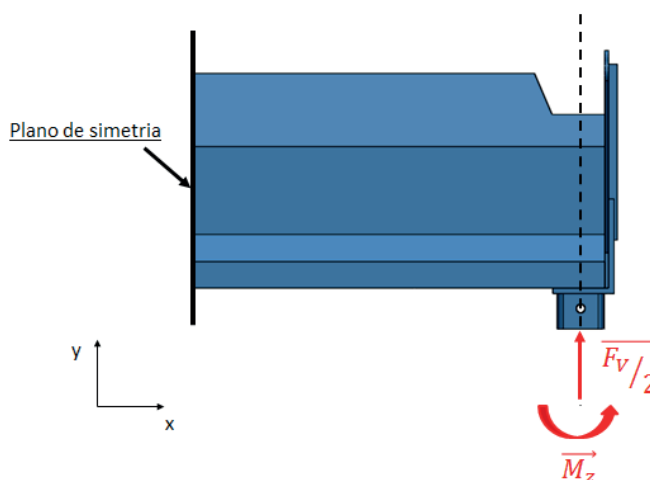
A força na direção longitudinal da estrutura e na direção transversal foram denominadas de força horizontal ( $F_H$ ) e força vertical ( $F_V$ ). Estas componentes podem ser determinadas pelas Equações 2 e 3.

$$F_H = P_t \sin \theta \quad (2)$$

$$F_V = P_t \cos \theta \quad (3)$$

### 2.3 Condições de Contorno

A simulação foi realizada em uma unidade representativa do sistema, a qual permitiu analisar a distribuição de tensão na região adjacente ao ponto de apoio da roldana (região crítica, que corresponde ao mancal e chapa de reforço). As componentes das forças foram posicionadas para essa unidade, de modo que é estabelecido que a força vertical e seu conjugado fossem aplicados no ponto de apoio da roldana, como indicado na Figura 6, restringido o movimento nas direções X e Z. Já para a força horizontal e seu conjugado foi estabelecido a aplicação nas superfícies de união entre a corrente e a restrição dos movimentos nas direções Y e X, como mostrado na Figura 7.



**Figura 6.** Reação no apoio. Fonte: Autor (2017)

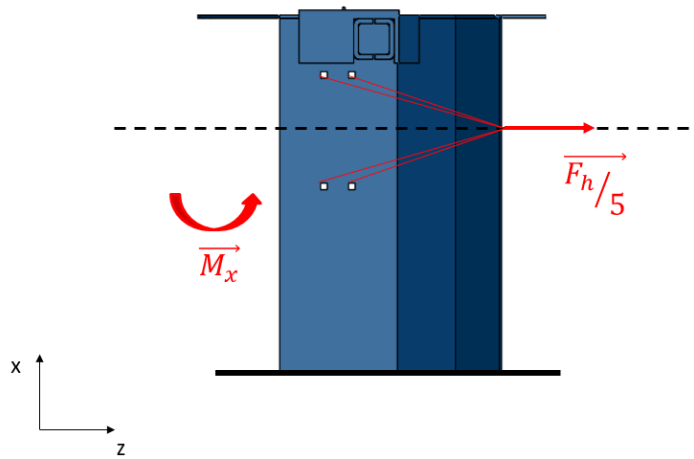


Figura 7. Reação nos pontos de fixação. Fonte: Autor (2017)

## 2.4 Malha e Propriedades dos Materiais

As simulações realizadas foram do tipo linear-estáticas. O programa Abaqus 6.13 foi utilizado. Foram utilizados os elementos do tipo “3D STRESS”. A malha desenvolvida para a unidade representativa na região adjacente ao apoio da roldana está ilustrada nas Figuras 8 e 9. As propriedades intrínsecas do material da estrutura (Aço ASTM A36), além do tipo de malha e de elemento estão apresentados na Tabela 1. Para a confecção da malha do sistema foram necessários 142.955 elementos e 188.131 nós.

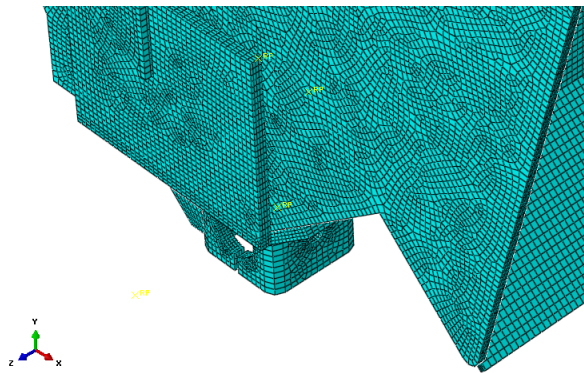


Figura 8. Malha desenvolvida para a estrutura. Fonte: Autor (2017)

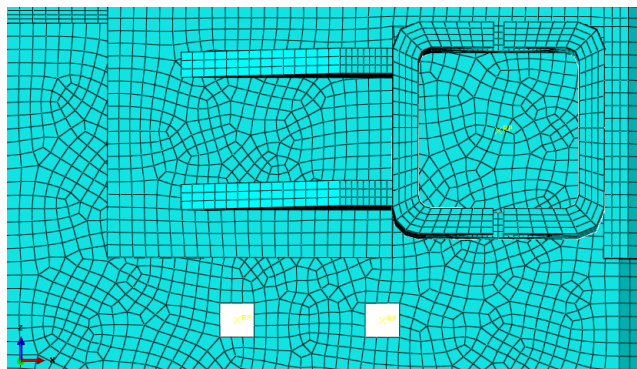


Figura 9. Detalhe da malha na região adjacente ao apoio. Fonte: Autor (2017)

Tipo de Elemento	Módulo de Elasticidade (GPa)	Coefficiente de Poisson	Tensão ao escoamento (MPa)	Limite de resistência à tração (MPa)
C3D8R	210	0,33	220	400

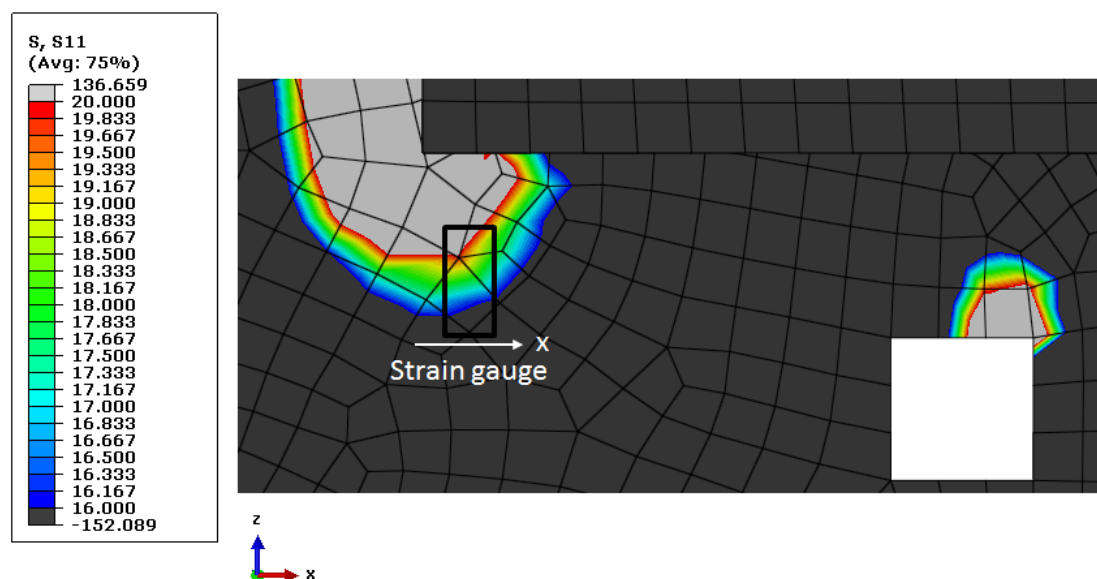
**Tabela 1.** Propriedades do Aço ASTM A36.

Fonte: SHIGLEY (2005)

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

As deformações apresentadas pelos extensômetros A1 e A2 após a inserção do clínquer no carrinho foram empregadas na equação 1 e resultaram nas tensões de 18 MPa e 20 MPa, respectivamente. Após a movimentação do transportador, o extensômetro A2 apresentou aumento de tensão de 1,2 MPa na posição C do trilho (Figura 1). Estes valores foram encontrados no percurso ascendente do transportador.

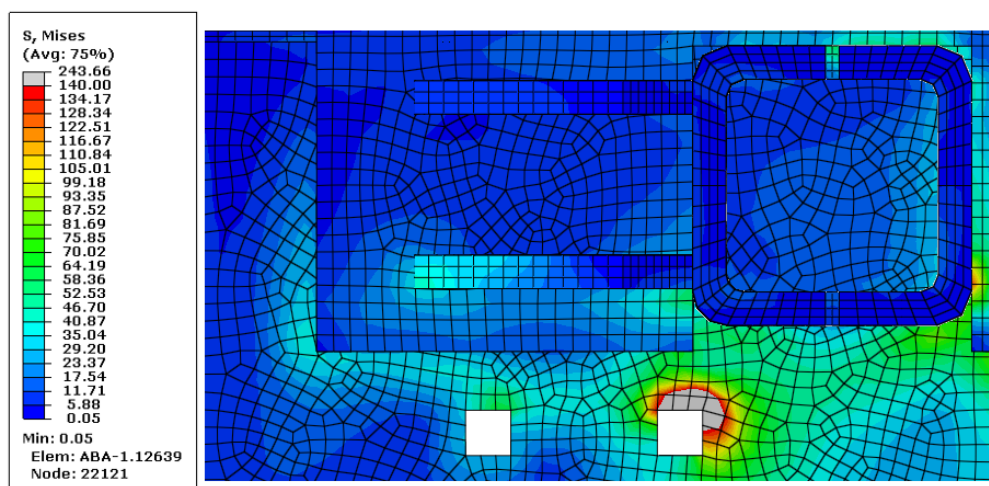
Utilizando simulação computacional, foram determinadas as distribuições de tensões de Von Mises para a estrutura na horizontal considerando somente o peso do clínquer, para a direção X e Z. Na direção X, a simulação indicou uma tensão máxima da ordem de 20 MPa, ilustrado na Figura 10 e para a direção Z, a tensão máxima foi de aproximadamente 18 MPa. A partir da observação dos resultados encontrados, constatou-se que as tensões desenvolvidas nas direções X e Z por meio dos extensômetros A<sub>1</sub> e A<sub>2</sub>, respectivamente, são equivalentes às tensões desenvolvidas nas simulações. Depreende-se que as considerações adotadas para realização das simulações representam adequadamente as condições de contorno que ocorrem na prática durante o serviço de transporte.



**Figura 10.** Tensões na direção de X quando somente do carregamento de clínquer na horizontal.

Fonte: Autor (2017)

A distribuição de tensão de Von Mises quando a estrutura está na horizontal e é submetida ao peso total clínquer (100%), considerando 4 compartimentos, e da estrutura está ilustrada na Figura 11. Do mesmo modo foram determinadas as tensões para 60% do clínquer quando a estrutura está na horizontal, 100% e 60% do clínquer com  $\theta$  a  $30^\circ$ , bem como para 100% e 60% clínquer a  $45^\circ$ . Os resultados encontrados para cada condição estão descritos na Tabela 2.



**Figura 11.** Tensões de Von Mises considerando o carregamento total com o equipamento na horizontal.

Fonte: Autor (2017)

Capacidade do Clínquer	Ângulo $\theta$	Tensão Máxima (MPa)
100%	Horizontal	140 MPa
60%	Horizontal	110 MPa
100%	$30^\circ$	130 MPa
60%	$30^\circ$	100 MPa
100%	$45^\circ$	115 MPa
60%	$45^\circ$	90 MPa

**Tabela 2.** Tensões e Von-Mises encontrados para as diferentes condições.

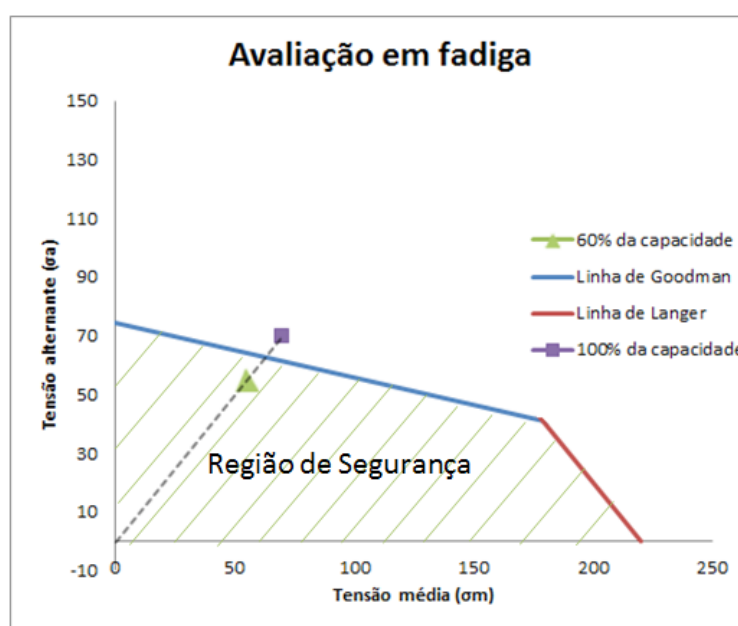
Fonte: Autor (2017)

A partir da análise dos resultados expostos na Tabela 2, concluiu-se que um aumento do ângulo  $\theta$  provoca redução nos valores das tensões atuantes na estrutura. Logo, a posição horizontal é suficiente para avaliar a segurança em fadiga da estrutura.

Nota-se que os níveis de tensão para a estrutura na horizontal giram em torno de 140 MPa e 110 MPa, para 100% e 60% do carregamento, respectivamente. Estes níveis de tensão, apesar de serem inferiores ao limite de escoamento do material da estrutura (220 MPa) podem ultrapassar o limite de resistência à fadiga do material. A concentração de tensão devido aos furos quadrados é desconsiderada, uma vez que nessa região há parafusos de fixação, que reduzem o efeito da concentração de

tensão.

Para análise da integridade estrutural em fadiga, levou-se em consideração um cenário extremo no qual a estrutura é submetida a um carregamento cíclico flutuante com tensão mínima nula e máxima em 140 MPa e 110 MPa, respectivamente para 100% e 60% O resultado desta análise está representado no diagrama de Goodman desenvolvido para as condições conhecidas, mostrado na Figura 12. Observa-se que ponto de solicitação de carregamento para 100% do peso do clínquer se encontra fora da região de segurança em fadiga. Para efeito de comparação, foi inserido neste diagrama a condição de carregamento equivalente a 60 % da capacidade total do equipamento. Nota-se que, de acordo com as considerações adotadas, a máquina possivelmente estaria operando dentro do limite de segurança determinado pelo diagrama.



**Figura 12.** Avaliação em fadiga da estrutura através do diagrama de Goodman.

Fonte: Autor (2017)

O transportador percorre uma volta completa em 10,94 minutos, o que representa a frequência de solicitação de 48044 ciclos por ano. No entanto, fatores diversos aos utilizados como condições de contorno no presente estudo podem reduzir a expectativa de vida em fadiga do sistema. Dentre estes fatores podemos salientiar possíveis defeitos metalúrgicos e dimensionais da solda e sobrecargas do sistema, provocadas por desgastes do conjunto roda/trilho, carga de clínquer superior àquela utilizada na presente simulação, obstáculos sobre o trilho que dificultem a passagem da roda, entre outros.

## 4 | CONCLUSÕES

Os resultados para simulação computacional apresentaram concordância com a análise extensiométrica. Foi encontrada uma tensão máxima na ordem de 140 MPa considerando os pesos do clínquer e da estrutura. Concluiu-se que as tensões a que o componente está submetido podem ser superiores ao limite de fadiga do material, no caso de utilização do equipamento com 100% de sua capacidade. Constatou-se, também, que a utilização de 60% da capacidade possibilita a operação em um nível dentro dos limites determinados pelo diagrama de Goodman desenvolvido.

Alterações do projeto do reforço podem ser realizadas a fim de reduzir a tensão aplicada e promover a segurança em fadiga do sistema. No caso de ocorrência de falha futura em serviço, recomenda-se apropriada análise de falha a fim de aperfeiçoamento do projeto do reforço.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, P. A. O.; RODRIGUES, J. F. S. **Introdução a Análise Experimental de Estruturas**, Laboratório de Sistemas Estruturais Ltda, Fortaleza, 2002.
- BEER, F. P.; JOHNSTON E. R. **Resistência dos Materiais**. 2 Ed. São Paulo: McGraw Hill, 1982.
- DIETER, G. **Mechanical Metallurgy**. 3. ed. Boston, Estados Unidos: McGraw-Hill, 1986.
- DOVICA, M.; FEDORKO, G. **Failure analysis of textile rubber conveyor belt damaged by dynamic wear**. Engineering Failure Analysis, v.28, p 103-114, 2013.
- FEDORKO, G. et al. **Failure analysis of belt conveyor damage caused by the falling material**. Part I: Experimental measurements and regression models. Engineering Failure Analysis, v. 36, p 30-38, 2014.
- NGUYEN, T.; ROMIOS, M. **Failure of a conveyor trunnion shaft on a centrifuge**, v.11, p 401-402, 2014.
- SHIGLEY, E. J; MISCHKE, R. C; BUDYNAS, G. R. **Projeto de Engenharia Mecânica**. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- ZHAO, L.; LIN, Y. **Typical failure analysis and processing of belt conveyor**. Procedia Engineering, v.26, p. 942-946, 2011.

## TRAÇADO DO DIAGRAMA DE INTERAÇÃO N, M DE PILARES EM CONCRETO ARMADO SOB FLEXÃO NORMAL COMPOSTA

### **Ana Carolina De Oliveira Ribeiro**

Universidade Federal De São João del-Rei  
Ouro Branco - MG

### **Caroline Martins Calisto**

Universidade Federal De São João del-Rei  
Ouro Branco - MG

### **Cristiane Caroline Campos Lopes**

Universidade Federal De São João del-Rei  
Ouro Branco - MG

### **Thamires Carvalho Neves**

Universidade Federal De São João del-Rei  
Ouro Branco - MG

### **Erika Marinho Meireles Leitão**

Universidade Federal De São João del-Rei  
Ouro Branco - MG

**RESUMO:** Em pilares, a força normal de compressão é o esforço predominante. Porém, no dimensionamento, devem-se considerar os efeitos de flexão, sobretudo momentos fletores. Na flexão normal composta, para cada ponto de aplicação desta força normal, tem-se uma posição da linha neutra e um par Momento Fletor, Força Normal correspondente. O Diagrama de Interação N, M indica todos os pares de esforços solicitantes (N, M) simultâneos suportados pela seção transversal, sendo, portanto, um bom artifício para um pré-dimensionamento do pilar. Neste trabalho, foi utilizado um algoritmo vinculado a uma planilha

digital elaborada no programa Excel a qual fornece o traçado do diagrama de interação N, M, que reflete a envoltória de resistência da seção transversal do pilar. Esse algoritmo foi utilizado para comparar resultados teóricos a resultados experimentais.

**PALAVRAS-CHAVE:** concreto armado, pilares, diagrama de interação.

**ABSTRACT:** The normal compressive force is the predominant force seen in the columns. However, the design must consider the effects of bending, especially bending moments. In normal composite flexure each point of application of this normal force has a location of neutral axis, a pair of bending moments, and a corresponding normal force. The Interaction Diagram N, M indicates all pairs of internal forces (N, M) supported by simultaneous cross sections and, therefore, a good device for a pre-sizing of the column. In this analysis we used a spreadsheet linked to a digital algorithm developed in Excel, which provides the route of the N interaction diagram, M, reflecting the cross-section of the column strength envelope. The algorithm was used to observe the behavior of the columns compared to the trials.

**KEYWORDS:** reinforced concrete, columns, interaction diagram.



## 1 | INTRODUÇÃO

Os pilares estão submetidos a esforços solicitantes em que predomina a força normal de compressão. Quando a força normal não está centralizada no pilar e está em qualquer posição sobre um dos eixos principais de inércia, inclusive fora da seção, gera uma excentricidade e conseqüentemente momentos fletores. A essa solicitação dá-se o nome de flexão normal composta.

Assim, a tensão normal na seção transversal é originada pelo momento fletor solicitante ( $M_d$ ) e o esforço normal solicitante ( $N_d$ ). Contudo, tem-se um problema iterativo, pois tanto a tensão normal na seção quando os esforços solicitantes  $M_d$  e  $N_d$  dependem da profundidade  $X$  da linha neutra ( $X_{LN}$ ). Sendo assim, é possível calcular uma área de seção transversal a partir de cada valor de  $X_{LN}$ , pois este possui um par  $M_d$  e  $N_d$  correspondente.

O Diagrama de Interação N, M é uma ferramenta utilizada para resolver esse impasse. A partir dos pares N e M correspondentes a cada  $X_{LN}$ , este diagrama gera uma envoltória, a qual determina se a seção suportará ou não os esforços solicitantes. Este é considerado o melhor método para obter um pré-dimensionamento da seção do pilar.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Um dos métodos para o pré-dimensionamento ou verificação de resistência de pilares consiste no uso de ábacos e o diagrama de interação N, M. Venturini e Rodrigues (1987)<sup>(1)</sup> apresentam ábacos para diversos tipos de seção transversal. Porém, os ábacos não abrangem todas as seções e todos os possíveis valores de armadura. Já o diagrama de interação pode ser obtido para qualquer seção e qualquer valor de armadura, sendo, portanto, o método mais preciso para este fim.

Dessa maneira, utilizou-se uma planilha vinculada a um algoritmo desenvolvido na linguagem Visual Basic for Applications (VBA) que gera o diagrama de interação N, M para comparar o comportamento dos pilares relacionados a ensaios. Os diagramas são traçados utilizando-se o diagrama retangular simplificado para a relação tensão-deformação do concreto, conforme a ABNT NBR 6118 (2014)<sup>(2)</sup> permite.

Para a utilização da planilha primeiramente é preciso clicar no botão “Calcular parâmetros do pilar”, para que o usuário seja direcionado para a janela de entrada de dados, mostrada na Figura 1.

Cálculo dos parâmetros do pilar

**Dados de entrada referentes a seção transversal**

Largura da base[cm] (b)

Altura [cm] (h)

Cobrimento [cm] (c)

**Dados referentes ao material utilizado**

fck [MPa]

fyk [MPa]

ys

yc

Es [MPa]

Tipo de agregado:   
basalto e diabásio:    
granito e gnaisse    
arenito    
calcário

**Dados referentes a armadura**

Diâmetro das barras [mm] ( $\Phi$ )

Diâmetro dos estribos [mm] ( $\Phi_t$ )

<b>Barra 1</b>	<b>Barra 8</b>	<b>Barra 15</b>
x [cm] <input type="text"/>	x [cm] <input type="text"/>	x [cm] <input type="text"/>
y [cm] <input type="text"/>	y [cm] <input type="text"/>	y [cm] <input type="text"/>
<b>Barra 2</b>	<b>Barra 9</b>	<b>Barra 16</b>
x [cm] <input type="text"/>	x [cm] <input type="text"/>	x [cm] <input type="text"/>
y [cm] <input type="text"/>	y [cm] <input type="text"/>	y [cm] <input type="text"/>
<b>Barra 3</b>	<b>Barra 10</b>	<b>Barra 17</b>
x [cm] <input type="text"/>	x [cm] <input type="text"/>	x [cm] <input type="text"/>
y [cm] <input type="text"/>	y [cm] <input type="text"/>	y [cm] <input type="text"/>
<b>Barra 4</b>	<b>Barra 11</b>	<b>Barra 18</b>
x [cm] <input type="text"/>	x [cm] <input type="text"/>	x [cm] <input type="text"/>
y [cm] <input type="text"/>	y [cm] <input type="text"/>	y [cm] <input type="text"/>
<b>Barra 5</b>	<b>Barra 12</b>	<b>Barra 19</b>
x [cm] <input type="text"/>	x [cm] <input type="text"/>	x [cm] <input type="text"/>
y [cm] <input type="text"/>	y [cm] <input type="text"/>	y [cm] <input type="text"/>
<b>Barra 6</b>	<b>Barra 13</b>	<b>Barra 20</b>
x [cm] <input type="text"/>	x [cm] <input type="text"/>	x [cm] <input type="text"/>
y [cm] <input type="text"/>	y [cm] <input type="text"/>	y [cm] <input type="text"/>
<b>Barra 7</b>	<b>Barra 14</b>	
x [cm] <input type="text"/>	x [cm] <input type="text"/>	
y [cm] <input type="text"/>	y [cm] <input type="text"/>	

Calcular os demais parâmetros

Limpar

Figura 1: Janela de Entrada de Dados

Então, é necessário que o usuário preencha todos os campos, uma vez que o não preenchimento de algum dos campos acarretará em uma mensagem de erro. A posição na direção x (horizontal) e na direção y (vertical), se dá em relação ao centro da seção de cada barra. Vale ressaltar que é preciso preencher somente as lacunas x e y das barras existentes no pilar, as demais devem ser deixadas em branco.

Após preencher os parâmetros de entrada e clicar no botão “Calcular”, os valores são enviados para a planilha do Excel e o resultado é gerado mediante fórmulas inseridas na planilha.

Dessa forma, para mostrar o uso da planilha, foram testados pilares, cujos resultados experimentais foram obtidos por Dantas et al. (2011)<sup>(3)</sup>. Os resultados da força e do momento fletor resistente de cada pilar deste estudo são apresentados na Tabela 1.

Todos os pilares testados possuem as características apresentadas a seguir:

- Seção transversal: 120 mm x 250 mm;
- Cobrimento: 25 mm até a face dos estribos;
- Fck: 34 MPa;
- Fyk: 590 Mpa;
- Es: 190 GPa;
- Aço CA-50
- Diâmetro das armaduras longitudinais: 10 mm;
- Número de barras longitudinais: 6;
- Diâmetro das armaduras transversais: 5 mm.

Para os testes, foram feitas variações na excentricidade de aplicação da carga e por sua vez, na resistência à ruptura, como se pode notar na Tabela 1.

Para este estudo comparativo, não foram utilizados fatores de segurança nos pilares testados pela planilha, a fim de se ter resultados mais próximos dos experimentais.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

As figuras a seguir apresentam as envoltórias do pré-dimensionamento dos pilares obtidas com a utilização do algoritmo tratado neste trabalho. Os pilares testados no algoritmo são os pilares cujos resultados empíricos estão apresentados na Tabela 1.

Pilar	Fu (kN)	M <sub>u,exp</sub> (kN.m)	e <sub>exp</sub> (mm)
PFN0-3 <sup>(1)</sup>	1053	4,21	4
PFN15-3 <sup>(2)</sup>	447	12,52	28
PFN30-3	255	15,05	59
PFN40-3	170	13,43	79
PFN50-3	155	16,28	105
PFN60-3	131	17,82	136

Tabela 1: Resultados experimentais e teóricos (Dantas et al., 2011<sup>(3)</sup>)

De acordo com os gráficos mostrados nas Figuras 2 a 5, percebe-se que os pontos de ruptura dos pilares PFN0-3, PFN15-3, PFN30-3 e PFN40-3, respectivamente, estão dentro da envoltória. Isso significa que a envoltória não é conservadora, ou seja, caso o pilar seja projetado utilizando a envoltória esse pilar suportará mais carga do que suporta na prática.

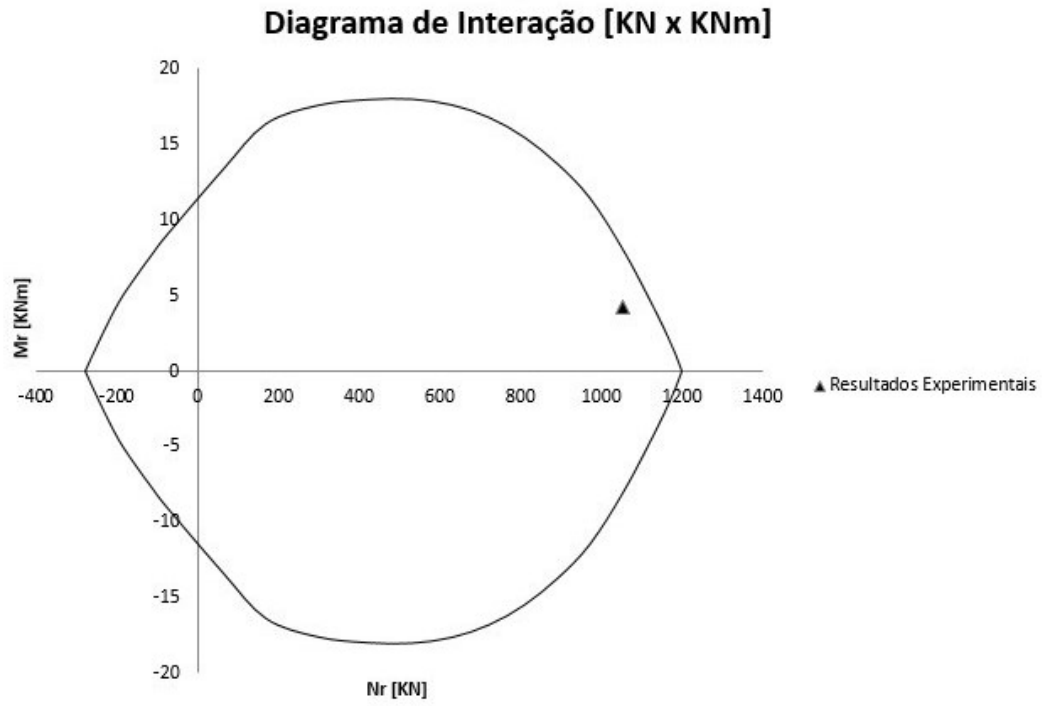


Figura 2: Diagrama de Interação com Resultados Experimentais do Pilar PNF0-3

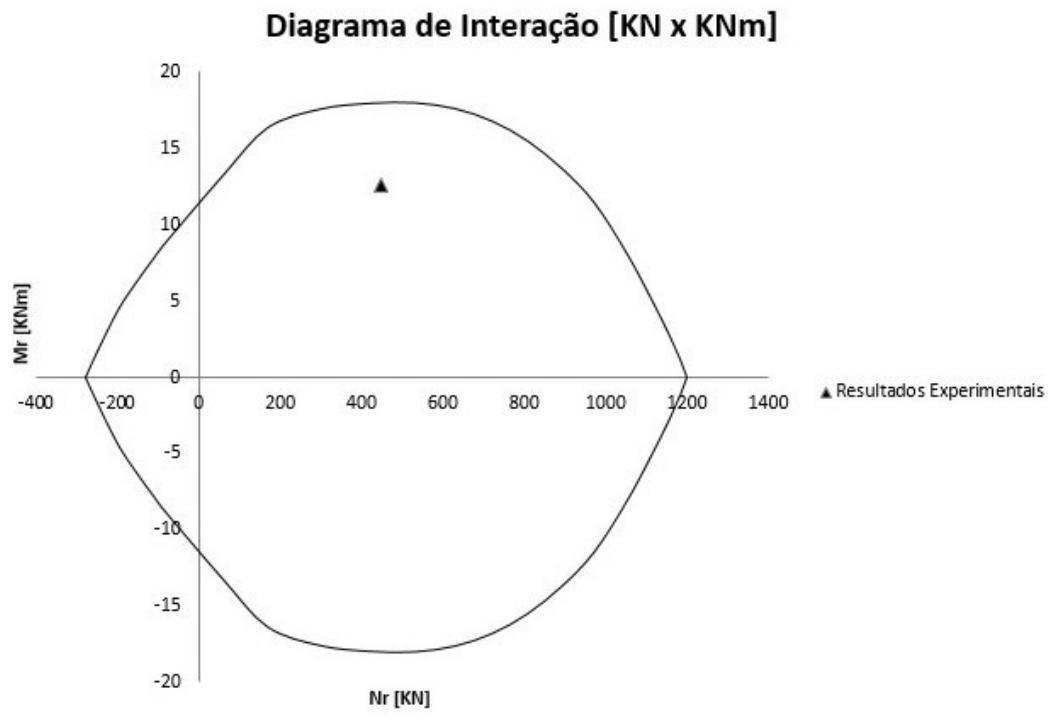


Figura 3: Diagrama de Interação com Resultados Experimentais do Pilar PFN15-3

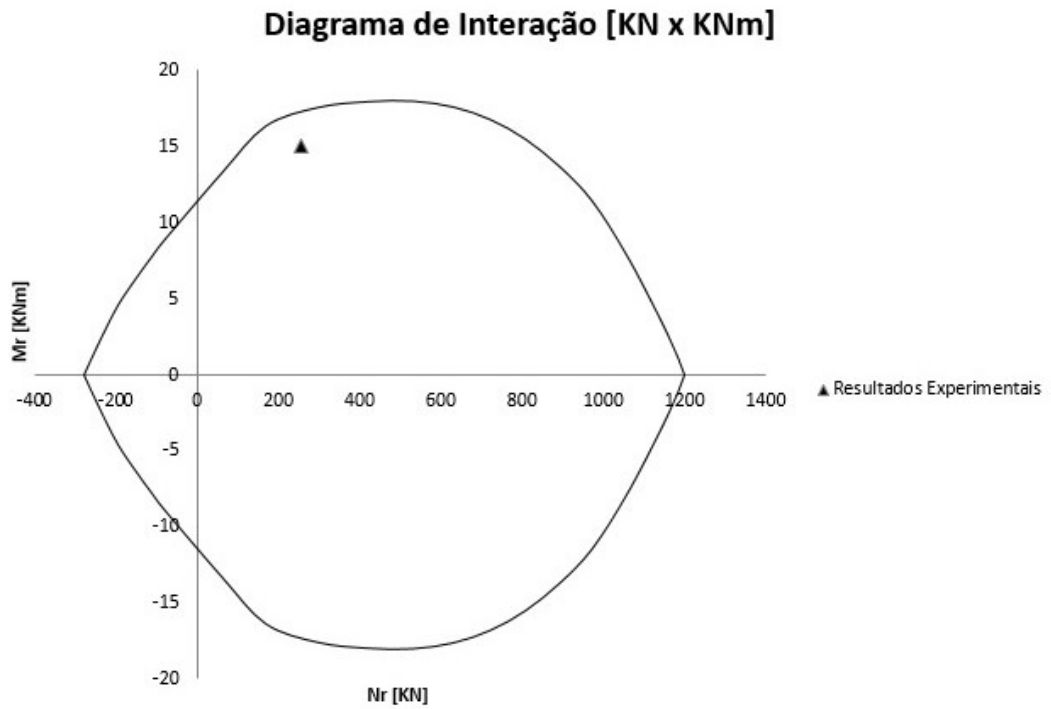


Figura 4: Diagrama de Interação com Resultados Experimentais do Pilar PFN30-3

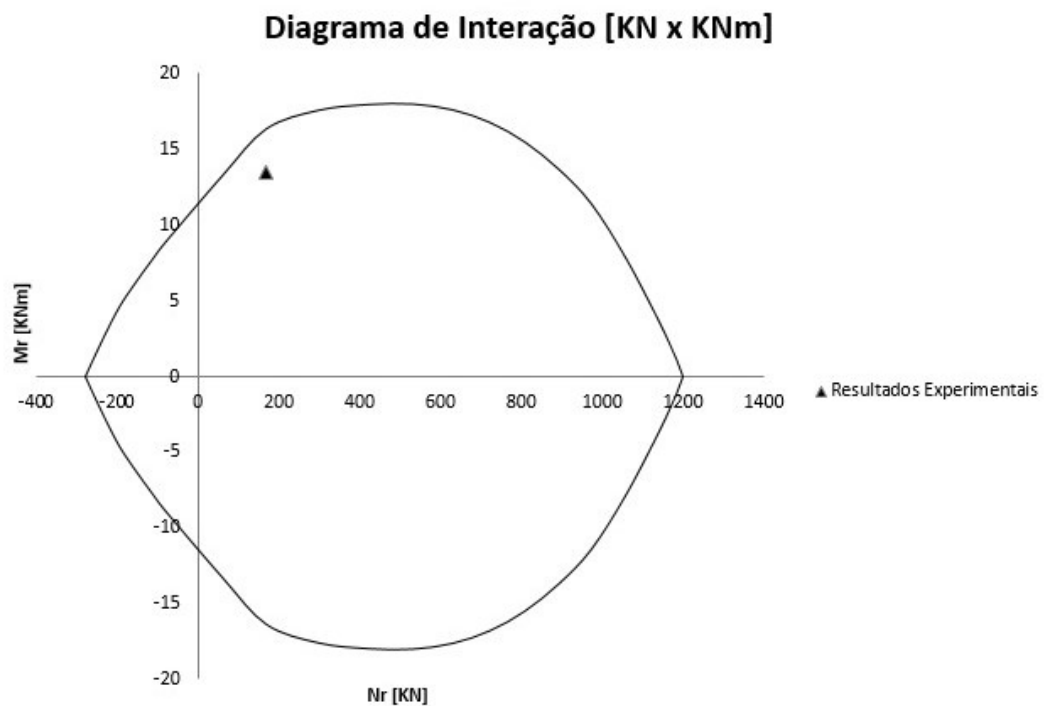


Figura 5: Diagrama de Interação com resultados experimentais do Pilar PFN40-3

A Figura 6 refere-se ao pilar PFN50-3. Neste caso, o ponto de ruptura está sobre a envoltória. Esta é a situação ideal de projeto, pois a capacidade de carga total do pilar é aproveitada.

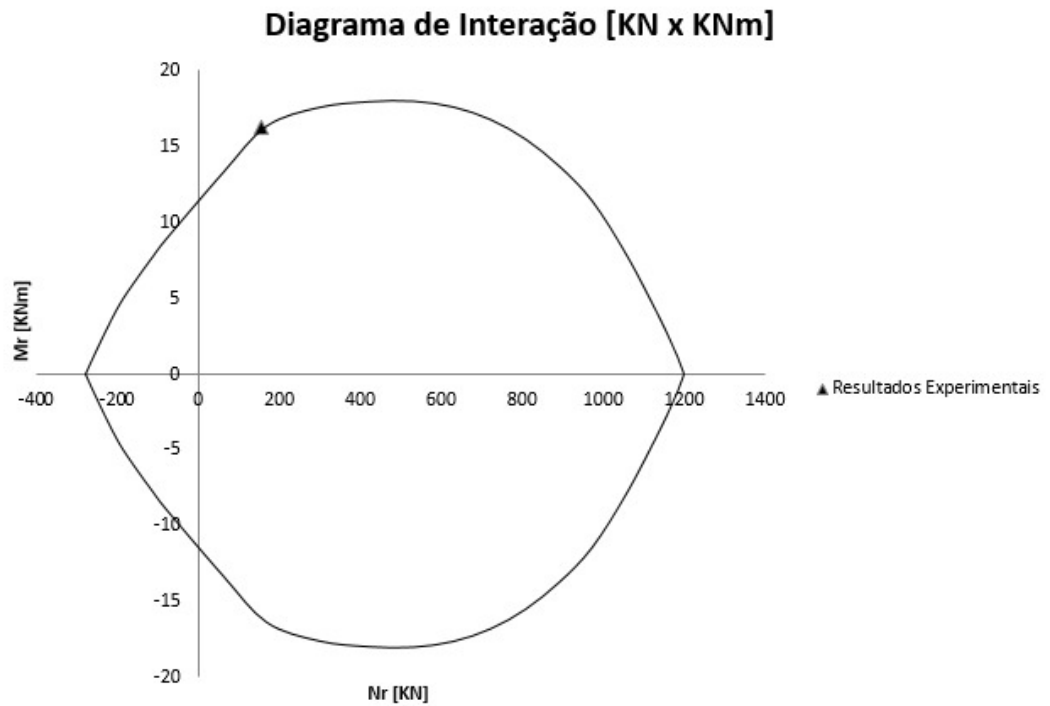


Figura 6: Diagrama de Interação com Resultados Experimentais do Pilar PFN50-3

Já na Figura 7, o ponto de ruptura do pilar PFN60-3 está fora da envoltória. Para esse caso, a envoltória é conservadora, ou seja, o pilar suportará uma carga maior do que a envoltória sugere.

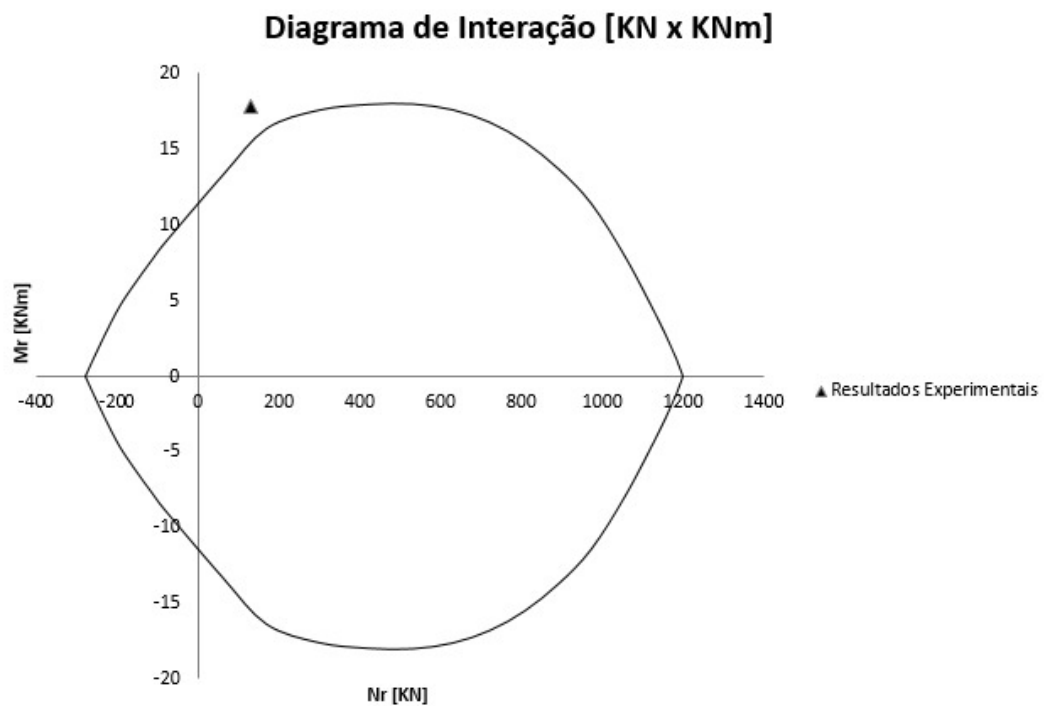


Figura 7 - Diagrama de Interação com Resultados Experimentais do Pilar PFN60-3

## 4 | CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi realizada uma comparação entre os resultados experimentais de esforços de ruptura em pilares esbeltos de concreto armado ensaiados por Dantas et al. (2011)<sup>(3)</sup> e os resultados teóricos obtidos pelo traçado do diagrama de interação força normal *versus* momento fletor.

Em alguns pilares testados, o ponto referente aos esforços de ruptura obtido no ensaio se encontra fora da envoltória, indicando que o diagrama está conservador. Em outros casos, o ponto se encontra na parte interna. Porém, vale ressaltar que os testes na planilha foram executados sem a consideração de fatores de segurança. Em uma situação real de projeto, estes fatores devem ser utilizados. Assim, haveria redução dos valores de força normal e momento fletor obtidos no diagrama de interação, o que possivelmente, tornaria o método conservador.

Apesar da posição do ponto referente aos esforços de ruptura do ensaio variar em relação ao diagrama de interação N, M, observa-se que, em nenhum dos casos, o ponto ficou muito afastado da envoltória. Portanto, em geral, o diagrama de interação N, M representa bem o comportamento dos pilares.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento (ABNT NBR 6118:2014)**. Rio de Janeiro, 2014.

DANTAS, A. B.; MELO, G. S.; NAGATO, Y. **Análise teórica-experimental de pilares de concreto armado submetidos a flexão composta normal aplicando o Método de Mello**. 53º Congresso Brasileiro do Concreto . Florianópolis, 2011.

VENTURINI, W. S., RODRIGUES, R. O. **Dimensionamento de Peças Retangulares de Concreto Armado Solicitadas à Flexão Reta**. Escola de Engenharia de São Carlos, 1987.

## ANÁLISE DO POTENCIAL ENERGÉTICO DE ONDA NA PLATAFORMA CONTINENTAL BRASILEIRA

### **Ricardo Cardoso Guimarães**

Universidade Federal do Rio Grande (FURG)  
Rio Grande – Rio Grande do Sul

### **Phelype Haron Oleinik**

Universidade Federal do Rio Grande (FURG)  
Rio Grande – Rio Grande do Sul

### **Eduardo de Paula Kirinus**

Universidade Federal do Rio Grande (FURG)  
Rio Grande – Rio Grande do Sul

### **Bruno Vasconcellos Lopes**

Universidade Federal do Rio Grande (FURG)  
Rio Grande – Rio Grande do Sul

### **William Correa Marques**

Universidade Federal do Rio Grande (FURG)  
Rio Grande – Rio Grande do Sul

**RESUMO:** Energia de onda vem se tornando nos últimos anos, cada vez mais uma alternativa interessante de energia renovável devido ao grande aumento no número de pesquisas. Com base nisso, esse estudo tem o interesse de estudar o potencial energético da plataforma continental brasileira. Para alcançar o objetivo o modelo de simulação do estado do mar TOMAWAC foi utilizado para realizar uma simulação das condições de onda durante 4 anos. Os resultados mostraram que Arraial do Cabo, com potencial energético médio de  $10.39 \text{ kW.m}^{-1}$  foi o local dentre todos estudados que apresentou os maiores valores. Também foi possível observar que no Farol de Santa

Marta os valores de potencial energético se aproximaram bastante dos encontrados em Arraial do Cabo, com uma vantagem de ter apresentado uma variabilidade menor.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ondas, Energia.

**ABSTRACT:** Wave energy have become on the last years an interest alternative to the renewable energy subject due the high increase in studies over this area. With that in mind, this study aims to study the energetic potential of the Brazilian shelf. To achieve the goal, the sea state model TOMAWAC was used to simulate 4 year of wave conditions. The results showed that Arraial do Cabo, with a mean energetic potential of  $10.39 \text{ kW.m}^{-1}$  was the location with the highest values over all the studied sites. Also it was possible to notice that Farol de Santa Marta had it energetic potential values similar to the ones found for Arraial do Cabo, with one advantage of a slightly lower variability.

**KEYWORDS:** Waves, Energy.

## 1 | INTRODUÇÃO

A demanda cada vez maior por energia, causada majoritariamente pelo crescimento constante da população, trouxe consigo a necessidade de exploração de novas fontes de energia. Entretanto, legislações cada vez mais



rigorosas fazem com que essa busca se restrinja principalmente as fontes renováveis, das quais muitas, já possuem uma exploração e um desenvolvimento científico consideravelmente extenso, como por exemplo, as fontes eólica e solar.

Por outro lado, os conhecimentos técnicos e teóricos, de outros meios de obtenção de energia ainda são pouco estudados, é o caso da energia das ondas, que por fatores como grande área, e modificação constante das forçantes, tanto meteorológicas quanto astronômicas, dificulta o constante monitoramento, o qual é estritamente necessário para uma análise de viabilidade.

Contudo, o avanço computacional vem cada vez mais viabilizando esses tipos de estudo, o que proporciona um avanço significativo para as análises do potencial energético de onda em grande escala e ao longo de um grande período de tempo. Diversos autores já realizaram trabalhos semelhantes, Reguero *et al.* (2015) realizou uma análise do potencial global de ondas caracterizando suas variações sazonais, interanuais e de longa escala através de uma reanálise de dados extraídos do modelo WAVEWATCHIII (WW3).

Por outro lado, Oleinik *et al.* (2016) realizaram análise do potencial de onda sobre a plataforma sul e sudeste brasileira concluindo que o maior potencial disponível se encontra no Cabo de Santa Marta, em Santa Catarina, Ilhabela, em São Paulo e na Ilha do Farol, no Rio de Janeiro. Os resultados também mostraram que a Ilha do Farol é localização com o maior potencial energético, assim como com as maiores variações ao longo do tempo, dentre os locais estudados.

Para que o potencial energético de ondas seja melhor conhecido ao longo de toda a costa brasileira, esse trabalho possui o objetivo de analisar diversas localizações, e suas variações anuais de curto prazo. Para alcançar o objetivo, o software de modelagem do estado do mar, TOMAWAC, foi utilizado para realizar uma simulação de 4 anos das ondas sobre a plataforma continental brasileira, e parte do oceano atlântico. Em seguida, os resultados foram analisados para que se observasse o comportamento interanual das ondas nessas localizações. Por último, uma busca foi realizada determinar localidades com potencial energético interessante de ser futuramente explorado.

## 2 | METODOLOGIA

O estudo se baseia na aplicação do modelo de onda de terceira geração TOMAWAC (TELEMAC-Based Operational Model Addressing Wave Action Computation) para simular o estado do mar sobre a plataforma continental brasileira e parte do oceano atlântico Fig. 1, além de fazer uma análise das séries temporais de altura de onda significativa ( $H_s$ ) e potência de onda por unidade de comprimento de crista ( $P_w$ ), ao longo de um período de 4 anos, compreendidos entre 1997 e 2000.

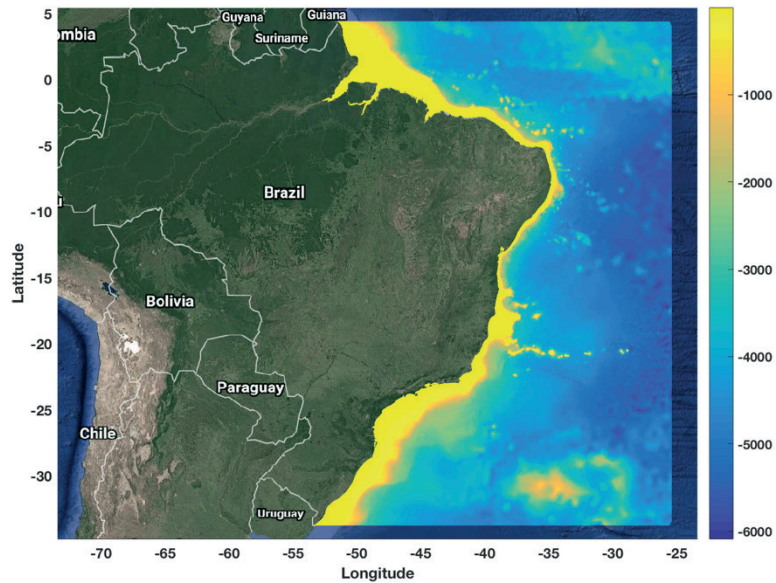


Figura 1. Batimetria da região de estudo.

O domínio espacial é representado por uma malha não estruturada composta de 547479 nós Fig. 2, possuindo uma distância variável entre eles, partindo de 55 km próximo ao contorno até 1 km nas regiões mais próximas da costa. A resolução temporal para cada cálculo é de uma hora, enquanto a resolução para a saída dos resultados é de três horas.

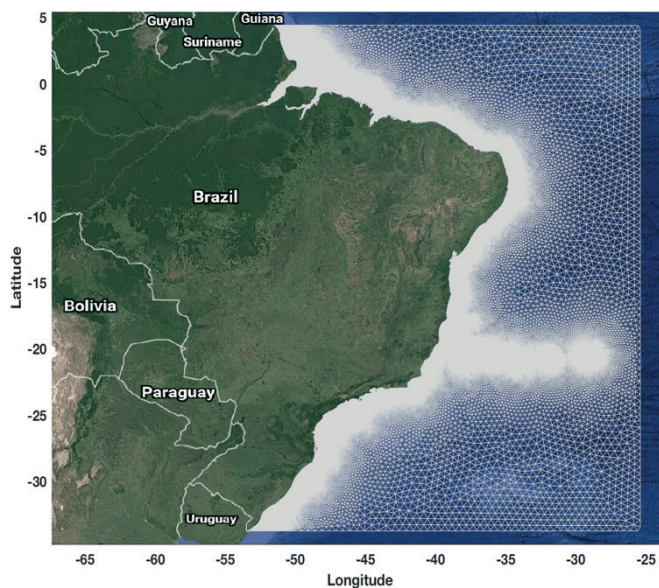


Figura 2. Malha não estruturada utilizada para a realização das simulações.

## 2.1 Modelo Numérico

TOMAWAC faz parte do sistema de modelagem TELEMAC-MASCARET ([www.opentelemac.org](http://www.opentelemac.org)), sendo uma modelo de terceira geração para modelagem de ondas. TOMAWAC resolve a equação da conservação da densidade de ação da onda Eq. (1) para o espectro direcional da onda.

$$\frac{g_f}{gN(\lambda, \theta)} + \frac{g_x}{gk_x N} + \frac{g_\lambda}{gk_\lambda N} + \frac{gk_x}{gk_x} + \frac{gk_\lambda}{gk_\lambda} = Q(k^x, k^\lambda, x, \lambda, f) \quad (1)$$

onde  $N$  é o espectro direcional da onda,  $k_x$  e  $k_y$  são os componentes da direção  $x$  e  $y$  do vetor do número de onda. A Equação (1) expressa que para um caso geral de ondas que se propagam em um meio não homogêneo e não estacionário, a ação da onda é preservada nos termos fonte e sumidouro, representados pelo termo  $Q$ .

Para resolver a Eq. (1), TOMAWAC divide o espectro direcional de ação da onda ( $N$ ) em um número finito de frequências ( $f_i$ ) e direções ( $q_i$ ), resolvendo assim a Eq. (1) para cada um dos componentes ( $f_i, q_i$ ).

Ademais, o espectro de energia das ondas,  $E(f, q)$  pode ser associado com  $N(f, q)$  através da Eq. 2

$$E(f, \theta) = N(f, \theta) \rho g \quad (2)$$

onde  $r$  e  $g$ , são a massa específica da água e a aceleração da gravidade, respectivamente. A integração de  $E(f, q)$  ao longo das frequências e direções discretizadas conduz a Eq. (3), onde se tem a energia por unidade de área das ondas multidirecionais aleatórias, sendo  $a_m$ , a amplitude das ondas.

$$\sum_f^{f+df} \sum_\theta^{\theta+d\theta} \frac{1}{2} \rho g a_m^2 = E(f, \theta) df d\theta \quad (3)$$

## 2.2. Condições Iniciais e de Contorno

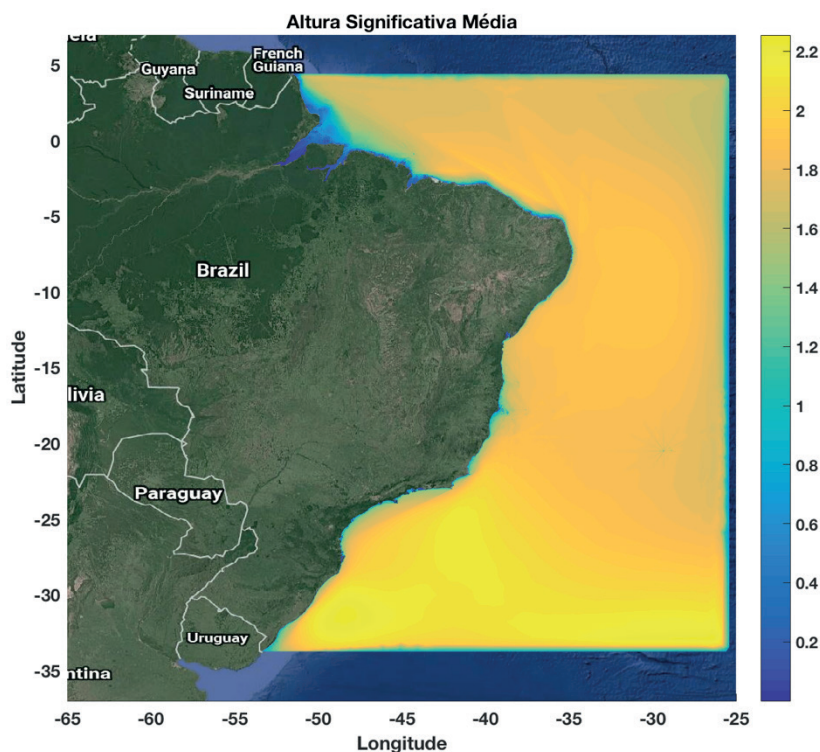
Para realizar a simulação o modelo numérico TOMAWAC foi inicializado do repouso. Os contornos oceânicos foram definidos pela imposição de altura significativa ( $H_s$ ), período de pico ( $T_p$ ), e direção de pico ( $D_p$ ), obtidos a partir do banco de dados gerado pelo modelo de previsão de ondas WAVEWATCHIII (<ftp://polar.ncep.noaa.gov/history/waves>) com uma resolução espacial de  $0.5^\circ$  e resolução temporal de 3 horas.

Já para as condições superficiais, foram utilizado dados de vento do projeto de reanálise NCEP/NCAR pertencente a NOAA ([www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html](http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html)) com resolução espacial de  $1.875^\circ$  e resolução temporal de 6 horas.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o intuito de uma análise mais aprofundada dos resultados, duas abordagens diferenciadas foram tomadas para que tanto o  $H_s$ , tanto o  $P_w$  das diversas localidades estudadas, fossem analisados e comparados entre si. Na primeira, foi criado um ano de resultados, a partir dos 4 anos simulados utilizando a média de cada dia dos anos. Já na segunda o período de 4 anos foi analisado para uma dada localidade, de modo que fosse possível observar a variabilidade dos parâmetros ao longo do período.

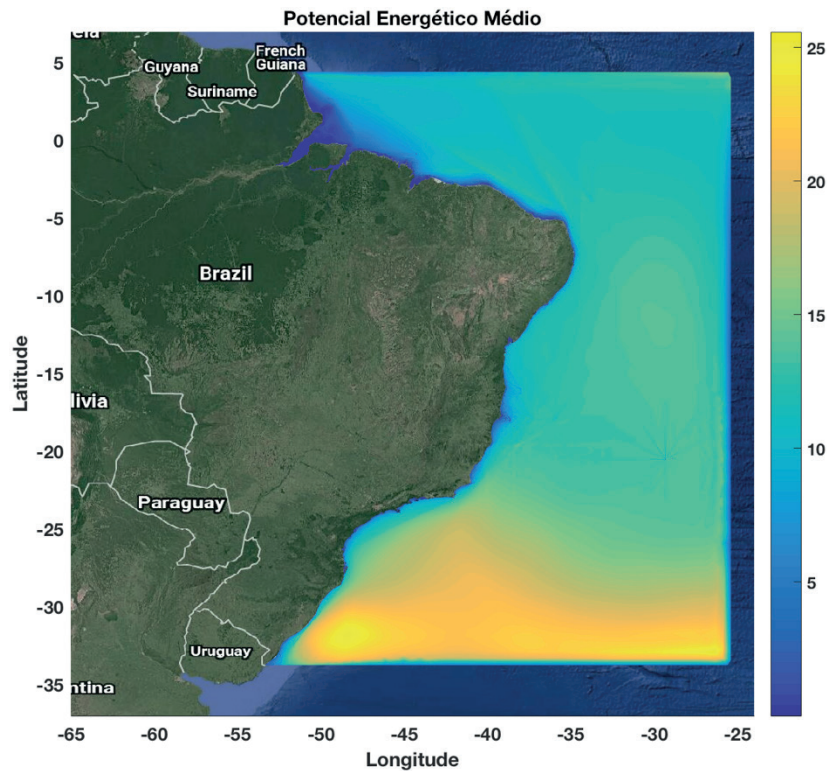
A Figura 3 mostra a média das alturas significativas ao longo dos 4 anos de estudo, é evidente a distribuição das maiores médias de  $H_s$  para a região sul da plataforma continental com valores chegando a 2.2 m, enquanto que na porção norte os valores ficam na média de 1.8 a 1.6 m. Também é possível notar que as alturas mais próximas a costa são consideravelmente menores se comparados aos valores em direção ao oceano.



**Figura 3.** Altura significativa (m) média de ondas para todo o período estudado.

Já para o potencial energético de onda, Fig. (4), a discrepância é ainda maior entre as porções norte e sul do Brasil, evidenciando uma diferença média de aproximadamente  $10 \text{ kW.m}^{-1}$  para mais na região sul-sudeste do país. Os valores médios para essa região ficam na faixa de  $15 \text{ a } 18 \text{ kW.m}^{-1}$  nas regiões mais afastadas da costa, enquanto que para a zona costeira, a média é de aproximadamente  $10 \text{ kW.m}^{-1}$ .

Para uma análise local, cinco pontos foram escolhidos, são eles, Rio Grande (RS), Recife (PE) e três que são consideradas por Oleinik *et al.* (2016) como as localizações de maior energia de onda, sendo elas o Farol de Santa Marta (SC), Ilhabela (SP) e Arraial do Cabo (RJ). Como pressuposto por Oleinik *et al.* (2016) Arraial do Cabo apresentou as maiores médias de altura significativas Tab. 1, entretanto foi a que apresentou a maior variabilidade ao mesmo tempo Fig. (5). Para o potencial energético, novamente Arraial do Cabo apresentou os maiores valores, entretanto apresentando uma diferença pequena do Farol de Santa Marta, o qual apresenta uma variabilidade um pouco menor.

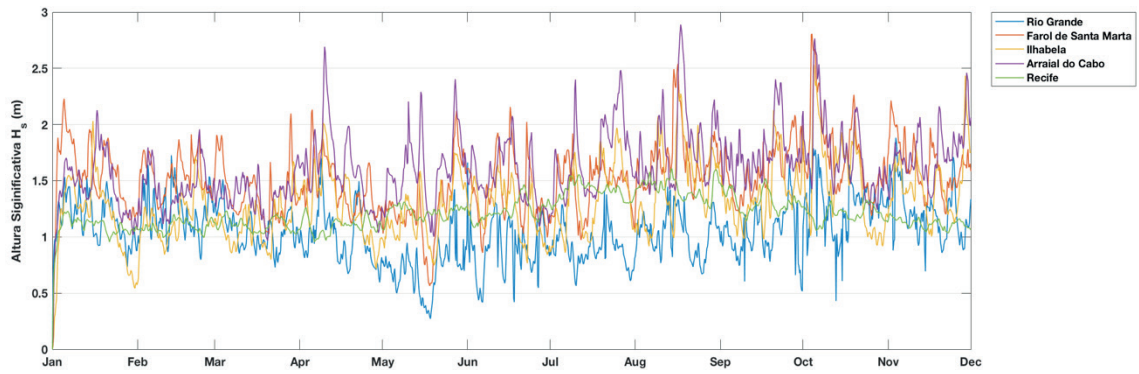


**Figura 4.** Potencial energético de ondas ( $\text{kW.m}^{-1}$ ) para todo período estudado.

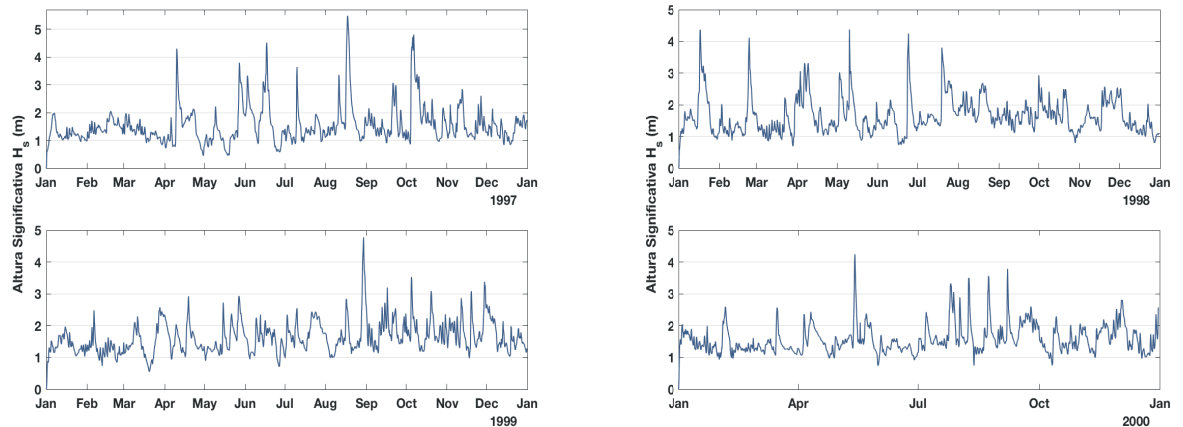
	$H_s$ (m)	Desvio Padrão (m)	$P_w$ ( $\text{kW.m}^{-1}$ )
Rio Grande	1.0499	0.2587	4.2695
Farol de Santa Marta	1.5224	0.2944	10.0043
Ilhabela	1.3062	0.3183	7.7353
Arraial do Cabo	1.6022	0.3153	10.3925
Recife	1.1979	0.1450	4.3325

**Tabela 1.** Propriedades das localidades estudadas.

Com o intuito de analisar brevemente a variabilidade em um curto período a Fig. (6), apresenta os diversos comportamentos da  $H_s$  em Arraial do cabo, local onde se obteve a maior variação no ano médio formado. Essas variações consideráveis entre os anos no comportamento das ondas podem ser relacionadas aos eventos extremos de El Niño e La Niña que segundo Tremberth *et al.* (2001) ocorreram nos anos de 1979 a 1999. Ademais, é possível notar que o ano de 1997 apresenta a maior  $H_s$  entre todos os anos, 5.7 m, enquanto que em 1998 a maior média é constatada, 1.80. Ambos anos são considerados eventos extremos tanto de El Niño quanto de La Niña, enquanto que em 2000 ano em que nenhum dos eventos ocorreu, é evidenciado a menor máxima de  $H_s$  entre todos os anos assim como apresentado por Guimarães *et al.* (2017).



**Figura 5.** Série temporal da altura de onda média significativa dos 4 anos.



**Figura 6.** Séries temporais de  $H_s$ , em Arraial do Cabo, para cada um dos anos estudados.

## 4 | CONCLUSÃO

Com o intuito de analisar o potencial energético e a altura significativa de onda, o modelo TOMAWC se demonstrou satisfatório, apresentando valores para esses parâmetros condizentes com dados reais e outras literaturas. Ficou evidenciado, que os maiores valores tanto para  $H_s$ , tanto para  $P_w$  se localizam nas faixas mais ao sul e sudeste do Brasil, apresentando inclusive diferenças de considerável magnitude para o potencial energético, que possui seu maior valor dentre os analisados em Arraial do Cabo.

A variabilidade inerente a diferentes eventos climáticos também pode ser observada, ficando evidente, através da análise de séries temporais em Arraial do Cabo, as mudanças de  $H_s$  ao longo dos 4 anos estudados, inerentes dos eventos climáticos que aconteceram na mesma época.

Por ultimo, esse trabalho abre espaço para que uma análise mais detalhada e longa do potencial energético da costa brasileira possa ser realizado, podendo assim analisar detalhadamente a variabilidade, assim como potenciais médios de determinados locais para um período maior, o que se faz necessário para por exemplo, um estudo de viabilidade de implantação de um sítio de conversão de energia.

## 5 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas fornecidas. Os autores também agradecem ao CNPq por patrocinar essa pesquisa por meio do contrato 304227/2016-1.

Outros agradecimentos vão para a Marinha do Brasil por disponibilizar os dados batimétricos para a região costeira; a NOAA por disponibilizar o banco de dados de vento, ao open TELEMAC-MASCARET([www.opentelemac.org](http://www.opentelemac.org)) por proporcionar a licença acadêmica do software TELEMAC. Os autores também agradecem ao Centro Nacional de Supercomputação (CESUP) e ao Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC) por disponibilizar seus recursos para o desenvolvimento dessa pesquisa. Por último, mesmo que alguns dados tenham sido retirados de organizações governamentais, esse trabalho não representa necessariamente opiniões governamentais.

## REFERÊNCIAS

- GUIMARÃES, R.C.; OLEINIK, P.H.; MARQUES, W.C.; KIRINUS, E.P. **The Wind Driven Waves Over The Brazilian Coast During Extreme El Niño and La Niña Years.** In: 10° Encontro Nacional De Gerenciamento Costeiro, Vol.1, Rio Grande, Brazil, 2017, pp. 259-260.
- OLEINIK, P.H.; MARQUES, W.C.; KIRINUS, E.P.; HODAPP, M.J. **Energetic potential assessment of wind-driven waves on the south-southeastern brazilian shelf.** Defect and Difusion Forum, 2017, Vol.370, pp. 141-151.
- REGUERO, B.G.; LOSADA, I.J.; MÉNDEZ, F.J. **A global wave power resource and its seasonal, interannual and long-term variability.** Applied Energy, 2015, Vol.148, pp. 366-380.
- TRENBERTH, K.E.; STEPANIAK, D.P. **Indices o El Nino evolution.** Journal of Climate, 2001, Vol.14, pp. 1697-1701.

## APLICATIVO EM AMBIENTE MATLAB PARA METODOLOGIA EDUCACIONAL NO DIMENSIONAMENTO DE PROJETOS FOTOVOLTAICOS

### **Bruno de Alencar Carneiro**

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia do Maranhão  
São Luís – MA

### **Rubens Soeiro Gonçalves**

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia do Maranhão  
São Luís – MA

### **Rômulo Diêgo Marinho Siqueira**

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia do Maranhão  
São Luís – MA

### **Ricardo Medeiros Rodrigues**

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia do Maranhão  
São Luís – MA

### **Dalmir dos Santos Matos**

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia do Maranhão  
São Luís – MA

**RESUMO:** O software desenvolvido apresenta os requisitos necessários ao apoio das atividades didáticas para a disciplina de Fontes de Energia Alternativas, no ramo de energia solar fotovoltaica, podendo ser utilizado em outros cursos de graduação com conteúdo similar. Para que o mesmo atenda aos requisitos, deverá ter uma plataforma amigável com o usuário, com entradas e saídas de

dados, gráficos e relatórios que atendam as demandas pedagógicas. Especificamente serão trabalhados os procedimentos de simulação das curvas corrente x tensão e potência x tensão a partir dos dados comerciais disponibilizados pelos fabricantes. O dimensionamento do projeto de geração de energia através de módulos fotovoltaicos voltado para residências será outro tópico a ser abordado, em que o mesmo deverá efetuar também uma análise econômica em comparação ao sistema elétrico convencional quanto ao tempo de recuperação do investimento. Em adição, o software apresentará procedimentos de análise da radiação extraterrestre, radiação na superfície horizontal e inclinada, ângulo de declinação solar, ângulo zenital, ângulo horário e ângulo de altura solar, por meio de cálculos e soluções das equações específicas a estes tópicos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Software, Didático, Fotovoltaico.

**ABSTRACT:** The software on development provide the conditions required for the support of educational activities of Renewable Energy Sources Courses, specifically in Photovoltaic Solar Energy, which can be useful on other undergraduate courses with similar content. The program must present an user-friendly platform in order to meet the requirements, with input and output data, charts and reports attending the



educational demand. Specifically, the procedures are made on the simulation of Current x Voltage and Power x Voltage curves by commercial data available from manufacturers. The design of the Solar Energy project focused on households is another topic to be addressed, in which an economic analysis comparing the distributed generation with grid system is performed, with the respect to the payback of the investment. In addition, the software will present analysis procedures of extraterrestrial radiation, radiation in the horizontal and tilted surface, angle of solar incidence, zenith angle, hour and solar altitude angle, through calculations and equations solutions specific to these topics.

**KEYWORDS:** Software, Educational, Photovoltaics.

## INTRODUÇÃO

A utilização de energia solar tem sido implementada globalmente como uma alternativa de geração de energia elétrica em áreas mais remotas desde que as células fotovoltaicas solares foram inventadas (Barlow et al, 1991). A tecnologia permite a conversão de radiação solar em eletricidade. Estes sistemas fotovoltaicos são baseados na tecnologia de semicondutores, principalmente através do silício segundo Ishaque (2011).

Dentre as vantagens da utilização da energia solar, está o fato de ser uma energia limpa, que não deixa resíduo de produção, possui uma fonte inesgotável e de fácil acessibilidade, podendo ser utilizada em qualquer lugar e indefinidamente por mais remota que seja a localização geográfica, levando, portanto, qualidade de vida. Porém, esta tecnologia possui o custo inicial relativamente alto comparado a outros métodos de geração de eletricidade, tais como plantas baseadas em carvão ou combustíveis fósseis. (Duffie et al, 1991).

Contudo, um projeto fotovoltaico residencial precisa atender aos requisitos de demanda do sistema: tensão, corrente e potência; necessitando conectar-se a vários módulos fotovoltaicos em série ou em paralelo para formar um painel solar.

Em face à resolução de projetos, um apoio computacional é importante para a formação de engenheiros neste ramo tecnológico.

## OBJETIVOS

### Objetivos Gerais

Desenvolver uma ferramenta educacional para apoio das atividades didáticas para disciplinas que abordam sobre projetos de geração de energia renovável em residências, especificamente em energia solar fotovoltaica.

### Objetivos Específicos

- Relacionar as equações de corrente x tensão e potência x tensão em mode-

los de painéis fotovoltaicos;

- Disponibilizar as relações existentes entre corrente x tensão e potência x tensão;
- Elaborar o dimensionamento de projeto solar residencial efetuando análise de custo e retorno do projeto;
- Apresentar procedimentos de análise da radiação extraterrestre, radiação na superfície horizontal e inclinada, ângulo de inclinação solar ângulo zenital, ângulo horário e ângulo de altura solar;
- Elaborar elementos gráficos de fácil leitura e clareza de comando, com diagramação das telas do programa;
- Criar acesso a guias de ajuda e *troubleshootings*;
- Gerar relatórios com os dados de corrente de curto-circuito, tensão de circuito aberto, ponto de potência máxima, fator de forma e eficiência do painel fotovoltaico;
- Elaborar manual de instrução do programa;
- Validar o cálculo.

## METODOLOGIA

A metodologia adotada no desenvolvimento do software consistirá no planejamento, análise de requisitos, projeto, codificação, revisão, compilação e teste.

### Procedimento experimental

A análise de requisitos e o projeto são efetuados durante a pesquisa bibliográfica. Para as etapas de codificação, revisão e compilação do programa, a plataforma utilizada é o *MATLAB™*, mais precisamente a interface gráfica de usuário *GUIDE*. Para a obtenção das curvas corrente x tensão e potência x tensão em painéis fotovoltaicos serão considerados os modelos clássicos de um e dois diodos. Segundo Ishaque (2011), nestes modelos serão consideradas resistência em série ( $R_s$ ) e a resistência em paralelo ( $R_p$ ). As curvas corrente x tensão e potência x tensão serão obtidas a partir de um algoritmo de busca pelo método padrão de *Newton-Raphson* (Machado, 2014), utilizado para resolver a equação não linear da corrente em função da tensão, encontrando a resistência em série e em paralelo que satisfaça o critério “erro” menor que o dado erro admitido, sendo este a diferença entre o valor de potência encontrado através das simulações e a potência fornecida pelo fabricante.

Para o dimensionamento de projeto solar residencial será adotada a metodologia clássica: levantamento da demanda, dimensionamento do número de painéis fotovoltaicos, dimensionamento das baterias e controladores de carga e inversor e acessórios necessários para a instalação. O custo do sistema e a recuperação do capital a ser investido comparado ao custo da energia elétrica convencional serão inseridos

como um procedimento deste tópico. Para o estudo da radiação, serão trabalhadas as equações clássicas específicas a este tema, as suas soluções e simulações visando facilitar o processo ensino-aprendizagem.

#### Equações governantes

O trabalho proposto é iniciado com uma pesquisa bibliográfica acerca da energia solar e projetos fotovoltaicos no desenvolvimento experimental dos conteúdos assimilados dentro de um aplicativo criado em *software MATLAB™*. Apresentam-se nesta seção alguns trabalhos correlacionados com o tema central, destacamos alguns exemplos que contribuíram para a base deste trabalho.

Jäger et al. (2014), em seu trabalho, sistematiza todo o dimensionamento de um sistema fotovoltaico residencial, começando com a demanda de carga dos equipamentos eletrodomésticos, levantando as médias de consumo de energia ou o total de componentes existentes na residência do cliente.

A energia consumida por dia por cada eletrodoméstico é calculada através das Eq. 1 e 2:

$$E_{AC} = \sum n_{eqp} * P_{AC} * \Delta t \quad (1)$$

$$E_{DC} = \sum n_{eqp} * P_{DC} * \Delta t \quad (2)$$

No qual:

$E_{AC}$ : Demanda de energia diária em Corrente Alternada (Wh/dia)

$E_{DC}$ : Demanda de energia diária em Corrente Contínua (Wh/dia)

$n_{eqp}$ : Quantidade do equipamento escolhido na residência

$P_{AC}$ : Potência do equipamento em Corrente Alternada (W)

$P_{DC}$ : Potência do equipamento em Corrente Contínua (W)

$\Delta t$ : tempo de uso diário (Horas)

A demanda total é calculada com o somatório das demandas em corrente contínua (CC) e corrente alternada (CA). Para a obtenção da demanda real, no qual será a base de dimensionamento dos módulos, nos quais são as perdas de energia relacionadas às eficiências do cabo, controlador de carga, bateria e inversor (conforme especificação do fabricante), representado nas Eq. 3 e 4, de modo a obter a demanda real de energia elétrica que o sistema deve trabalhar.

$$E_{Placa (Autônomo)} = [EDC + (EAC / \eta_{Inversor})] / \eta_{Cabos+CC+Bateria} \quad (3)$$

$$E_{Placa (Autônomo)} = EAC / (\eta_{Inversor} * \eta_{Cabos}) \quad (4)$$

Onde:

$E_{placa}$ : Demanda de energia que a placa deve produzir (Wh)

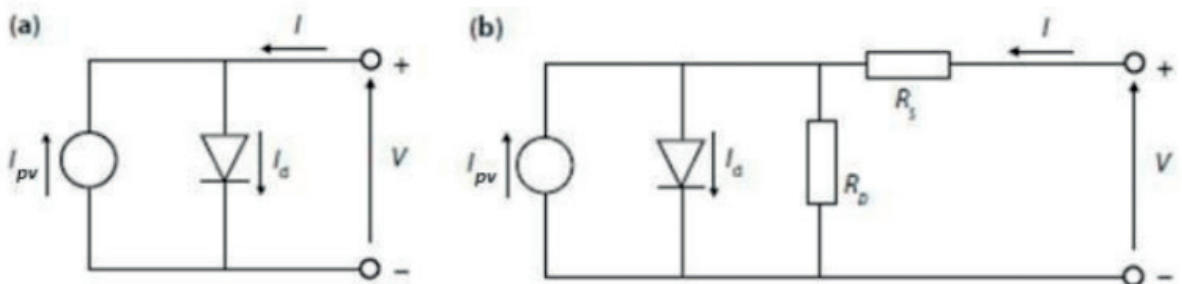
$\eta_{cabos+CC+bateria}$ : Eficiência dos cabos, controladores de carga e bateria (%)

$\eta_{inversor}$ : Eficiência do inversor (%)

$\eta_{cabos}$ : Eficiência dos cabos (%)

Duffie, Beckman (1991), em seu livro *Solar Engineering of Thermal Processes*, faz um estudo sobre a radiação solar incidente na superfície terrestre, definindo todos os parâmetros necessários de localidade, desde sua latitude para obtenção dos ângulos compreendendo as relações trigonométricas esféricas da Terra com a fonte incidente de radiação solar, até os coeficientes empíricos de clima e vegetação da localidade para a estimativa de perda de radiação devido a albedo.

Ishaque et al, 2011, priorizou modelos matemáticos ideais referentes à performance elétrica de painéis fotovoltaicos, entre este o modelo de um diodo (Fig. 1) e de dois diodos. O primeiro consiste numa fonte de corrente,  $I_{pv}$ , dependente da radiação incidente, em paralelo com um diodo que representa o comportamento da corrente na junção P-N do semiconductor. Este modelo necessita de três parâmetros, sendo eles a corrente de curto-circuito  $I_{sc}$ , quando a tensão é nula, a tensão de circuito aberto  $V_{oc}$ , quando a corrente é nula, e o fator de idealidade do diodo,  $n$ .



**Figura 1.** (a) Modelo matemático ideal de um diodo e (b) modelo otimizado com resistência em série  $R_s$  e uma resistência em paralelo  $R_p$ . (Solar Energy: Fundamentals, Technology and Systems - 2014)

Este modelo pode ser melhorado através da inclusão de uma resistência em série,  $R_s$ , exibindo, no entanto, falhas para variações de temperatura, necessitando estudos mais aprofundados de perdas de potência devido ao aumento de temperatura. A inclusão de uma resistência em paralelo  $R_p$  melhora significativamente os resultados obtidos com o modelo. A corrente de saída da Fig. 3 é  $I = I_{pv} - I_d$ . Ela pode ser escrita como Ishaque (2011) define nas Eq. 5 e 6:

$$I = I_{pv} - I_o * \{ \exp [(V + I * R_s) / (n * V_t)] - 1 \} \quad (5)$$

Onde:

$$V_t = (N_s * k * T) / q \quad (6)$$

Nos quais, temos:

$I_{pv}$ : Corrente gerada pela incidência de luz;

$I_o$ : Corrente de saturação reversa;

$V_t$ : Tensão térmica do módulo;

$q$ : Carga do elétron ( $1.60217646 \times 10^{-19}$  C)

$k$ : É a constante de Boltzmann ( $1.3806503 \times 10^{-23}$  J / K);

$N_s$ : Numero de células em série;

$T$ : Temperatura (Kelvin) da célula;

$n$ : Fator de idealidade do diodo;

O modelo de dois diodos está representado na Fig. 2, cuja corrente de saída está definida pela Eq. 7 (Ishaque, 2011):

$$I = I_{pv} - I_{o1} * \{ \exp [(V + I * R_s) / (n_1 * V_t)] - 1 \} - I_{o2} * \{ \exp [(V + I * R_s) / (n_2 * V_t)] - 1 \} - [(V + I * R_s) / V_p] \quad (7)$$

Onde:

$I_{o1}$ : Corrente de saturação reversa do diodo 1;

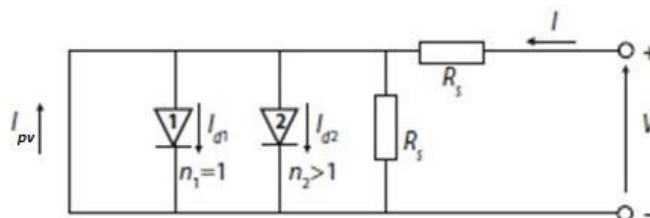
$I_{o2}$ : Corrente de saturação reversa do diodo 2;

$V_{t1}$ : Tensões térmicas do diodo 1;

$V_{t2}$ : Tensões térmicas do diodo 2;

$n_1$ : Constante de idealidade do diodo 1;

$n_2$ : Constante de idealidade do diodo 2;



**Figura 2.** Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica segundo o modelo matemático de dois diodos (Solar Energy: Fundamentals, Technology and Systems; Universidade de Delft, Holanda - 2014)

Na aplicação específica para softwares computacionais, Machado, D.M.C. (2014) aproveitou métodos iterativos de *Newton-Raphson* para resolver equações não lineares da corrente em função da tensão, encontrando a resistência em série e em paralelo que satisfaça o critério “erro” para simulação de curvas corrente x tensão e potência x tensão de módulos comerciais com dados fornecidos pelo fabricante. Com isso, o software pôde aperfeiçoar o dimensionamento de módulos através dos parâmetros de performance, segundo Jäger (2014), nas Eq. 8, 9, 10 e 11:

$$P_{Min. Saída} = E_{Placas} / H_{Eq. Sol} \quad (8)$$

$$NPainéis = PMín. Saída / PMPP \quad (9)$$

$$IMáx (Paralelo) = ICC * NPainéis \quad (10)$$

$$VMáx (Série) = VOC * NPainéis \quad (11)$$

No qual:

$P_{Min. Saída}$ : Potência Mínima de Saída dos Painéis (W)

$H_{Eq. Sol}$ : Horas Equivalentes de Sol (Horas)

$N_{Painéis}$ : Quantidade de Painéis

$P_{MPP}$ : Potência de Ponto de Potência Máxima (Watts-pico)

$I_{CC}$ : Corrente de Curto Circuito (A)

$V_{OC}$ : Tensão de Circuito Aberto (V)

A seguir, Jäger (2014) sintetiza o dimensionamento da bateria, feito com base na relação entre a tensão operacional do sistema e a própria tensão do equipamento, na capacidade de armazenamento e a profundidade de descarga, definindo a quantidade de baterias necessárias ao projeto autônomo além de seu arranjo em série e/ou em paralelo conforme os dias de autonomia projetados pelo cliente, detalhadamente nas Eq. 12, 13, 14 e 15:

$$CMín. Bat. = (EPlacas * \Delta t_{autonomia}) / (DoD * VOperacional) \quad (12)$$

$$N_{Bat. (Série)} = V_{Operacional} / V_{Bateria} \quad (13)$$

$$N_{Bat. (Paralelo)} = V_{Min. Bat.} / C_{Bateria} \quad (14)$$

$$NBaterias = NBat. (Série) * NBat. (Paralelo) \quad (15)$$

Onde:

$C_{Min. Bat.}$ : Capacidade mínima da bateria (Ah)

$D_{oD}$ : Profundidade de Descarga da Bateria (%)

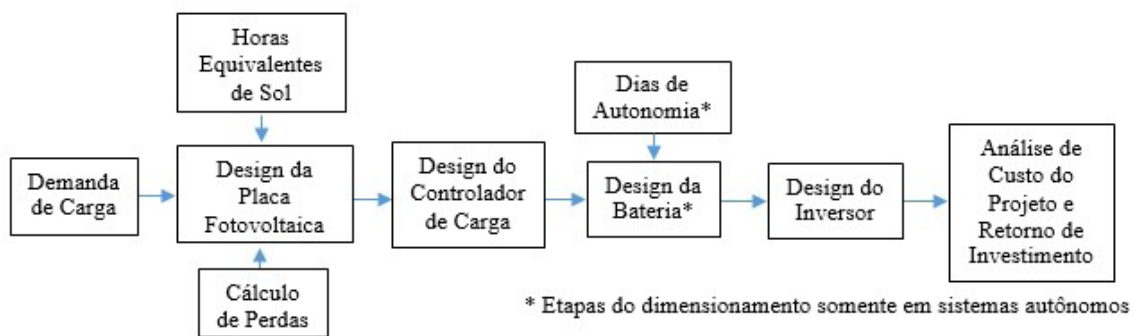
$\Delta t_{autonomia}$ : Dias projetados para a autonomia do sistema (Dias)

Também de modo simplificado na Eq. 16 para sistemas autônomos e Eq. 17 para sistemas conectado à rede, o detalhamento do inversor é feito da maneira fornecida por Jäger (2014):

$$PNom. Inv. = PTotal / \eta_{Inversor} \quad (16)$$

## Modelagem do Software

Após a reunião da literatura necessária, foram definidos os algoritmos através do *software MATLAB™* tanto para a obtenção das análises de radiação solar e ângulo zenital quanto para o dimensionamento do projeto de painéis solares residenciais. O modelo de projeto destes sistemas é baseado na definição fundamental do sistema, que significa a forma como o ciclo de geração de energia se completará. Como a energia solar somente é obtida durante dias de céu claro, cabe ao cliente definir como este pretende obter a energia em baixas de produção. Portanto, os sistemas fotovoltaicos são divididos em sistemas autônomos e conectados à rede da concessionária de energia elétrica. Após este requisito, as etapas de dimensionamento atendem às demandas de carga da residência, o modelo e parâmetro dos componentes geradores (módulos fotovoltaicos e baterias) e retificadores (controladores de carga e inversores) conforme as condições de ambiente e de instalação, para enfim poder traçar o custo da implantação e da manutenção durante o tempo de vida útil do projeto e estimar a produção em termos econômicos, conforme mostra a Fig. 3.



**Figura 3.** Fluxograma geral do dimensionamento do sistema de placas fotovoltaicas para obtenção de energia elétrica

O sistema autônomo é baseado no dimensionamento de módulos fotovoltaicos onde somente é utilizado como fonte a energia solar - sem conexão com a rede de distribuição, nos quais podem consistir de módulos fotovoltaicos, um inversor de carga e uma carga única ou podem incluir baterias para armazenamento de energia. É necessária a inclusão de controladores de carga para que desativem os módulos fotovoltaicos quando as baterias estão totalmente carregadas, por outro lado, estes também devem desligar a carga para evitar que as baterias estejam descarregadas. Para cumprir os requerimentos de projeto, as baterias devem ter capacidade suficiente para armazenar a energia produzida durante o dia para ser usadas à noite e durante os períodos de mau tempo.

A outra escolha que o *software* permite é de um sistema conectado à rede, no qual o projeto é ligado à rede de distribuição energética através de inversores que convertem a eletricidade em corrente contínua para corrente alternada, não

necessitando de baterias. Como aqui o estudo de caso é voltado para o uso residencial, é projetado o inversor para conexão com o quadro de distribuição, de onde a energia gerada é transferida para a rede elétrica ou aparelhos de corrente alternada na casa. O sistema conta com a vantagem de, além de ser amparado pela rede em baixas de produção, poder ceder à concessionária de energia a diferença de produção e consumo e conseqüentemente receber o retorno financeiro de tarifa elétrica.

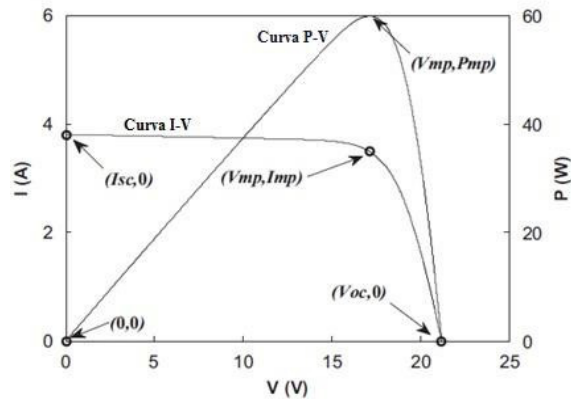
Primeiramente o projeto é alavancado com a definições das condições de contorno nos quais estão submetidas a localidade. Sob definição da demanda de carga através do levantamento de consumo dos componentes elétricos residenciais ou do histórico estatístico de energia consumida – apresentadas nas Eq. 1 e 2, fornecidas pela rede concessionária de energia da residência (em casos de localidades integradas), a demanda real é conhecida após a definição das perdas de eficiência dos componentes do sistema fotovoltaico, na Eq. 3 e 4.

No decorrer do dimensionamento, é requisitada a entrada no software dos dados geográficos do local, os quais obtemos os gráficos de inclinação solar e altura solar, importantes também para análise do tempo de exposição diária da região ao Sol ao longo do ano no dimensionamento da bateria, conforme feito estudo bibliográfico solarimétrico conforme Duffie (1991). Após levantarmos e definirmos todos os fatores externos no projeto, parte-se para a entrada das configurações internas do sistema de placas fotovoltaicas. Aprofundando o conhecimento dos parâmetros de performance elétrica de painéis fotovoltaicos, são interpretados os gráficos de corrente x tensão e potência x tensão, sob os quais são estudados em modelos ideais de um e dois diodos – Eq. 5, 6 e 7. Segundo Ishaque, a partir dos padrões e normas reguladoras definidas pela Comissão Internacional de Eletrotécnica (IEC 61215/61646) os fabricantes devem fornecer dados do painel fotovoltaico, entre os quais são os valores de corrente de curto circuito, tensão de circuito aberto, potência, entre outros, para duas condições meteorológicas diferentes – a STC e a NOCT.

A STC (*Standard Test Condition*) é a condição de teste de painéis para obtenção dos parâmetros de especificação de fabricante. A saber, nesta norma os painéis devem ser calculados sob a temperatura ambiente de 25°C, em uma irradiação total de 1000 W/m<sup>2</sup> e espectro solar de massa de ar AM 1.5. A NOCT é outra norma de condição de teste, no qual é procedida sob uma irradiação de 800 W/m<sup>2</sup> com uma velocidade nominal do vento de 1 m/s<sup>2</sup> e uma temperatura ambiente padrão de 20°C.

Uma das principais características de um painel fotovoltaico, que é obtida a partir de um modelo elétrico equivalente de uma célula, é a sua curva tensão x corrente (Curva I-V e P-V) na Fig. 4, características não lineares. Essas curvas (I-V e P-V) são necessárias para o estudo do ambiente de simulação, a partir dos dados obtidos na tabela de especificações do painel fotovoltaico comercial.





**Figura 4.** Curvas características de Corrente x Tensão (I-V) e Potência x Tensão (P-V) (Ishaque et al, 2011)

O modelo de simulação de curvas IxV e PxV de painéis no dimensionamento enfatiza a obtenção de parâmetros de performance de células fotovoltaicas, sendo estes o ponto de potência máxima, o fator de forma e a eficiência da célula. A célula solar terá o seu melhor desempenho em seu ponto de potência máxima, com a respectiva tensão no ponto de potência máxima é chamado  $V_{mpp}$  e a corrente no ponto de potência máxima é chamado  $I_{mpp}$ . O fator de forma (FF) representa a razão entre a potência máxima e o produto da corrente de curto-circuito e a tensão de circuito aberto. Vale ressaltar que é impossível para uma célula solar para ter um FF igual a 1, em que caso a curva I x V deve ter a forma de um retângulo. Por fim, tem-se a eficiência de conversão  $\eta$  de uma célula solar, que significa a razão entre a potência de saída máxima de uma célula solar  $P_{max}$  e a radiação solar incidente sobre a célula fotovoltaica. Por consequência, a eficiência de conversão pode ser expressa através dos parâmetros externos de uma célula solar: tensão de circuito aberto, corrente de curto-circuito e fator de forma. Com isso, o número de painéis fotovoltaicos é conhecido pelas Eq. 8, 9, 10 e 11.

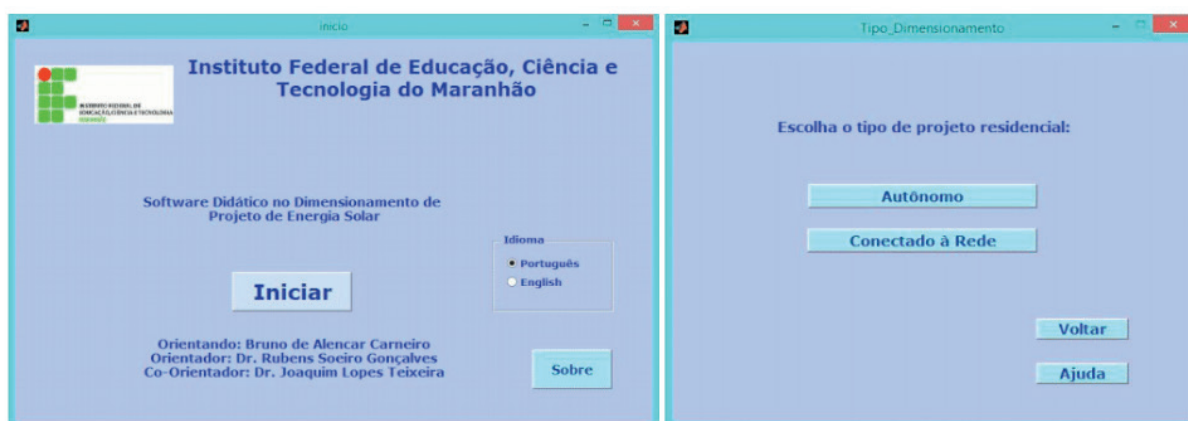
Após o estudo da performance de células fotovoltaicas, é definida, para o sistema autônomo, a configuração do inversor, controlador de carga e da bateria, associada aos seus dias de autonomia. O controlador de carga, como o próprio nome diz, evita danos de sobrecarga de energia da bateria através do controle da tensão aplicada no mesmo, impedindo a circulação de corrente vinda dos painéis quando a bateria está com sua capacidade cheia. O seu dimensionamento também é importante para definir a configuração de painéis em paralelo ou em série, sob as condições a serem implementadas no programa de que o sistema será em paralelo se a tensão do controlador for maior do que a soma de todas as tensões de circuito aberto dos módulos e a corrente for maior que a soma das correntes de curto circuito dos painéis, caso contrário o sistema será modelado em série. Por fim, é dimensionado o inversor do sistema autônomo, cuja função é transformar a energia em corrente contínua vinda dos módulos fotovoltaicos para corrente alternada, adaptando-se à especificação de parte dos equipamentos domésticos, sumarizados nas Eq. 12, 13, 14 e 15.

Tais etapas não são feitas no dimensionamento do sistema conectado à rede, no qual o seu design chega a seu final após a entrada de dados referentes ao inversor, levando ao cálculo de quantos painéis devem ser montados, de que maneira estes devem ser posicionados (em paralelo ou em série) e quais serão a voltagem e corrente operacional, além de definida a potência mínima nominal – Eq. 16 e 17.

A configuração de painéis é dada conforme especificação dos inversores, onde as condições de arranjo são análogas às dos controladores de carga em sistemas autônomos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a reunião da literatura necessária, foram definidos os algoritmos através do *software MATLAB™* tanto para a obtenção das análises de radiação solar e ângulo zenital quanto para o dimensionamento do projeto de painéis solares residenciais. A plataforma de início do *software*, na Fig. 5, oferece opção de idioma e possui um botão de ajuda ao usuário em relação ao programa em geral e sua faixa de aplicação.



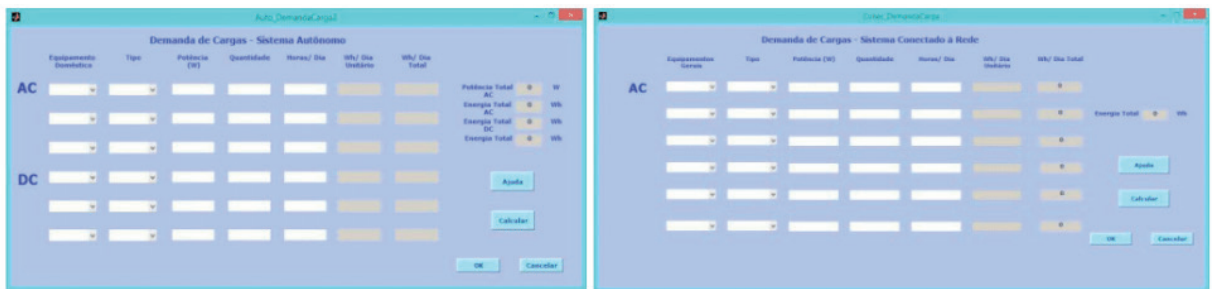
**Figura 5.** Interface inicial e de escolha de sistemas do *Software* Didático no Dimensionamento de Projetos Fotovoltaicos. Elaborada pelo Autor

Dando a opção ao usuário de escolher o tipo de dimensionamento desejado, a interface foi montada da maneira mais didática para que o aluno sempre seja amparado diante das etapas de projeto de um sistema fotovoltaico, no caso a escolha de *design* entre um sistema autônomo e um sistema conectado à rede – Fig. 6.



**Figura 6.** Menu do dimensionamento do sistema de placas fotovoltaicas para obtenção de energia elétrica para os sistemas conectados à rede e autônomos. Elaborada pelo Autor

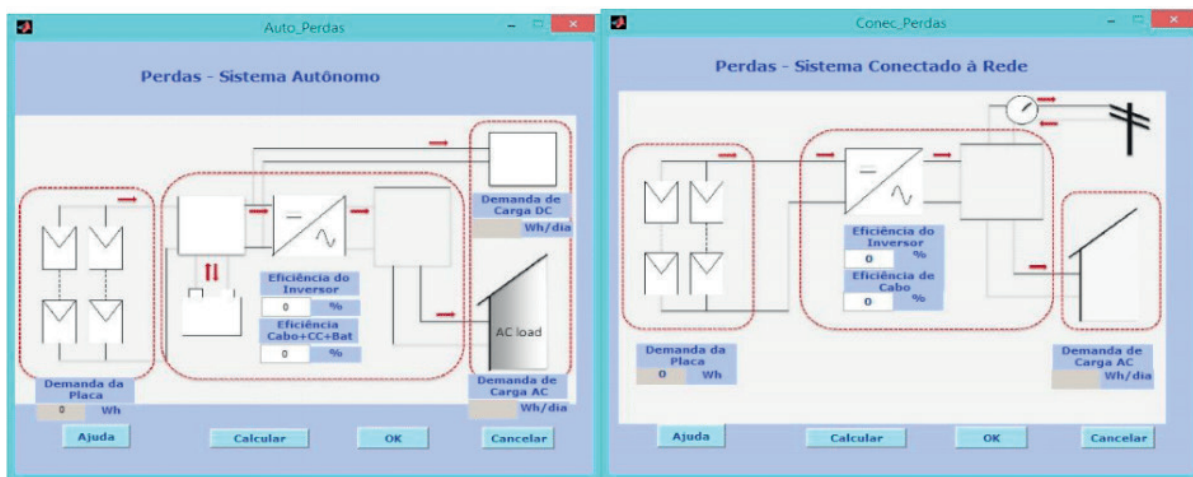
O dimensionamento começa pelo tabelamento dos equipamentos elétricos usuais de uma casa, seu total de horas diárias de funcionamento, a energia gasta diariamente por cada um a fim de que obtenha a demanda de energia requerida na residência, ilustrado na Fig. 7.



**Figura 7.** Interface da etapa de tabelamento de dispositivos elétricos residenciais para obtenção da demanda total de carga elétrica no *Software* de Energia Solar.

Elaborada pelo Autor

Com opção de montar o projeto fotovoltaico conectado à rede de distribuição de energia ou de modo independente, possibilitamos o usuário de escolher um sistema de acordo com a sua necessidade ou o ambiente oferecido. A coleta de dados referentes à simulação de curvas corrente x tensão e potência x tensão disponibilizam ao usuário o poder de analisar e comparar as placas fotovoltaicas segundo os fornecedores e seus dados técnicos, já arquitetando que configurações (um diodo ou dois diodos) o mesmo pode definir no projeto.

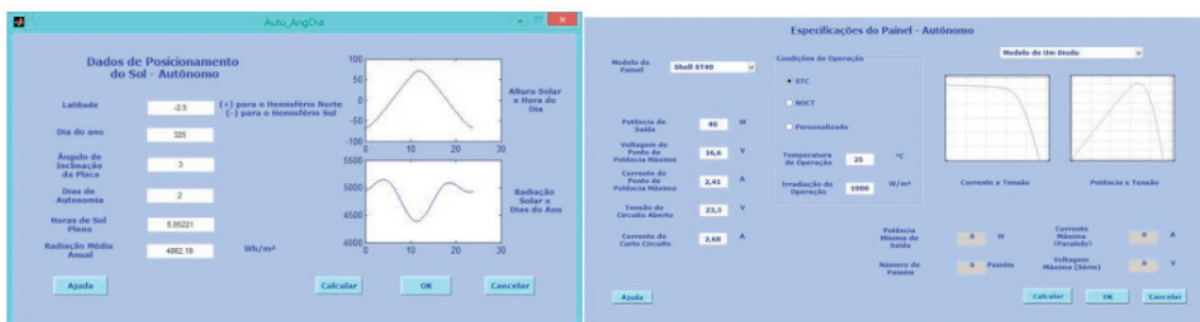


**Figura 8.** Interface da etapa do cálculo de perdas de energia nos componentes do sistema fotovoltaico no *Software* de Energia Solar.

Elaborada pelo Autor

Após isso, são calculadas quais as perdas de energia relacionadas às eficiências do cabo, controlador de carga, bateria e inversor de modo a obter a demanda real de energia elétrica que o sistema deve trabalhar, na Fig. 8.

No decorrer do dimensionamento, é requisitada a entrada no *software* dos dados geográficos do local, na Fig. 9, os quais obtemos os gráficos de inclinação solar e altura solar, importantes também para análise do tempo de exposição diária da região ao Sol ao longo do ano no dimensionamento da bateria, conforme feito estudo bibliográfico. Após levantarmos e definirmos todos os fatores externos no projeto, parte-se para a entrada das configurações internas do sistema de placas fotovoltaicas na Fig. 10. A interface de especificação das configurações elétricas nas placas fotovoltaicas vem a seguir, com a simulação dos parâmetros de performance elétrica em condições personalizadas, ilustrado na Fig. 11.



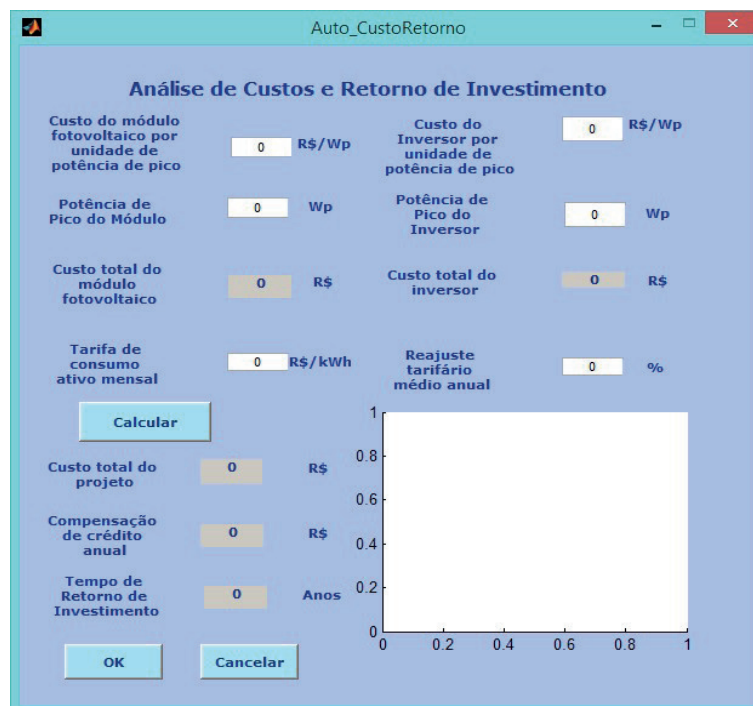
**Figura 9.** Interface da etapa de coleta de dados geográficos para construção de curvas do ângulo de Altura Solar e Radiação Solar ao longo do ano (Esquerda); etapa do dimensionamento das configurações elétricas do módulo fotovoltaico no *Software* de Energia Solar (Direita).

Elaborada pelo Autor



**Figura 11.** Interface da etapa do cálculo de configurações elétricas da bateria, controlador de carga e inversor do sistema autônomo de placas fotovoltaicas no *Software* de Energia Solar.

Elaborada pelo Autor



**Figura 12.** Interface do cálculo final de composição de custo do projeto e estimativa de retorno de investimento de projeto no *Software* de Energia Solar.

Elaborada pelo Autor

Após todo o dimensionamento energético do sistema fotovoltaico residencial, é feita a análise de custo do projeto e a estimativa de retorno de investimento, como demonstrado na Fig. 12. Inicialmente faz-se todo o orçamento dos equipamentos necessários para a implantação do projeto, em especial o custo dos módulos e dos inversores em função da potência de pico. Com isso, encontra-se o custo total dos módulos, inversores e todo o projeto.

A estimativa de retorno de investimento é feita ao tomar como base a tarifa de

consumo ativo mensal da localização que o usuário reside ou planeja projetar, além da taxa para se calcular a compensação de crédito de energia mensal e juntamente, o anual. Para estimar o período necessário para todo o projeto dar o retorno financeiro com base no custo total de projeto, é necessário levar em consideração o reajuste tarifário médio, após levantamento estatístico das concessionárias de energia locais.

## CONCLUSÃO

Através da pesquisa feita, foi possível desenvolver um *software* que será de grande importância para o estudo na disciplina de Fontes de Energia Alternativas, especificamente em energia solar. O aprendizado em linguagem MATLAB na criação de interfaces gráficas e aplicativos de dimensionamento fornece a construção de parâmetros de estudo e projeto. Em adição, o trabalho abre a possibilidade de desenvolvimento de extensões do *software* para que se busque dados experimentais em várias etapas do dimensionamento, sendo significativo nas demandas pedagógicas e acadêmicas área de Energia Solar e de Projetos Fotovoltaicos, e bastante válido para a formação de engenheiros e pesquisadores na Engenharia Mecânica, Elétrica, Física e outras áreas tecnológicas.

Quanto às oportunidades de aperfeiçoamento experimental, estudos experimentais poderão ser feitos através de piranômetros e pireliômetros na obtenção de níveis de radiação solar ou por auxílio de microcontroladores em projetos de seguidores solares, onde serão calculados os ângulos zenitais e azimutais do Sol ao longo do ano. No levantamento do consumo mensal de um projeto elétrico experimental, um centro de dados pode ser desenvolvido para estimativas de demanda residenciais mais precisas.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à FAPEMA, por ter dado a oportunidade de fomentar a pesquisa e dar espaço à divulgação para inspirar futuros trabalhos; e ao IFMA, pela instituição que busco a graduação e pela oportunidade de oferecer a bolsa de pesquisa com renomados orientadores de vasta experiência acadêmica.

## REFERÊNCIAS

BARLOW R., McNELIS B., DERRICK A., **Status and Experience of Solar PV Pumping In Developing Countries**, Proceedings 10th European PV Solar Energy Conf., Lisboa, Portugal, p. 1143-1146. 1991.

DUFFIE, J.A.; BECKMAN, W.A., **Solar Engineering of Thermal Processes**, 2<sup>nd</sup> Ed., John Wiley & Sons, Nova Iorque, EUA, p. 3-141. 1991.

ISHAQUE, K., SALAM, Z., TAHERI, H., Simple, Fast and Accurate Two-Diode Model for Photovoltaic Modules, **Solar Energy Materials and Solar Cells**, Vol. 95, Issue 2, Skudai, Johor Bahru, Malásia, p. 586-594. 2011.

JÄGER, K., ISABELLA, O., SMETS, A.H.M., et al., **Solar Energy: Fundamentals, Technology and Systems**, Uit Cambridge Ltd., Delft University of Technology, Delft, Netherlands, p. 251-345. 2014.

LOPES, J. T., **Dimensionamento e Análise Térmica de um Dessalinizador Solar Tipo Bacia com Cobertura Assimétrica**, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, p. 99-101. 2013.

MACHADO, D. M. C., **Simulação das Curvas Corrente x Tensão e Potência x Tensão de Painéis Fotovoltaicos Comerciais Considerando os Modelos de Um e Dois Diodos**, Monografia, Instituto Federal de Tecnologia do Maranhão, São Luís, Brasil, p. 44-79. 2014.

QUASCHNING, V., HANITSCH, R., Numerical simulation of current– voltage characteristics of photovoltaic systems with shaded solar cells, **Solar Energy**, Vol. 56, No. 6, p. 513–520. 1996.

PEREIRA, E.B., MARTINS, F.R., ABREU, S.L., RUTHER, R., **Atlas Brasileiro de Energia Solar**, 1<sup>a</sup> Ed., INPE, São José dos Campos, Brasil, p. 31-41. 2006.

## ANÁLISE E DISCUSSÕES SOBRE ACIDENTES DE TRABALHO NAS OPERAÇÕES COM TRATORES AGRÍCOLAS NA REGIÃO DO ALTO SERTÃO SERGIPANO

### **Antonio Cardoso Ferreira**

Faculdade Estácio de Sergipe - FASE,  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Aracaju – Sergipe

### **Fábio Santos de Oliveira**

Faculdade Estácio de Sergipe - FASE,  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Aracaju – Sergipe

### **Fabício Oliveira da Silva**

Faculdade Estácio de Sergipe - FASE,  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Aracaju – Sergipe

### **Jubirai José Galliza Júnior**

Faculdade Estácio de Sergipe - FASE,  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Aracaju – Sergipe

### **Vagner dos Anjos Costa**

Faculdade Estácio de Sergipe - FASE,  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Aracaju – Sergipe

### **Silvio Leonardo Valença**

Faculdade Estácio de Sergipe - FASE,  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Aracaju – Sergipe

### **Cochiran Pereira dos Santos**

Faculdade Estácio de Sergipe - FASE,  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Aracaju – Sergipe

se em contra partida, um aumento potencial de riscos de acidentes. Os operadores de tratores agrícolas estão expostos a uma série de agentes físicos, químicos e biológicos, originados a partir de tratores, implementos e agrotóxicos. Essa classe de trabalhadores é de suma importância para o desenvolvimento econômico do Brasil, e por esse motivo realizou-se esse estudo para analisar e discutir sobre acidentes de trabalho nas operações com tratores agrícolas. Este artigo constitui-se de informações obtidas em campo e realizadas entre agosto de 2014 a setembro de 2015 na região do Alto Sertão Sergipano, das quais se levantou dados sobre a segurança do trabalho dos operadores de tratores agrícolas, bem como os riscos expostos, antes e durante as operações. No que se refere a segurança do trabalho nas operações com tratores agrícolas, observou-se como fator principal para o risco de acidentes, a falta de cursos de capacitação e o não uso de equipamentos de proteção individual, além disso, esses acidentes acontecem em sua maioria com indivíduos do sexo masculino.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Acidentes, Operadores, Tratores agrícolas, Riscos.*

**ABSTRACT:** With the modernization in agriculture, which drove agricultural mechanization, a potential increase in the risk of accidents was generated. Farm tractor operators

**RESUMO:** Com a modernização na agricultura, que impulsionou a mecanização agrícola, gerou-



are exposed to a range of physical, chemical and biological agents, derived from tractors, implements, and agrochemicals. This class of workers is of great importance for the economic development of Brazil, and for this reason the study was carried out to analyze and discuss work accidents in agricultural tractor operations. This article is made up of information obtained in the field and carried out between August 2014 and September 2015 in the Sergipe High Sertão region, from which data were collected on the work safety of agricultural tractor operators, as well as the risks exposed before and during operations. Concerning work safety in operations with agricultural tractors, the main factor was the risk of accidents, the lack of training courses and the non-use of personal protective equipment. In addition, these accidents occur in mostly with males.

**KEYWORDS:** Accidents, Operators, Agricultural tractors, Risks.

## 1 | INTRODUÇÃO

Com a tecnologia aplicada à agricultura e a busca incessante em tornar o trabalho fatigante na terra menos árduo, juntamente com a crescente demanda dos produtos agrícolas, cresce também a necessidade de utilização de máquinas, visando facilitar o trabalho e adquirir maior produção final. Diante disso, o trator agrícola é uma máquina indispensável para o setor agrícola, simultaneamente através dos seus implementos com suas diversas funções. Diante dessa necessidade, com o aumento constante dessas máquinas objetivando melhorar a produção, certamente notou-se o crescimento do número de acidentes relacionados às operações com as mesmas, principalmente se não forem intensificadas campanhas de orientação sobre regras básicas de operação, medidas de segurança do trabalho, prevenções de acidentes e cursos de capacitação para os profissionais que utilizam essas máquinas e implementos.

Assim o presente trabalho objetivou analisar e discutir sobre acidentes de trabalho nas operações com tratores agrícolas na região do Alto Sertão Sergipano, estabelecendo: tipos, causas e consequências dos mesmos em relação aos fatores homem-máquina nesta região, além de caracterizar a área de estudo onde se executam essas operações com tratores agrícolas, verificar as condições de trabalho nas operações através dessa análise e por fim, conscientizar os profissionais relacionados a essas atividades, quanto à necessidade de adoção e fiscalização de medidas de prevenção para evitar esses acidentes. Nota-se que nas operações com tratores agrícolas é uma constante a incidência de acidentes de trabalho, que por consequência aumenta a preocupação, fiscalização e prevenção dos mesmos, no entanto, torna-se indispensável que se identifiquem os tipos, as causas e consequências, a fim de reduzi-los.

Essa tecnologia aliada à agricultura tem trazido muita praticidade, velocidade, comodidade e em alguns casos conforto ao produtor rural, um exemplo disso é a eficiência que o trator agrícola tem oferecido ao agricultor, aumentando de forma

significativa à produção. No entanto, mesmo com toda essa tecnologia e o fato de ser melhorada a cada dia, existem os riscos a saúde física e mental dos operadores de tratores agrícolas, que podem ser evitadas, pode-se citar como exemplo o alto ruído proveniente do motor do trator agrícola, superior à quantidade de decibéis que o ouvido humano pode suportar sem causar nenhum dano futuro. Diante de exemplos como esse, foi estabelecido o uso de equipamentos de proteção individual, no entanto, os operadores de tratores agrícolas conhecem, mas não utilizam e se utilizam fazem de forma incorreta.

Diante das inúmeras operações com tratores agrícolas, esses profissionais são expostos a condições insalubres de trabalho, as quais são realizadas em condições que expõem os mesmos a agentes nocivos a saúde acima dos limites tolerados pelo Ministério do Trabalho e Emprego, seja por natureza, intensidade ou tempo de exposição. É acrescentado um adicional sobre o salário mínimo da região, que varia entre 10%, 20% e 40% a depender do grau de insalubridade no qual o trabalhador está exposto. Os agentes nocivos podem ocasionar danos à saúde ou a integridade física dos operadores de tratores agrícolas, em função da natureza, concentração e do fator de exposição nos ambientes de trabalho, dentre eles: ruídos, vibrações, calor, frio, umidade, eletricidade, pressões anormais, radiação ionizante e radiação não ionizante. Acidentes de trabalho envolvendo tratores agrícolas são eventos que têm suas importâncias relacionadas aos danos físicos causados nos operadores e a terceiros.

Definição da Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho – FUNDACENTRO (1979) considera que acidentes de trabalho rural são aqueles que ocorrem pelo exercício do trabalho rural, provocando lesão corporal ou perturbação funcional que causem a perda ou a redução temporária ou permanente, da capacidade para o trabalho.

De acordo com Monteiro (2010), o antigo conceito de tratorista como sendo aquele operador que somente “dirigia” o trator, está totalmente ultrapassado. Alguns anos atrás essa filosofia foi substituída pelo operador de máquinas, atribuindo a esse profissional não somente a função de movimentar o trator, mas também fazê-lo de forma correta e segura. Hoje em dia esse profissional ainda encontra-se em evolução, passando a ser reconhecido como operador de trator agrícola.

A maioria dos acidentes com tratores agrícolas são causados por atos inseguros, sendo que a principal causa é a perda de controle em acentado/declive, seguida da operação do trator em condições extremas, Debiasi, Schlosser e Willes (2004).

De acordo com Schlosser *et al.* (2002), a inclusão de dispositivos que tornem o trator mais confortável e seguro é uma das estratégias necessárias à redução da incidência de acidentes.

A Norma Regulamentadora de Segurança e Saúde no Trabalho na agricultura, pecuária, silvicultura, exploração florestal e aquicultura, NR-31 do Ministério do Trabalho e Emprego, identifica os principais problemas de segurança e saúde do

setor, além de trazer recomendações que se aplicam aos tratores agrícolas e aos operadores de tratores tais como: exigência de participação em cursos de capacitação para a operação do mesmo e a proibição da carona. As leis de trânsito se aplicarão, quando o trator trafegar em rodovias públicas, Manuais de Legislação Atlas (2015). A falta de conhecimento é apontada como uma das principais causas dos acidentes, que se deve ao fato da maioria dos operadores de tratores nunca ter participado de cursos de capacitação, o qual é de suma importância, pois além dos aspectos de produtividade, dar-se ênfase a segurança do trabalho nas operações com os mesmos.

Os riscos nos quais os operadores de tratores agrícolas estão expostos variam entre: riscos físicos no qual o trator agrícola pode ser a causa do acidente, quando for operado de forma indevida, por indivíduo sem capacitação, em locais impróprios, em trabalhos para o qual não foi projetado e com manutenção irregular. Riscos químicos que dizem respeito a riscos de incêndio, durante abastecimento de combustível com o motor em funcionamento, ligar o motor em galpão com ventilação irregular, podendo causar intoxicações e exposição direta a agrotóxico. Riscos Biológicos limitam-se ao capotamento que ocorre quando o operador de trator agrícola for atacado por enxame de abelha.

Dessa maneira, para o trabalho em relato, pretende-se estudar, analisar e discutir, através de sondagens de campo realizadas entre os períodos de agosto de 2014 a setembro de 2015 na região do Alto Sertão Sergipano, acidentes de trabalho nas operações com tratores agrícolas.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada através da A&F Tratores – Consultoria e Manutenção – Monte Alegre de Sergipe – SE, através de questionários de pesquisa de campo, respondidos por operadores de tratores agrícolas dessa região.

A pesquisa se iniciou no mês de agosto de 2014 e foi concluída em setembro de 2015, onde foram respondidos 106 questionários, referentes aos operadores e aos tratores agrícolas nos quais eles operam, onde foram relacionadas as informações sobre: estado de conservação do trator agrícola, tipo de posto de operação, condição profissional, carteira nacional de habilitação, aprendizado profissional, participação em cursos de capacitação, utilização de manuais de operação, duração da jornada de trabalho, atos seguros e inseguros, tipos e causas de acidentes, atividade no momento do acidente, características dos acidentes e capotamentos.

As faixas etárias dos operadores variam entre 19 e 65 anos, a potência dos tratores agrícolas entre 55cv e 145cv e o ano de fabricação varia de 2003 a 2015.

A região do Alto Sertão Sergipano é uma das microrregiões do estado brasileiro de Sergipe que abrange uma área de 4.908,20 km<sup>2</sup> e está dividida em sete municípios: Canindé de São Francisco, Gararu, Monte Alegre de Sergipe, Nossa Senhora da

Glória, Nossa Senhora de Lourdes, Poço Redondo e Porto da Folha. Apresenta clima semiárido com precipitações médias anuais de 613,5mm, temperatura média anual de 26,7 °C e seu período chuvoso se estende de março a agosto.

Atualmente a economia da região do Alto Sertão Sergipano, baseia-se no setor primário que é a pecuária, com destaque para bovinocultura e ovinocaprinocultura. A segunda atividade econômica é a agricultura, com destaque para o cultivo do milho, (IBGE, 2011). Diante dessas atividades econômicas, que crescem a cada dia, vem aumentando o número de tratores agrícolas adquiridos nessa região, tendo como acréscimo do número de profissionais que trabalham com os mesmos e consequentemente o número de acidentes relacionados a essas atividades agrícolas.

O trator agrícola é a fonte de desempenho mais importante do meio rural, contribuindo sobremaneira para o desenvolvimento e avanço tecnológico dos sistemas agrícolas de produção de alimentos e também de fontes alternativas de energias renováveis, tais como o álcool e o biodiesel. Silva (2008).

A escolha da região da pesquisa foi realizada de forma direta, por conta do aumento da economia primária e secundária, aliada a grande presença de tratores agrícolas e operadores de tratores na região. Os municípios da região do Alto Sertão Sergipano, onde foi realizada a pesquisa, estão relacionados na Tabela 1.

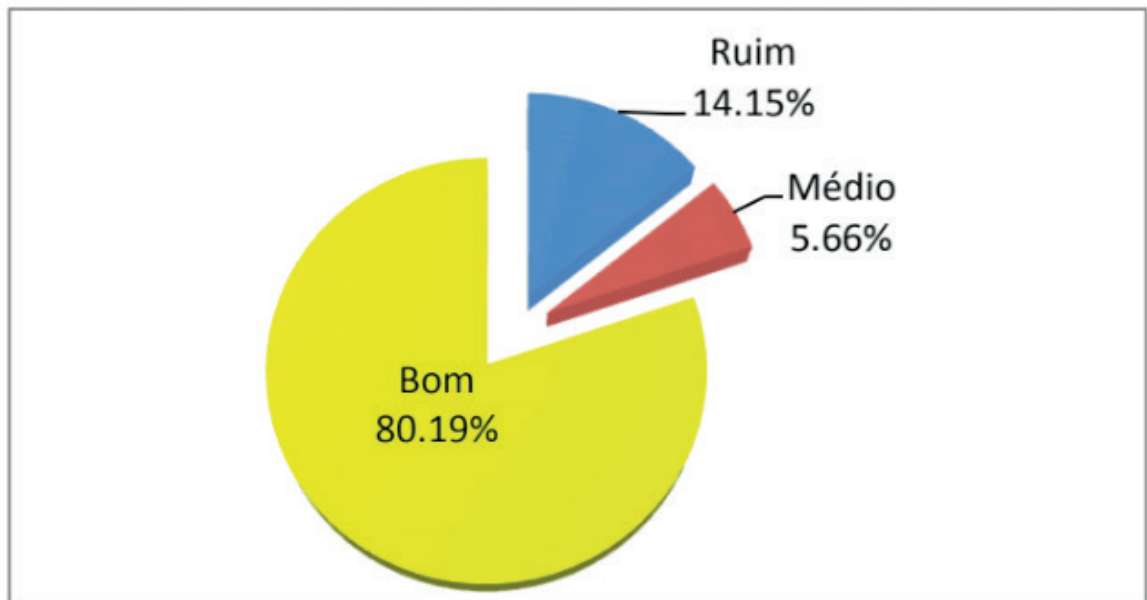
Cidades	Quant. Operadores
Canindé de São Francisco	6
Gararu	3
Monte Alegre de Sergipe	25
Nossa Senhora da Glória	48
Nossa Senhora de Lourdes	2
Poço Redondo	4
Porto da Folha	18

**Tabela 1** - Municípios da Região do Alto Sertão Sergipano

Fonte: A&F Tratores – Consultoria e Manutenção (2015).

### 3 | RESULTADOS

O Gráfico 1 apresenta o estado de conservação dos tratores agrícolas analisados, onde os anos de fabricação dos mesmos variam de 2003 a 2015 e observa-se que um percentual de 80,19% da frota de tratores apresenta-se em bom estado de conservação.



**Gráfico 1** - Estado de Conservação dos tratores  
 Fonte: A&F Tratores – Consultoria e Manutenção (2015).

A Tabela 2 apresenta o tipo de posto de operação dos tratores agrícolas, onde temos um percentual de 76,42% de tratores agrícolas ainda com posto aberto – OPEN, caracterizando certa resistência, aos benefícios que um trator com cabine pode oferecer.

Tipo	Percentual
OPEN - Estação aberta	76,42
Cabine	23,58

**Tabela 2** - Tipo de posto de operação  
 Fonte: A&F Tratores – Consultoria e Manutenção (2015).

A Tabela 3 apresenta o perfil profissional do operador de trator, na qual constatou-se que 79,24% desses profissionais foram contratados, diferente de outras regiões do país, onde os operadores de tratores na maioria das situações são filhos ou até mesmo proprietário do trator agrícola. A pesquisa mostra um percentual de 9,43% desses profissionais como empregado fixo, isso acontece devido às condições econômicas e aos períodos entre preparo de solo, plantio e colheita da região, não comportando fixar os profissionais e sim contratá-los por tempo determinado.

<b>Tipo</b>	<b>Percentual</b>
Contratado	79,24
Empregado fixo	9,43
Filho de proprietário	5,66
Proprietário	5,67

**Tabela 3** - Perfil profissional

Fonte: A&F Tratores – Consultoria e Manutenção (2015).

A Tabela 4 apresenta a relação de operadores de tratores que possuem CNH – Carteira Nacional de Habilitação. Observou-se que a maior parte dos operadores de tratores (94,34%) não possuíam CNH, visto que este documento é uma exigência do CONTRAN, para trafegar em rodovias públicas, federais e estaduais; e não para manuseio agrícola com os mesmos.

<b>Situação</b>	<b>Percentual</b>
Possuem CNH	5,66
Não possuem CNH	94,34

**Tabela 4** - Operadores de tratores com CNH

Fonte: A&F Tratores – Consultoria e Manutenção (2015).

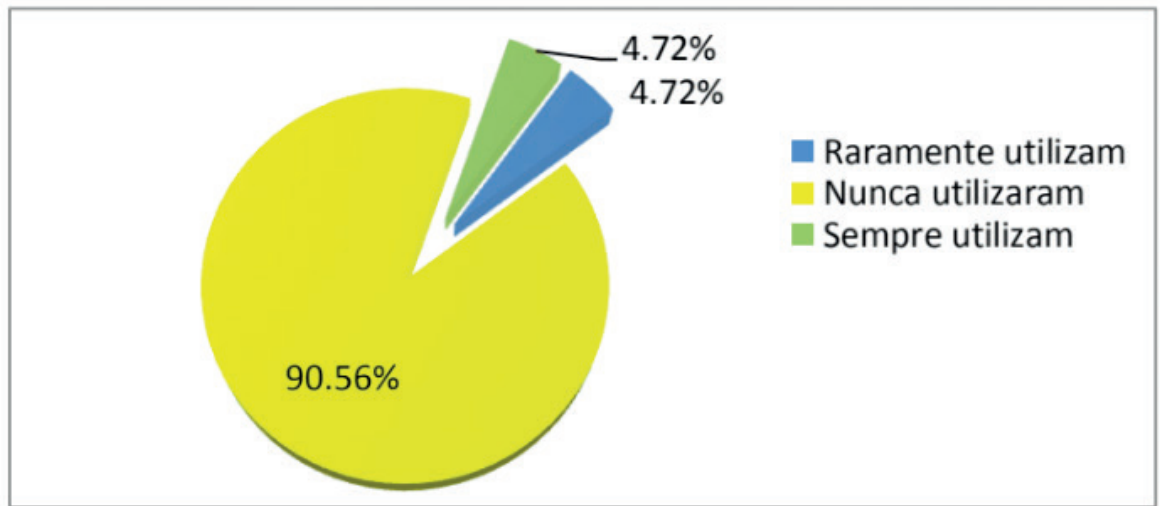
A Tabela 5 mostra a participação em cursos de capacitação, onde nota-se de acordo com a pesquisa, que apenas uma pequena parte, 13,21%, participou de algum curso de capacitação. De acordo com a NR 31, todo operador de trator agrícola deverá participar do curso de capacitação para operadores, contendo no mínimo uma carga horária de 24 horas.

<b>Situação</b>	<b>Percentual</b>
Com treinamento	13,21
Sem treinamento	86,79

**TABELA 5** - Operadores com curso de capacitação

Fonte: A&F Tratores – Consultoria e Manutenção (2015).

O Gráfico 2 indica a utilização de manuais de operação, onde percebe-se, que 90,56%, nunca utilizaram manuais de operação. Utilizar o manual de operação do trator é de suma importância, pois possibilita que o operador obtenha diretamente as informações de todos os componentes do trator, manutenção, segurança e operação.



**Gráfico 2** - Utilização de manuais de operação

Fonte: A&F Tratores – Consultoria e Manutenção (2015).

A Tabela 6 mostra a duração da jornada de trabalho, que de acordo com a pesquisa, 69,81%, os operadores trabalham mais de 8 horas diárias, caracterizando cansaço, e tendo por consequência do período prolongado de trabalho, o aumento do risco de acidente. Em seguida a Figura 1 ilustra essa situação.

Tipo	Percentual
Menos de 8 horas	20,75
8 horas	9,44
Mais de 8 horas	69,81

**Tabela 6** - Duração da jornada de trabalho

Fonte: A&F Tratores – Consultoria e Manutenção (2015).



**Figura 1** - Acidente devido ao excesso de duração da jornada de trabalho

Fonte: A&F Tratores – Consultoria e Manutenção (2015).

A Tabela 7 apresenta um comparativo dos atos praticados pelos operadores de tratores, onde percebeu-se que grande parte desses profissionais não fazem uso de equipamentos de proteção individual e utilizam o trator agrícola o transporte de pessoas (82,32%).

<b>Tipo</b>	<b>Percentual</b>
Utilização de luvas	14,15
Utilização de calçados	5,66
Utilização de cinto de segurança	5,66
Utilização de protetor auricular	10,37
Utilização de óculos de proteção	12,26
Transporte de pessoas	82,32
Operação/ Manobra em pé	10,37
Trafegar em declive com o trator em neutro	23,85

**Tabela 7** - Atos praticados pelos operadores

Fonte: A&F Tratores – Consultoria e Manutenção (2015).

A Tabela 8 apresenta as causas dos acidentes durante as operações com tratores agrícolas, onde se encontram percentuais elevados em condições extremas com 76,42%, cansaço com 84,90%, permissão de carona com 86,80%, intoxicação por defensivos com 70,75%. As condições extremas referem-se ao uso do trator agrícola em situações além dos limites para as quais o mesmo foi projetado. Destacam-se trabalho em terrenos com declives acentuados e aproximação excessiva a barrancos. Esta pesquisa aponta que 67% dos operadores de tratores agrícolas trabalharam sob efeito de álcool. Outro fator é interessante refere-se aos postos de operação da maioria dos tratores, no caso da pesquisa, aberto, facilitando a intoxicação por defensivos. No caso da pesquisa, a mesma aponta que 70,75% dos operadores tiveram algum tipo de intoxicação, por conta desse fator e pelo uso inadequado de equipamentos de proteção individuais. A figura 2 ilustra uma das possíveis causas de acidentes, a perda de controle em declives.

<b>Situação</b>	<b>Percentual</b>
Condições extremas	76,42
Falta de atenção	30,20
Falha mecânica	33,09
Excesso de velocidade	42,45
Engate inadequado	61,32
Cansaço	84,90
Permissão de carona	86,80



Alcoolismo	67,00
Perda de controle em declives	44,34
Intoxicação por defensivos agrícolas	70,75
Tabagismo	53,77

**Tabela 8** - Causa dos acidentes

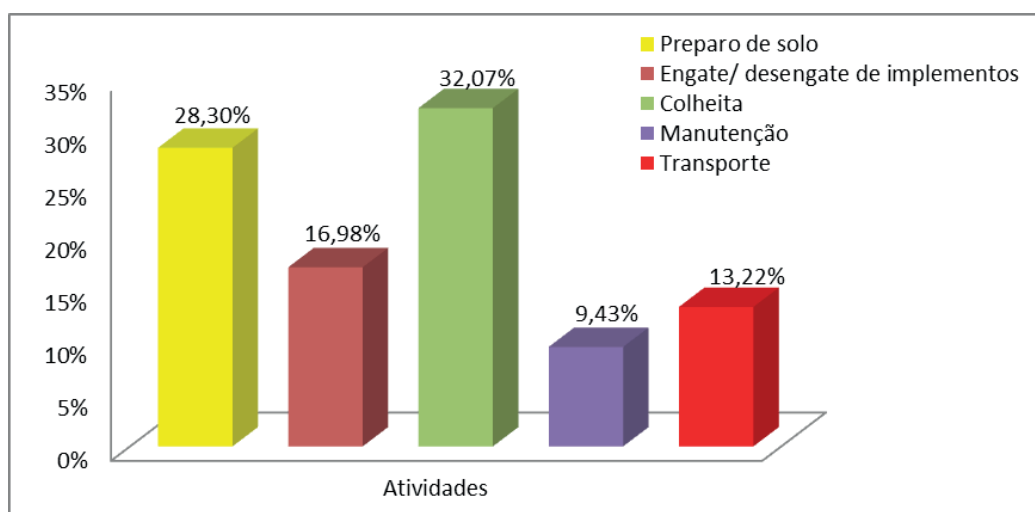
Fonte: A&F Tratores – Consultoria e Manutenção (2015).



**Figura 2** - Causas de acidentes, a perda de controle em declives

Fonte: A&F Tratores – Consultoria e Manutenção (2015).

O Gráfico 3 apresenta as atividades no momento dos acidentes, onde percebe-se que os maiores índices de riscos de acidentes encontram-se nas seguintes atividades: preparo de solo com 28,30% e colheita com 32,07%.



**Gráfico 3** - Atividades no momento dos acidentes

Fonte: A&F Tratores – Consultoria e Manutenção (2015).

## 4 | CONCLUSÕES

Levando-se em consideração o que foi estudado neste trabalho, pode-se concluir que:

O estado de conservação dos tratores agrícolas analisados é bom e a maioria possui posto de operação aberto, ou seja, sem cabine.

Grande parte dos operadores de tratores agrícolas é contratada, sendo que a maioria não possui carteira nacional de habilitação, além de terem adquirido o conhecimento com outros operadores de tratores.

É grande o percentual de operadores de tratores agrícolas que nunca participaram de cursos de capacitação, como também nunca utilizaram o manual de operação e que não fazem uso de equipamentos de proteção individual. A jornada de trabalho, da maioria dos operadores de tratores agrícolas, ultrapassa as oito horas diárias.

A maioria dos operadores de tratores agrícolas utiliza o trator agrícola para o transporte de pessoas, caracterizando o mesmo como um veículo. Os tipos de acidentes mais frequentes são o contato com o eixo cardã da TDP e colisões.

As principais causas dos acidentes de trabalho são as condições extremas, cansaço, permissão de carona, alcoolismo e intoxicação por defensivos agrícolas.

As atividades que oferecem mais riscos de acidentes são a colheita e o preparo de solo. É alto o percentual de operadores de tratores agrícolas que se envolveram em acidentes do tipo capotamento.

O cumprimento a Norma Regulamentadora de Segurança e Saúde no Trabalho na agricultura, pecuária, silvicultura, exploração florestal e aquicultura, NR-31 do Ministério do Trabalho e Emprego e as leis do trânsito são fundamentais para a redução de acidentes com tratores agrícolas.

Dispositivos para tornarem os tratores agrícolas mais seguros tais como cabines fechadas, cintos de segurança, extintores e sirenes de ré, são estratégias necessárias para a redução de acidentes com tratores agrícolas.

Cursos de capacitação, segurança do trabalho, redução da jornada de trabalho e a utilização de equipamentos de proteção individual, são também estratégias necessárias para a redução de incidência de acidentes com tratores agrícolas.

Com a conscientização por partes do empregador e empregado, através de cursos de capacitação e fiscalização efetiva, espera-se que esses acidentes diminuam de forma considerável. Observou-se a insalubridade como fator principal para o risco de acidentes como atos inseguros, por meio da falta de cursos de capacitação e a falta do uso de equipamentos de proteção individual.

## REFERÊNCIAS

DEBIASI, H.; SCHLOSSER, J. F.; WILLES, J. A. **Acidentes de trabalho envolvendo conjuntos tratorizados em propriedades rurais do Rio Grande do Sul, Brasil**. Ciência Rural. Santa Maria, v. 34, n. 3, mai./jun. 2004.

Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho (FUNDACENTRO). **Manual de Segurança, Higiene e Medicina do Trabalho Rural**. São Paulo: Ministério do Trabalho, 1979.

**Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 25 nov. 2015.

MONTEIRO, L. A. **Prevenção de acidentes com tratores agrícolas e florestais**. Botucatu: Diagrama, 2010, 105p.

SCHLOSSER, J. F.; DEBIASI, H.; PARCIANELLO, G.; RAMBO, L. **Caracterização dos acidentes com tratores agrícolas**. Ciência Rural. Santa Maria, v. 32, n. 6, nov./dez. 2002.

**Segurança e Medicina do Trabalho**. 75. Ed., São Paulo: Atlas, 2015. (Coleção Manuais de Legislação Atlas).

SILVA, P. R. A. Máquinas e Mecanização Agrícola. FCA – UNESP, Botucatu, Out. 2008.

## AS DIFERENTES NUANCES NA QUALIDADE DE VIDA NO TRABALHO (QVT) NA CONSTRUÇÃO CIVIL: ESTUDO COMPARATIVO EM EQUIPES DE MANUTENÇÃO E PROJETOS

### **André Luis Martins de Souza**

Universidade Federal de Goiás; Unidade Acadêmica Especial em Gestão e Negócios.

Catalão – Goiás

### **Renata Alessandra Evangelista**

Universidade Federal de Goiás; Unidade Acadêmica Especial em Gestão e Negócios.

Catalão – Goiás

### **Alexandre Assis Bueno**

Universidade Federal de Goiás; Unidade Acadêmica Especial em Gestão e Negócios.

Catalão – Goiás

### **Lucas Oliveira Magalhães**

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Uberlândia- Minas Gerais

### **Pedro de Freitas Silva**

Universidade Federal de Goiás; Unidade Acadêmica Especial em Gestão e Negócios.

Catalão – Goiás

**RESUMO:** Atualmente o trabalho é considerado uma das principais referências na vida dos indivíduos, uma vez que ele é capaz de identificar o ser humano, definir sua classe social, sua condição financeira e, ainda, sua posição em relação à sociedade. Este trabalho tem como objetivo, apresentar as diferentes nuances de Qualidade de Vida no Trabalho entre funcionários da construção civil que trabalham nas modalidades de manutenção

civil e projeto em uma mineradora de grande porte. Tendo como metodologia uma pesquisa de natureza exploratória e descritiva, de abordagem quantitativa. A amostra foi composta por 18 profissionais que exercem cargos de pedreiro e servente na área construção civil. Esta população é composta de funcionários próprios terceirizados. Utilizou-se para coleta de dados o questionário baseado nos indicadores proposto por Walton (1973) sendo elaborado/validado por Frossard (2009). Os resultados revelaram de uma forma geral, que apesar dos empregados estarem inseridos e trabalhando no mesmo lugar, é possível observar que o tipo de atividade interfere nas percepções dos empregados sobre a qualidade de vida no trabalho.

**PALAVRAS-CHAVE:** Qualidade de Vida, Trabalho, Construção Civil.

**ABSTRACT:** Currently, work is considered one of the main references in the life of individuals, since it is able to identify the human being, define his social class, his financial condition and also his position in relation to society. This paper aims to present the different nuances of Quality working life among civil construction workers who work in the modalities of civil maintenance and project in a large mining company. Using as methodology a research of exploratory nature and descriptive, of quantitative approach. The

sample was composed by 18 professionals who hold positions of mason and servant in the construction sector. This population is made up of own outsourced employees. The questionnaire based on the indicators proposed by Walton (1973) was elaborated / validated by Frossard (2009). The results revealed that, in spite of the employees being inserted and working in the same place, it is possible to observe that the type of activity interferes in the employees' perceptions about the Quality working life.

**KEYWORDS:** Quality of Life, Work, Construction.

## 1 | INTRODUÇÃO

Atualmente o trabalho é considerado uma das principais referências na vida dos indivíduos, uma vez que ele é capaz de identificar o ser humano, definir sua classe social, sua condição financeira e, ainda, sua posição em relação à sociedade. Conrad (1988) citado por Gonçalves (2014) estima que os indivíduos passem no trabalho, aproximadamente, um terço das horas que estão acordados. Desta forma, temos a percepção as atividades laborais tem grande importância na socialização dos indivíduos.

Embora seu aparecimento seja simultâneo ao trabalho, a sociabilidade, a primeira divisão do trabalho, a linguagem etc. encontram sua origem a partir do próprio ato laborativo. O trabalho constitui-se como categoria intermediária que possibilita o salto ontológico das formas pré-humanas para o ser social (ANTUNES, 2015, p.136).

A partir da revolução industrial, iniciada na Inglaterra no século XVIII, o aumento da produção de bens e serviços tornou-se o pilar da rentabilidade e da eficácia industrial e empresarial. Neste período, as organizações concentraram-se no aumento da produtividade do trabalho e na acumulação de capital e passaram a exigir dos empresários, gestores, cientistas sociais e governantes não apenas a eficiência máxima, de modo a permitir um aumento da produtividade do trabalho, como também a produção do conhecimento científico exaustivo (FERREIRA, NEVES & CAETANO, 2011).

Ademais, para Taylor (1965) citado por Ferreira, Neves e Caetano (2011) o aumento da produtividade do fator produção (trabalho) significaria mais riqueza e maior nível de vida para os operários, patrões e para a sociedade em geral, como também se traduziria na criação de mais emprego. Assim, Taylor em conjunto com a família Gilbreth criaram o método de medição de produtividade do trabalhador, que consiste em realizar as medições dos tempos e movimentos dos empregados visando avaliar qual a forma mais produtiva de trabalho. Este modelo trata o indivíduo como “recurso” nas empresas, sendo acompanhado, controlado e analisado em seu comportamento produtivo (BARNES, 1968). Em suma, para o operário-artesão pré-tayloriano, tudo se passa como se o trabalho físico, isto é, a atividade motora, fosse regulada, modulada,

repartida e equilibrada em função das aptidões e do cansaço do trabalhador por intermédio da programação intelectual espontânea do trabalho (DEJOURS, 2005).

Neste contexto, Rodrigues, Freitas e Schmorantz (2002) salientam que a Qualidade de Vida no Trabalho (QVT) tem como objetivo principal satisfazer o indivíduo no ambiente laboral e as suas motivações, por vezes não consideradas pelas corporações em prol da produtividade e do crescimento econômico. Portanto, os autores citam que o conceito sobre QVT de Walton (1973) está estruturado na humanização do trabalho e responsabilidade social da empresa. Envolve o atendimento das necessidades e aspirações do indivíduo através da reestruturação organizacional e novas formas de trabalho, aliado, ainda, a formação de equipas com um maior poder de autonomia e a uma melhoria do meio ambiente laboral (Rodrigues, Freitas e Schmorantz, 2002).

Na área da construção civil, estas necessidades e aspirações não são diferentes. Os indivíduos almejam bem-estar no trabalho, porém a área é distinguida por apresentar condições laborais desfavoráveis, elevadas taxas de acidentes de trabalho, insalubridade laboral, baixos salários e organização do trabalho imprópria. Ademais, segundo Camarini e Chamon (2011), estes fatores são predadores da força de trabalho, o que dificulta a melhoria das condições de laborais.

Deste modo, o objetivo geral deste trabalho é investigar as diferentes percepções dos níveis de qualidade de vida no trabalho em equipas de manutenção e projetos da área de construção civil em uma mineradora de grande porte. Assim, buscou-se identificar as dimensões da QVT a partir da abordagem de Walton (1973) abrangendo oito critérios com suas variáveis: condição de trabalho, organização no trabalho, integração social, participação, saúde, compensação, comunicação e imagem da organização.

A importância deste trabalho fica comprovada pela possibilidade de conhecer, discutir e aprofundar as diferentes necessidades de cada grupo analisado e, conseqüentemente, intervir visando melhorar a qualidade de vida no trabalho no setor de construção civil.

## **2 | A CONSTRUÇÃO CIVIL E A QUALIDADE DE VIDA NO TRABALHO**

A área da construção civil é de suma importância para economia brasileira. Compõe-se de empresas de pequeno, médio e grande porte, e se subdivide em dois sub-setores: o setor da construção pesada, que se identifica com a execução de grandes projetos e o setor de edificações que se caracteriza com a construção e manutenção de prédios e estruturas menores.

O setor da construção civil apresenta uma cadeia produtiva complexa constituída por atividades fornecedoras de insumos e serviços. É um setor que agrega desde grandes empresas até microempresários, grupos familiares e profissionais autônomos (CAMARINI, CHAMON, 2011, p.1).

Dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2016), referentes ao percentual do produto interno bruto (PIB), demonstram que o setor nos últimos anos teve participação relevante na economia brasileira, conforme Tabela 1:

Ano	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
<b>PIB Construção Civil / Brasil (%)</b>	4,3	4,6	4,4	5,4	6,3	6,3	6,5

**Tabela 1:** Participação do PIB da Construção Civil no PIB total do Brasil –2006 a 2012

Fonte: CBIC, 2016

De acordo com Santana e Oliveira (2004), o setor é responsável pela maioria das contratações camadas pobres da população masculina e também considerado uma das áreas mais perigosas em todo o mundo, liderando as taxas de acidentes de trabalho fatais, não-fatais e dias perdidos. Segundo o relatório da Previdência Social (2014), nota-se o crescimento de acidentes e o elevado número de doenças no trabalho na área de construção civil no Brasil, conforme apresentado na Tabela 2:

Ano	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Acidentes de trabalho/ Brasil (%)	5,67	5,67	6,99	7,59	7,88	8,30	8,92
Doenças (nº absoluto)	1168	1025	940	1111	1052	957	740

**Tabela 2:** Número de acidentes e doenças no trabalho na construção civil –2006 a 2012

Fonte: Previdência Social, 2014

As tabelas anteriores demonstram a importância do setor da construção na economia brasileira e a necessidade de aprimoramento das condições do trabalho neste campo. Essa situação somente será melhorada se avaliarmos as condições que interferem no bem-estar do indivíduo no ambiente de trabalho e implementarmos novas técnicas de gestão visando atender a demanda de qualidade de vida no trabalho destes colaboradores. Mas o que é Qualidade de Vida no Trabalho?

Não existe na literatura unanimidade sobre o conceito de Qualidade de Vida no Trabalho (QVT). Segundo Limongi – França (1997) o conceito de QVT está relacionado ao conjunto de ações de uma empresa que contemple diagnóstico e implementação de melhorias e inovações gerenciais, tecnológicas e estruturais dentro e fora do ambiente de trabalho, com o objetivo de proporcionar condições plenas para o desenvolvimento humano durante a realização do trabalho.

Seguindo o mesmo direcionamento, Fernandes (1996) conceitua Qualidade de Vida no Trabalho como a gestão dinâmica e contingencial de fatores físicos, tecnológicos e sócio-psicológicos que afetam a cultura e renovam os climas organizacionais, refletindo-se no bem-estar do trabalhador e na produtividade das empresas. Chiavenato (2009) argumenta que a Qualidade de Vida no Trabalho também está relacionada com

o nível em que os colaboradores de uma organização são capazes de satisfazer suas necessidades pessoais através de suas atividades laborais na organização.

Desta forma, a Qualidade de Vida no Trabalho não é determinada exclusivamente por características pessoais (necessidades, impulsos, expectativas, pensamentos, desejos e valores, etc.) ou situacionais (tecnologia, fluxos de trabalho, sistema de recompensas, condições do sistema econômico, político, etc.), mas pela interação desses dois conjuntos de fatores: indivíduo e organização (KANAANE, 2014).

Com efeito, a evolução da Qualidade de Vida no Trabalho teve início no final da década de 1950 dentro de uma concepção da QVT como uma variável, com a visão da reação do indivíduo ao trabalho. Neste período surgem as primeiras teorias que correlacionavam os elementos produtividade e satisfação (ALCOBIA, 2011). A partir da década de 1960 o foco desloca-se para o indivíduo e a humanização do trabalho (FERNANDES, 1996). Neste período as reivindicações e manifestações sindicais em países da América do Norte e Europa favorecem o desenvolvimento da investigação de Qualidade de Vida no Trabalho (MAGALHÃES, 2009). Durante a década de 1970, países como Alemanha, França, Suécia, Bélgica, constituem instituições nacionais com direções tripartidas compostas por representantes sindicais, empregadores e órgãos governamentais, com intuito de recolher dados, investigar e divulgar informações, visando, ainda, estimular a realização de estudos na área.

Conforme Cerdeira e Kovacs (2009) nos Estados Unidos ocorreu a aprovação e criação do Centro Nacional de Produtividade e Qualidade de Vida no Trabalho, surgindo também inúmeros centros e institutos orientados para consultoria. Por conseguinte, Ferreira, Neves e Caetano (2011) argumentam que neste período emergiram diversas abordagens relacionadas à satisfação e Qualidade de Vida no Trabalho, tais como os modelos de Lawler (1973), Bruggeman; Groskurth e Ulich (1975), Locke (1976) e Korman (1978). Fernandes (1996) cita que a ciência comportamental orienta-se pelas linhas de pesquisas de Oldham e Hackman (1970), Walton (1973), Westley (1979), Guest (1979), Boisvert (1980), Bergeron (1982), Werther e Davis (1983), entre outros.

Dentre estes, destaca-se o modelo teórico proposto por Walton criado em 1973, no qual distingue-se oito categorias conceituais com objetivo de analisar as características de Qualidade de Vida no Trabalho.

A Tabela 3 demonstra os critérios, objetivos e variáveis segundo o modelo proposto por Walton (1973) e, ainda, as questões elaboradas por Frossard (2009).



Critério	Objetivo	Variável	Perguntas
Condição de trabalho	Mensurar a QVT em relação às condições de saúde e segurança existentes nos locais de trabalho.	Jornada de trabalho adequada, ambiente físico seguro e saudável, ausência de insalubridade.	<p>1. Em relação a limpeza do seu ambiente de trabalho, você está?</p> <p>2. Em relação a arrumação do ambiente de trabalho, você está?</p> <p>3. Com relação a segurança no local de trabalho, você está?</p> <p>4. Quanto aos recursos disponíveis para o trabalho, você está?</p>
Organização no trabalho	Mensurar o equilíbrio entre trabalho e a vida pessoal do trabalhador.	Balanceamento da jornada de trabalho, horários estáveis, cobrança da carreira, convívio familiar e lazer e viagens.	<p>5. Quanto ao ritmo de trabalho, você está?</p> <p>6. Sobre as tarefas executadas no dia-a-dia, você está?</p>
Integração social	Medir a natureza das relações interpessoais, avaliando-se o grau de identidade laboral com a organização e com o grupo de trabalho, com falta de preconceitos, símbolos de status ou diferenças hierárquicas marcantes.	Inexistência de preconceito, igualdade de oportunidades, mobilidade funcional relacionamento interpessoal, senso comunitário e clima no ambiente organizacional.	<p>7. Quanto ao seu relacionamento com a sua chefia, você está?</p> <p>8. Quanto aos relacionamentos interpessoais, você está?</p> <p>9. Quanto ao reconhecimento do trabalho por incentivos não-financeiros, você está?</p>
Participação	Avaliar oportunidades que a organização oferece de desenvolvimento aos seus trabalhadores e melhorar o nível de satisfação quanto ao uso de conhecimentos e habilidades, evitando a obsolescência com oportunidades de progredir.	Oportunidade de carreira, crescimento pessoal, perspectiva de avanço salarial, segurança no emprego.	<p>10. Sobre o uso da criatividade e liberdade de expressão na execução das tarefas, você está?</p> <p>11. Em relação a repercussão das suas idéias e sugestões nas tarefas de trabalho, você está?</p> <p>12. Quanto a preocupação e investimento em treinamento e capacitação, você está?</p>
Saúde	Avaliar o grau de comprometimento da organização em relação aos direitos dos trabalhadores. Regras claras estabelecem direitos e deveres dos trabalhadores.	Direitos trabalhistas, direitos de proteção do trabalhador, privacidade pessoal, liberdade de expressão, tratamento impessoal e igualitário.	<p>13. Com relação a assistência a saúde, no ambiente de trabalho, você está?</p> <p>14. Sobre a preocupação da empresa com a sua saúde ocupacional, você está?</p> <p>15. Sobre as ações de instrução e conscientização da saúde, você está?</p>

Compensação	Avaliar a percepção dos trabalhadores em relação ao sistema de remuneração.	Remuneração adequada, equidade interna e externa, justiça na compensação, partilha de ganhos de produtividade e proporcionalidade entre salários.	<p>16. Comparando sua remuneração com a dos demais empregados da empresa, você está?</p> <p>17. Comparando sua remuneração, com a paga por outras instituições públicas e privadas, você está?</p> <p>18. Sobre os benefícios oferecidos pela empresa, você está?</p> <p>19. Comparando os benefícios oferecidos pela empresa com os oferecidos por outras instituições, você está?</p>
Comunicação	Trata das possibilidades que o trabalhador tem para aplicar seus conhecimentos e aptidões profissionais.	Autonomia, uso de múltiplas capacidades e habilidades, informações sobre o processo total de trabalho, significado da tarefa, retroalimentação	<p>20. Quanto a transparência, publicidade e conhecimento das metas institucionais, você está?</p> <p>21. Quanto a negociação e conhecimento das suas metas individuais, você está?</p> <p>22. Quanto a clareza e conhecimento das informações dentro da sua lotação, você está?</p> <p>23. Quanto ao fluxo de informações (facilidade de acesso e clareza nas informações), você está?</p>
Imagem da Organização	Avaliar a percepção dos trabalhadores quanto à responsabilidade social da organização, ao relacionamento com os empregados, aos aspectos éticos e de qualidade de seus produtos e serviços oferecidos para a sociedade.	Imagem da organização, responsabilidade social, responsabilidade pelos produtos e serviços oferecidos, práticas de recursos humanos, administração eficiente, valorização do trabalho e profissão.	<p>24. Como você percebe a imagem da empresa diante de seus servidores?</p> <p>25. Como você percebe a imagem da empresa diante da sociedade brasileira e do mundo?</p> <p>26. Qual sua satisfação com a responsabilidade social e ambiental da empresa?</p> <p>27. Qual sua satisfação com a preocupação da empresa com a qualidade dos serviços prestados a sociedade?</p> <p>28. Sobre sua qualidade de vida na empresa, você está?</p>

Tabela 3: Critério Condição de trabalho

Fonte: Camarini e Chamon (2011) e Frossard (2009)

### 3 | MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada nesta investigação é de carácter exploratória e descritiva. Como processo metodológico optou-se por uma revisão da literatura sobre Qualidade de Vida no Trabalho para alicerçar a investigação.

De seguida, aplicou-se um questionário em uma empresa de grande porte na região Centro-Oeste, composta por três unidades de beneficiamento de minério, distribuídas nas cidades de Catalão e Ouvidor. Dentre o total do efetivo, a equipe de manutenção/projetos possui 325 pessoas, sendo 145 de manutenção e 180 de projetos, distribuídos entre os turnos administrativo e rotativo.

Ademais, a amostra escolhida foram 18 funcionários da área construção de civil, selecionados nas equipes de manutenção preventiva, manutenção corretiva e projetos, tendo como cargo as funções de servente e pedreiro.

O instrumento de coleta de dados foi elaborado/validado por Frossard (2009) e contém 28 questões fechadas de múltiplas escolhas referentes à QVT do trabalhador numa escala Likert de cinco categorias: não satisfeito, pouco satisfeito, indiferente, satisfeito e muito satisfeito. Os dados foram analisados quantitativamente e tabulados no software Excel.

### 4 | RESULTADOS

É importante comentar que a equipe da manutenção preventiva atua em atividades programadas com uma semana de antecedência, não trabalha em feriados e finais de semana. Ademais, esta equipe é composta por 05 profissionais, sendo 02 funcionários próprios e 03 terceirizados. A equipe de manutenção corretiva executa as atividades emergenciais e em diferentes turnos de trabalho, feriados e finais de semana, sendo composta por 07 profissionais terceirizados. Já a equipe de projetos executa suas atividades de acordo com o planejamento de projetos da planta durante os dias úteis. Esta possui 06 profissionais terceirizados.

A seguir apresentam-se as análises em duas partes, a saber:

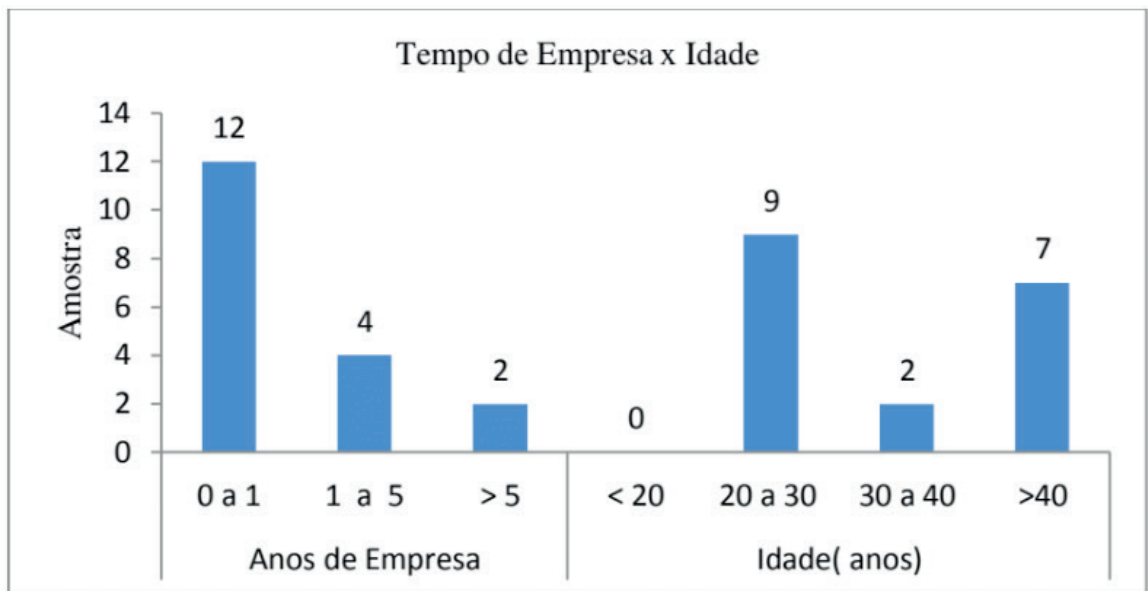
Parte 1: Perfil sócio-demográfico dos funcionários

Parte 2: Dados sobre Qualidade de Vida no Trabalho

#### 4.1. Parte 1 – Perfil Sócio-Demográfico dos Funcionários

##### Tempo de Empresa e Idade

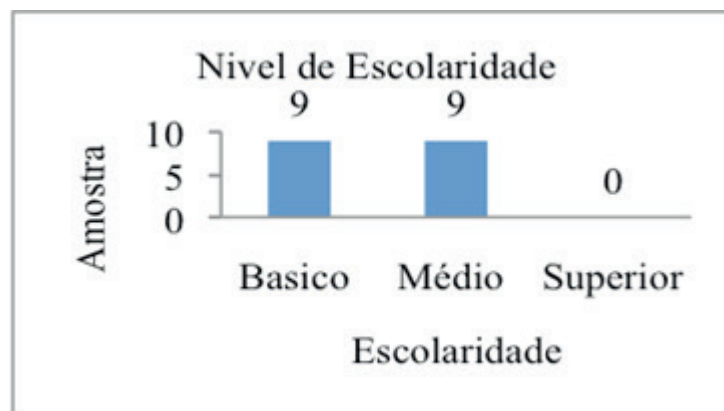
De acordo com a Gráfico 1, verifica-se que 50% da população analisada possui idade entre 20 a 30 anos, justificada pela necessidade de força física das atividades realizadas no setor. Aponta o tempo de empresa dos trabalhadores, demonstrando a motivação e as políticas de retenção dos profissionais pela empresa, percebe-se nesta amostra trabalhadores com 30 anos de empresa.



**Gráfico 1:** Perfil sócio demográfico – Tempo de empresa e Idade  
 Fonte: Elaboração própria

## NÍVEL DE ESCOLARIDADE

O Gráfico 2 apresenta o nível de escolaridade do efetivo: todos os funcionários possuem no mínimo o grau básico de instrução. O nível de instrução influencia diretamente nas condições de segurança do trabalho destes funcionários.



**Gráfico 2:** Perfil sócio-demográfico - Nível de Escolaridade  
 Fonte: Elaboração própria

## 4.2. Parte 2 - Dados Sobre Qualidade de Vida no Trabalho

Através do questionário elaborado por Frossard (2009) e aplicado na amostra, foram analisados 8 critérios de Qualidade de Vida no Trabalho. Ademais, para detalhar melhor a análise dos dados, a escala Likert foi reduzida à três categorias: não satisfeito e pouco satisfeito foram unificadas, tornando-se insatisfeito, enquanto as categorias satisfeito e muito satisfeito, tornaram-se satisfeito.

## Critério 1: Condição De Trabalho

A Tabela 4 demonstra que a maioria dos profissionais estão satisfeitos com as condições de trabalho, sendo que a equipe de projetos lidera o índice de satisfação com 83%. Entretanto, o maior número de insatisfeitos está na equipe de manutenção corretiva com 32%, relacionada a baixa disponibilidade de recursos para a execução das atividades corretivas. Já na equipe da manutenção preventiva, 5% dos trabalhadores apresentam-se indiferentes as condições de trabalho.

<b>Grau de Satisfação</b> \ <b>Equipe</b>	<b>Manutenção Preventiva</b>	<b>Manutenção Corretiva</b>	<b>Projetos</b>
<b>Satisfeito</b>	<b>75%</b>	<b>68%</b>	<b>83%</b>
<b>Insatisfeito</b>	<b>20%</b>	<b>32%</b>	<b>17%</b>
<b>Indiferente</b>	<b>5%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>

Tabela 6: Condição de trabalho

Fonte: Elaboração própria

## Critério 2: Organização Nno Trabalho

A Tabela 5 demonstra a satisfação total dos profissionais da manutenção preventiva, enquanto na equipe de projetos 69% dos funcionários também estão satisfeitos. Entretanto, a equipe de manutenção corretiva apresenta 50% de profissionais insatisfeitos, condição aferida nas questões relacionadas ao elevado número de atividades realizadas durante a jornada de trabalho. Ademais, a equipe de projetos e manutenção corretiva manifestam percentuais de indiferença superiores a 7%.

<b>Grau de Satisfação</b> \ <b>Equipe</b>	<b>Manutenção Preventiva</b>	<b>Manutenção Corretiva</b>	<b>Projetos</b>
<b>Satisfeito</b>	<b>100%</b>	<b>43%</b>	<b>69%</b>
<b>Insatisfeito</b>	<b>0%</b>	<b>50%</b>	<b>23%</b>
<b>Indiferente</b>	<b>0%</b>	<b>7%</b>	<b>8%</b>

Tabela 5: Organização no trabalho

Fonte: Elaboração própria

## Critério 3: Integração social

A Tabela 6 demonstra a satisfação dos profissionais com a integração social, sendo que a equipe de manutenção preventiva se posiciona em 1º lugar com o índice de satisfação de 93%. Todavia, a equipe de manutenção corretiva possui 29% de insatisfeitos devido a falta de reconhecimento do trabalho por incentivos não financeiros.

Nas equipes de manutenções preventiva e corretiva o percentual é superior a 5% de pessoas indiferentes em relação à integração social.

Equipe Grau de Satisfação	Manutenção Preventiva	Manutenção Corretiva	Projetos
	Satisfeito	93%	67%
Insatisfeito	0%	29%	11%
Indiferente	7%	5%	0%

Tabela 6: Integração social

Fonte: Elaboração própria

#### Critério 4: Participação

A Tabela 7 ratifica a satisfação da maioria dos profissionais da equipe de projetos relacionado ao critérios participação, sendo o índice de satisfação de 89%. No entanto, a equipe de manutenção corretiva possui 33% de insatisfeitos por três razões: falta de liberdade de expressão, repercussão de suas ideias e sugestões na execução das tarefas. Neste critério ocorreu o segundo maior índice de indiferentes, totalizando 14% das respostas dadas pela equipe de manutenção corretiva.

Equipe Grau de Satisfação	Manutenção Preventiva	Manutenção Corretiva	Projetos
	Satisfeito	87%	52%
Insatisfeito	13%	33%	11%
Indiferente	0%	14%	0%

Tabela 7: Participação

Fonte: Elaboração própria

#### Critério 5: Saúde

A Tabela 8 evidencia que todos os profissionais de projetos estão satisfeitos com este critério. Na equipe de manutenção preventiva o grau de satisfação aplica-se a 73% dos funcionários. Contudo, a equipe de manutenção corretiva possui 48% de funcionários insatisfeitos. Neste critério existe uma diferença entre as equipes, o time de projetos possui um plano de saúde mais abrangente que as outras equipes. Outro fator importante é a percepção da equipe de manutenção corretiva sobre a falta de preocupação da empresa com a saúde ocupacional dos funcionários.

Grau de Satisfação	Equipe		
	Manutenção Preventiva	Manutenção Corretiva	Projetos
Satisfeito	73%	52%	100%
Insatisfeito	27%	48%	0%
Indiferente	0%	0%	0%

Tabela 8: Saúde  
Fonte: Elaboração própria

### Critério 6: Compensação

A Tabela 9 demonstra a pior avaliação dentre os critérios avaliados. Apesar do percentual ser superior a 50% nas equipes de projetos e manutenção preventiva, percebe-se que neste item os profissionais avaliam a relação do nível de esforço envolvido com a baixa remuneração. O índice da equipe de manutenção corretiva é de 61% de insatisfeitos, resultado relacionado aos benefícios fornecidos pela empresa, enquanto 47% do total da amostra mostram-se indiferentes a este critério.

Grau de Satisfação	Equipe		
	Manutenção Preventiva	Manutenção Corretiva	Projetos
Satisfeito	58%	29%	63%
Insatisfeito	32%	61%	13%
Indiferente	11%	11%	25%

Tabela 9: Compensação  
Fonte: Elaboração própria

### Critério 7: Comunicação

A Tabela 10 demonstra a satisfação total da equipe de projeto, referente ao critério comunicação. As equipes de manutenção preventiva e corretiva a maioria dos funcionários estão satisfeitos. Agora a equipe de manutenção corretiva possui 36% de insatisfeitos, devido a falta de clareza e fluxo de informações eficiente. Somente a parte da equipe de manutenção corretiva foi indiferente ao critério, contabilizando 11%.

Grau de Satisfação	Equipe		
	Manutenção Preventiva	Manutenção Corretiva	Projetos
Satisfeito	80%	54%	100%
Insatisfeito	20%	36%	0%
Indiferente	0%	11%	0%

Tabela 10: Comunicação  
Fonte: Elaboração própria

## Critério 8: Imagem da Organização

A Tabela 11 demonstra que a maioria dos profissionais estão satisfeitos. Entretanto, a equipe de manutenção corretiva possui um percentual de 38% de satisfação com a imagem da organização. O fator principal para esta pontuação está relacionado a percepção da imagem da empresa entre seus funcionários e a qualidade de vida no trabalho. Para as equipes de manutenção preventiva e corretiva o percentual de indiferença para este quesito variou entre 4 a 13%.

Grau de Satisfação	Equipe	Manutenção Preventiva	Manutenção Corretiva	Projetos
	Satisfeito		69%	38%
Insatisfeito		27%	49%	25%
Indiferente		4%	13%	0%

Tabela 11: Imagem da organização

Fonte: Elaboração própria

## 5 | CONCLUSÕES

Com base nos questionários aplicados nas equipes de pedreiros e serventes que trabalham em dois grupos distintos (manutenção e projetos), podemos observar diferentes percepções de qualidade de vida e fatores mais importantes para cada grupo.

Com a análise nota-se que a equipe de manutenção corretiva está mais insatisfeita, sendo necessária uma intervenção nos critérios mais discrepantes tais como: Compensação, Organização no trabalho, Imagem da organização e Saúde. Esta mesma equipe possui o maior percentual de indiferença nas respostas, fato que abre possibilidades de novas avaliações.

Contudo a equipe de projetos possui os melhores índices de satisfação seguida pela equipe de manutenção preventiva.

O critério compensação foi o pior avaliado entre as equipes e em contrapartida foi o que houve maior percentual de indiferença nas respostas.

O critério integração social foi o critério que foi mais bem avaliado, demonstrando que o clima organizacional ainda prevalece devido ao esforço das pessoas e não da empresa.

Um quesito interessante é referente ao critério saúde, pois o time de preventiva é composto por uma mescla de efetivo próprio e terceirizado, sendo que o efetivo não próprio faz parte da mesma empresa dos profissionais que trabalham na manutenção corretiva, demonstrando que o tipo de atividade realizada influencia na avaliação do critério.



Durante a análise de dados observou-se que existem oportunidades de melhoria no questionário aplicado, nota-se que ainda é necessário mais informações para elucidar algumas dúvidas referentes a alguns quesitos, como por exemplo: estado civil e número de filhos do respondente.

Observou-se também um valor 94 % dos trabalhadores acreditam na necessidade de pesquisas sobre QVT no setor e a grande maioria dos entrevistados não teve dificuldade para preencher o questionário e não precisou de ajuda para responder.

Finalizando esta análise acredita-se que mais pesquisas devem realizadas nesta área, para que as corporações se preparem e os trabalhadores se tornem mais envolvidos e participativos, evitando agir com indiferença aos questionários aplicados. Nesta direção, é preciso avaliar as melhores praticas nos grupos de trabalho e aplicar nas equipes menos favorecidas.

## REFERÊNCIAS

- Antunes, Ricardo (2015). **Os sentidos do trabalho – Ensaio sobre a afirmação e a negação do trabalho**. Boitempo Editorial.
- Barnes, Ralph M. (1977). **Estudo de movimentos e de tempos: projeto e medida do trabalho**. Editora Edgard Blücher LTDA.
- Chamon, E. M. Q. (2011). **Qualidade de vida no trabalho**. Editora Brasport.
- Chiavenato, I. (2009). **Recursos Humanos – O capital humano das organizações**. Editora Campus
- Dejours, C. (1992). **A loucura do trabalho: estudo de psicopatologia do trabalho**. Tradução: PARAGUAY; A.N; FERREIRA; L.L. 5 ed. Ampliada. São Paulo: ed. Cortez – oboré.
- Fernandes, E. (1996). **Qualidade de vida no trabalho - Como medir para melhorar**. Casa da Qualidade Editora Ltda.
- Ferreira, J. M. C. e Neves, J. Caetano, A. (2011) **Manual de Psicossociologia das Organizações**. Escolar Editora.
- França, A.C.LL. (2003). **Qualidade de vida no trabalho-QVT- Conceitos e práticas nas empresas da sociedade pós-industrial**.
- Gonçalves, Sónia (2014). **Psicossociologia do trabalho e das organizações - Princípios e Práticas**. Editora Pactor.
- Kanaane, Roberto(2014). **Comportamento Humano nas Organizações- O Homem rumo ao século XXI**. Edit. Atlas,.
- Kovács, I, Casaca, S, F, Cerdeira, M C. Peixoto, J. (2014) **Temas atuais da sociologia do trabalho e da empresa**. Editora Almedina.
- Limongi-França, Ana Cristina(1996). **Indicadores Empresariais de Qualidade de Vida no Trabalho**. Tese (Doutorado em Administração) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo – São Paulo.

## O USO DA KAIZEN NO SETOR DE MONTAGEM

**Maikon Ricardo Peruchini**

FAMPER, Engenharia de Produção, Ampére -  
Paraná

**RESUMO:** O presente artigo visa demonstrar a aplicação da Filosofia Kaizen nos processos de montagem de barras hidráulicas agrícolas. Este método acarreta ganhos de produtividade e consequentemente financeiros para a empresa e menor tempo ocioso dos funcionários. Este artigo foi laborado por meio de levantamento bibliográfico e mediante estudo demonstrando o uso das ferramentas como a Kaizen, PDCA, 5S e Diagrama de Ishikawa no aperfeiçoamento contínuo da gestão da montagem. A filosofia, Nascida no Japão tem abordagem na importância da participação de todos os colaboradores, desde a diretoria até o nível operacional mais baixo no processo produtivo, que busca permanentemente melhorias para a sua implantação tendo objetivamente ganho de produtividade e redução no desperdício e consequente eficácia empresarial em ambiente operacional organizado e limpo.

**PALAVRAS CHAVE:** Kaizen, PDCA, 5S, Ishikawa.

**ABSTRACT:** This article aims to demonstrate the application of Kaizen philosophy in assembly processes of agricultural hydraulic

bars. This method leads to productivity gains and hence financial resources to the company and less downtime employees. This article was laboring through a literature review and study by demonstrating the use of tools such as Kaizen, PDCA, 5S and Ishikawa diagram in the continuous improvement of assembly management. Philosophy, born in Japan must approach the importance of participation of all employees, from the boardroom to the lowest operational level in the production process, that constantly seeks improvements to its implementation objectively with gains in productivity and reduction in wastage and consequent effectiveness business in an organized and clean operating environment.

**KEYWORDS:** Kaizen, PDCA, 5S, Ishikawa.

### 1 | INTRODUÇÃO

Com o mercado cada vez mais competitivo, as empresas buscam meios para se manterem e prosperar no ambiente dos negócios. Para tanto, fortalecer questões como eficiência e produtividade, podem resultar em características produtivas que levam a diferenciais positivos frente aos concorrentes. Nem sempre, uma empresa possui recursos financeiros para adquirir tecnologias que poderiam incrementar sua produtividade, também, estas aquisições,

não garantem o sucesso das melhorias por si só.

Em conjunto, ou mesmo, antes da aquisição de tecnologias que muitas vezes levam a necessidade de depender grandes somas financeiras do caixa da empresa, a aplicação de métodos de gestão e melhoria podem por si só promover alterações no ambiente produtivo que repercutem em grandes ganhos não só financeiros mas de qualidade, organização e produtividade.

A Kaizen é originária do Japão onde Kai significa mudança e Zen melhoria tendo o significado de “mudança para melhor” ou melhoria contínua em contexto geral, tem a ver com a mudança seja ela pessoal, ou familiar, afirmando que no modo de vida de qualquer pessoa merece ser constantemente melhorado pode ser também no trabalho ou na sociedade (IMAI, 1994).

Contextualizando que no pós guerra o Japão devastado se encontrava gravemente com problemas econômicos, a partir daí o país e seu empresariado foi obrigado a criar formas para a motivação e melhoramento do setor produtivo, para se reerguerem rapidamente como leis que fizeram com que as empresas voltassem parte do lucro delas para os funcionários como forma de salários. (BRIALES, 2005).

A metodologia envolve todos os gerentes e operários para o melhoramento, programa uma visão sistêmica admirativa diferente, pois dá ênfase para seus colaboradores para a prática da melhoria contínua em seu local de trabalho, tornando os colaboradores a peça fundamental para a melhoria contínua ou Kaizen (LARAIA; MOODY E HALL, 2009).

A Filosofia Kaizen foi à base para desenvolvimento de diversas ferramentas de qualidade como o 5S, Melhoria Contínua, PDCA e o Diagrama de Ishikawa.

O uso segundo Hornburg (2007), dessas ferramentas possibilita alcançar metas como eliminação dos desperdícios e, neste caso, a abordagem nos principais erros que vem constituindo para o custo e o tempo de processo no setor de montagem.

A Melhoria Contínua prega que é preciso eliminar qualquer falha seja ela humana ou máquina, que com isso acarreta em primeira estância o funcionamento e em segunda estância o custo, ou ainda, essa filosofia apoia as operações e a necessidade imediata de como o cliente espera a máquina, ou seja, ela com confiabilidade no processo e eficiência requeridos (IMAI, 1994).

Uma vez que essa atividade tem um procedimento de melhoria contínua para ser realizado com todos os colaboradores assim são treinados e monitorados, conseguindo ter um padrão de trabalho que permite diminuir as possibilidades de variação assim obtendo eficácia do processo (BRIALES, 2005).

O objetivo geral desta pesquisa é demonstrar os benefícios e os dados de aplicação da Filosofia Kaizen na indústria de montagem de barras hidráulicas. Dentre as ferramentas dessa filosofia, explana-se sobre a Melhoria Contínua, PDCA, 5S e Diagrama de Ishikawa.

Entendendo que as ferramentas de gestão estão em uma nova filosofia de administração, são úteis para detalhamento de erros e ajudá-la a superar as dificuldades

de solução dos mesmos.

As ferramentas também incorporam novos métodos e técnicas, ao realizar as mudanças necessárias ao seu desenvolvimento e a alcançar a qualidade do processo.

Neste contexto, especificamente tem-se: a utilização do 5S aumentando a organização e a higienização nos processos de montagem, separação e expedição de peças com o uso do PDCA para implantar melhorias de forma contínua na gestão de organização usando a ideia de todos os envolvidos para melhor condução dos métodos de trabalho de forma que seja em ciclo no processo.

A análise dos erros por meio do Diagrama de Ishikawa possibilita identificar e corrigir a causa dos erros com a ajuda da melhoria contínua para fazer com que os colaboradores tenham papéis de líderes para resolução de problemas e tendo responsabilidades no que estão fazendo (LARAIA; MOODY E HALL (2009).

A implantação destas ferramentas faz com que os colaboradores se sintam parte importante do processo de melhoria, cabendo a eles a coordenação e supervisão se está adequado, tendo a visão como um todo de clientes.

A pesquisa usa o método qualitativo e se fundamenta pela interpretação e análise, utilizando as informações que foram coletadas conforme a implantação dos métodos Kaizen no setor de montagem, colocando em prática as ferramentas como o ciclo PDCA, 5S e Diagrama Ishikawa.

Para a formulação e execução foram usados critérios de classificação na finalidade da pesquisa usando meios para evidenciar em abordagens o uso das ferramentas aplicadas nesse processo. (CAUCHIK, 2012)

Neste artigo, a pesquisa elaborada se classifica na finalidade de indagação do estudo, pois a procura da mudança de erros foi evidente por haver muitos custos e tempo em montagem ociosa, obtendo sancionar os erros com a metodologia pregada e listando as ocorrências de forma com sua natureza, caracterização a relações com os efeitos (SEVERINO, 2007).

O meio de investigação para o artigo científico foi adotar estudos documentais e bibliográficos e também a utilização de pesquisa em campo do setor envolvido coletando diretamente as ocorrências e os fenômenos ocorridos em forma de estudo e resolução dos problemas. (BARROS; LEHFELD, 2007).

## 2 | KAIZEN

A metodologia Kaizen, sob o ponto de vista do Kaizen Instituto (2009) tem como abordagem e explicação:

“É responsável pela implantação de um novo paradigma de organização do trabalho focalizado na criação de fluxo de materiais e de informação, no trabalho puxado em função das necessidades dos clientes, zero defeito e zero acidente. As organizações que conseguem pôr em prática esta metodologia alcançam vantagem competitiva extraordinária conseguindo atingir um grau de excelência operacional elevado”.

O sistema Kaizen foca e envolve todos os membros da organização a se motivarem encorajados a buscarem novas e pequenas formas de sugestões de melhoria regular, porém o sucesso da melhoria continua necessita da ajuda e da participação de todos, para com que as mudanças impostas sejam de real eficiência de implantação (BRIALES, 2005).

Na rotina da empresa e que englobem todos os setores para que constantemente seja melhorada, a estratégia da Kaizen objetiva que nenhum dia poderá passar em branco sem nenhum melhoramento em qualquer setor da empresa para buscar a eficiência produtiva e melhoramento da produção (BRIALES, 2005).

Segundo Laraia; Moody e Hall (2009) a Kaizen ou melhoria continua visa um conhecimento global e estabelece o aprendizado, e o trabalho em equipe que possibilita o crescimento humano com a vivência na troca de ideias, costumes e conhecimentos práticos de outros indivíduos tendendo maiores soluções eficientemente corretivas e inovadoras para a prática do trabalho e do setor social de cada membro colaborador.

O sistema Kaizen foca e envolve todos os membros da organização a se motivarem, encorajados a buscarem novas e pequenas formas de sugestões de melhoria regular, porém o sucesso da melhoria continua necessita da ajuda e da participação de todos para com que as mudanças impostas sejam de real eficiência de implantação na rotina da empresa (NEITO, 2010).

O Kaizen gera uma forma particular de pensar, voltada para o processo, e uma metodologia que apoia e reconhece os esforços para o melhoramento. Por meio desse conceito, os funcionários passam a incorporar a melhoria contínua aos seus cotidianos. A autonomia dada a cada funcionário é um fator de motivação para a prática e desenvolvimento das atividades de melhoria (BRIALES, 2005).

As organizações buscam estarem repetidamente melhorando seus desempenhos, por isso os gestores buscam introduzir a metodologia kaizen para a melhoria de eficiência focando na redução de custos, e de desperdícios decorrentes da produção, sensibilizando para isso os colaboradores para essa prática no alcance dos objetivos (IMAI, 1994).

Pautado por Ciconelli (2007) a melhoria continua que de modo geral seria a motivação e a criatividade dos participantes da produção para uma melhor realização do trabalho com menor desperdício e com um bom senso no uso de soluções impostas pelos funcionários.

Que a solução seja barata e que melhore consideravelmente os processos produtivos alcançando o sucesso nos produtos finais, adotando a cultura Kaizen como uma cultura organizacional para combater eficientemente os reais problemas da empresa (CICONELLI, 2007).

## 2.1 O Ciclo Pdca (Planejar, Fazer, Controlar, Agir)

A implantação das ferramentas da qualidade busca facilidade de operação e controle, a mais aplicada e a mais fundamental no processo Kaizen é o PDCA, como pode ser observada a sua estrutura na Figura 1, dada por sua abrangência e alcance, esse procedimento define a melhoria contínua por ser um ciclo, que permite acompanhar melhor o que ocorre com ações de execução de melhorias e aperfeiçoamento de forma sistemática e permanente (CARVALHO; PALADINI, 2012).

Segundo Slack (2009) o ciclo começa com o estágio P (planejar), que envolve o exame do atual método ou da área problema sendo estudada. Isso envolve coletar e analisar dados de modo a formular um plano de ação que melhore o desempenho. Uma vez que o plano de melhoria tenha sido concordado.

A próxima etapa é o estágio D (do, fazer). Este é o estágio de implementação durante o qual o plano é tentado na operação. Este estágio pode em si envolver um miniciclo PDCA para resolver os problemas.

A seguir vem o estágio C (controlar), em que a solução nova implementada é avaliada, para verificar se resultou na melhoria de desempenho esperado.

Estágio A (agir). Durante este estágio a mudança é consolidada ou padronizada, se foi bem sucedida. Alternativamente, se a mudança não foi bem sucedida, as lições aprendidas da “tentativa” são formalizadas antes que o ciclo comece novamente. O último ponto sobre o ciclo PDCA é o mais importante, e quando assim concluído o ciclo reinicia novamente.

Na Kaizen o ciclo PDCA auxilia com ênfase descobrir como chegar à produtividade sem dinheiro para investir, o único modo era ser criativo na base do processo, e já pensavam em cooperação dentro das fabricas. Assim os japoneses estavam desenvolvendo a confiança com os trabalhadores, foi onde nasceu os círculos de qualidade baseadas em alcançar seus objetivos com os próprios trabalhadores melhorando seus processos (LARAIA, 2009).



Figura 1 – Ciclo PDCA

Carvalho; Paladini (2012) enfatiza que os círculos da qualidade se tornaram um sucesso só depois que os gerentes aprendem como lidar com as pessoas, porém no

processo atual temos a padronização, não podemos fazer muitas melhorias fugindo dela, mais sim no processo de planejar um método de trabalho, faze - ló acontecer de forma simples e prática, controlando se está dentro do planejado ou do tempo de processo, caso não tenha, agir para melhoria continua.

## 2.2 5's

O movimento nasceu no da década de 1960 como esforço de reconstruir o Japão pós-guerra, no Brasil a metodologia chegou formalmente dos trabalhos pioneiro da Fundação Christiano Ottoni, liderada pelo professor Vicente Falconi, em 1991 hoje existe varias contribuições à metodologia mais que mantem a coerência com os princípios básicos (MARSHALL, 2012).

Segundo Marshall (2012) é um conjunto de cinco passos voltados para a mobilização dos colaboradores, através da implementação de mudanças no ambiente de trabalho, que inclui eliminação de desperdícios arrumação e limpeza, ou seja, um lugar para cada coisa e cada coisa no seu lugar.

O programa 5S é uma ferramenta de gestão simples, cuja proposta é promover no local de trabalho a organização, disciplina e limpeza, tornando um ambiente de trabalho agradável, seguro e produtivo segundo ALBUQUERQUE et al(2013 apud DA SILVA; LIOTTO; BRUCH, 2011).

Nesse contexto percebe-se que o programa de 5S analisa três dimensões: física, intelectual e social. A melhoria e adequação do layout referem-se à parte física. A realização de tarefas está ligada a área intelectual. Já o relacionamento e as atitudes do dia a dia estão ligados à parte social que o gerente deve tomar o espirito do grupo Kaizen para que isso vire padrão. (CARPINETTI, 2012)

Laraia; Moody e Hall (2009) definiram assim os 5S:

- \* Organização (Seiri): distinguir o necessário do desnecessário e eliminar o desnecessário;

- \* Arrumação (Seiton): definir um arranjo simples que permita obter apenas o que você precisa, quando precisa.

- \* Limpeza (Seiso): eliminar o lixo, a sujeira e os materiais estranhos, tornando o local de trabalho mais limpo. Limpeza como uma forma de inspeção.

- \* Padronização (Seiketsu): manter as coisas organizadas, arrumadas e limpas, incluindo os aspectos pessoais e os relacionados à poluição.

- \* Disciplina (Shitsuke): fazer naturalmente a coisa certa.

Em uma equipe de Kaizen a equipe começaria a identificação das ferramentas e materiais necessários num local de trabalho, após organizaria os materiais necessários identificando claramente os locais para tudo, a limpeza vem logo após para deixar o local insalubre sem resíduos espalhados ou peças jogadas e padronizar, fazer com que vire costume padrão da sequencia de passos, e a ultima seria a sustentação, pois a equipe não pode trilhar por sua conta, a gerência é chave para garantia de

sustentação (LARAIA; MOODY E HALL, 2009).

Os benefícios com o cinco “S” são a melhoria do ambiente de trabalho, a redução de desperdícios e a melhoria da produtividade, havendo também um teor de redução de tempo grande, pois o layout deve se manter organizado sem tempo improdutivo em correr atrás de peças perdidas (CARPINETTI, 2012).

### 2.3 Diagrama de Ishikawa

Conforme Marshall (2012), criado por Kaoru Ishikawa, o diagrama que tem a forma de uma espinha de peixe é um gráfico cuja finalidade é organizar o raciocínio e a discussão sobre as causas de um problema prioritário de qualidade. É utilizado após uma sessão de brainstorming, para organizar as ideias geradas, pois facilita a visualização dos fatores que podem estar causando os problemas.

As contribuições de Ishikawa tem base em influencias de Deming e Juran, pois as suas contribuições são o desenvolvimento e a implantação de uma visão ampla em qualidade buscando fatores humanos como ênfase em desenvolvimento e aplicação de suas ferramentas. Ishikawa acreditava que a qualidade total dentro de uma organização implicava na participação de todos nos trabalhos que buscam o coletivo ao invés do individual assim impactavam em círculos de controle de qualidade o que enfatiza um modelo mais amplo (CARPINETTI, 2012).

Uma das definições usadas por Ishikawa de qualidade seria “Qualidade é satisfazer radicalmente ao cliente, para ser agressivamente competitivo”. Na verdade na atualidade a colocação da qualidade em um contexto amplo, em que a qualidade não é vista como uma forma isolada, mais sim inserida em um modelo que consiste em aspectos essenciais de sobrevivência da organização cuja e os afeta e influencia (CARVALHO; PALADINI, 2012).

Carpinetti (2012) afirma que as ferramentas da qualidade são mecanismos simples para implantar, selecionar e avaliar alterações no processo produtivo, por meio de análises objetiva em partes definidas do processo, o objetivo das alterações pressupostas é gerar melhorias.

Laraia; Moody e Hall (2009) aborda que, para elaboração do diagrama de Ishikawa é muito importante o uso do Brainstorming, com todos os envolvidos do processo ninguém melhor que eles para saber os reais problemas de processos que ocorre, e assim listados conforme especificação de onde está efetivo o erro, se possível listar também algumas formas de resolução, é importante para fazer a melhoria continua.

Porém as ferramentas por si só não gera melhoria e nem implanta alterações, o que ela faz é orientar o usuário para conhecer passo a passo de como ocorrer uma melhoria de processo. As ferramentas são simples, o objetivo é sempre o mesmo produzir qualidade ou inspeção de qualidade para vistoriar em que pés andam o processo. (CARPINETTI, 2012).

O Diagrama de Ishikawa ou espinha de peixe como conhecida considera que



os processos podem ter seis tipos diferentes de causas principais: método, matéria-prima, máquinas, mão-de obra, medição e meio ambiente (MARSHALL, 2012).

### 3 | APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS – SETOR DE MONTAGEM

O processo de montagem dos produtos tem como principal objetivo as operações de componentes necessários para formular um produto final e agregar valor e funcionalidade ao item produzido, para que ocorra dentro dos padrões do projeto que vai realizar (NETO, 2011).

Conforme Neto (2011), um dos desafios da gestão de montagem seria o tempo que se leva para montar uma barra/máquina e está em administrar a necessidade das peças em estoque para atender a demanda no mais alto padrão em qualidade sem agregar custos adicionais.

Com a implementação das ferramentas as iniciativas de coleta de dados na área de montagem estão sendo beneficiadas com uma série de melhorias que visam a um melhor desempenho geral do setor. O aumento da disseminação dos conhecimentos técnicos resulta em uma significativa melhora na aplicação de novas técnicas, equipamentos e processos, que promovem melhores resultados da montagem (SLACK, 2009).

Tradicionalmente os produtos fabricados devem ser mandados para a gestão da montagem para que possam ser acoplados ou juntados no produto final.

Já Pinho (2008) em uma visão moderna, entende-se que o setor da montagem exerce importante influência na rentabilidade da empresa, na medida em que as peças são absorvidas e revertidas em capital assim investido de outras maneiras na produção.

O estudo foi elaborado em uma empresa de pulverizador agrícola no setor de montagem onde teria maior número de ocorrências no processo refletidas na satisfação do cliente.

A gestão de montagem na empresa passa por grandes falhas, que na maior parte é fator humano como o esquecimento de apertos de porcas em setores fundamentais onde a trabalho de peças acopladas, ocorrendo erro de montagem e assim custos de modo alto e qualidade respectiva baixa.

Partir de então foi estudado e relatado os maiores defeitos conforme a Figura 1 abaixo relatando as ocorrências através do diagrama Ishikawa após entrega do produto, em 60% das máquinas entregues houve falhas no setor de montagem havendo um prejuízo enorme e queda da qualidade iminente.

Segue na Figura 1, o quadro da implantação do Diagrama de Ishikawa.

Como observado na Figura 1 a condução e a montagem dos dados teve ajuda diretamente dos colaboradores para a execução de melhorias de trabalho visando essencialmente o fator humano que é parte fundamental da empresa.

Conforme Slack (2009), nenhuma empresa pode planejar sem detalhamento de todos os aspectos de suas ações atuais e futuras, mas todas as organizações necessitam de alguma direção ou melhorias seja ela focada em pessoas, processos ou gestão e assim beneficiar - se ao saber que estão se dirigindo certo.

Segundo Laraia; Moody e Hall (2009) o Kaizen é um processo de melhoria de uma determinada área, elevando os níveis de desempenho em um curto prazo. Para que isso ocorra, as análises são baseadas em metodologias e ferramentas de Lean Production.

A equipe Kaizen deve ser multidisciplinar e ser formada por indivíduos escolhidos rigorosamente. Isso permite que diversas visões sejam abordadas nesse evento, seja de um engenheiro de produção que está mais voltado ao planejamento das atividades, ou seja, de um operário que convive diariamente com o processo analisado.

Com a ajuda da Kaizen os passos de melhoria foram elaborados com ajuda dos colaboradores de onde estavam os maiores erros num treinamento geral todos aderiram à melhoria contínua diariamente pelo qual cada setor correspondente teria comprometimento.

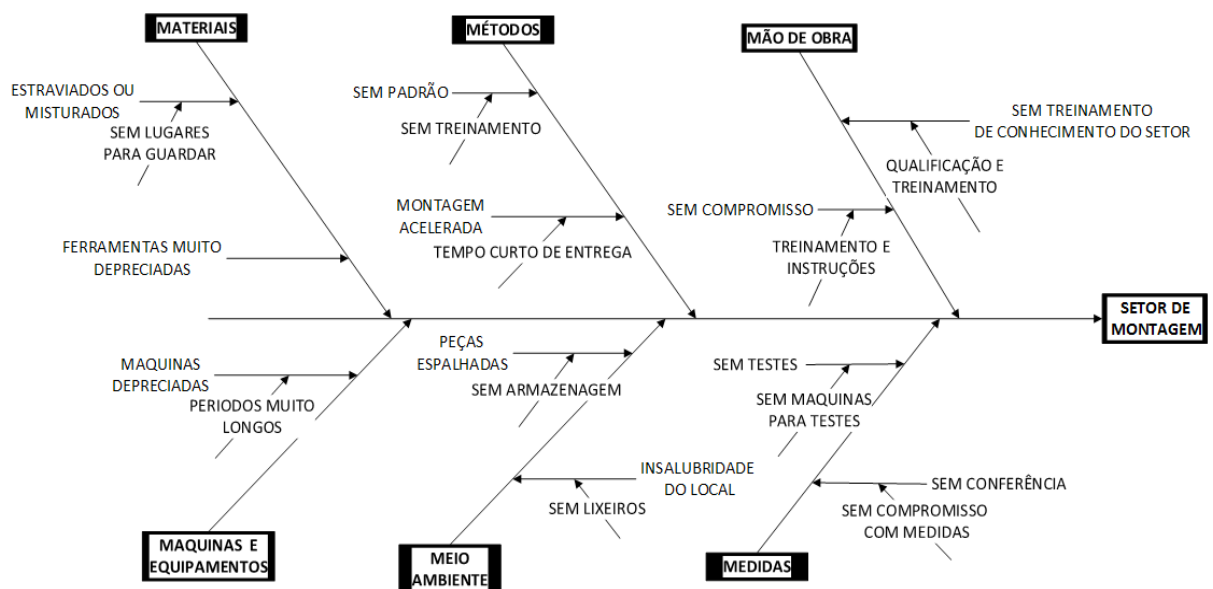


Figura 1: Modelo de Diagrama de Ishikawa aplicado

Com a implantação da Kaizen na empresa houve uma melhora de 40% no tempo de na movimentação dentro do processo de montagem do pulverizador no primeiro mês, pois notava- se que estavam mais comprometidos com a qualidade do processo e o tempo também caiu em 30% passando então para um patamar de qualidade assim ganhando novos mercados.

A estratégia de trabalhar a redução destes índices no setor mostrou-se importante. A qualidade deve ser perseguida em todas as etapas o que promove o maior desenvolvimento da organização e gera a diminuição de custos.

O trabalho revelou a importância do fator humano para o desenvolvimento satisfatório de medidas de redução das falhas no setor de montagem, além do maior

comprometimento conseguido com o gerenciamento das ações, foi possível capacitar mais ainda os colaboradores para o desempenho eficaz de suas funções adotando medidas estratégicas da gestão.

Para tornar esta gestão eficiente foi implantado o 5s uma ferramenta muito útil e de muita importância, pois o tempo perdido no setor da montagem em procurar peças era grande, na questão de lixo e organização, era precário antes da implantação, que após o término de trabalho a limpeza deve ser feita por todos, pois todos tem o dever de limpar seu local de trabalho.

A aplicabilidade do 5S ofereceu um novo clima e redução de tempo em procurar peças perdidas em 50 % apenas colocando tudo em seu devido lugar em painéis e estantes com respectivos nome após cada montagem, a disciplina e responsabilidade cresceu dentro dos colaboradores pois para a mudança acontecer deve ocorrer a partir deles.

Com o PDCA foi trabalhado a parte de método de como fazer a montagem mais rápida e eficiente usando a kaizen para formular novos métodos, foi comprado ferramentas e máquinas que ajudaram e muito em questão de tempo, qualidade e custos.

Todo o mês se faz uma reunião para informatizar de que o método PDCA estaria eficientemente no processo, e para efetuar algumas mudanças na forma de planejar, fazer, controlar e agir no setor da montagem mantendo um ciclo no processo.

Na Tabela 1, segue o detalhamento algumas causas mais relevantes e planos de ação elaborados com a ajuda de todos do processo e um prazo pra concretar a ação.

Também foram apresentadas na Tabela 1 as ações práticas usadas para a causa listada a empresa buscou a sistematização do menor tempo e eficácia do setor de montagem e uma vantagem de expansão de capacidade, podendo também ser obtida examinando as consequências de custo na adição dessas melhorias.

Quando identificadas e melhoradas as oportunidades, a evolução proporcionará redução dos tempos, custos, e demais implicações que se referem ao processo. Dentro dos tempos produtivos não são contemplados os tempos de deslocamentos realizados para montagem dos materiais, portanto esses tempos devem ser os menores possíveis.

Planejamento (seu problema)			
Seu problema	Montagem		
Execução (planos de ação)			
Causa	Plano de ação	Responsável	Início
Estraviados ou misturados	Painel de ferramentas	AB	12/11/2014
Sem padrão de montagem	Treinamento e planilhas de padrões	CD	18/11/2014
Máquinas depreciadas	Realizar manutenção preventivas	EF	16/11/2014
Sem testes após a montagem da máquina.	Testes obrigatórios com selo final	GH	19/11/2014

Tabela 1 - Uso do PDCA

A tabela 1 evidencia a implantação do PCDA na execução de melhorias através da kaizen como melhoria continua do processo.

A dificuldade de localizar os materiais implica em perdas de tempos que deveriam estar sendo empregados de forma produtiva e agregadora de valor, portanto a busca de redução destes tempos através da facilidade de localização dos itens, também se torna parte importante da melhoria abortada.

Porém a aplicabilidade do PCDA estava em haver erros e tempo de processos longos que eram cotidianos com o uso do método de Ishikawa para listar os reais erros que eram fundamentais mudar, a ferramenta PCDA tem uso junto à kaizen em planejar as ações da primeira fase do processo. Só depois de estar claro quem são os responsáveis, o que eles precisam fazer e como, a partir de então deve dar início a fase de execução das ações.

Depois do plano de ação ser executado é quando no consenso comum a atividade se encerra, mas pelo PDCA ainda temos metade do trabalho pela frente e justamente a metade que vai garantir que a atividade atinja os resultados esperados que seja estudar e acompanhar tudo que foi feito para ter certeza que os esforços atingiram os objetivos, e sempre que houver possibilidade de melhoria ou forem identificados desvios, a correção entra em cena e o ciclo PDCA começa novamente utilizando a kaizen como ferramenta mãe.

Após tudo ser mudado o processo passou a ter um método de montagem e de gestão mais rigorosa e padronizada o tempo antes do processo sem melhoria era de um dia para a concretização de uma montagem em maquina completa com pulverizador, após a aplicabilidade das ferramentas e do modo de gestão melhorado passou a ser em 4 horas, porém isso tudo em um montador racionalizando assim tempo e custos operacionais envolvidos no processo.

A mudança feita na parte de ferramentas como compra de parafusadeira pneumática para apertos de porcas tendo custo de R\$ 98,50, também aplicada no layout de chaves num custo de R\$ 150,00, ou seja, penduradas onde há visão delas e equipamentos em prateleiras em devidos lugares após cada montagem o uso da organização e limpeza é obrigatoriedade.

As aplicações se deram através de estudo a satisfação do cliente e análises de erros relativos aos setores da montagem e produção onde na produção foram também melhoradas partes onde o problema era critico de peças foram mudados onde antigamente se usava muitas chapas em pequenas quantidades hoje foi descontinuado o uso de chapas e passado a ideia de reaproveitamento de materiais que sofriam descartes como pedaços de tubos minimizando custo e tempo.

Depois dessas mudanças e padronização do processo na produção através de fluxograma e treinamento e mudanças no layout trouxe menor tempo de produção de 5 dias para 4 dias torno de 18%, reservando assim um dia de organização e limpeza, pois os colaboradores deixaram de percorrer distâncias longas para busca de materiais e tempo, pois antes se fazia muitas peças dentro da empresa e consumia tempo e

mão de obra hoje com a padronização esses materiais são comprados com qualidade muito além do que se fabricava.

Essas mudanças feitas não só na parte da montagem de alcance e melhora em tempos e custos trouxe mais satisfação ao cliente que de tal forma é importante para a competitividade da indústria, essas ferramentas objetivam eliminar desperdício e racionaliza o tempo para ser mais competitivo.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo permitiu compreender que a filosofia Kaizen e os outros métodos abordados e utilizados na empresa podem trazer resultados muito satisfatórios sem onerar as receitas financeiras e ainda causar impactos positivos na motivação da equipe de trabalhadores, pois, os resultados são visíveis e sustentáveis.

A implantação não exige grande demanda de recursos financeiros e intelectuais, basta à disponibilidade parcial de uma determinada equipe da empresa, sendo ela de qualidade ou não, para execução da metodologia e formação da equipe, assim, os resultados são sem dúvida muito satisfatória.

A implantação dessas ferramentas deve se em conta hoje na busca de inovações com esforço intensivo de curto prazo para melhorar drasticamente o desempenho analisando o processo usando pensamento inovador para solidificar os ganhos, tendo como comprometimento dos trabalhadores e foco na empresa com uso de baixa tecnologia ajustando uma metodologia simples e comum.

Para as organizações que estão em busca de maneiras mais adequadas para o aumento da competitividade e melhoria contínua, e também, por sua constante aplicação na empresa tendo focado nas pessoas que são o coração da empresa para a melhoria do trabalho desses, e para o bem estar ocupacional.

A importância da implantação das metodologias tem como competências a melhoria e racionalização não só da empresa mais sim da parte social e pessoal do colaborador, pois tudo na vida precisa ser mudado ou acrescido de algo, ou seja, temos que mudar e adotar o espírito de mudança continua sempre.

Uma vantagem dessa abordagem é que se difere dos processos tradicionais de melhoria continua porque é quase inteiramente baseado em ação e seu custo é muito baixo por utilizar elementos existentes já na empresa, o que se torna muito viável para os empresários com medo de gastar absurdos para alcançar uma perspectiva de lucro e melhoria na empresa.

Tanto no Brasil como em outros países, o processo de melhoria contínua esta ligado diretamente a dois fatores: um a cultura e o outro ao total envolvimento da alta gestão, implantar um processo de melhoria nas empresas, antes de tudo a diretoria tem que dar total apoio, mesmo não tendo total conhecimento da filosofia, tem que se ter muita disciplina, criar as regras e fazer cumpri-las para avanço da competitividade no mercado.

## REFERÊNCIAS

**ALBUQUERQUE, Renan Blanco de et al.** *A qualidade nos processos de armazenagem: Uma proposta de implantação 5S na RR Alumínio.* In: IX Congresso Nacional De Excelência Em Gestão 20, 21 e 22 de junho de 2013. Disponível em: <[http://www.excelenciaemgestao.org/Portals/2/documents/cneg9/anais/T13\\_0575\\_3301.pdf](http://www.excelenciaemgestao.org/Portals/2/documents/cneg9/anais/T13_0575_3301.pdf)>. Acesso em 03/09/2015.

**BARROS, Aidil Jesus da Silveira; LEHFELD, Neide Aparecida de Souza.** *Fundamentos de metodologia científica.* 3. Ed. São Paulo: Pearson Makron Books, 2007.

**BRIALES, Aragon Junior.** *Melhoria Contínua Através do Kaizen: Estudo de Caso DaimlerChrysler do Brasil* 2005. 156f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Gestão) – Universidade Federal Fluminense, Niterói.

**CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro.** *Gestão da qualidade: Conceitos e técnicas.* 2. Ed. São Paulo: Atlas, 2012.

**CARVALHO, Marly Monteiro; PALADINI, Edson Pacheco.** *Gestão da Qualidade.* 2. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2012.

**CAUCHIK, Paulo Miguel Augusto.** *Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações.* 2. Ed. Rio de Janeiro: Campus – Elsevier, 2012 v1. 260p.

**HORNBURG, Sigfrid.** *Introdução da filosofia de melhoria contínua nas fábricas através de eventos Kaizen.* XXVII Encontro De Engenharia De Produção. Foz Do Iguaçu. 09 A 11 De Outubro De 2007

**IMAI, Masaaki.** *Kaizen. A estratégia para o sucesso competitivo.* 5. Ed. São Paulo: Imam, 1994.

**LARAIA, A.; MOODY, P.; HALL, R..** *Kaizen blitz: processo para alcance da melhoria continua nas organizações.* São Paulo: Leopardo, 2009.

**MARSHALL, Junior Isnard.** *Gestão da Qualidade.* Rio de Janeiro: FGV, 2012.

**NEITO C. J. O; Martins E.** *Melhoria contínua de produtividade no chão de fábrica utilizando metodologia kaizen – estudo de caso em indústria cosmética.* Simpoi anais. 2010.

**NETO, Marcelo Massarolo.** *Proposta De Alteração Do Layout Do Setor De Montagem De Uma Indústria De Fundição De Alumínio.* UDESC, Joinville. 2011

**PINHO, Mauro Ottoboni.** *Estudo Prospectivo do Setor Siderúrgico: NT ENGENHARIA DE MONTAGEM.* Brasília. 2008

**SEVERINO, Antônio Joaquim.** *Metodologia do trabalho científico.* 23. Ed. rev. E atual. São Paulo: Cortez, 2007.

**SLACK, Nigel et al.** *Administração da produção.* 3. Ed. São Paulo: Atlas, 2009.

## **SOBRE OS ORGANIZADORES**

**Franciele Bonatto** Professora assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação e mestrado em engenharia de produção pela UTFPR e doutorado em andamento em Engenharia de Produção pela mesma universidade. Trabalha com os temas: gestão da qualidade, planejamento e controle da produção e cadeia de suprimentos.

**Henrique Ajuz Holzmann** Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná Doutorando em Engenharia e Ciência do Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

**João Dallamuta** Professor assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Engenheiro de Telecomunicações pela UFPR. Especialista em Inteligência de Mercado pela FAE Business School. Mestre em Engenharia pela UEL. Trabalha com os temas: Inteligência de Mercado, Sistemas Eletrônicos e Gestão Institucional.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-85107-77-2

