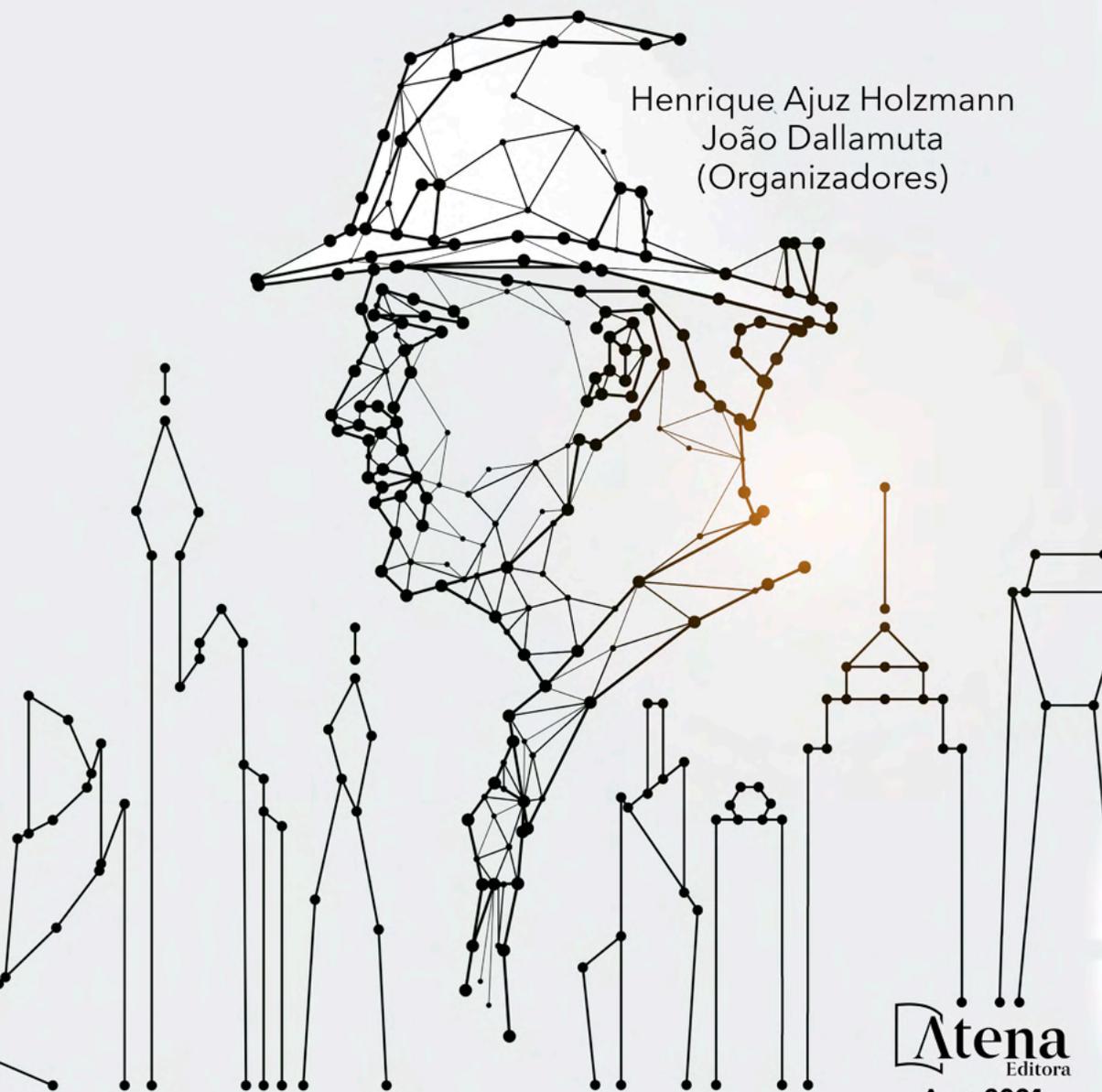


Engenharias:

da genialidade à profissão e
seu desenvolvimento

2

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)



Atena
Editora

Ano 2021

Engenharias:

da genialidade à profissão e
seu desenvolvimento

2

Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)



Atena
Editora

Ano 2021

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2021 Os autores

Copyright da edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Engenharias: da genialidade à profissão e seu desenvolvimento 2

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Bruno Oliveira
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadores: Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia: da genialidade à profissão e seu desenvolvimento 2 / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2020.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-5983-624-6
DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.246211811>

1. Engenharia. I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Dallamuta, João (Organizador). III. Título.
CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, desta forma não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

APRESENTAÇÃO

O ramo das engenharias veem ganhando cada vez mais espaço no decorrer dos anos, sendo hoje um dos principais pilares para o setor empresarial. Analisar os campos de atuação, bem como pontos de inserção e melhoria dessa desta área é de grande importância, buscando desenvolver novos métodos e ferramentas para melhoria continua de processos.

Desta forma estudar temas relacionados a engenharia é de grande importância, pois desta maneira pode-se aprimorar os conceitos e aplicar os mesmos de maneira mais eficaz. O aumento no interesse se dá principalmente pela escassez de matérias primas, a necessidade de novos materiais que possuam melhores características físicas e químicas e a necessidade de reaproveitamento dos resíduos em geral. Além disso a busca pela otimização no desenvolvimento de projetos, leva cada vez mais a simulação de processos, buscando uma redução de custos e de tempo.

Neste livro são apresentados trabalho teóricos e práticos, relacionados a área de engenharia, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais. Sendo hoje que utilizar dos conhecimentos científicos de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann

João Dallamuta

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ANÁLISE MODAL E REPRESENTAÇÃO MUSICAL APLICADAS AO DESIGN DE ESTÚDIOS DE PRODUÇÃO FONOGRÁFICA

José Augusto Mannis

Tiago Ferreira Mattos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2462118111>

CAPÍTULO 2..... 33

A REVOLUÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 E OS PASSOS PARA SUA APLICAÇÃO NA MINERAÇÃO

Rafaela Baldi

Karina Livia Ribeiro Vieira

Mariana Ivo Machado Fernandes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2462118112>

CAPÍTULO 3..... 44

CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DAS ROCHAS ENCAIXANTES DA CAMADA DE CARVÃO BARRO BRANCO DA BACIA CARBONÍFERA SUL-CATARINENSE

Clovis Gonzatti

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2462118113>

CAPÍTULO 4..... 73

REAPROVEITAMENTO DE FINOS DE PEDREIRAS: A UTILIZAÇÃO DO PÓ DE ROCHA COMO REMINERALIZADOR DE SOLO

Ana Olivia Barufi Franco-Magalhães

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2462118114>

CAPÍTULO 5..... 80

BIODIGESTÃO DE POME COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA E AMBIENTAL EM PLANTA DE PRODUÇÃO DE ÓLEO DE PALMA

Daniel Dominguez Carvajal

Ana Marcela Mosquera Mena

John Alejandro Ruiz

Francisco José Molina Pérez

Carlos Alberto Peláez Jaramillo

Mariana Peñuela Vásquez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2462118115>

CAPÍTULO 6..... 88

AULA PRÁTICA DE MONTAGEM DE UMA UNIDADE SANITÁRIA DE PLÁSTICO RECICLADO RELATO DE EXPERIÊNCIA

Maria Aridenise Macena Fontenelle

Thaís Russiely Guedes Martins

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2462118116>

CAPÍTULO 7..... 98

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA LAGOA DO COLOSSO, MUNICÍPIO DE FORTALEZA, CEARÁ: CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO INSTITUTO FEDERAL DO CEARÁ - IFCE

Georgia Kelly Terto Galvao

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2462118117>

CAPÍTULO 8..... 104

MEASUREMENTS OF GAMMA, NEUTRONS, RAINFALLS, AND POSSIBLE CORRELATIONS IN TROPICAL REGION OF BRAZIL

Inacio Malmonge Martin

Mauro Angelo Alves

Marcelo Pêgo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2462118118>

CAPÍTULO 9..... 111

APLICAÇÃO DO DESACOPLAMENTO ENTRE MALHAS DE CONTROLE EM REATOR CONTÍNUO DE TANQUE AGITADO (CSTR)

Mário Luiz Pereira Souza

Emilly Damiani Nunes Prates

Saulo Fernando dos Santos Vidal

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2462118119>

CAPÍTULO 10..... 126

GESTÃO DE FADIGA DE OPERADORES DE CAMINHÕES FORA DE ESTRADA: ESTUDO DE CASO EM UMA MINA A CÉU ABERTO

Pedro Henrique Evangelista Porto

Samuel Lourival Diamantino

Leandro Geraldo Canaan Silveira

Eduardo Augusto Malta

Juliano Alves dos Reis

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.24621181110>

CAPÍTULO 11..... 136

CHARACTERISTICS OF Pb²⁺ DOPED CsI MATRIX UNDER GAMMA AND NEUTRON EXCITATIONS

Maria da Conceição Costa Pereira

Tufic Madi Filho

José Roberto Berretta

Lucas Faustino Tomaz

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.24621181111>

CAPÍTULO 12..... 148

OTIMIZAÇÃO DO SABOR DE UMA BEBIDA UTILIZANDO O MÉTODO DE TAGUCHI

Matheus Sousa Garreto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.24621181112>

CAPÍTULO 13.....	161
INTERLIGANDO O CICLISMO	
Alexandre Passos Pagin	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.24621181113	
CAPÍTULO 14.....	165
PERCEÇÃO DOS EGRESSOS SOBRE A QUALIDADE DOS CURSOS DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE – UPM	
Leila Figueiredo de Miranda	
Terezinha Jocelen Masson	
Antonio Hortêncio Munhoz Jr.	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.24621181114	
SOBRE OS ORGANIZADORES	178
ÍNDICE REMISSIVO.....	179

CAPÍTULO 1

ANÁLISE MODAL E REPRESENTAÇÃO MUSICAL APLICADAS AO DESIGN DE ESTÚDIOS DE PRODUÇÃO FONOGRÁFICA

Data de aceite: 01/11/2021

Data de submissão: 20/09/2021

José Augusto Mannis

Universidade Estadual de Campinas
(Unicamp), Instituto de Artes, Depto. de Música,
Laboratório de Acústica e Artes Sonoras
(LASom)
Campinas – SP
<http://lattes.cnpq.br/6940068973325101>
<https://orcid.org/0000-0002-9484-5674>

Tiago Ferreira Mattos

Estúdio Codimuc
Taubaté, SP
Brooks Acoustics Corp
Vernon, CT, EUA

RESUMO: Este trabalho relata e desenvolve uma análise acústica realizada em 2015, apresentando a fundamentação teórica e a metodologia adotada; discutindo resultados obtidos e apontando para novas perspectivas de pesquisa. Como métodos inovadores destacam-se a análise do comportamento modal em acústica de salas pelo *Critério de Bonello* a partir de resultados obtidos por simulação por elementos finitos; a inclusão de representação musical para dar mais visibilidade a imagens mentais próprias à escuta humana. Medições acústicas realizadas nas duas salas simuladas, depois de construídas e devidamente instaladas de mobiliário e equipamentos, permitiram estender a análise a

outros aspectos de interesse como a disposição dos monitores de áudio. Este estudo é uma segunda versão revisada de palestra ministrada 14º Congresso de Engenharia de Áudio realizado pela Sociedade Brasileira de Engenharia de Audio (AES Brasil) em maio de 2016, em São Paulo sendo originalmente publicada nos Anais¹ deste evento.

PALAVRAS-CHAVE: Acústica de salas; Conforto ambiental; Engenharia de áudio; Estúdio de produção fonográfica; Sala de audição crítica.

MODAL ANALYSIS AND MUSICAL REPRESENTATION APPLIED TO AUDIO RECORDING STUDIO DESIGN

ABSTRACT: This work describes and develops an acoustic analysis carried out in 2015, presenting a theoretical foundation and the methodology adopted; discussing the results obtained and pointing to new research perspectives. As innovative methods, the analysis of modal behaviour in room acoustics using the Bonello Criteria from results obtained by finite element simulation results are highlighted; the inclusion of musical representation give us more visibility to mental images proper to human listening. Acoustic measurements carried out in the two simulated rooms, after building and properly installed furniture and equipment, allowed the analysis to be extended to other aspects of interest such as the arrangement of audio monitors. This study is a second revised version of a lecture given 14th Congress of Audio Engineering conducted by the Brazilian Society of Audio Engineering (AES Brazil) in May 2016 in Sao Paulo and originally

¹ http://aesbrasil.org.br/wp-content/uploads/2018/anais/Anais_AESBR2016.pdf

published in the Proceedings of the event.

KEYWORDS: Room acoustics; Environmental comfort; Audio engineering; Phonographic production studio; Critical listening room.

1 | INTRODUÇÃO

Os comprimentos de onda das baixas frequências que caracterizam as salas são comparáveis às suas próprias dimensões. Isso significa que temos muito mais frentes de onda que se deslocam, do que raios acústicos. Segundo Gerges, a teoria de geometria ou raio acústico é inadequada para estudar o comportamento acústico de salas para baixas frequências. A mais adequada é a teoria da análise modal, na qual a sala pode ser tratada como um ressonador complexo comportando vários modos acústicos, cada um com uma frequência característica de ressonância e amortecimento (GERGES, 2000). Os modos de vibração em acústica de salas estão especificamente vinculados às ondas estacionárias que se estabelecem em seu volume interior única e exclusivamente por propagação aérea. Existem três tipos de modos característicos de uma sala retangular: (1) *Modos Axiais*, referentes a ondas estacionárias resultantes da propagação na direção de uma única linha, ou melhor, reta, portanto, entre superfícies paralelas. Se a sala for perfeitamente retangular e a origem estiver num de seus vértices, os modos axiais se alinharão aos eixos (x , y e z); (2) *Modos Tangenciais*, referentes a ondas estacionárias que se estabelecem pela propagação sonora em duas direções, seguindo não mais uma linha, mas agora um plano definido por duas retas, como por exemplo os planos xy , xz e yz ; (3) *Modos Oblíquos* nos quais as ondas estacionárias resultam de propagações nas três direções ao mesmo tempo.

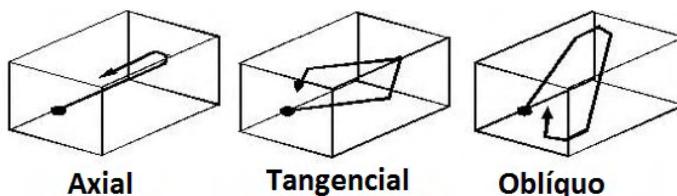


Figura 1 - Modos de vibração de uma sala produtos do percurso de propagação de ondas estacionárias em relação à geometria da sala: (1) Axial – em uma única direção, portanto em uma reta (eixo da sala); (2) Tangencial – em um plano: propagação paralela à superfícies de seu contorno; (3) Oblíquo – propagação em todas as direções (EVEREST, 1988).



Figura 2 - Alturas musicais (C, D, E, F, G A, B – do, ré, mi, fá, sol, lá, si) com as respectivas alterações: sustenido (#) um semitom acima; bemol (b) um semitom abaixo; bequadro (x) cancela cada um dos anteriores.

As alturas musicais inscritas em pentagrama nas representações empregadas neste trabalho, não se referem a nenhum sinal gerado por fonte sonora, mas apenas a potências de ressonâncias que somente ocorrerão mediante a incidência de ondas sonoras com frequências correspondentes.

Cabe aqui ainda explicitar a distinção a ser feita nas áreas de conhecimento de acústica, psicologia e afins entre os conceitos de *frequência*, grandeza atribuída a uma característica da onda sonora enquanto fenômeno físico, e *altura*, sensação produto de um fenômeno da percepção. Cada um desses conceitos remete, portanto, a uma instância distinta. O primeiro refere-se a um fenômeno físico externo que se pretende observar, enquanto o segundo, a um fenômeno subjetivo, na instância do observador, como uma sensação que se apresenta à sua consciência. Portanto atenção para que a associação de alturas aos modos de vibração de uma sala não induza ninguém a ter a equivocada ideia de que uma sala possa gerar sons de alguma maneira. Salas por si não geram sons, elas simplesmente soam e ressoam. Os modos de vibração de uma sala farão com que determinadas ondas sonoras permaneçam ressoando por mais tempo do que outras, simplesmente porque sua conformação geométrica favorece em alguns casos encontros de máximos e mínimos de pressão que se somam, e em outros cancelamentos entre máximos e mínimos que tendem a ocorrerem no mesmo lugar. Por essa simples razão é que o principal elemento de design acústico de uma sala é antes de tudo a cuidadosa definição de suas proporções, ou seja, seu volume em um contorno geral delineado, harmonizando altura, largura e profundidade.

Nomenclatura dos modos: Os modos obtidos na simulação de cada sala estão ordenados de *M001* a *M200*. Os modos axiais entre teto e piso levam a letra *H* acompanhada de um número *n* referente à sua ordem: *H1* (primeiro Modo Axial entre teto e piso).

2 | METODOLOGIA

A análise modal deste estudo não foi realizada a partir de predição dos modos

inferida sobre uma superfície regular com faces paralelas (SRP), um paralelepípedo, com dimensões totais médias de largura (L_x), profundidade (L_y) e altura (L_z), mas através de um aplicativo de elementos finitos simulando o comportamento dos modos de vibração de um volume de ar contido no contorno de uma superfície irregular (SIR) com admitância nula, ou seja, considerando todas as superfícies como totalmente reflexivas. O método a partir das dimensões medidas consiste por exemplo em obter um contorno equivalente como na figura a seguir, compensando as irregularidades da superfície de contorno equilibrando os pontos além e aquém da linha média, mantendo a área e o volume constantes.

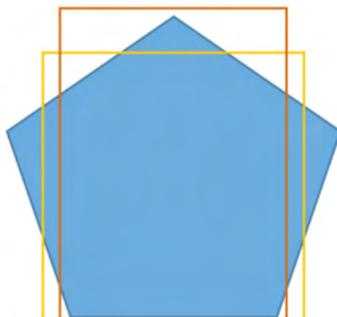


Figura 3 – Exemplo de duas tentativas de soluções de contornos médios, cada um reduzido a dois pares de linhas paralelas, buscando equilibrar as áreas que excedem e as que faltam em relação à figura inicial, de maneira a que se chegue a uma área equivalente.

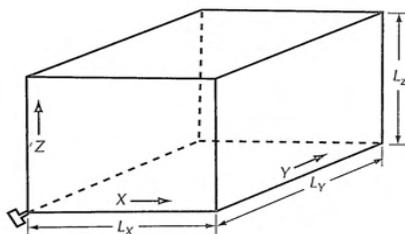


Figura 4 – Modelo de sala retangular (paralelepípedo) de referência para compreensão dos Modos Normais de Vibração de uma sala. (DAVIS, 2006, p. 180)

Uma vez obtidas as três dimensões médias da sala L_x , L_y e L_z , os modos de vibração no volume de ar no interior do contorno médio é dado, como proposto por Davis (2006), por

$$f_N = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{N_x}{L_x}\right)^2 + \left(\frac{N_y}{L_y}\right)^2 + \left(\frac{N_z}{L_z}\right)^2}$$

Equação 1

Sendo,

c , a velocidade de propagação do som

N_x , N_y e N_z são números inteiros a partir de 0, 1, 2, 3...

O diferencial significativo do presente método, baseado em simulação em aplicativo de elementos finitos, está em lidar diretamente com modos efetivos que se verificam na sala, e não com modos de um modelo aproximado como o que acabou de ser exposto logo acima.

3 I PREPARAÇÃO DOS DADOS PARA SIMULAÇÃO

Realizamos a análise modal de dois projetos de salas de controle de áudio multicanal denominados *Sala de controle de áudio A* e *Sala de controle de áudio B*, com as seguintes características:

	x	y	z
P01	0,99	0	0
P02	5,71	0	0
P03	6,70	2,41	0
P04	4,86	6,70	0
P05	1,84	6,70	0
P06	0	2,41	0
P07	0,99	0	3,56
P08	5,71	0	3,56
P09	6,70	2,41	3,56
P10	4,86	6,70	3,56
P11	1,84	6,70	3,56
P12	0	2,41	3,56

Área: 34,6 m²

Perímetro: 22,3 m

Área total: 148,6 m²

Volume: 123,2 m³

Tabela 1 – Coordenadas (em metros) dos vértices localizados na estrutura de alvenaria de cada sala (pisos, paredes e laje) da Sala de controle de áudio A

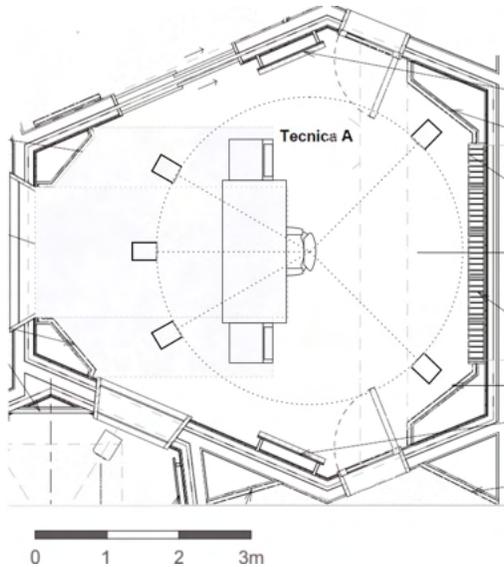


Figura 5 - Planta baixa da Sala A.

	x	y	z
P01	0	0	0
P02	6,54	0	0
P03	6,54	1,63	0
P04	6,04	4,63	0
P05	0,50	4,63	0
P06	0	1,63	0
P07	0	0	2,95
P08	6,54	0	2,95
P09	6,54	1,63	2,95
P10	6,04	4,63	2,95
P11	0,50	4,63	2,95
P12	0	1,63	2,95

Área: 28,7 m²

Perímetro: 21,4 m

Área total: 120,5 m²

Volume: 84,7 m³

Tabela 2 - Coordenadas (em metros) dos vértices localizados na estrutura de alvenaria de cada sala (piso, paredes e laje) da Sala de controle de áudio B

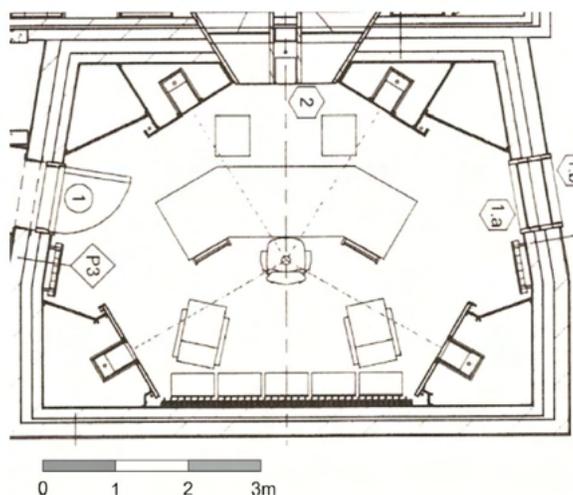


Figura 6 – Planta baixa da Sala B.

Pressão de referência	$2 \cdot 10^{-5}$ Pa
Densidade do ar	$1,2 \text{ kg/m}^3$
Temperatura do ar	21°C
Velocidade de propagação do som no ar	$343,78 \text{ m/s}$
Admitância da superfície de contorno	0 (zero)
Elemento da malha de elementos finitos ($\lambda_{\text{max}}/6$)	22 cm
Frequência máxima a ser considerada ($t = 21^\circ\text{C}$ $c = 343,78 \text{ m/s}$ $\lambda_{\text{max}} = 1,32 \text{ m}$)	262 Hz
Quantidade de modos extraídos	300
Frequência Inicial	10 Hz
Frequência Final	3000 Hz

Tabela 3 - Parâmetros aplicados para a análise modal - simulação em aplicativo de elementos finitos

4 | RESULTADOS, ANÁLISE E DISCUSSÃO

Os dados resultantes foram (1) uma listagem com os Modos ordenados de 1 a 300 e suas respectivas frequências; (2) plotagem em perspectiva compreendendo três dimensões da conformação da variação de pressão no volume de cada sala para cada um dos seus modos. Foram desconsiderados os modos com frequência acima da frequência máxima, sendo esta delimitada pelo elemento empregado para compor a malha estrutural (22 cm) que não deve exceder 1/6 do comprimento de onda da onda estacionária simulada. Finalmente foram considerados os primeiros 270 modos da Sala A e 196 modos da Sala B.

2 Velocidade de propagação do som definida em função da temperatura conforme ISO 9613-1:1993 Acoustics — Attenuation of sound during propagation outdoors — Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere

SET	FREQ (Hz)		FREQ (Hz)		FREQ (Hz)
1	27,71	68	153,72	135	199,85
2	31,27	69	153,90	136	200,09
3	48,35	70	155,04	137	200,30
4	49,40	71	155,07	138	200,45
5	50,74	72	155,11	139	200,71
6	55,77	73	155,47	140	202,54
7	57,63	74	155,52	141	203,22
8	60,81	75	156,74	142	203,51
9	64,34	76	157,49	143	203,63
10	69,23	77	157,94	144	203,71
11	70,20	78	159,36	145	204,12
12	76,12	79	160,72	146	204,16
13	77,84	80	161,47	147	204,96
14	79,44	81	163,14	148	205,54
15	80,62	82	164,42	149	207,33
16	81,82	83	164,76	150	207,79
17	90,36	84	165,10	151	208,17
18	92,86	85	165,82	152	208,18
19	92,97	86	166,04	153	208,28
20	93,19	87	166,28	154	209,32
21	95,22	88	167,71	155	209,49
22	97,06	89	168,81	156	209,62
23	101,00	90	169,95	157	209,67
24	101,04	91	170,45	158	212,27
25	102,09	92	170,97	159	212,54
26	104,29	93	171,31	160	213,28
27	104,91	94	173,11	161	214,00
28	105,02	95	173,25	162	214,10
29	109,16	96	174,59	163	214,79
30	109,81	97	174,83	164	215,12
31	110,17	98	174,96	165	215,20
32	112,22	99	175,82	166	215,21
33	112,35	100	176,56	167	215,52
34	114,94	101	176,70	168	216,47
35	115,20	102	177,00	169	216,52
36	116,85	103	178,05	170	217,18
37	119,53	104	179,43	171	217,68
38	119,59	105	180,25	172	217,75
39	120,58	106	181,37	173	218,16
40	122,57	107	182,16	174	218,56

41	123,23	108	182,73	175	219,25
42	123,89	109	183,19	176	219,84
43	126,01	110	183,53	177	220,00
44	127,53	111	184,71	178	220,95
45	129,26	112	185,12	179	221,24
46	129,28	113	185,91	180	221,34
47	131,62	114	186,40	181	222,21
48	132,66	115	186,51	182	222,88
49	133,56	116	186,70	183	223,60
50	135,06	117	187,85	184	223,72
51	135,18	118	188,84	185	224,69
52	138,56	119	191,16	186	225,24
53	139,55	120	191,29	187	226,93
54	140,54	121	192,95	188	227,54
55	140,90	122	193,25	189	227,56
56	142,34	123	193,46	190	227,66
57	143,32	124	193,75	191	227,89
58	143,52	125	193,80	192	228,22
59	145,75	126	194,32	193	228,47
60	146,57	127	194,42	194	228,73
61	147,07	128	197,18	195	229,43
62	147,76	129	197,27	196	230,31
63	148,01	130	198,38	197	230,94
64	149,30	131	199,22	198	231,64
65	149,42	132	199,30	199	232,52
66	150,05	133	199,34	200	232,74
67	151,80	134	199,38		

Tabela 4 - Frequências dos 200 primeiros Modos de Vibração da Sala A obtidas na simulação

SET	FREQ (Hz)		FREQ (Hz)		FREQ (Hz)
1	27,55	68	172,92	135	226,40
2	37,47	69	173,03	136	226,61
3	47,31	70	173,09	137	227,28
4	54,85	71	173,56	138	227,57
5	58,38	72	177,29	139	228,77
6	64,60	73	177,83	140	229,00
7	68,31	74	180,14	141	229,79
8	69,46	75	180,70	142	230,84
9	74,86	76	181,80	143	231,16
10	75,27	77	182,01	144	232,82
11	79,52	78	182,30	145	232,97

12	80,27	79	182,66	146	233,10
13	81,81	80	184,55	147	236,01
14	90,07	81	184,75	148	236,61
15	93,37	82	186,70	149	236,91
16	94,41	83	187,28	150	237,01
17	95,20	84	187,78	151	238,08
18	98,92	85	189,35	152	238,53
19	100,77	86	190,01	153	238,71
20	108,37	87	190,36	154	238,96
21	110,43	88	191,39	155	239,00
22	111,33	89	191,80	156	240,02
23	111,81	90	191,92	157	240,25
24	112,22	91	192,07	158	240,60
25	116,76	92	192,95	159	240,73
26	117,43	93	194,16	160	240,83
27	120,73	94	195,19	161	241,79
28	121,64	95	196,02	162	242,18
29	123,45	96	197,00	163	243,42
30	123,46	97	197,22	164	244,33
31	125,09	98	198,12	165	244,60
32	126,50	99	198,71	166	244,63
33	126,92	100	198,77	167	244,73
34	126,92	101	199,41	168	245,27
35	130,00	102	199,70	169	245,69
36	130,95	103	201,05	170	245,73
37	135,17	104	202,37	171	245,82
38	135,35	105	202,40	172	246,57
39	136,41	106	202,51	173	247,16
40	136,62	107	202,93	174	247,71
41	138,46	108	203,03	175	250,29
42	139,97	109	204,82	176	250,87
43	140,27	110	205,91	177	250,99
44	142,58	111	206,92	178	252,49
45	143,90	112	207,07	179	253,13
46	147,70	113	210,20	180	253,28
47	149,01	114	210,85	181	253,36
48	149,53	115	211,06	182	254,05
49	150,42	116	212,21	183	254,53
50	150,97	117	212,72	184	254,95
51	151,70	118	213,63	185	255,12
52	152,39	119	214,59	186	255,27

53	153,29	120	215,03	187	255,47
54	157,81	121	215,23	188	255,89
55	160,92	122	215,55	189	259,47
56	161,02	123	217,85	190	260,02
57	161,93	124	218,00	191	260,04
58	162,26	125	218,31	192	260,45
59	162,32	126	219,28	193	260,55
60	162,90	127	219,33	194	261,39
61	163,42	128	220,23	195	261,69
62	163,82	129	220,79	196	261,78
63	164,54	130	224,07	197	262,29
64	167,01	131	225,40	198	262,31
65	168,79	132	225,86	199	262,73
66	170,51	133	226,21	200	263,77
67	172,49	134	226,26		

Tabela 5 - Frequências dos 200 primeiros Modos de Vibração da Sala B obtidas na simulação.

Everest (1988, p. 58-59) e Davis (1988, p. 343-344) citam os critérios desenvolvidos por Oscar Bonello (1979; 1979b; 1981), *Bonello Criteria*, para avaliação da qualidade acústica de uma sala no tocante a seus modos de vibração. Bonello prescreve a observação e análise da configuração e do comportamento dos modos de vibração de uma sala. O *Critério 1* verifica como os modos estão distribuídos, mais particularmente quanto à densidade modal em função da frequência. Para verificar a progressão da acumulação de modos, monta-se um diagrama contendo o número de frequências modais por banda de frequência de um terço de oitava e observa-se como o gráfico evolui. Se for progressivamente crescente, de forma regular, as frequências modais estarão com uma distribuição aceitável. Entretanto, se a linha for irregular, poderá haver problemas de coloração na resposta acústica da sala.

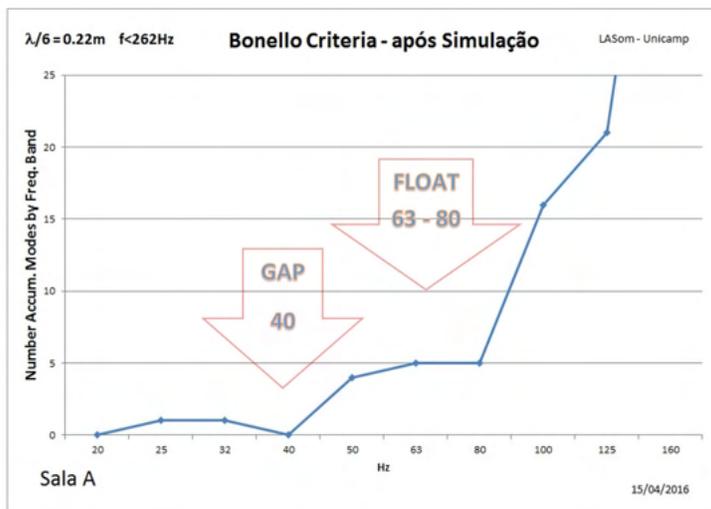


Figura 7 – Análise pelo Critério de Bonello das frequências dos Modos de Vibração da Sala A obtidas na simulação.

Na análise através do *Critério 1* de Bonello constata-se que a *Sala A* apresenta uma lacuna na densidade modal na banda de 40 Hz e uma forte contenção de progressão de densidade modal nas bandas de 63 e 80 Hz.

Na análise da *Sala B* pelo Critério de Bonello (*Figura 8*) temos uma progressão com uma falsa lacuna [FAUX GAP] em 32 Hz, portanto uma progressão contínua, havendo uma leve contenção na progressão da densidade modal na banda 80 Hz após a qual, de 90 a 180 Hz, ocorre uma retomada na progressão. A aparente ausência de modo na banda de 32 Hz corresponde a uma falsa lacuna, pois os modos iniciais estão em constante e regular progressão, tendo ocorrido de ter dois dos modos posicionados, um muito próximo, mas antecedendo o início da banda de 32 Hz e o seguinte, sucedendo imediatamente o final da mesma banda, conforme se observa na *Figura 10*.

Nesta análise de comportamento da progressão modal, empregaremos, dentre outros procedimentos, um método apresentado por Renato Cipriano na AES de 2010, infelizmente em palestra sem publicação, mas cujo processo consiste em distribuir os modos em um diagrama logarítmico de maneira a ter uma impressão mais próxima da sensação auditiva quanto à distribuição dos modos em função das alturas percebidas pelo ouvido humano, como apresentado em *Figura 9* e *Figura 10*.



Figura 8 - Análise pelo Critério de Bonello das frequências dos Modos de Vibração da Sala B obtidas na simulação.

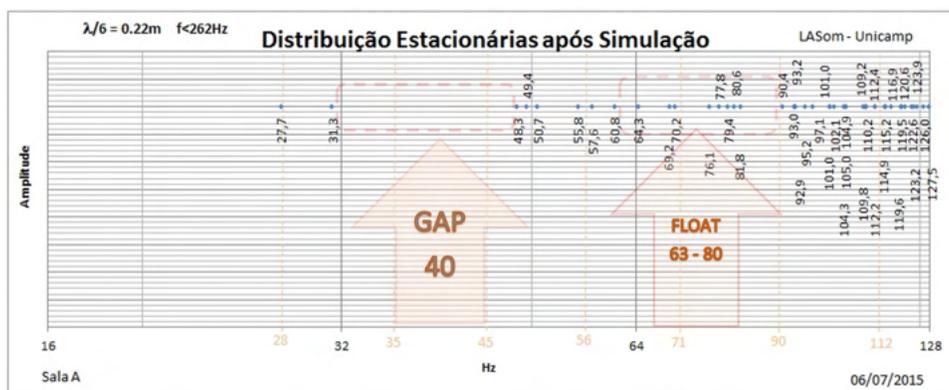


Figura 9 - Distribuição das frequências dos Modos de Vibração da Sala A (16 – 128 Hz) obtidas na simulação, plotadas em eixo logarítmico.

A Figura 9 explicita o vazio que se forma na região de 40 Hz [GAP 40] da Figura 7 bem como a progressão fortemente contida da acumulação de modos nas bandas de 63 e 80 Hz [FLOAT 63-80], aglutinando vários modos muito próximos um do outro em pequenos grupos, cercados por segmentos vazios, proporcionalmente iguais ou maiores que o próprio agrupamento.

Observando na Figura 10 como o ritmo dos modos representados pelos pontos que se acumulam progride regularmente, pode-se concluir que a lacuna em 32 Hz no gráfico da Figura 8 é unicamente produto de um efeito de fase entre o período das bandas e do passo de progressão modal, não reportando a uma irregularidade de progressão. Por efeitos como esse é sempre recomendável checar as possibilidades de predição de qualidade com

diversos métodos. Quando todos apontam para a mesma tendência é uma confirmação. Quando há contradições, aprofunda-se a verificação.

Discrepâncias como essa em relação à análise pelo Critério de Bonello ou ainda efeitos contrários ao expresso no gráfico de progressão de densidade modal encontrados na posição do *sweet spot* podem ser evidenciados somente após o exame das plotagens de pressão para cada modo resultantes da análise modal com simulação. Evidências sobre essas discrepâncias encontram-se no *item 4*, mais à frente.

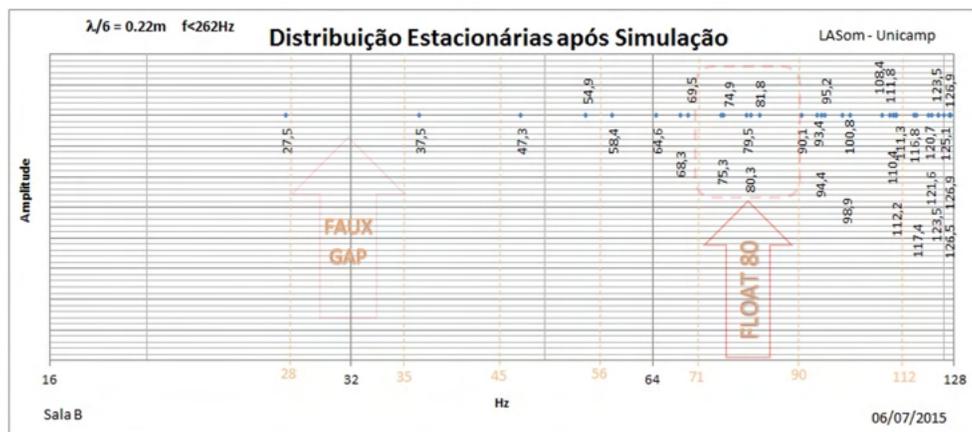


Figura 10 - Distribuição das frequências dos Modos de Vibração da Sala B (16 – 128 Hz) obtidas na simulação.

A *Sala B*, portanto, começa a progressão modal de maneira regular e suave, contrastando neste aspecto com o GAP 40 Hz, o FLOAT 63-80 e a retomada da progressão nas bandas de 90 a 180 Hz da *Sala A*, plotada na *Figura 11*, apresentando truncamentos irregulares em pequenos segmentos. Os agrupamentos inconstantes tendem a reforçar a intensidade nas frequências dos modos reunidos em detrimento de uma menor intensidade nas bandas de frequências vizinhas, proporcionalmente descobertas, sem a presença de modos. Razão pela qual a isso denominamos *flutuação*.

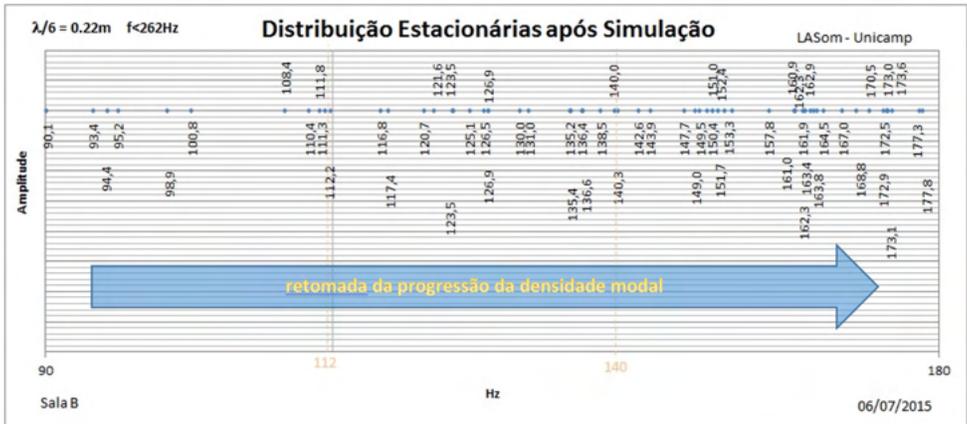


Figura 11 - Distribuição das frequências dos Modos de Vibração da Sala B (90 – 180 Hz) obtidas na simulação.

Buscando aproximar ainda mais a apresentação dos dados de maneira semelhante à sensação auditiva, as frequências dos modos foram convertidas em alturas musicais com precisão de 1/8 de tom³, através da comparação da frequência de cada modo com uma tabela de frequências com precisão de 1/16 de tom, sendo cada altura musical de referência centrada e compreendida num âmbito com intervalo de ±1/16 de tom.

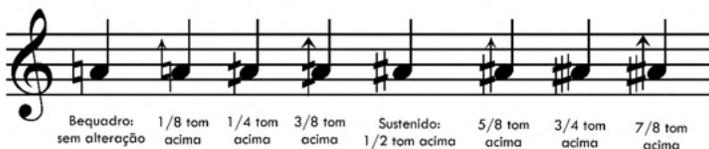


Figura 12 – Legenda da notação de alturas musicais em intervalos de 1/8 de tom. A nota de referência no pentagrama é um lá 3 (A4) 440 Hz.

3 O intervalo de 1/8 de tom é dado por uma razão entre frequências vizinhas, tal que $\frac{f_2}{f_1} = (1 + \sqrt[4]{2})$, sendo $f_2 > f_1$.

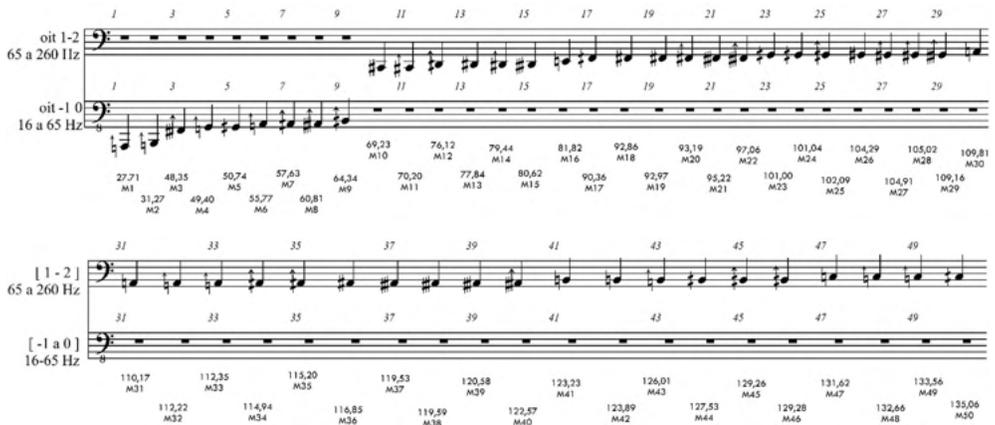


Figura 13 – Representação em notação musical dos 50 primeiros modos da Sala A. Abaixo de cada nota musical, a indicação da ordem do modo e sua respectiva frequência.

Contudo, apesar de nesta última representação ter havido um sensível e significativo ganho de precisão em alturas, a percepção das irregularidades de distribuição das frequências ficou menos clara do que estava na plotagem sobre eixo de frequência logarítmico (*Figura 9, Figura 10, Figura 11*). Com o intuito de torná-la novamente perceptível, atribuímos à posição das notas musicais sequenciadas no pentagrama não mais a ordem do modo (1, 2, 3...) cuja frequência lhe corresponde, mas uma progressão constante de alturas em intervalos de 1/8 de tom. Cada posição à direita de cada nota, está reservada para uma nota 1/8 de tom acima, de maneira que percorrendo horizontalmente o pentagrama temos as posições para todas as alturas ordenadas em sequência de 1/8 de tom. Porém, só estarão inscritas as notas cuja altura corresponder à frequência de um determinado modo encontrado na sala, caso contrário o espaço permanecerá vazio. Assim, nas posições em que houver uma nota inscrita, terá como significado que há um modo com a frequência correspondendo à altura anotada. Quando não houver nenhum modo a ser associado, o espaço permanece vazio, ou seja, com a representação musical de pausa (≡). Os espaços vazios no pentagrama corresponderão à progressão de frequências cujas ondas sonoras não serão influenciadas por ondas estacionárias. Além disso, acrescentamos à cada nota, sempre que possível, a imagem da plotagem de pressão correspondente a seu modo de vibração, conforme obtido na simulação.

É importante salientar que todas as zonas de máximos e mínimos de pressão mostradas nas plotagens produto da simulação são potências de respostas da sala, podendo ser mais ou menos evidenciadas em função do posicionamento dos monitores de áudio, como mostrado no *item*. Ou seja, todos os modos da sala aqui mapeados, podem ser excitados colocando fontes sonoras em várias posições, tendo uma resposta sonora em frequência diferente para cada posição. Porém é importante salientar que todas essas respostas serão derivadas da mesma estrutura modal da sala, representada pelo produto

do mapeamento, cujo processo está aqui apresentado e proposto como metodologia de análise.

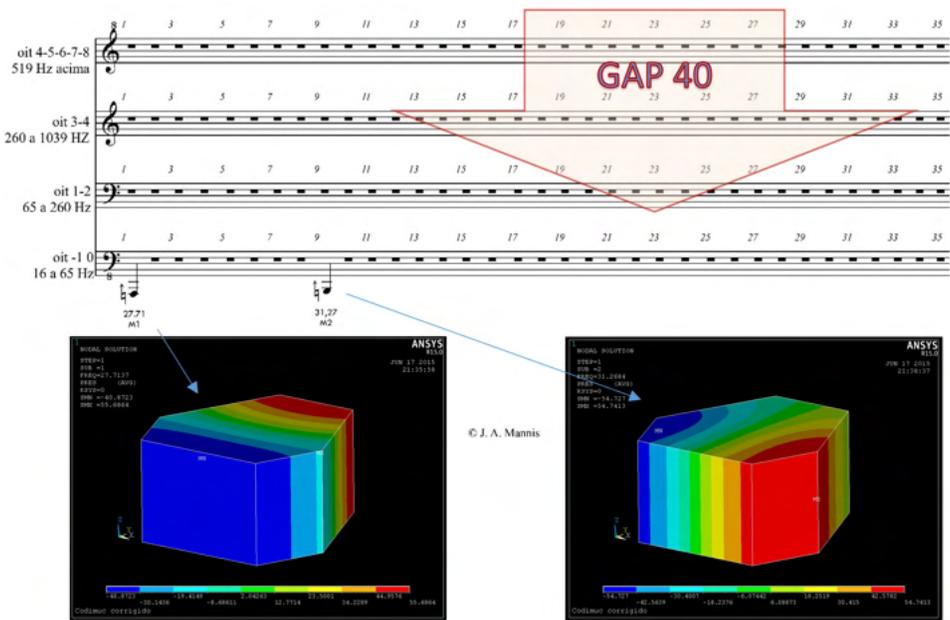


Figura 14 – Representação da progressão modal da Sala A em alturas musicais em 1/8 de tom (escala de 1 a 35 oitavos de tom) – Modos M01 e M02.

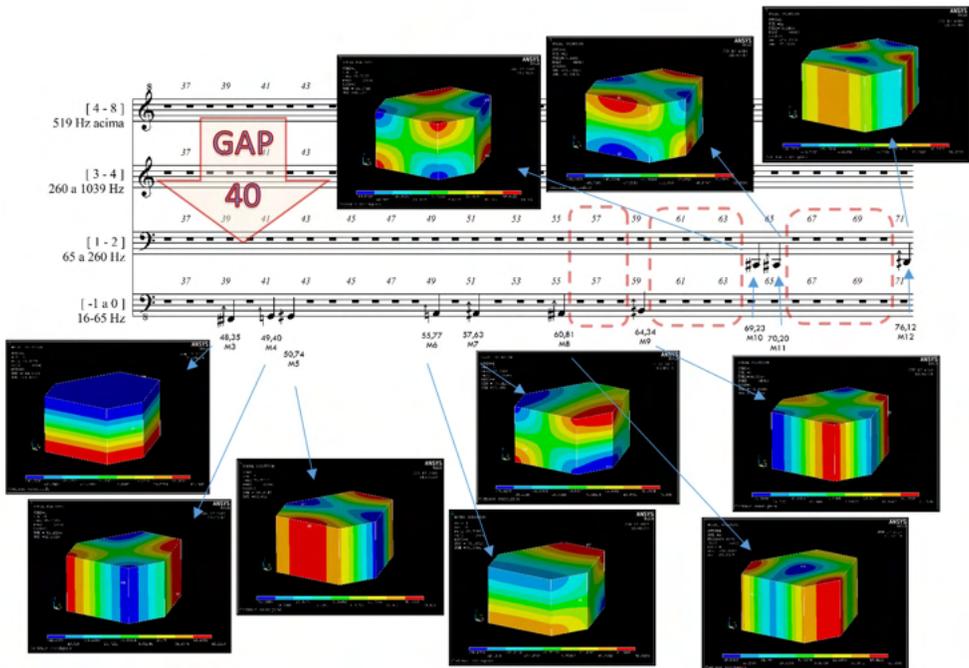


Figura 15 - Representação da progressão modal da Sala A em alturas musicais em 1/8 de tom (escala de 36 a 71 oitavos de tom) – Modos M03 a M12.

Julgamos relevante priorizar a análise e o tratamento acústico em relação ao *sweet spot* da sala de controle de áudio, pois esta é a posição de escuta mais relevante nesse tipo de sala. Após a identificação de todos os modos interferindo com máximos e mínimos de pressão na zona do *sweet spot*, eles foram reunidos e distribuídos em representação de alturas musicais em sequência de passos de 1/8 de tom, evidenciando assim as incidências e os vazios de modos, numa representação de sensação linear para a percepção humana e bastante clara à interpretação e análise. Essa representação implementa um novo recurso permitindo antever a variação de resposta acústica da sala para cada nota (altura) musical e, com isso, tornar possível um controle estreito e preciso por parte da equipe de produção, integrando o conteúdo musical às técnicas de produção fonográfica. Esse esquema também representa um mapeamento da resposta acústica da sala de controle em função das alturas musicais. Se a tonalidade principal da música gravada coincidir com frequência de um modo, alguns efeitos, como por exemplo o de finalização em cadência podem ser potencializados. Se uma eventual influência desse tipo proporcionar uma impressão de maior plenitude e amplitude, isso estaria falseando a mixagem, pois é um efeito acústico ocorrendo na sala e não no processo de mixagem. Da *Sala A* separamos na *Figura 18* quatro modos que nos pareceram particularmente críticos: *M08*, *M14*, *M22* e *M60*. Todos atuam fortemente no *sweet spot* e na altura da cabeça humana, em posturas em pé ou sentado.

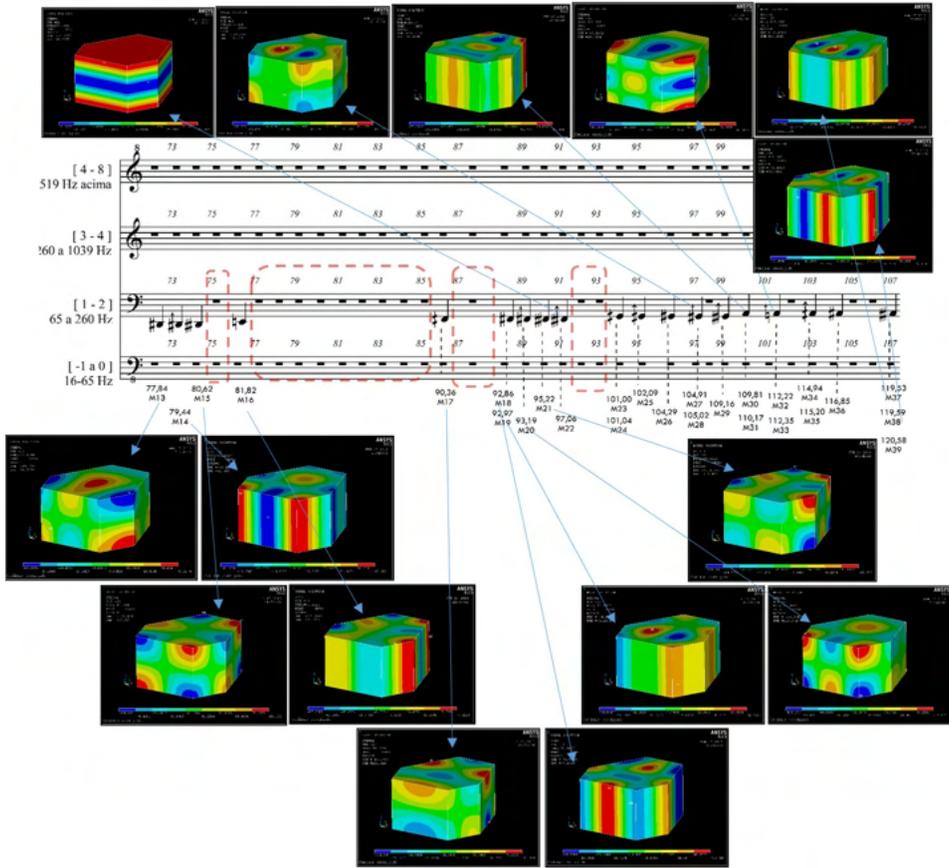
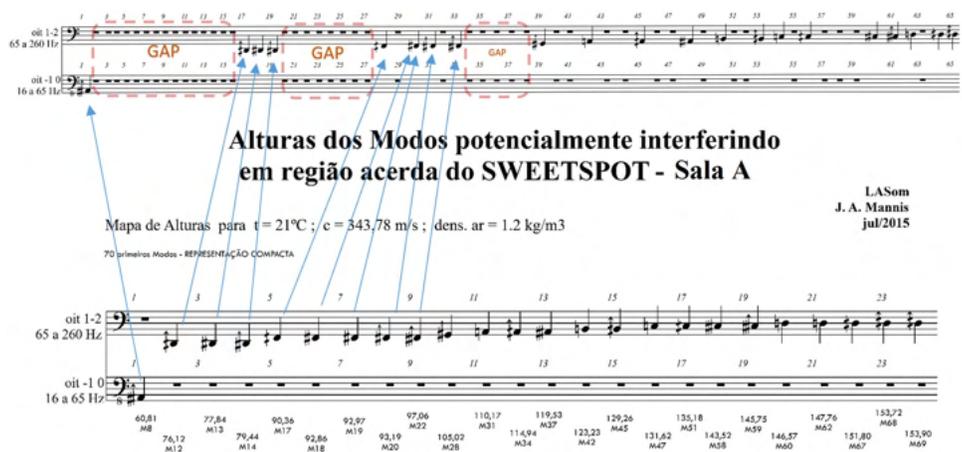


Figura 16 - Representação da progressão modal da Sala A em alturas musicais em 1/8 de tom (escala de 72 a 107 oitavos de tom) – Modos M13 a M39.



LASam
 J. A. Mannis
 jul/2015

Figura 17 – Distribuição em passos de 1/8 de tom das alturas dos modos com impacto sobre o sweet spot da Sala A.

Na concepção de contorno de sala em forma de polígono simétrico, como é o caso da *Sala A*, os modos axiais laterais sempre tenderão a atuar na direção do *sweet spot* como *M02*, *M08* e *M37*, neste caso reforçando frequências de modos associadas a alturas musicais $la_{,1}$ 1/8 de tom acima, $si_{,1}$ 1/8 de tom acima, alturas entre sib_0 1/4 de tom abaixo e do_1 1/8 de tom abaixo, e entre $la_{,1}$ e $si_{,1}$ (Figura 13), além de envolver percursos lineares de propagação das estacionárias na composição de modos tangenciais próximos como *M12* ($mi_{,1}$ 1/4 de tom abaixo), *M13* ($mib_{,1}$), *M18* e *M19* ($fa\#_{,1}$) (Figura 14, Figura 15, Figura 16). Essa característica de resposta é inerente à conformação do contorno e só pode ser alterada, mudando sua forma ou implementando *bass trap* com interferência em 1/4 de comprimento de onda no eixo da dimensão lateral mais ampla. O dimensionamento do *bass trap*, compreendendo sua efetiva eficiência, pode ser verificado em simulação em aplicativo de elementos finitos. Um outro ponto que chama a atenção na *Sala A* é a grande concentração de modos acerca de si_0 e sib_0 1/4 de tom abaixo e $si_{,1}$ e $sib_{,1}$ 1/4 de tom abaixo, pelo fato de ter, na raiz dos modos, três frequências fundamentais próximas decorrentes das proporções entre as dimensões da sala: Profundidade *M1* ($la_{,1}$ 1/8 de tom acima), Largura *M2* ($si_{,1}$ 1/8 de tom acima) e altura *M3* (sol_0 1/4 de tom abaixo ou $fa\#_0$ 3/4 de tom acima).

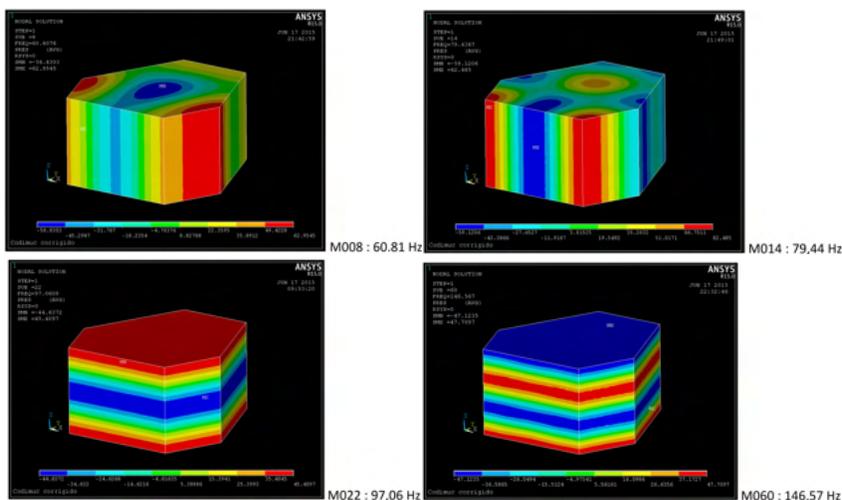


Figura 18 – Sala A - Impacto no *sweet spot*: (1) Modo de Vibração Axial L1: primeiro modo lateral. M008 60,81 Hz; (2) Modo de Vibração Tangencial: M014 79,44 Hz; (3) Modo de Vibração Axial H2: M022 97,06 Hz; (4) Modo de Vibração Axial H3: M060 146,57 Hz.



Figura 19 – Representação musical das Alturas correspondendo às frequências dos primeiros modos axiais da Sala A. Pentagramas inferior: (1) altura real e (2) razão proporcional entre as frequências (intervalos musicais) sendo a mesma para as dimensões dos comprimentos de onda entre x, y e z. Pentagrama superior: (3) representação das alturas na configuração mais compacta possível. (4) intervalo entre a nota mais aguda e a mais grave desse agrupamento, em unidades de 1/8 de tom.

Observa-se na parte superior da *Figura 19* três alturas musicais concentradas em apenas um intervalo de terça maior mais $\frac{1}{4}$ de tom, equivalente a 18 oitavos de tom, ou seja, $\frac{1}{3}$ da oitava. Já a *Sala B* apresenta uma relação entre dimensões mais espaçada, tendo na representação compacta um intervalo de 21 oitavos de tom entre a nota mais aguda e a mais grave.



Figura 20 – Representação musical das Alturas correspondendo às frequências dos primeiros modos axiais da Sala B.

Se houver correlação para a qualidade da resposta modal entre a configuração de alturas sonoras e as proporções das dimensões dos comprimentos de onda dos três primeiros modos axiais poderíamos investigar, mas em outro trabalho, a hipótese de que a constituição desse acorde compacto, quanto mais ela for ampla, mais equilibradamente estariam distribuídos os modos, com menos coincidências de alturas sobrepostas.

Comparando a progressão modal de Salas Retangulares (SRT), dada pela *Equação 1*, com outras salas com superfícies irregulares (SIR) como as *Salas A e B* aqui estudadas, com pé direito H constante, observa-se que os modos axiais apresentam frequências mais elevadas do que as esperadas para as frequências múltiplas inteiras da frequência de seu modo axial $H1$, como se a altura da sala `diminuísse` virtualmente em relação à altura (pé direito) real. No caso da *Sala A* o primeiro Modo Axial $H1$ corresponde ao modo $M003$ 48,35 Hz cujo comprimento de onda a 21°C é 7,11 m praticamente duas vezes o pé direito da sala, 3,56 m, com um desvio de 0,01 m.

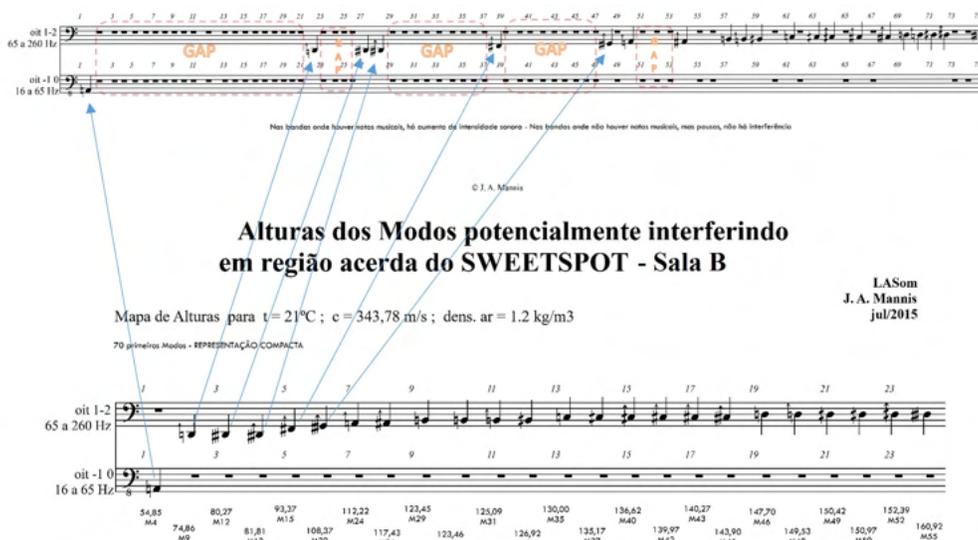
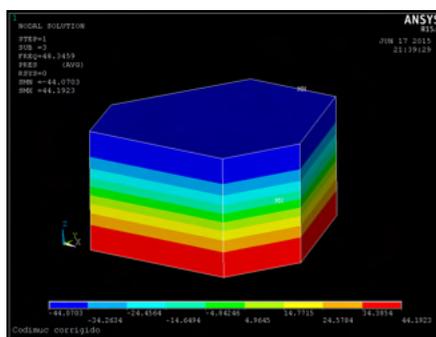


Figura 21 - Distribuição em passos de 1/8 de tom das alturas dos modos com impacto sobre o sweet spot da Sala B.



M003: 48,35Hz
Figura 22 - Sala A: Modo de Vibração Axial $H1$: M003 48,35 Hz.

O segundo modo axial vertical $H2$ é o $M022$ 97,06 Hz (*Figura 18 - 3*) cujo comprimento de onda a 21°C é 3,54 m. Seu $H1$ virtual seria de 48,53 Hz correspondendo a

um comprimento de onda de 7,08 m. 97,06 Hz para o modo axial $H2$ é ligeiramente superior à frequência esperada para o segundo modo axial $H2$ 96,70 Hz ($2 \times H1$). O terceiro modo axial vertical $H3$ 146,57 Hz (*Figura 18 - 4*), correspondendo ao $M060$, está também acima do $H3$ esperado $3 \times H1 = 145,05$ Hz, assim como $H4$ 197,18 Hz ($M128$) (*Figura 24*) está acima do esperado $4 \times H1 = 193,40$ Hz. Esses desvios encontram-se em progressão linear, conforme apresentado a seguir (*Figura 23*). Observa-se que o modo axial $H4$ (*Figura 24*), correspondendo ao modo $M128$ 197,18 Hz apresenta na conformação de seus máximos e mínimos de pressão a influência de modos tangenciais, pois as camadas em si estão delineadas em alturas estáveis e as concentrações de máximos (vermelhos) se dão em áreas definidas em um único plano horizontal, intercaladas de camadas estáveis de mínimos (azuis). Essa interferência de modos tangenciais pode estar vinculada à resposta modal causada pela geometria irregular de contorno das paredes laterais, neste caso mais complexa do que numa sala retangular, desestabilizando progressivamente os modos axiais. Isso poderia ser verificado em posteriores trabalhos e seria uma influência bastante positiva, pois os modos axiais são os mais intensos e potencialmente problemáticos podendo induzir ao desequilíbrio na resposta em frequência.

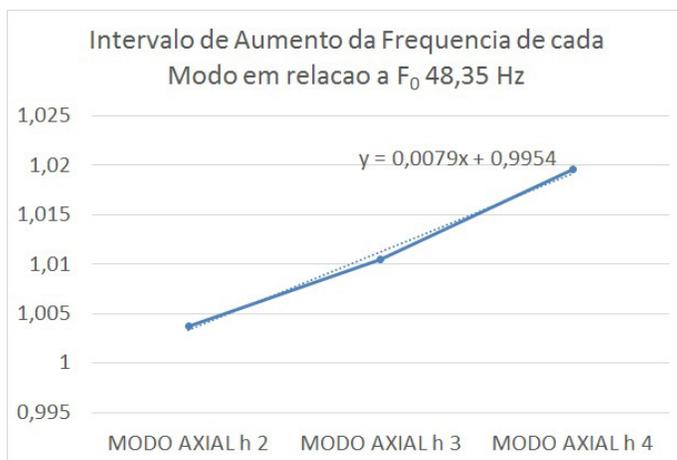
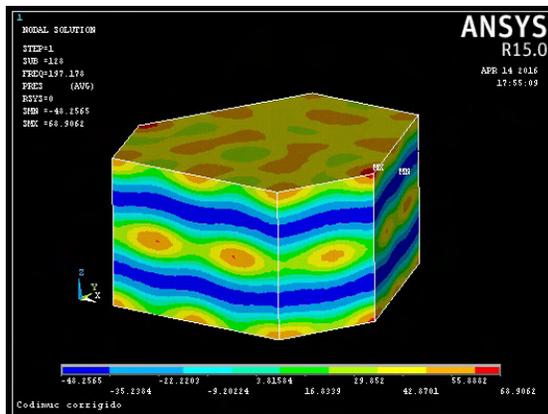


Figura 23 – Intervalo crescente de aumento da frequência dos Modos Axiais Verticais (H2, H3, H4) em relação à frequência do Modo Axial H1 48,35 Hz, modo M003 da Sala A.



M128:197,18Hz

Figura 24 - Sala A: Modo de Vibração Axial H4: com influência do modo tangencial M128 197,18 Hz.

Medições realizadas posteriormente, depois dos estudos concluídos, apontam para discrepâncias em relação à análise do Critério de Bonello, no tocante à progressão da densidade modal, mesmo para as frequências produto da simulação. Alguns máximos de pressão localizados próximo ao *sweet spot* podem sugerir tendências contrárias às do Critério de Bonello, como ocorre nas medições que resultaram nas Curvas de Respostas Operacionais (CRO), abaixo ilustradas, das *Sala A* e *Sala B*.

5 | MEDIÇÕES APÓS A CONCUSÃO DAS OBRAS E A INSTALAÇÃO DOS ESTÚDIOS

Depois de concluídas as obras e as instalações de ambos os estúdios, procedeu-se a medições acústicas visando a aplicação em produção fonográfica, ou seja, tomando como ponto de medição o *sweet spot*.

Observando os resultados do Nível de Pressão Sonora em função da frequência em bandas de 1/3 de oitava, apresentadas a seguir para cada uma das salas, pergunta-se: - Como uma mesma sala pode dar respostas distintas, mesmo algumas opostas em relação a outras, ou ainda salientar bandas de frequência que estavam em desvantagem no diagrama de Bonello? Esta questão será abordada ao final deste item, após a exposição dos resultados.

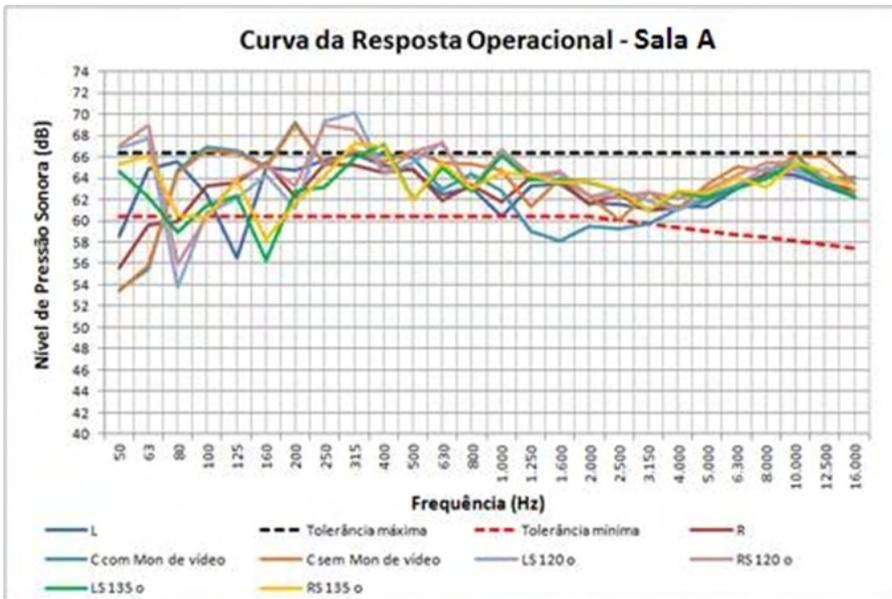


Figura 25 - CRO da Sala A: Nível de Pressão Sonora em função da Frequência, medido no sweet spot. Monitores em configuração 5.1: L_s e R_s em 120° e 135° , com e sem interferência acústica do monitor de vídeo.

Observa-se que as curvas de respostas operacionais extrapolam, em alguns pontos, os limites de tolerância. Conforme a EBU Tech 3276 (EUROPEAN BROADCASTING UNION, 1998) obter todos os pontos dentro da margem de tolerância é bastante complexo. É comum o uso de equalizadores para pequenas correções em salas de controle. Na mesma figura são apresentadas as linhas que correspondem aos limites de tolerância indicados na referida recomendação.

Os resultados das CRO da *Sala A* para os monitores de áudio frontais esquerdo e direito podem ser vistos no gráfico da *Figura 26*. Ambos apresentam respostas semelhantes acima de 160 Hz devido à geometria simétrica da sala. A curva da resposta do monitor esquerdo apresenta uma queda de 3 dB em relação à tolerância em 125 Hz, uma banda na qual temos $M034$ 114,94 Hz, $M037$ 119,53 Hz, $M042$ 123,23 Hz, $M045$ 129,26 Hz e $M047$, 131,62 Hz (*Figura 27*, *Figura 28*), todos atuando ao mesmo tempo no *sweet spot* ou bem perto deste. Para o monitor direito a resposta foi um pouco mais plana nessa região, porém houve uma queda na CRO abaixo de 63 Hz apesar do TR mais elevado nessa mesma banda, coincidindo com $M008$ 60,81 Hz (si $\frac{1}{4}$ de tom abaixo) atuando no *sweet spot*. Nas frequências acima de 160 Hz o resultado está dentro da faixa recomendada.

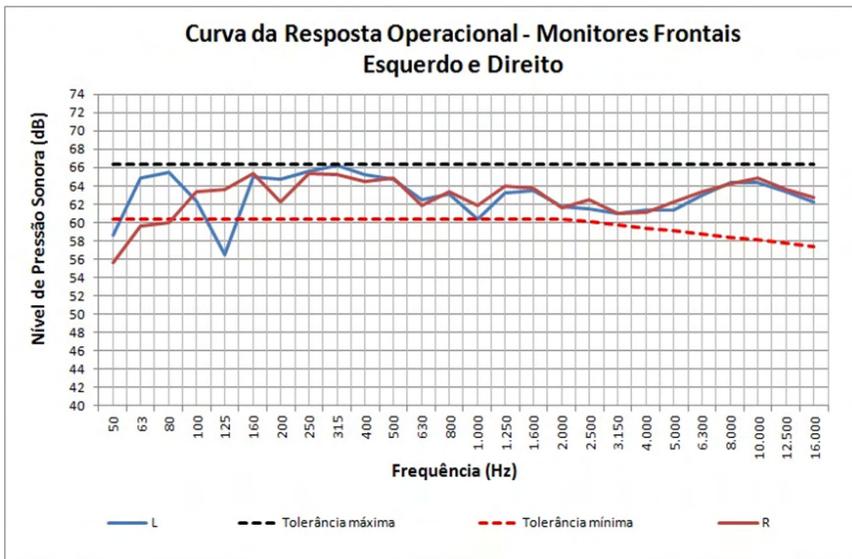


Figura 26 – CRO da Sala A: Nível de Pressão Sonora em função da Frequência, medido no *sweet spot* para monitores na posição L e R.

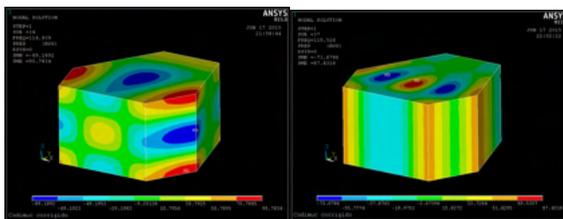


Figura 27 – Sala A : (esq.) M034 : 114,94 Hz (dir.) M037 : 119,53 Hz

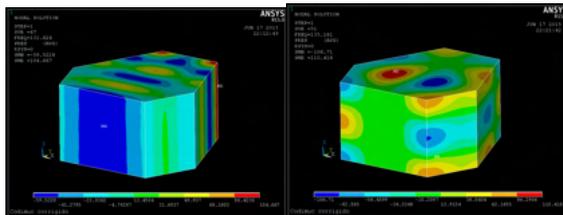


Figura 28 – Sala A: (esq.) M047 : 131,62 Hz; (dir.) M051 : 135,18 Hz.

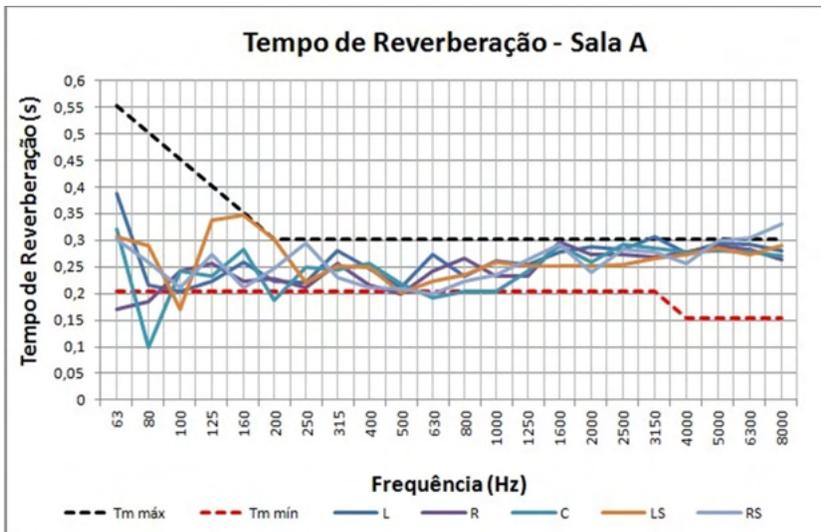


Figura 29 – Tempo de reverberação medido na Sala A em função da frequência em 1/3 de oitava.

Observa-se que o Tempo de Reverberação (TR) está dentro ou muito próximo da faixa de tolerância recomendada, com exceção da frequência de 80 Hz na curva do monitor de áudio central, posição na qual incidem nessa mesma banda de frequência os modos $M012$ 76,12 Hz, $M013$ 77,83 Hz, $M014$ 79,44Hz (Figura 30). O monitor de áudio esquerdo traseiro (L_{ϑ}) apresentou uma elevação no TR, em relação às demais curvas, em 160 Hz.

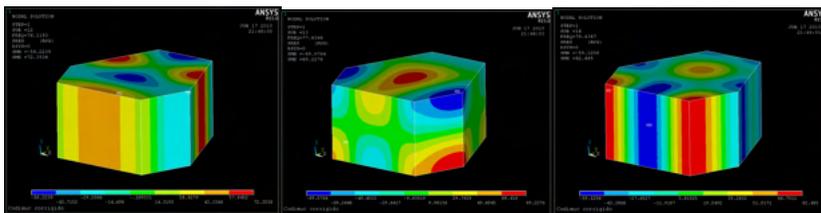


Figura 30 – Sala A: (esq.) M012 76,12 Hz, (centr.) M013 77,83 Hz, (dir.) M014 79,44Hz

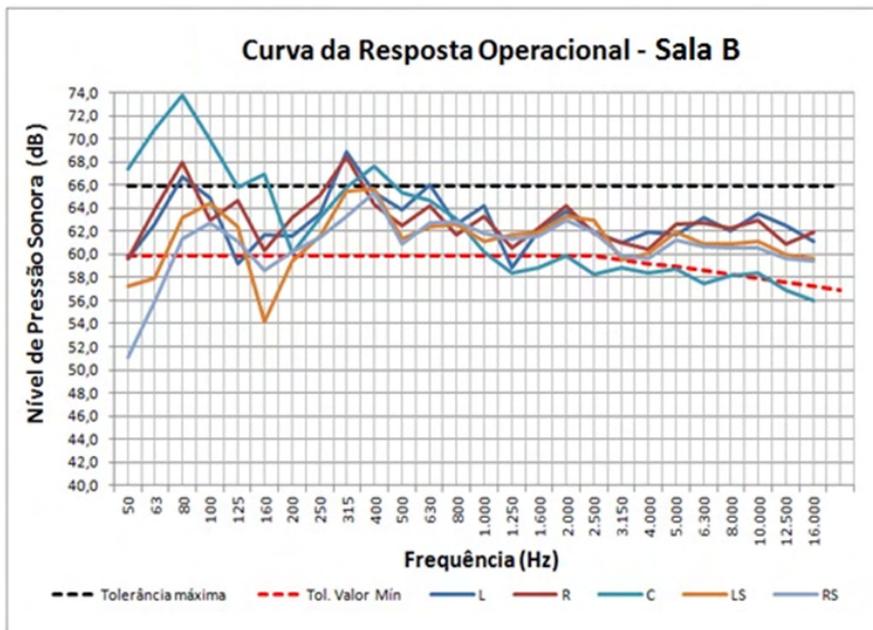


Figura 31 - CRO da Sala B: Nível de Pressão Sonora em função da Frequência, medido no sweet spot.

As CRO da *Sala B* e as curvas de tolerância recomendadas pela EBU Tech. 3276 (EUROPEAN BROADCASTING UNION, 1998) são apresentadas na *Figura 31*. Observa-se um valor elevado do Nível de Pressão Sonora em 80 Hz na CRO para o monitor central, apesar do Diagrama de Bonello apontar para uma flutuação de contenção nessa banda específica [FLOAT 80] (*Figura 8*, *Figura 10*). Efetivamente nessa posição e nessa banda de frequência temos a incidência do segundo modo axial de profundidade $P2$, $M09$ 74,86 Hz (si , $1/8$ de tom acima) e do terceiro modo axial lateral $L3$, $M13$ 81,81 Hz (mi , $1/8$ de tom abaixo) (*Figura 32*). O monitor de vídeo altera significativamente o resultado da CRO, uma vez que parte do som direto não chega ao ouvinte. Nesse estúdio, o monitor de vídeo é de 32 polegadas (~ 80 cm) e exerce grande impacto no resultado final da CRO para o monitor central ($91 < \lambda_{80 \text{ Hz}}/4 < 121\text{cm}$) podendo atuar para reflexões alimentando os lóbulos de máximos e mínimos de $M13$.

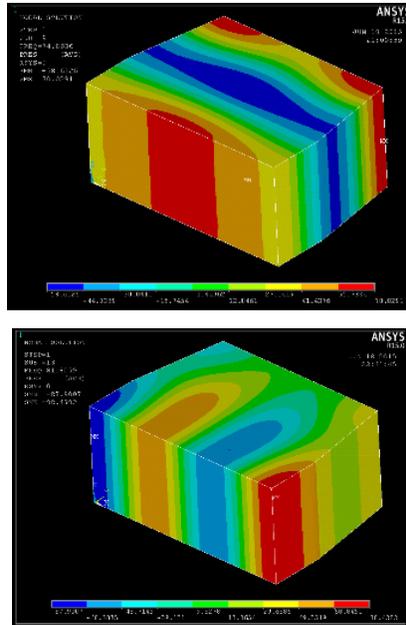


Figura 32 – Sala B: (1) M09 74,86 Hz; (2) M13 81,81 Hz.

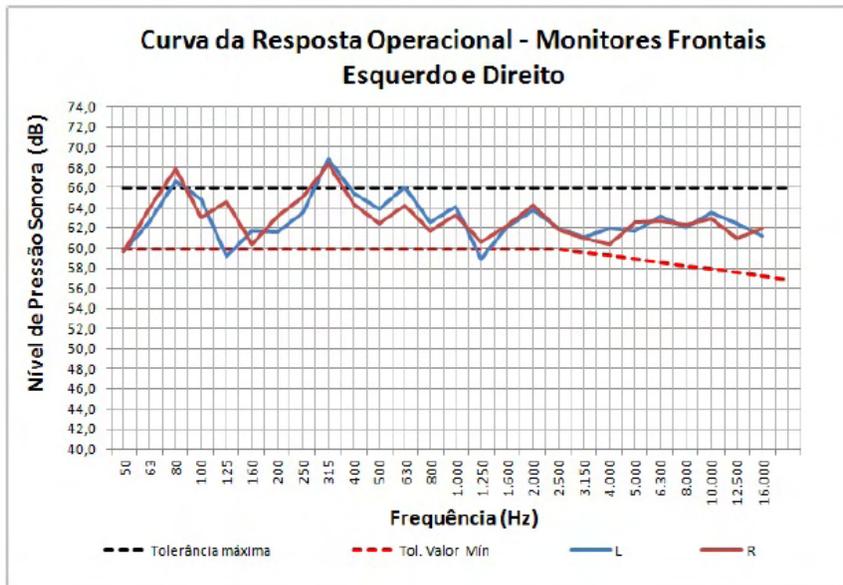


Figura 33 - CRO da Sala B: Nível de Pressão Sonora em função da Frequência, medido no sweet spot para monitores na posição L e R.

Na CRO da *Sala B* referente aos monitores frontais, esquerdo e direito, apresentada na *Figura 33*, observam-se alguns valores de Nível de Pressão Sonora fora da faixa de tolerância, porém na maior parte do âmbito de frequência audível o resultado está dentro

da faixa recomendada. Observa-se pouca variação acima de 400 Hz. Os estúdios de ambas as salas analisadas neste trabalho possuem um equalizador destinado a pequenos ajustes de frequência. Contudo tomamos a precaução de desligá-los durante as medições.

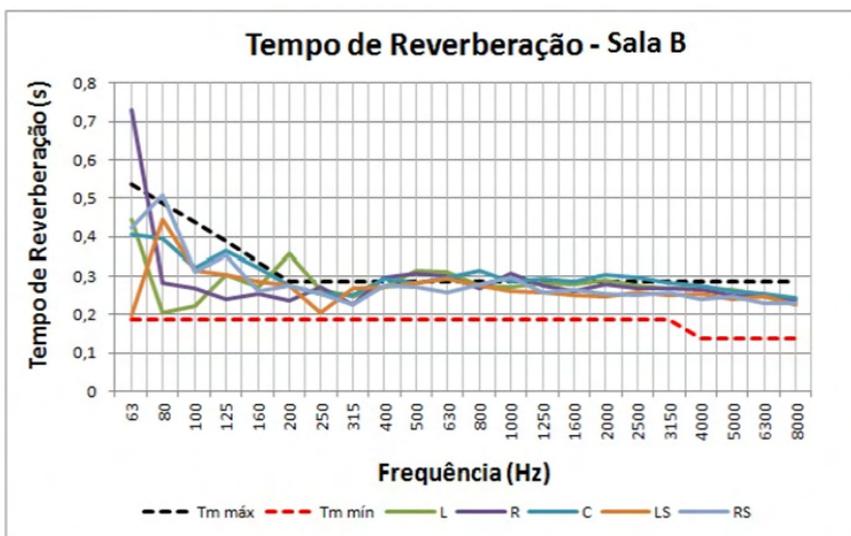


Figura 34 - TR medido na Sala B em função da frequência em 1/3 de oitava.

A Sala B possui bastante revestimento reflexivo em madeira na parte frontal, o que justifica o tempo de reverberação bem próximo do limite superior, e em algumas frequências ultrapassando a faixa de tolerância indicada pela EBU Tech 3276 (EUROPEAN BROADCASTING UNION, 1998). A região dos graves, onde se concentram as ondas estacionárias, apresentou resultado dentro do tempo de reverberação recomendado, com exceção do monitor direito em 63 Hz, próxima ao modo axial lateral $L2$, $M04$ 54,85 Hz (la_p) (Figura 35) cujo lóbulo central incide nessa exata região. Nessa posição, o resultado obtido ultrapassou em 0,15 s a tolerância máxima do TR.

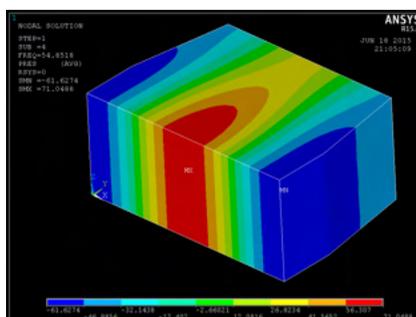


Figura 35 – Sala B: M04 54,85 Hz

Diversas interferências modais podem estar associadas a respostas irregulares ou inesperadas como as que destacamos neste item, pois quando uma fonte sonora se posiciona em uma área na qual há potencialmente um máximo ou mínimo de pressão, o respectivo modo associado a essa pressão se instala e a estacionária se estabelece. Quando houver mais de um modo com máximos ou mínimos na mesma região, há que se considerar as interferências de fase entre os diferentes modos, o que pode inclusive, conforme o caso, causar cancelamentos. Entenda-se assim como um pequeno deslocamento de uma fonte sonora pode causar uma mudança, até surpreendente, na resposta em frequência do sinal sonoro reproduzido pelos monitores de escuta. Isso explica como uma mesma sala pode estimular diferentes respostas para variados posicionamentos das fontes sonoras, neste caso, os monitores de áudio.

6 | CONCLUSÃO

Apresentamos, discutimos e comentamos métodos aplicados para análise modal de dois projetos de estúdios de produção fonográfica, implementando novos recursos como a inclusão de notação musical para aperfeiçoar a representação de maneira a que se aproxime o máximo possível de imagens mentais da percepção sonora humana. As análises expostas foram discutidas, por um lado nos levando a algumas conclusões e por outro suscitando suposições e formulações de novas hipóteses a serem verificadas em trabalhos ulteriores. Destacam-se dentre essas conclusões e desdobramentos: (1) para a predição da resposta modal de uma sala, além da tradicional redução a uma sala retangular média (*Figura 3, Figura 4*), pode-se proceder a uma simulação por elementos finitos (*item 2. PROJETOS ANALISADOS E SIMULAÇÃO*) centrando a atenção da análise nos modos axiais que se revelarem em função da conformação do contorno; (2) contornos irregulares podem influenciar a evolução dos modos axiais a partir de uma certa ordem, interferindo em sua progressão (*Figura 24*); (3) as posições dos monitores de áudio influenciam a resposta em frequência do sistema formado por eles mesmos integrados aos modos de vibração da sala (*Figura 26, Figura 29, Figura 31, Figura 33, Figura 34*). Para cada posição de monitores haverá uma resposta correspondente, porém todas remetendo à estrutura do modelo modal geral da sala; (4) Como elemento de design, além das proporções entre as dimensões da redução a uma sala retangular média, pode-se proceder ao exame das relações de proporção entre as frequências dos primeiros modos axiais que se revelarem na simulação (*Figura 19, Figura 20*); (5) Poderá ser feito um estudo ulterior sobre a hipótese de que determinadas relações intervalares de frequências estejam correlacionadas a constituição de determinados acordes, orientando a uma definição de proporções com resultados de distribuição modal mais equilibrada e homogênea.

REFERÊNCIAS

BONELLO, Oscar. A new computer aided method for the complete acoustical design of broadcasting and recording studios, In: IEEE international conference on acoustics, Speech and signal processing, 1979. **Anais...** v. 4, April, p. 326-329, 1979.

_____. Acoustical evaluation and control of normal room modes. J. Acoust. Soc. Am., suppl.1, v. 66, n. 2, 1979. In: **Acoustical Society of America**, 98th meeting, 1979b, Salt Lake City, Utah, EUA.

_____. A new criterion for the distribution of normal room modes. **Journal of the AES**. v. 29, n. 9, p. 597-606, September, 1981.

DAVIS, Don; PATRONIS Jr., E. **Sound system engineering**. 3. ed. New York: Focal Press; Elsevier, 2006. 489 p

EUROPEAN BROADCASTING UNION. EBU Tech.3276: **Listening conditions for the assessment of sound programme material: Monophonic and two-channel stereophonic**. Geneva, 1998 2. Ed.

EVEREST, F. Alton. Acoustic of small rooms. In: **Handbook for sound engineers: the new audio cyclopedia**. Glen Ballou, editor. 2. ed. Indiana (EUA): Sams / MacMillan, 1987. 1506 p.

_____. **Small budget recording studio**. 2. ed. New York: TAB Books, MacGraw-Hill, 1988. 295 p.

_____. Alton. **The master handbook of acoustics**. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 2001. 615 p.

GERGES, Samir **Ruído: fundamentos e controle**. 2. ed. Florianópolis: NR Editora, 2000. 676 p.

CAPÍTULO 2

A REVOLUÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 E OS PASSOS PARA SUA APLICAÇÃO NA MINERAÇÃO

Data de aceite: 01/11/2021

Rafaela Baldi

Karina Livia Ribeiro Vieira

Mariana Ivo Machado Fernandes

RESUMO: O desenvolvimento tecnológico tem progredido exponencialmente, dando origem a avanços como a inteligência artificial, robótica, impressoras 3D, nano e biotecnologias, fintechs, drones, e uma boa perspectiva futura para telefonia 5G e carros autônomos. Tais tecnologias viabilizam uma nova Revolução Industrial, que já está em andamento, ainda tímida e pouco utilizada pelas empresas do Brasil. Fato é que a Indústria 4.0 desponta como um caminho natural no ganho expressivo, não só de produtividade, como também de competitividade, por intermédio da integração das tecnologias. Por meio desta, observa-se uma maior produção utilizando menos recursos, além da capacidade das empresas em fornecer produtos/serviços de alta qualidade, baixo preço, com menor tempo de entrega e ainda com uma boa rentabilidade.

PALAVRAS-CHAVE: Indústria 4.0, revolução industrial, mineração.

HOW THE EXPRESSIONS DIGITAL TWINS, CYBER-PHYSICAL SYSTEMS, INTERNET OF THINGS AND CLOUD COMPUTING ARE INSERTED IN THIS INDUSTRIAL REVOLUTION?

ABSTRACT: Technological development has progressed exponentially, giving rise to advances

such as artificial intelligence, robotics, 3D printers, nano and biotechnologies, fintechs, drones, and a good future perspective for 5G telephony and autonomous cars. Such technologies enable a new Industrial Revolution, which is already underway, still timid and little used by companies in Brazil. The fact is that Industry 4.0 emerges as a natural path towards expressive gains, not only in productivity, but also in competitiveness, through the integration of technologies. Through this, there is a greater production using fewer resources, in addition to the ability of companies to provide products/services of high quality, low price, with shorter delivery time and still with good profitability.

KEYWORDS: Industry 4.0, Industrial Revolution, mining.

Mas, afinal, o que vem a ser a Indústria 4.0?

Como as expressões Gêmeos Digitais, Sistemas Ciberfísicos, Internet das Coisas e Computação em Nuvem são inseridas nessa Revolução Industrial?

1 | INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico tem progredido exponencialmente, dando origem a avanços como a inteligência artificial, robótica, impressoras 3D, nano e biotecnologias, fintechs, drones, e uma boa perspectiva futura para telefonia 5G e carros autônomos. Tais tecnologias viabilizam uma nova Revolução

Industrial, que já está em andamento, ainda tímida e pouco utilizada pelas empresas do Brasil. Fato é que a Indústria 4.0 desponta como um caminho natural no ganho expressivo, não só de produtividade, como também de competitividade, por intermédio da integração das tecnologias. Por meio desta, observa-se uma maior produção utilizando menos recursos, além da capacidade das empresas em fornecer produtos/serviços de alta qualidade, baixo preço, com menor tempo de entrega e ainda com uma boa rentabilidade.

A cada revolução industrial houve uma transformação radical no modelo produtivo, especialmente se tratando de máquinas cada vez mais protagonistas em relação ao trabalho humano. A Primeira Revolução foi caracterizada pela mecanização da produção através do uso de água e energia a vapor. Na Segunda Revolução, introduziu-se a produção em massa com a utilização da energia elétrica. Logo em seguida, a Terceira Revolução, também conhecida como Revolução Digital, consolidou o uso de aparelhos e dispositivos eletrônicos em uma maior automação da produção, principalmente com as tecnologias de inovação. Na indústria 4.0 tem-se a utilização de sistemas inteligentes, rápidos e precisos, com um elevado grau de automação e competência na tomada de decisões autônomas.

Esta revolução considera a visão e execução de “fábricas inteligentes”, com estruturas modulares e sistemas ciberfísicos (CPS), com a união entre os mundos físico e virtual, conforme apresentado na Figura 1. Por meio da tecnologia de gêmeos digitais é criada uma representação virtual desse mundo físico com o auxílio da internet das coisas e seus dispositivos inteligentes, que comunicam e cooperam entre si, inclusive com humanos, em tempo real. Os serviços internos e intraorganizacionais são oferecidos e utilizados pelos participantes da cadeia de valor através da computação em nuvem.

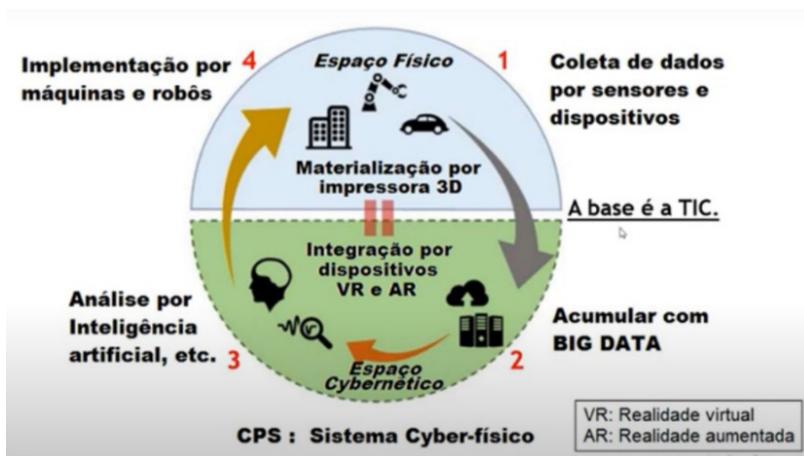


Figura 1 – Constituição do sistema ciberfísico⁽¹⁾

O fato de que o modelo digital é constantemente atualizado com informações da parte física, faz com que o digital seja um modelo mais fiel do que está, de fato, acontecendo

no físico. Além disso, consegue armazenar todo o histórico de dados e prover otimização e predição para ele.

Anteriormente, a escolha dos locais de instalação das indústrias era baseada em facilidade de escoamento de produção, disponibilidade de mão-de-obra e recursos e, ainda, disponibilidade do fornecimento de água e energia. Atualmente, mais um item torna-se imprescindível: conectividade à internet.

O termo “*Indústria 4.0*” é originário de um projeto de alta tecnologia para informatização da manufatura do governo alemão, utilizado pela primeira vez na Hannover Messe, uma das maiores feiras de Inovação do mundo. O conjunto de recomendações para implantação desta nova revolução foi apresentado em outubro de 2012 e, em abril de 2013, nesta mesma feira, apresentou-se o relatório final do grupo de trabalho dedicado a este tema. De acordo com este documento, os princípios desta revolução se baseiam em:

- **Interoperabilidade:** a habilidade dos sistemas ciberfísicos (tal como suporte de peças, estações de montagem e produtos), dos humanos e das fábricas inteligentes de se conectarem e se comunicarem entre si através da internet e da computação em nuvem;
- **Virtualização:** uma cópia virtual das fábricas inteligentes é criada por sensores de dados interconectados, que monitoram processos físicos, com modelos de plantas virtuais e modelos de simulação;
- **Descentralização:** a habilidade dos sistemas ciberfísicos das fábricas inteligentes de tomarem decisões sem intervenção humana;
- **Acompanhamentos e Decisões em Tempo Real:** a capacidade de coletar e analisar dados e entregar conhecimento derivado dessas análises imediatamente;
- **Orientação a Serviço:** oferta dos serviços dos sistemas ciberfísicos, humanos ou das indústrias inteligentes através da computação em nuvem;
- **Modularidade:** adaptação flexível das fábricas inteligentes para requisitos mutáveis através da reposição ou expansão de módulos individuais; e
- **Transparência da informação:** transparência de dados e informações para tomada de decisão, identificando o problema e áreas carentes de desenvolvimento, investimento ou tecnologia.

Bloemet et al⁽²⁾ citam três razões para implantação da Indústria 4.0 em uma empresa. A primeira é a comunicação machine-to-machine (M2M) onde, como no próprio nome diz, a comunicação é feita entre máquinas sem a necessidade de intervenção humana. Essa condição gera importantes contribuições no aumento da eficiência e segurança, além de permitir a conversão dos dados sem informações significativas, ou seja, os dados não apresentam influência humana e a capacidade de erro diminui, aumentando a eficácia na seguridade das informações.

A segunda razão comentada pelos autores é a possibilidade de realização de manutenção preditiva de máquinas e aparelhos, com base nos dados que eles enviam ao sistema. Com o uso excessivo, o equipamento pode ser danificado antes do tempo previsto e, por meio dos dados recebidos das atividades já executadas, a programação da manutenção pode ser feita de forma mais assertiva. A mudança da cultura de manutenção corretiva para preditiva evita ociosidade do equipamento, provocada por manutenções não planejadas, e permite que seja alcançado o pico de produtividade.

Por fim, a última razão vai além de maximizar a eficiência operacional, pois tem como objetivouma maior interação com o cliente (engagement), já que é possívelcompartilhar informações de uso do produto vendido, por exemplo, de forma a criar novos valor e forma de prestar serviços.

2 | BRASIL NA INDÚSTRIA 4.0

Apesar da economia do Brasil representar cerca de 1/3 do PIB da América Latina, sendo uma das 10 maiores economias do mundo, este participa somente de 1,2% do comércio internacional. A participação da indústria de transformação no PIB, que já havia atingido mais de 20% em meados da década de 80, reduziu para 11% em 2016, fruto de mudança na estrutura produtiva do país.

Além disso, o Brasil ocupa o 69º lugar no Ranking do Índice Global da Inovação, com 33,1 pontos, onde são avaliados quesitos de crescimento de produtividade, investimentos em pesquisa e desenvolvimento, educação, exportação de produtos de alta tecnologia, dentre outros. Em primeiro lugar, tem-se a Suíça (67,7 pontos), seguida de Suécia (63,8), Países Baixos (63,3), EUA (61,4) e Reino Unido (60,8)⁽³⁾.

O relatório *Readiness for the Future of Production Report 2018*⁽⁴⁾ mostra o Brasil na 41ª posição em termos da estrutura de produção e na 47ª posição em relação aos vetores de produção da indústria.

Com base nestes dados, conclui-se que a integração das tecnologias físicas e digitais, em todas as fases de desenvolvimento de um produto, ainda é pouco utilizado pelas empresas. O Brasil tem muitos campos de excelência, seja no agronegócio ou até mesmo em determinados ramos da indústria, mas ainda tem práticas pouco assertivas e voltadas ao tema da Indústria 4.0. Em média, cerca de 43% das empresas brasileiras não identificam quais tecnologias tem potencial para alavancar a competitividade do setor industrial sendo que, nas pequenas empresas, esse percentual sobe para 57% e, nas grandes, recua para 32%⁽⁵⁾.

Segundo a Confederação Nacional da Indústria (CNI), que publica pesquisas nacionais sobre adoção de tecnologias digitais relacionadas à era da manufatura avançada, a indústria brasileira ainda está se familiarizando com a digitalização e com os impactos sobre a competitividade. Acredita-se que o Brasil esteja pouco preparado para a adoção em

larga escala da Indústria 4.0, tendo em vista aspectos estruturais, educacionais e culturais.

Reconhecendo a importância do tema, o Governo Federal lançou através do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC) e da Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), a Agenda Brasil para a Indústria 4.0, a qual possui um conjunto de iniciativas que visam promover o desenvolvimento deste tipo de Indústria no país. Segundo levantamento da ABDI, a estimativa anual de redução de custos industriais no Brasil, a partir da migração da indústria para o conceito 4.0, será de, no mínimo, R\$ 73 bilhões/ano. As etapas para implantação da indústria 4.0 irá depender do grau de maturidade de cada empresa e, no geral, pode-se listar como um seqüenciamento viável para a indústria brasileira, a implantação das medidas a seguir.

Parte A – Conhecimento – compreensão do conceito e avaliação

I. Difusão do conteúdo, com conhecimento do que vem a ser a indústria 4.0, apoiada nos pilares da tecnologia, brasilidade e indústria.

II. Auto avaliação, para que seja identificada a maturidade da indústria em relação a jornada para implantação desta revolução. Geralmente, os steps de maturidade podem ser subdivididos em:

- a. Step 01 – Processos manuais, ausência de sistemas;
- b. Step 02 – Controle por código de barras, necessita de otimização de layout;
- c. Step 03 – Adoção de CAD, desenhada e parametrizada; e
- d. Step 04 – Sistemas integram simulações, visualização 3D da fábrica.

III. Infraestrutura de banda larga para a indústria: redes de comunicação confiáveis, abrangentes e de alta qualidade.

Parte B – Protótipo – quem são os parceiros tecnológicos e de negócios

I. HUB 4.0 – plataforma de serviços para geração de valor, totalmente integrada a plataforma de auto avaliação, permitindo conexão aos provedores de tecnologia para digitalização e modernização dos processos. Parte do princípio de que as empresas, através de um levantamento de demanda, acionam consultores especializados que determinam uma agenda de implantação tecnológica, baseada em soluções aplicadas.

II. Brasil mais produtivo (B+P), para diminuir o distanciamento tecnológico entre as grandes empresas com as micro e pequenas, ampliando o número de empresas que utilizam a digitalização industrial.

III. Test beds, com a formatação de fábricas do futuro, em que é possível prototipar processos de implantação e experimentar as tecnologias, reduzindo as incertezas e os riscos.

IV. Conexão Startup-Indústria 4.0, com a massificação da conexão com foco nas necessidades da indústria nacional e utilização de propostas disruptivas e novos

modelos de negócio. O cadastro de startups pode ser feito através de workshops e imersões nas indústrias.

V. Mining Hub, onde mineradoras apoiam o desenvolvimento de soluções que inovem o setor no Brasil, principalmente tratando-se de eficiência operacional, fontes alternativas de energia, gestão hídrica, gestão de rejeitos e resíduos, segurança e desenvolvimento social.

Parte C – Requisito – definição do time e regras

I. Talentos, com mapeamento de competências, entendimento das demandas de mercado, requalificação de trabalhadores e preparação das novas gerações.

II. Segurança, com a implantação de arquiteturas de segurança integradas e identificadores únicos, juntamente com os aprimoramentos relevantes para treinamento e conteúdo de desenvolvimento profissional contínuo.

III. Realização de estudos, para identificação de pontos estratégicos onde a tecnologia da Indústria 4.0 pode se iniciar na empresa.

IV. Regras do jogo, com reformas legais e infra-legais para promoção da aceleração da jornada da indústria brasileira. Como exemplo, pode-se citar regulamentações de robôs colaborativos (COBOT), privacidade e proteção de dados e polos industriais.

Parte D – Incentivos – para elevação da eficiência, produtividade e competitividade

I. Financiabilidade, através de parcerias com bancos públicos e privados, para garantia de um leque acessível a diferentes empresas e necessidades.

Parte E – Alianças estratégicas – competição igualitária com mercados externos

II. Conexão global, com propostas de zeroing (zeragem) das alíquotas de importação de bens e insumos estratégicos e redução do imposto de importação para novas tecnologias. Vale também ressaltar a importância de cooperações e projetos bilaterais com demais países.

Dentre 23 setores industriais do país, 14 estão em situação mais vulnerável, tais como setores de impressão e reprodução, farmoquímicos e farmacêuticos, químicos, minerais não-metálicos, couro e calçados, vestuário e acessórios, têxteis, máquinas e aparelhos elétricos, outros equipamentos de transporte, produtos de metal, máquinas e equipamentos, móveis, artigos de borracha e plástico, e produtos diversos. Em geral, estes segmentos apresentam produtividade inferior à média nacional e baixa inserção no comércio exterior, o que irá exigir um maior esforço para a implantação da Indústria 4.0.

A indústria extrativa (mineração - metálicos e rochas), metalurgia, companhias produtoras de energia elétrica, alimentícias, fumo, bebidas, celulose e papel, madeira e petrolífero, são exemplos de setores industriais com maior potencial para serem os líderes

na adoção de tecnologias, com maior proporção relativa de produtividade e altas taxas de exportação.

3 | MINERAÇÃO BRASILEIRA E A INDÚSTRIA 4.0

Apesar da tendência de que a indústria extrativa tenha maior capacidade para a implantação da Indústria 4.0, e necessitam migrar para se manterem competitivos, tem-se que a mineração ainda está nos primeiros passos dos processos de modernização. Um dos principais motivos é o perfil conservador da indústria, onde também percebe-se a pequena integração entre os elos da cadeia produtiva. Segundo Moilanen⁽⁶⁾, este cenário é denominado de “Síndrome da Tecnologia Comprovada”, onde as empresas querem se beneficiar das tecnologias mas, pelo fato de que ainda são recentes e sem provas concretas de sua eficácia em um horizonte temporal maior, causam insegurança. Assim, os empreendedores ficam receosos em testá-las e preferem utilizar métodos tradicionais, uma vez que a maior parte dos riscos já são conhecidos ou foram experimentados e vivenciados.

Entretanto, estas novas tecnologias trazem inúmeras oportunidades para agregar valor aos produtos oferecidos aos clientes. A automação dos processos otimiza as operações de mineração e as mineradoras estão começando a perceber que inovação é uma solução estrutural de longo prazo⁽⁷⁾. Na Tabela 1, tem-se alguns exemplos de como as tecnologias podem ser aplicadas na indústria da mineração, com algumas vantagens elencadas.

USO NA MINERAÇÃO	VANTAGENS
Sistemas de Transportes Autônomos, como automação de trens e caminhões ⁽⁸⁾	<ul style="list-style-type: none"> - Segurança dos veículos e dos funcionários - Maior tempo de vida útil do equipamento - Maior eficiência produtiva - Maior velocidade média de transporte e, conseqüentemente, menor tempo médio de entrega
Sistema que detecta a sonolência e emite sons visuais e sonoros ao funcionário e à central de monitoramento ⁽⁹⁾	<ul style="list-style-type: none"> - Evita acidentes - Maior segurança e bem-estar dos funcionários
Algoritmos traçam tendências e identificam quais projetos em P&D são as melhores oportunidades de investimento, principalmente relacionadas a sustentabilidade e energia ⁽¹⁰⁾	<ul style="list-style-type: none"> - Detecção de focos de investimento que causem maior impacto positivo
Detecção de corpos de minério em áreas novas/remotas, mesmo sem acesso a dados geológicos pré-existent ⁽¹¹⁾	<ul style="list-style-type: none"> - Redução no tempo gasto em pesquisas preliminares - Melhor capacidade de planejamento da lavra
Geometalurgia automatizada ⁽¹²⁾	<ul style="list-style-type: none"> - Monitoramento do processo de beneficiamento do minério para verificação se está operando conforme planejado

USO NA MINERAÇÃO	VANTAGENS
Separação de material de forma automatizada como, por exemplo, sistemas que usam jato de ar comprimido ao invés de água ^{(13),(14)}	<ul style="list-style-type: none"> - Menor quantidade de finos transportados para as barragens de rejeitos - Mais sustentável, em termos ambientais - Melhor eficiência energética (redução do consumo hídrico) - Mina teve uma taxa de recuperação global 20% maior do que o período em que não usava
Carregadeiras e Caminhões Articulados (LoadAssist e HaulAssist) ⁽¹⁵⁾	<ul style="list-style-type: none"> - Redução da variância da quantidade de material a ser transportado - Auxílio na gestão da produção e da frota de transporte - Otimização da produção - Redução do desgaste dos caminhões
Construção de banco de dados robusto e confiável para identificação de possíveis melhorias e controle da operação ⁽¹⁰⁾	<ul style="list-style-type: none"> - Identificação de melhores práticas das unidades e replicação em outras unidades - Ganho de eficiência - Maior produtividade
Avaliação do potencial de jazidas por meio da comparação com o desempenho de áreas e depósitos mineiras similares, além de informações geoquímicas, geológicas e atividades sísmicas ⁽¹⁰⁾	<ul style="list-style-type: none"> - Predição do tempo de vida útil da jazida - Recomendação das frentes de exploração
Gêmeo digital interativo da mina que mostra o estado atual e o planejamento futuro do sítio ⁽¹⁶⁾	<ul style="list-style-type: none"> - Auxilia na tomada de decisões sobre o futuro da exploração
Sistema que detecta mineralizações para localização de novos empreendimentos viáveis ⁽¹⁷⁾	
Sistema de monitoramento das paredes de minas a céu aberto ⁽¹⁸⁾	<ul style="list-style-type: none"> - Dados do monitoramento são utilizados para tomar decisões sobre evacuação de pessoas e equipamentos - Melhora a segurança da mina

Tabela 1 – Exemplos de aplicação tecnológica na mineração

Com base nestes exemplos de algumas aplicações já implantadas é possível vislumbrar a redução do impacto e dano ambiental nas atividade minerárias, tais como retirada de menos material, geração de menos resíduos e redução com custos de combustível e de manutenção de veículos. Ainda, maior segurança dos trabalhadores, aprimoramento da eficiência da produção, principalmente no que tange a melhoria da previsibilidade do produto, além da melhora na capacidade de planejamento da lavra⁽¹⁹⁾.

A redução de tempos ociosos não previstos na produção também deve ser considerada, uma vez que a simulação virtual permite que sejam verificados gargalos e falhas de implantação e operação. A produção deve ser planejada para que sejam mantidos, ou reduzidos, os custos e as tecnologias sejam especializadas.

Vale ressaltar que, sem o enfoque adequado, podem ser desperdiçados grandes

investimentos para poucos resultados. Um ponto imprescindível é que a estratégia de digitalização da mina deve apresentar objetivo definido para a organização como um todo, ao invés de inovar em pontos desconectados entre si. O passo inicial é melhorar a capacidade de transformar dados em insumos importantes para resolver a gama de problemas enfrentados pelo setor, principalmente em relação à integração dos sistemas operacionais⁽²⁰⁾.

Acredita-se que com a evolução e o barateamento das tecnologias necessárias para colocar o programa Indústria 4.0 em prática, haverá a transição de um maior número de indústrias do nível de automação atual para a utilização de sistemas ciberfísicos. Entretanto, é importante atentar-se que, para os setores em que o Brasil, hoje, se encontra em situação relativamente confortável em função das suas vantagens comparativas, o avanço tecnológico em outros países poderá provocar grandes pressões competitivas no futuro.

4 | ACELERAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 NO BRASIL

A pandemia do coronavírus gerou impactos profundos na economia mundial e no comportamento das pessoas. Apesar das grandes perdas, a crise forçou uma aceleração tecnológica em todo o mundo e as tendências de implantação da indústria 4.0 no Brasil indicam certo progresso. A necessidade de que profissionais continuassem suas atividades em regime home-office evidenciou, claramente, como processos precisam ser compartilhados, integrados e descentralizados. Conectar-se é mais do que fundamental.

No que diz respeito ao consumo, a simulação de cenários para planejamento de demanda produtiva foi bastante utilizada. Porém, ocorreu de forma limitada, uma vez que as empresas não conseguiram prever o volume de saída de muitos itens, gerando carências no público consumidor. No Brasil a pandemia não apresentou grandes cadeias de desabastecimento mas, ainda, uma grande redução produtiva, principalmente de micro e pequenas empresas.

Os sistemas tecnológicos, geralmente, se baseiam em dados históricos para que sejam feitas previsões. Ao se deparar com um cenário novo e, no caso desta recente pandemia, nunca visto nesta escala, os cálculos não se consolidaram. Por isso a tendência da indústria em buscar modelos mais inteligentes para fazer simulações, a fim de prever cenários menos previsíveis, deve estar fundamentalmente em crescimento.

Além da pandemia, outra fonte catalisadora da Indústria 4.0 é a rede 5G, já que a ethernet ainda predomina na infraestrutura de muitas indústrias, com um custo elevado. O avanço da Indústria 4.0 ganhará ainda mais força com a disseminação desta nova tecnologia no país, uma vez que trará muitas vantagens operacionais para as fábricas inteligentes. Dentre elas, pode-se citar maiores qualidade e velocidade de comunicação para os dispositivos sem fio ganharão, o que permitirá que os gestores utilizem o máximo

do potencial da Internet das Coisas, automatizando uma infinidade de processos. Apenas para se ter uma ideia, a 5G permite downloads cerca de 82 vezes mais ágeis que o 4G, prometendo uma base sólida para o desenvolvimento das indústrias do futuro.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

É importante ressaltar que ainda caminha-se de forma bem conservadora para a implantação da Indústria 4.0 no Brasil. É imprescindível rever as bases desta implantação e adaptar o que já se tem para o que realmente é relevante.

A pandemia do coronavírus acelerou a disseminação da Indústria 4.0 em setores farmacêuticos, vendas, bens de consumo não duráveis, mineração e alimentação, uma vez que estes tiveram que acelerar suas produções e inovar com a ajuda das tecnologias. É certo que, se antes as empresas já não estavam repensando suas estratégias operacionais e adotando as tecnologias da Indústria 4.0, a possibilidade de crise força a busca pela inovação para que se mantenham competitivas e bem-posicionadas no mercado.

Neste contexto o velocidade da comunicação e o diminuição do preço das tecnologias 5G, além do alcance das mesmas em varias regiões do país, descentralizará o auto custo. Esse passo é importante para que a industria consiga alavancar e manter seus produtos competitivos, abrindo um leque de oportunidade, em âmbito global, haja visto que o Brasil é um país vasto territorialmente e com variadas riquezas.

Embora exista esse movimento global de desenvolvimento das fábricas inteligentes e o avanço das comunicações digitais, uma nova tendência já tem sido discutida e apontada como uma possível Indústria 5.0. Com o propósito de abordar a temática de indústrias colaborativas, insere, novamente, o toque humano na produção. Ao contrário das revoluções anteriores que já tinham a parcela humana no sistema produtivo, nesta, há uma redistribuição da criatividade, necessária ao atendimento das exigências de padrões consumidores personalizados. As máquinas são excelentes para fabricação de produtos padronizados mas, sozinha, a tecnologia não consegue abordar essa exclusividade nos produtos. No contexto desta nova possibilidade, os robôs assumem tarefas árduas e perigosas e não se destinam a substituição da força de trabalho. A sustentabilidade, abertura e inclusão são os pilares defendidos por esta proposta, com uma tecnologia centrada na humanidade e auxiliando a qualidade de vida.

REFERÊNCIAS

1. Reinert JH. Indústria 4.0: CPS - Sistema Cyber Físico. Youtube, 16/09/2018. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=WnXrN2SzzUw>>. Acesso em: 27/09/2021.
2. Bloem J, van Doorn M, Duivestijn S et al. The fourth industrial revolution: Thingstotightenthe link between IT and OT. SogetiLabs: Issy-les-Moulineaux, 2014.

3. Universidade Cornell, INSEAD e OMPI (2017).
4. Fórum Econômico Mundial - Readiness for the Future of Production – Report 2018
5. Pesquisa Nacional sobre a Adoção de Tecnologias Digitais relacionadas à Era da Manufatura Avançada – Revista PEGN – Setembro de 2016.
6. Moilanen J. Over coming the Syndrome of Proven Technology. 2018. Disponível em: <<https://mexicobusiness.news/mining/news/overcoming-syndrome-proven-technology>>. Acesso em: 13/08/2021.
7. Mexico. Mining Report 2019. 2018.
8. Klein P. The frontier of analytics and artificial intelligence. In: Deloitte. Tracking the trends 2019: The top 10 issues transforming the future of mining. p.10-15. 2018.
9. ABM, Revista. Energia limpa. n.650, v.74. 2018
10. Tiago E. Transformação digital está em curso nas mineradoras. Valor Econômico. 2019. Disponível em: <<https://valor.globo.com/empresas/noticia/2019/09/09/transformacao-digital-esta-em-curso-nas-mineradoras.ghtml>>. Acesso em: 13/08/2021.
11. Deloitte. Tracking the trends 2019: The top 10 issues transforming the future of mining. 2018.
12. Geometalurgia automatizada. Revista Brasil Mineral. Ano XXXV, n.385, p.12-13. Outubro de 2018.
13. A Tecnologia do Ore Sorting. Revista Brasil Mineral. Ano XXXV, n.385, p.16-16. Outubro de 2018.
14. Serra Grande pode ampliar aporte de produção. Revista Brasil Mineral. Ano XXXVI, n.391, p.42-44, jun. 2019.
15. Equipamentos e tecnologias. Revista Brasil Mineral. Ano XXXVI, n.388, p.31-36. Março de 2019.
16. Benton D. The future of the coal industry. Mining Global Magazine. p.30-51. Novembro de 2018.
17. Alves R. A participação brasileira na maior convenção de exploração mineral. RevistaBrasil Mineral. Ano XXXVI, n.388, p.18-20. Março de 2019
18. CSIRO – Common wealth Scientific and Industrial Research Organization. Mining Equipment, Technology and Services: A Roadmap for unlocking future growth opportunities for Australia. Maio de 2017.
19. Neto EDC. Os Impactos da Indústria 4.0 na Mineração. 2019. 78p. Monografia – Universidade Federal de Uberlândia.
20. Deloitte. The digital revolution. Mining starts to reinvent the future. 2017.

CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DAS ROCHAS ENCAIXANTES DA CAMADA DE CARVÃO BARRO BRANCO DA BACIA CARBONÍFERA SUL-CATARINENSE

Data de aceite: 01/11/2021

Data de submissão: 06/09/2021

Clovis Gonzatti

Universidade Federal do Rio Grande do Sul -
Departamento de Mineralogia e Petrologia
Porto Alegre - RS
<http://lattes.cnpq.br/4260816561352384>

RESUMO: Embora as maiores reservas de carvão do Brasil estejam situadas no Estado do Rio Grande do Sul, a Bacia Carbonífera Sul-Catarinense, localizada no Estado de Santa Catarina, concentra o maior número de minas de carvão em subsolo do País. O conhecimento das características mecânicas das rochas que compõem a camada de carvão e as camadas encaixantes é de fundamental importância para o dimensionamento das estruturas de sustentação das minas (pilares) e suporte do teto das escavações. Este trabalho reporta os estudos realizados pela CIENTEC - Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado do RS sobre rochas sedimentares presentes nas camadas encaixantes da camada de carvão Barro Branco. Os trabalhos de campo consistiram na execução de sondagens rotativas com diâmetro NX utilizando amostrador duplo-móvel. Em laboratório foram realizadas análises petrográficas macrosocópicas, ensaios para a determinação dos índices físicos e ensaios mecânicos para a determinação da resistência e deformabilidade dos diferentes litotipos. Os

resultados permitiram a caracterização das rochas encaixantes da camada de carvão Barro Branco através da definição de padrões típicos de resistência. Esses padrões são usados para a análise da capacidade de carga das rochas encaixantes no processo de dimensionamento dos pilares de sustentação das escavações subterrâneas, quando utilizado o método de lavra por câmaras e pilares.

PALAVRAS-CHAVE: Formação Rio Bonito, carvão Barro Branco, ensaios de laboratório, caracterização geomecânica.

GEOTECHNICAL FEATURES OF THE HOST ROCKS OF BARRO BRANCO COAL SEAM OF THE SOUTH CATARINENSE COALFIELD

ABSTRACT: Although the largest coal reserves in Brazil are located in the state of Rio Grande do Sul, the South-Catarinense Coalfield located in the state of Santa Catarina concentrates the largest number of coal underground mines in the country. This paper report studies conducted by CIENTEC - Fundação de Ciência e Tecnologia of the RS State on sedimentary rocks present in the enclosing layers of the Barro Branco coal seam. The samples were collected through vertical boring, using a double tube core barrel (NX diameter). The cylindrical samples were submitted to macroscopic petrographic analysis, physical and mechanical laboratory tests to determine the strength and deformability of different rock materials. The results allowed the characterization of the different sedimentary rock types enclosing the Barro Branco coal seam. These resistance patterns are used for the

analysis of the carrying capacity of the host rocks and design of the underground excavation pillars, when the room and pillar mining method is used.

KEYWORDS: Rio Bonito Formation, Barro Branco coal seam, laboratory tests, geomechanical characterization.

1 | INTRODUÇÃO

Poucos estudos geomecânicos são conhecidos sobre as rochas sedimentares do Sul do Brasil, especialmente sobre as rochas do pacote sedimentar encaixante das camadas de carvão. Normalmente os estudos existentes estão associados a materiais presentes em projetos de engenharia civil (DOBEREINER, 1987; DUARTE et al., 2010). No que tange às rochas encaixantes das camadas de carvão, destaque especial deve ser dado aos trabalhos realizados pelo IPT (1987), sobre amostras de arenitos laminados, siltitos e siltitos laminados do estado de Santa Catarina, e estudos detalhados realizados por ZORZI et al. (1989) com mais de uma centena de amostras de siltitos, arenitos, marga e pedra areia das Formações Palermo e Rio Bonito presentes na Bacia Carbonífera Santa Terezinha, no Estado do Rio Grande do Sul.

A partir do início da década de 1990, a CIENTEC - Fundação de Ciência e Tecnologia desenvolveu estudos detalhados em laboratório para a caracterização geomecânica dos materiais presentes nas camadas encaixantes das principais camadas de carvão no Sul do Brasil (ZORZI, 1990; 1996). Na Bacia Carbonífera Sul-Catarinense esse trabalho iniciou com as rochas encaixantes da camada Barro Branco, a principal camada de carvão minerada em subsolo, seguindo-se depois nas encaixantes das camadas de carvão Irapuá e Bonito, nessa mesma bacia. O objetivo dos ensaios em laboratório foi definir o comportamento mecânico das rochas encaixantes do teto e piso imediatos da camada de carvão.

Na mineração de carvão em subsolo no Brasil, a geometria das galerias consiste em aberturas com 5,5 a 6m de largura e altura correspondente a espessura minerada da camada de carvão, da ordem de 1,8 a 2,3m. Dentro desse contexto, os primeiros 5m acima e abaixo da camada de carvão constituem a parcela do maciço rochoso que sofre a maior redistribuição das tensões induzidas em função da escavação. O principal sistema de suporte das galerias é o de parafusos de teto (*roof bolting*). Nesse sistema, os mecanismos mais utilizados são o de efeito suspensão (*suspension effect*) e o de efeito viga (*friction or beam-building effect*) (PENG, 1986). Conhecer as características mecânicas e a distribuição espacial dos diferentes litotipos presentes na encaixante do teto é de fundamental importância para o projeto do sistema de suporte das galerias.

De outra parte, quando tratamos do dimensionamento dos pilares de carvão, não deve ser esquecido o papel desempenhado pelas rochas encaixantes, como fundação responsável pelo suporte das cargas transmitidas pelos pilares. O método de dimensionamento de pilares de carvão recomendado pelo DNPM - Departamento Nacional

da Produção Mineral atual ANM - Agência Nacional de Mineração, contempla, na sua concepção, a análise da capacidade de carga das rochas encaixantes (ZORZI et al. 1991). Portanto, conhecer esse atributo das rochas encaixantes, em especial, do piso é condição básica para o projeto dos pilares das minas de carvão brasileiras.

Neste capítulo, são apresentados os procedimentos adotados para a caracterização geomecânica das rochas encaixantes da camada de carvão Barro Branco, minerada na bacia Carbonífera Sul-Catarinense, no Sul do Brasil. Os procedimentos adotados *in situ* para a coleta de amostras, as técnicas de preparação das amostras e os procedimentos utilizados para a execução dos ensaios de caracterização física e mecânica, em laboratório, são detalhadas. Os resultados obtidos foram tratados estatisticamente e permitiram a tipificação das principais litologias presentes na Bacia Carbonífera. Essas informações servem de base para o projeto do sistema de suporte do teto e cálculo da capacidade de carga das rochas encaixantes do piso da camada de carvão Barro Branco.

2 | GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

Geograficamente, todos os locais investigados estão localizados dentro da Bacia Carbonífera Sul-Catarinense, a qual é parte da porção Leste da bacia do Paraná, conforme Figura 1, e se estende por vários Estados do Brasil. Os depósitos sedimentares mais antigos pertencem ao período Devoniano. A evolução da bacia possui características intracratônicas. Dentro da sequência estratigráfica, as litologias carbonosas estão associadas ao Grupo Itararé (basal) e Guatá, com idades do Carbonífero Superior e Permiano Superior. Porém, no Grupo Guatá estão localizadas as camadas de carvão mais espessas, de melhor qualidade e em exploração. Dentre as sete principais camadas, três possuem maior expressão econômica: Barro Branco, Irapuá e Bonito distribuídas na coluna estratigráfica como visto na Figura 2.

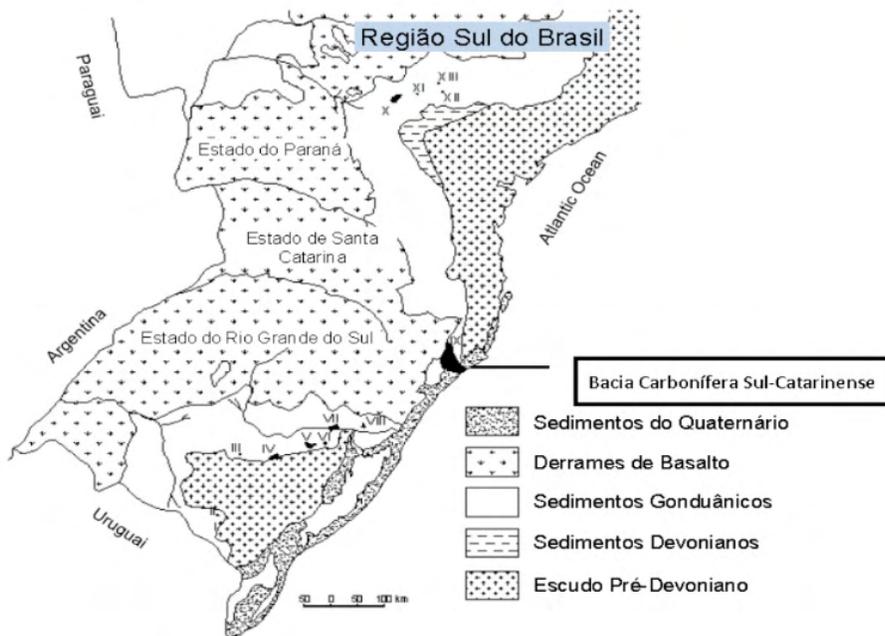


Figura 1 - Mapa geológico do Sul do Brasil. Números de I a XIII indicam bacias carboníferas conhecidas no Brasil. IX = Bacia Carbonífera Sul-Catarinense (Adaptado de ZORZI, 1990).

O condicionamento estrutural encontrado na bacia do Paraná é representado por falhas normais, com planos subverticais. Falhas de empurrão são raras e com pequenos rejeitos. A presença de *slikensides* causados pela compactação diferencial é frequente. Sistemas de fraturas podem acompanhar as falhas, formando sistemas conjugados, preenchidos ou não por diques de diabásio.

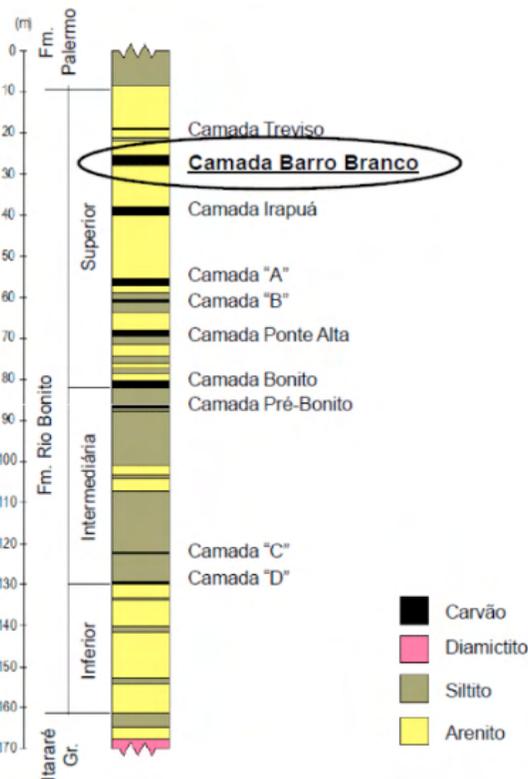


Figura 2 - Perfil estratigráfico típico da Formação Rio Bonito, com destaque para a camada Barro Branco (adaptado de COSTA, 2000).

O piso imediato da camada de carvão Barro Branco é formado, na maior parte, por arenitos de granulação fina à grossa e composição quartzosa. Estes arenitos apresentam, em alguns casos, uma laminação ondulada à lenticular, dada pela presença de finas lâminas de material siltico-argiloso. Por vezes podem aparecer camadas de material siltico somente, às vezes físsil, intercalado ao pacote de arenitos. Nas proximidades do piso da camada Barro Branco, localmente, pode ocorrer camada de siltito preto, compacto, fortemente alterável na presença de água.

Já no teto da camada Barro Branco podem aparecer somente arenitos, somente siltitos ou uma sucessão de camadas de arenitos e siltitos. O siltito, que compõe o teto imediato em alguns dos locais amostrados, apresenta variações desde siltito cinza escuro ou preto, maciço e consistente, até uma rocha físsil e mais micácea (folhelho siltico), ou então laminado, com lâminas formadas por arenito fino.

As demais camadas de siltito que compõem a porção mais superior do teto imediato são normalmente arenosas, com presença de micas e com lentes de arenito fino. A presença de pirita é constante, com proporções variáveis e ocorrendo sob a forma de plaquetas paralelas à físsilidade e laminação, ou preenchendo fissuras, com ou sem carbonato

associado. Os arenitos, por sua vez, são rochas de granulometria fina, às vezes grosseira, quartzosos, pouco micáceos e coerentes. Apresentam contatos nítidos ou gradacionais com os siltitos de base e topo. Nas camadas mais distantes do teto imediato os arenitos se mostram mais micáceos e com lâminas síltico-argilosas.

A seleção dos locais amostrados dentro da Bacia Carbonífera Sul-Catarinense levou em consideração estudos preliminares da geologia e a distribuição dos diferentes litotipos das encaixantes das camadas de carvão na jazida. Adicionalmente, a distribuição dos locais de amostragem contemplou as minas em atividade mais importantes e representativas da bacia carbonífera. As variações litológicas dentro das minas definiram o número de furos realizados em cada mina ou dentro de uma mesma mina. A amostragem do teto e do piso da camada de carvão Barro Branco abrangeu as principais minas em operação no final da década de 1980. Nesse contexto espacial, foram coletadas amostras de 4 minas importantes a época da execução dos trabalhos de amostragem (1988), quais sejam: Verdinho (*Site 1*), A-Sangão (*Site 2*), Santana (*Site 3*) e 3G (*Site 4*), conforme *sites* designados na Figura 3.

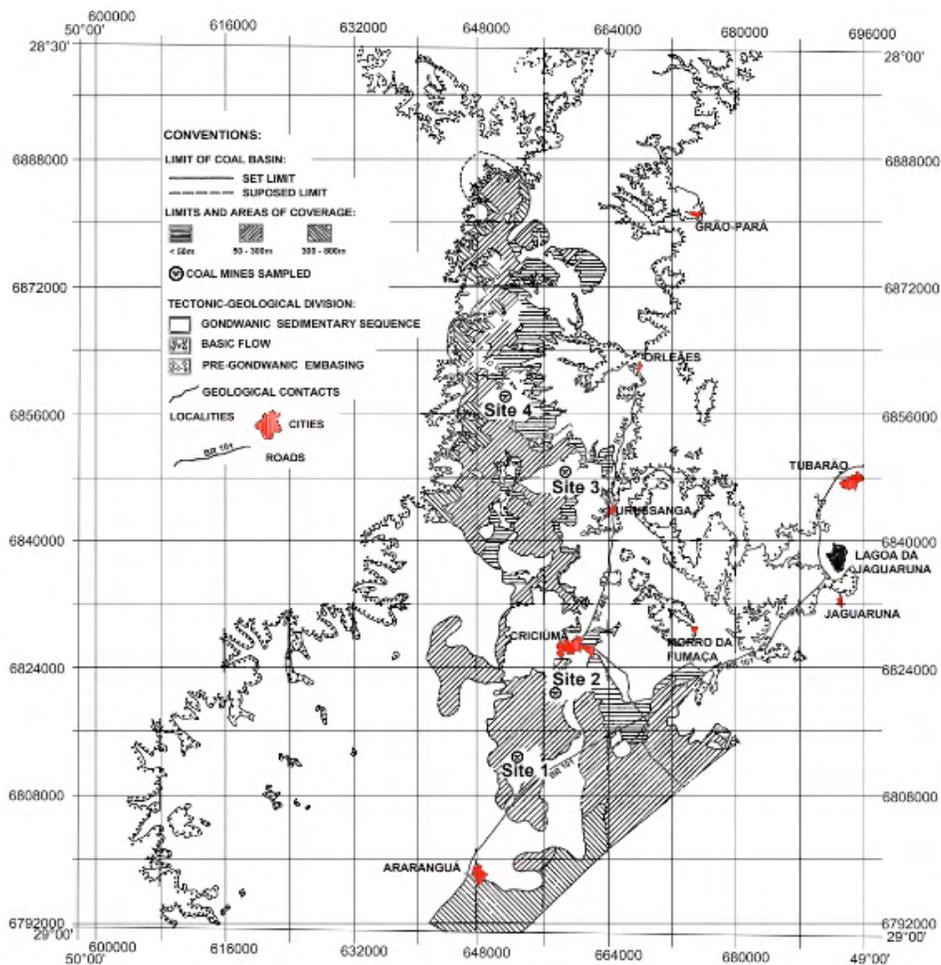


Figura 3 - Localização geográfica dos pontos de amostragem (Sites 1, 2, 3 e 4) das rochas encaixantes das camadas de carvão Barro Branco na Bacia Carbonífera Sul-Catarinense (adaptado de ZORZI, 1990).

31 AMOSTRAGEM

As sondagens foram realizadas em subsolo a partir do acesso direto em galerias nas frentes de lavra. Esse procedimento procurou buscar amostras numa condição mais preservada dos efeitos de desmonte e tensões induzidas *in situ*.

No total foram realizados 20 furos verticais, amostrando-se em cada local 5m no piso e 5m no teto, distribuídos em 4 minas localizadas nos 4 *sites* indicados na Figura 3, totalizando 100m de testemunhos coletados.

A coleta das amostras foi realizada com o emprego de sonda rotativa, utilizando amostrador duplo móvel com diâmetro NX (54mm). A qualidade da sondagem proporcionou recuperação acima de 95%. Imediatamente após a realização das sondagens as amostras

foram embaladas em papel alumínio e/ou filme plástico, como forma de preservar a qualidade do material frente aos agentes intempéricos, especialmente processos de oxidação devido à presença de pirita em algumas litologias.

Nas Fotos 1 e 2 podem ser vistos testemunhos típicos das litologias presentes no *site* 1, região em que são observadas as principais litologias presentes nas demais minas na Bacia Carbonífera Sul-Catarinense, enquanto na Figura 4 são apresentados os perfis litológicos de todos os furos de sondagem realizados nos diferentes locais de amostragem.

4 | ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Previamente à seleção das amostras para ensaio em laboratório as diferentes litologias foram descritas macroscopicamente e determinado o índice de qualidade da rocha, RQD - Rock Quality Designation. O Quadro 1 apresenta uma síntese das características petrográficas macroscópicas das diferentes classes geomecânicas identificadas nas amostras estudadas.

A preparação dos corpos de prova obedeceu aos procedimentos específicos sugeridos, para cada modalidade de ensaio, pela ISRM (1978a; 1978b; 1979a; 1979b; 1983). Previamente aos ensaios mecânicos, foram determinados a massa específica aparente e velocidade sônica (onda P), esta última determinada utilizando um equipamento "PUNDIT" (Portable Ultrasonic Non-Destructive Digital Indicating Tester) com transdutores de 54 KHz, 1 MHz and 2 MHz. Com o intuito de determinar a envoltória de ruptura das diferentes litologias, foram realizados ensaios de compressão diametral, compressão uniaxial e compressão triaxial.

No total, 702 corpos de prova foram ensaiados, conforme quantitativos vistos no Quadro 2. Os quantitativos de massa específica e de velocidade sônica podem ser considerados também a expressão aproximada da proporção de cada classe geomecânica na jazida.

Os ensaios de compressão diametral foram realizados em uma prensa Losenheim com capacidade de carga de 100kN. A tensão de tração indireta foi determinada na direção paralela aos planos de estratificação da rocha.

Os ensaios de compressão uniaxial e compressão triaxial foram realizados utilizando dois sistemas de carga: - um composto por um conjunto pórtico de reação-macaco hidráulico, com capacidade de carga de 2MN e; - outro consistindo de uma prensa EMIC, com capacidade de carga de 600kN. Em ambas as modalidades de ensaio a aplicação da tensão principal maior foi na direção perpendicular aos planos de estratificação da rocha.

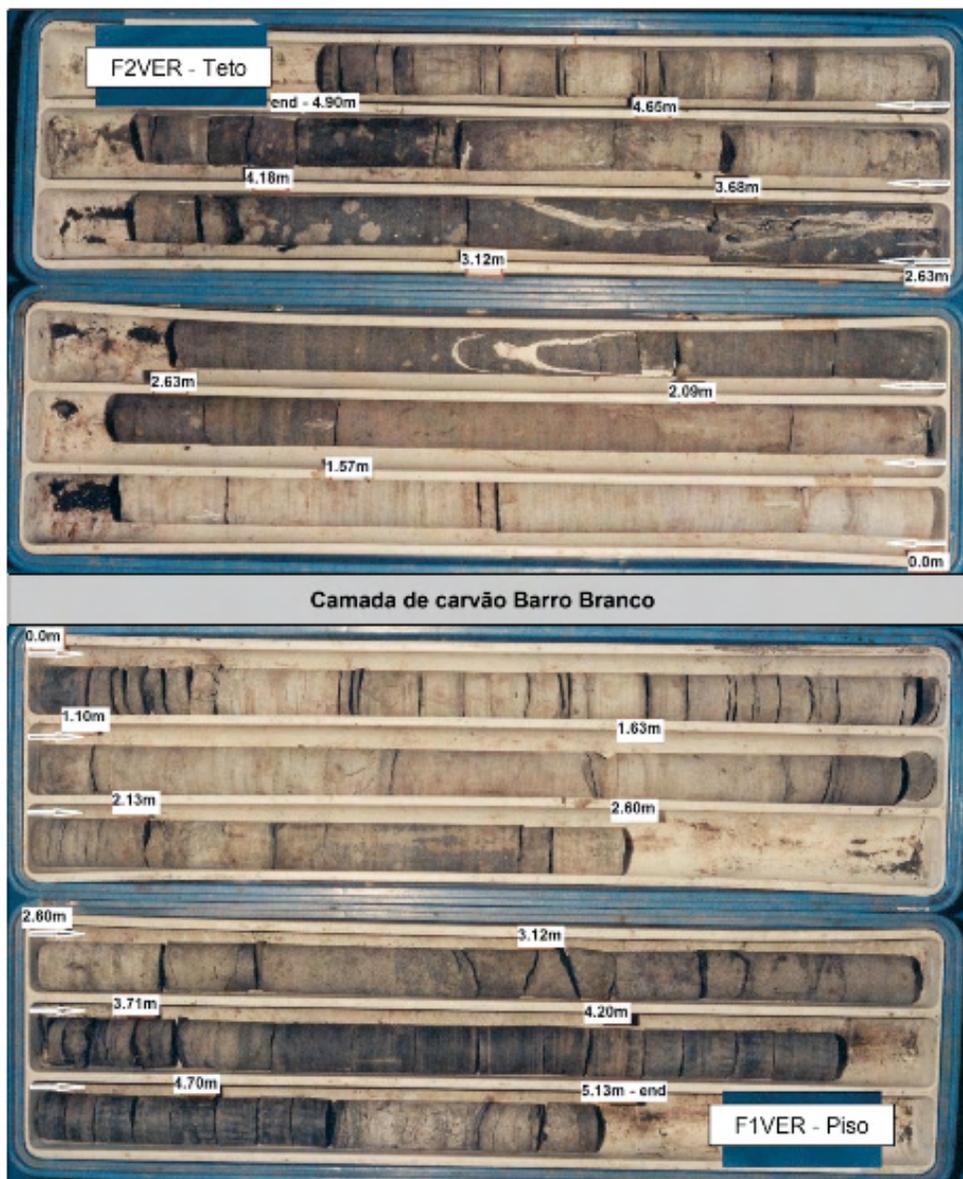


Foto 1 - Testemunhos de sondagem diâmetro NX (54 mm) obtidos nas sondagens das rochas encaixantes do teto e do piso da camada de carvão Barro Branco - Local 1 na Mina Verدينho - Site 1.

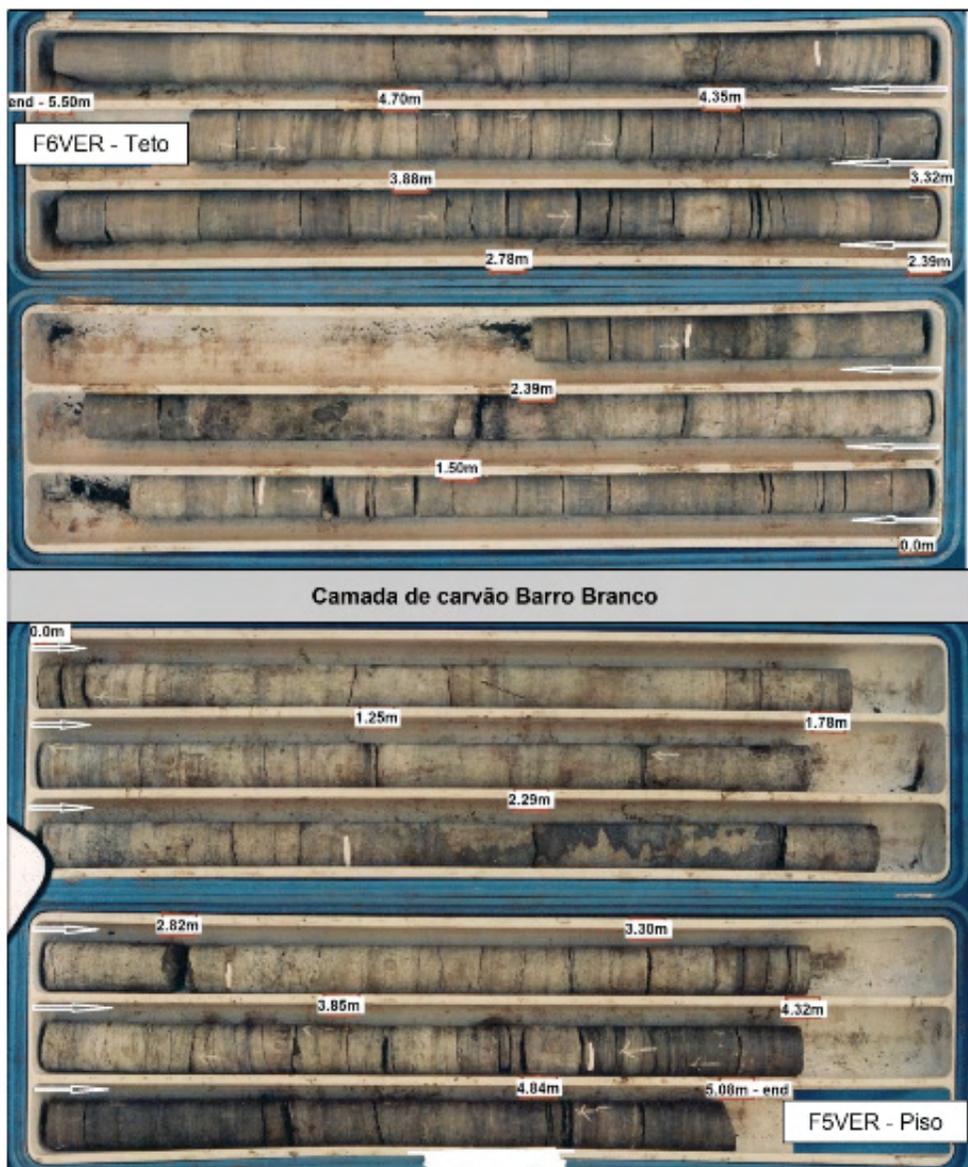


Foto 2 - Testemunhos de sondagem diâmetro NX (54 mm) obtidos nas sondagens das rochas encaixantes do teto e do piso da camada de carvão Barro Branco - Local 3 na Mina Verdinho - Site 1.

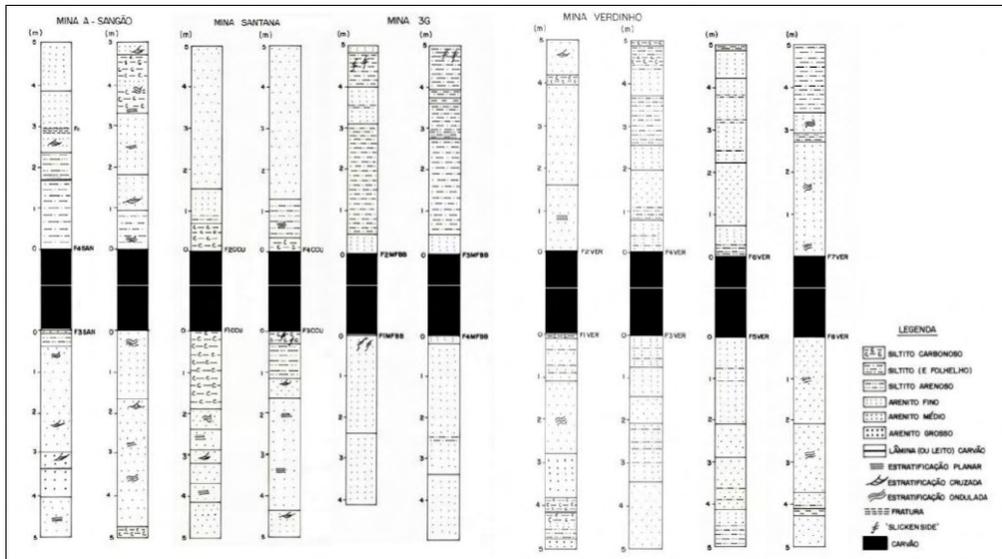


Figura 4 - Perfis geológicos típicos das rochas encaixantes da camada de carvão Barro Branco das diferentes minas amostradas na Bacia Carbonífera Sul-Catarinense (adaptado de ZORZI, 1990).

Classe Geomecânica	Descrição Macroscópica
Arenito HS (Alta Resistência)	Arenito orto-quartzítico, de granulação fina a média, cor cinza claro com cimento carbonático. Zonas com manchas claras são resultado de forte cimentação carbonática. Possui estratificação plano-paralela ou cruzada de baixo ângulo, apresenta-se compacto com frequentes intercalações de filmes de siltito, matéria orgânica, micas e concentrações de pirita. A rocha é muito coerente com RQD de bom a excelente (>75%) nas zonas maciças e pobre (<25%) nas zonas com intercalações. 
Arenito MS (Média Resistência)	Arenito de granulação fina a média, cor cinza claro, intercalado com finas lâminas ou leitos de siltito escuro, micáceo. Cimentação quartzítica. Fraturas frequentes de contato. RQD de excelente (>75%) a muito pobre (<25%). 
Arenito LS (Baixa Resistência)	Arenito de granulação grossa, cor cinza claro com manchas escuras. Intercalações de filmes de matéria orgânica dão origem a fraturas horizontais de acamamento frequentes. A cimentação é carbonática, embora a rocha possua aspecto friável. RQD pobre (25-50%). 

<p>Siltito HS (Alta Resistência)</p>	<p>Siltito cinza escuro, com finas lâminas de arenito intercalado. Fraturas muito frequentes nos planos de acamamento. RQD pobre (<50%).</p> 
<p>Siltito LS (Baixa Resistência)</p>	<p>Siltito carbonoso intercalado com arenito fino formando pequenas lentes. Apresenta estratificação plano-paralela, extremamente fraturado nos planos de acamamento. RQD muito pobre (<25%).</p> 

Quadro 1 - Características petrográficas macroscópicas típicas das diferentes classes geomecânicas das rochas encaixantes da camada de carvão Barro Branco na Bacia Carbonífera Sul-Catarinense.

Nos ensaios triaxiais a tensão confinante foi aplicada com o auxílio de uma câmara triaxial de Hoek. A ruptura seguiu os procedimentos de ensaio individual e/ou multiestágio. Todas as litologias foram ensaiadas na faixa de tensões confinantes entre 10 e 30MPa.

Classe Geomecânica	Modalidade de Ensaios					
	Massa Específica Aparente	Velocidade Sônica	Compressão			Módulo de Young/ Coeficiente de Poisson
			Diametral	Uniaxial	Triaxial	
Arenito HS	344	344	169	85	90	31
Arenito MS	91	91	48	22	21	5
Arenito LS	73	73	38	17	18	4
Siltito HS	134	134	75	30	29	7
Siltito LS	60	60	35	14	11	2
Total de Ensaios	702	702	365	168	169	49

Quadro 2 - Quantitativos de ensaios realizados com materiais das diferentes classes geomecânicas.

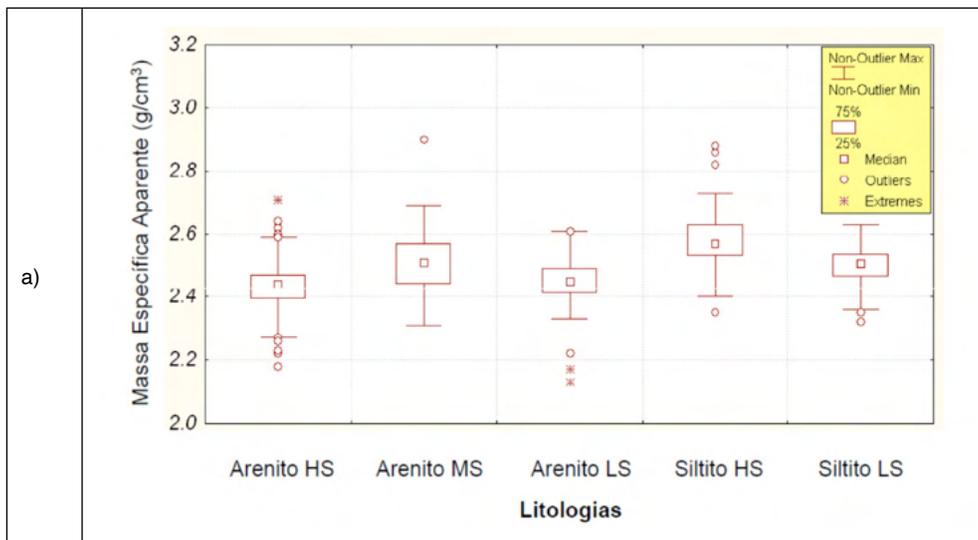
Nos ensaios de compressão uniaxial com determinação das constantes elásticas, as deformações foram medidas com extensômetros elétricos tipo *strain gages* e um sistema eletrônico Kyowa. O cálculo do módulo de Young foi feito pelo método médio, enquanto o coeficiente de Poisson baseou-se no método secante 50%.

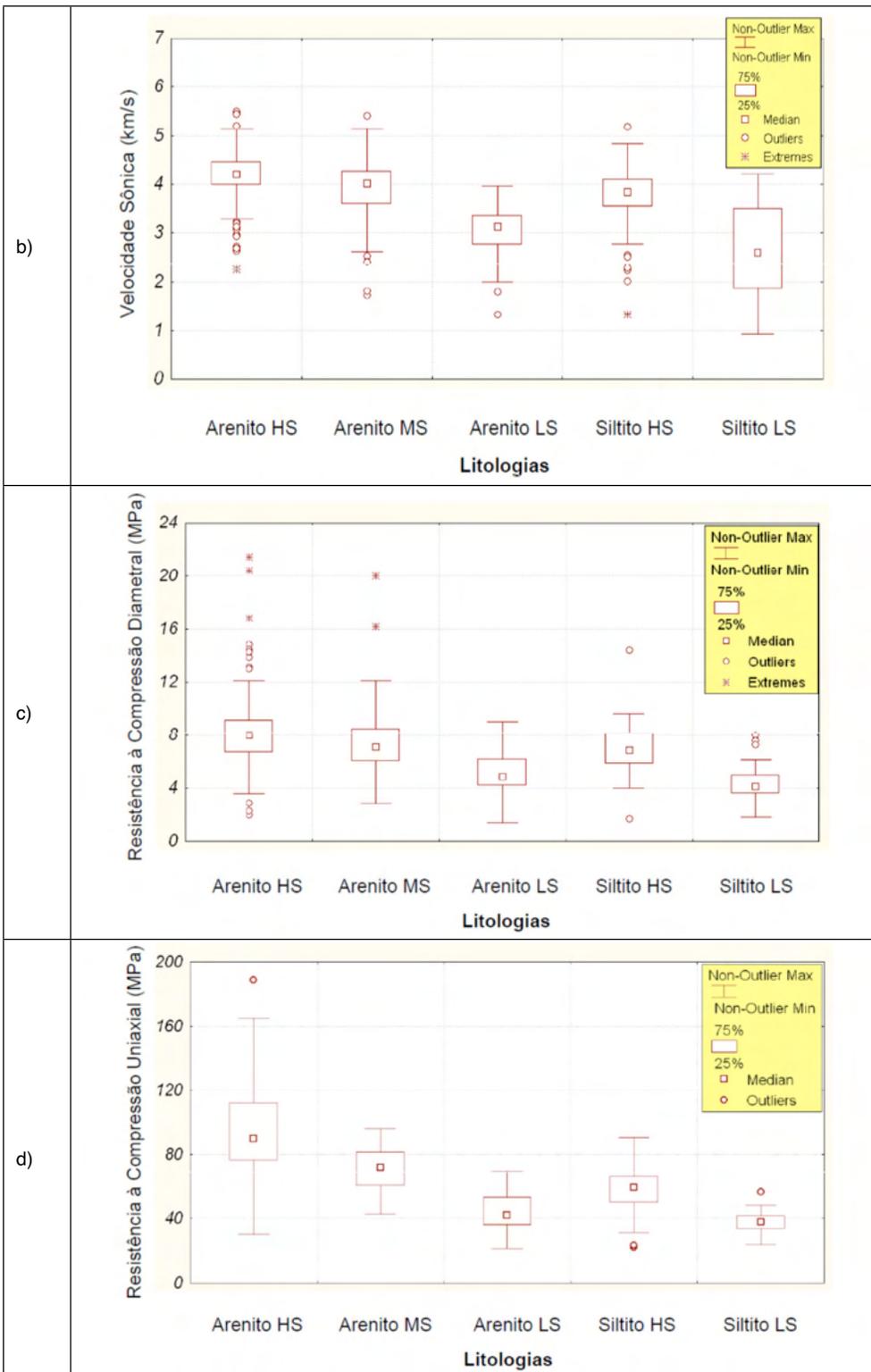
Todos os ensaios mecânicos foram realizados baseados nos métodos sugeridos pela ISRM com as amostras na condição de umidade natural entre 0,5% e 3%.

Para melhor visualização da dispersão dos resultados das diferentes modalidades de ensaios foram utilizados diagramas de caixas (*Box and Whisker*), conforme detalhado

no Anexo 1, com o auxílio do Software Statgraphics Plus, version 4.1. Os resultados das diferentes propriedades físicas e mecânicas são apresentados graficamente nas Figuras 5a a 5f. Após o tratamento estatístico dos dados foi possível a definição de cinco classes geomecânicas (três classes de arenitos e duas de siltitos). O processo de classificação geomecânica dos diferentes tipos litológicos estudados foi feito com base na análise petrográfica macroscópica, seguida da análise estatística dos resultados da velocidade sônica, resistência à tração e resistência à compressão uniaxial. Finalmente, utilizaram-se os resultados de todas as modalidades de ensaios mecânicos (compressão diametral, uniaxial e triaxial), individualizados por classe geomecânica, para o estabelecimento da envoltória de ruptura média de cada classe.

A envoltória de ruptura de cada uma das 5 classes foi definida com base no critério de ruptura de Hoek-Brown (HOEK et al., 2002). Os cálculos dos parâmetros representativos da envoltória da rocha intacta foram feitos com o auxílio do programa RocLab, version 1.033. A envoltória média de cada classe geomecânica levou em consideração todos os ensaios das diferentes modalidades de ensaio. Valores espúrios e/ou resultados de amostras pouco representativas da classe foram desconsiderados, adotando-se uma postura conservadora na definição da envoltória de ruptura.





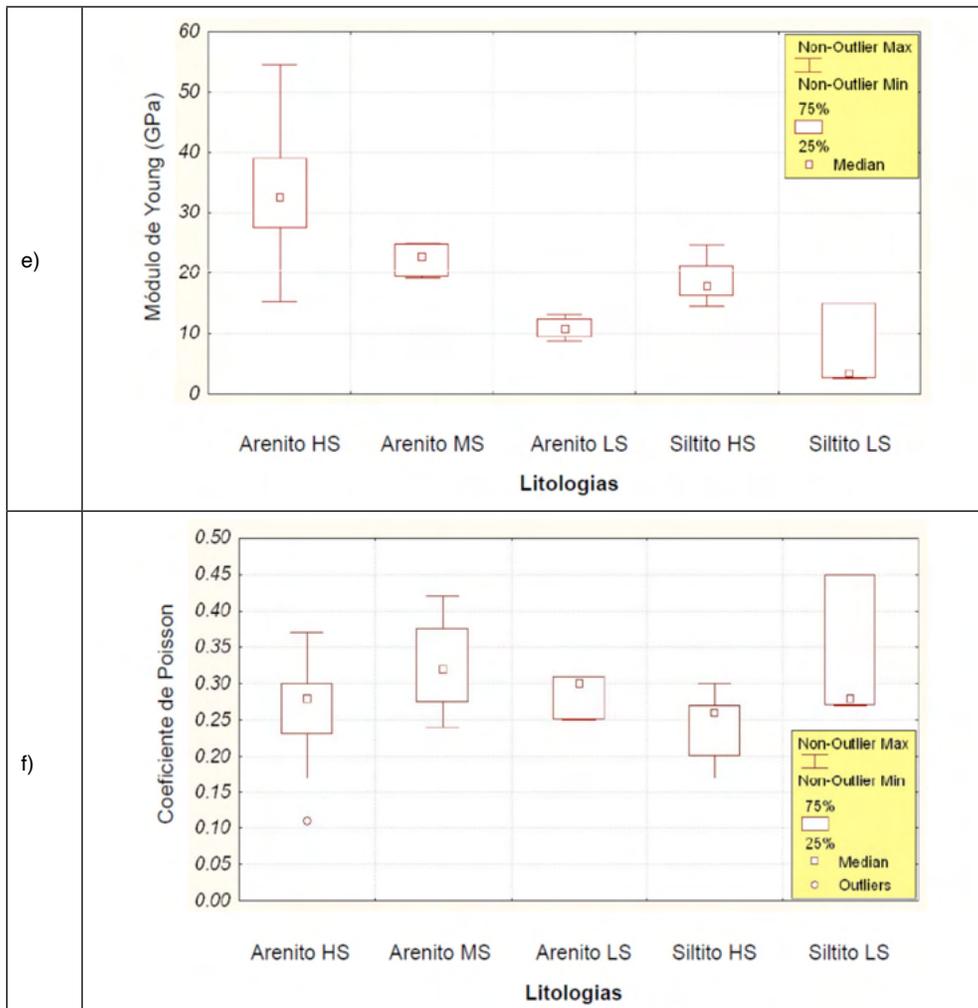


Figura 5 - Características físicas - (a) massa específica aparente, (b) velocidade sônica e - propriedades mecânicas - (c) resistência à tração, (d) resistência à compressão uniaxial, (e) módulo de Young médio e (f) coeficiente de Poisson secante 50% - das rochas encaixantes da camada de carvão Barro Branco.

As Figuras 6a a 10a apresentam os resultados dos ensaios das amostras ensaiadas em cada uma das 5 classes, juntamente com a respectiva envoltória de ruptura. Já nas Figuras 6b a 10b podem ser vistas as envoltórias das amostras juntamente com a envoltória média da respectiva classe geomecânica. Nesse conjunto de resultados estão representadas as 5 classes geomecânicas:

- 3 classes de **Arenitos HS, MS e LS**;
- 2 classes de **Siltitos HS e LS**.

As envoltórias médias das 5 classes geomecânicas são apresentadas no Quadro 3

e graficamente representadas na Figura 11.

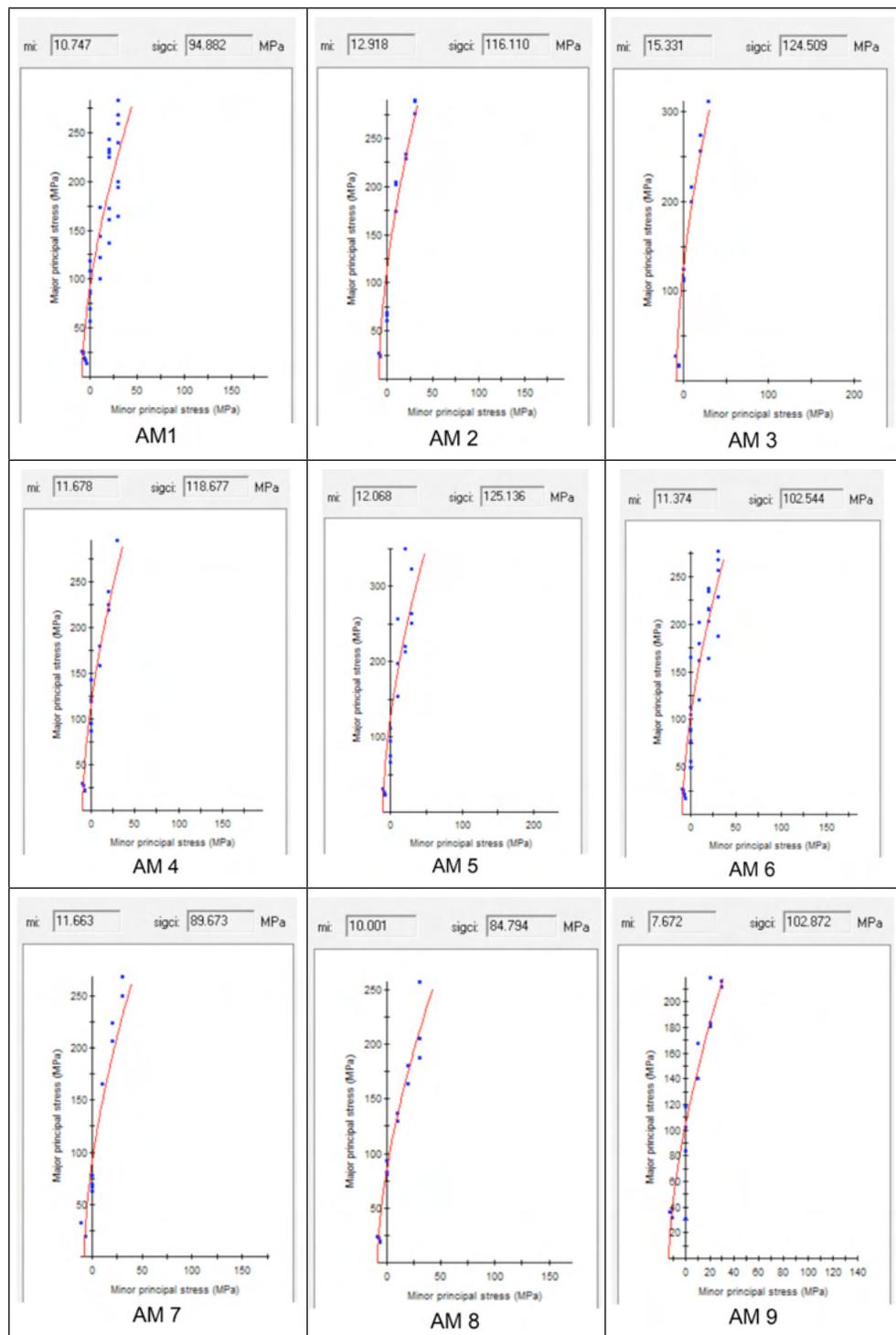
5 | ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os estudos realizados permitiram a caracterização geomecânica das principais litologias presentes nas encaixantes da camada de carvão Barro Branco, dentro da Bacia Carbonífera Sul-Catarinense. Litologicamente, são identificadas duas litologias bem distintas: arenitos e siltitos. Sob o ponto de vista das propriedades físicas, podem ser observadas 5 classes, especialmente quando observamos a velocidade sônica, conforme Figura 5b. É notável a diferença da velocidade (mediana) entre as 3 classes de arenitos, assim como entre as duas classes de siltitos. Da mesma maneira, mecanicamente, tanto a resistência à tração como a de compressão evidenciam a presença de 5 classes de resistência, embora as classes geomecânicas Arenito LS e Silito LS guardem boa semelhança, como visto nas Figuras 5c e 5d. Esse mesmo comportamento é observado no que se refere ao módulo de Young (Figura 5e), embora o Silito LS apresente uma variabilidade muito maior nos seus resultados.

Do ponto de vista geomecânico, os arenitos podem ser divididos em 3 classes: - Arenito HS, de grão fino, o mais resistente; - Arenito MS, de grão médio a fino, praticamente impossível de ser separado apenas pela descrição macroscópica; - Arenito LS, de grão médio a grosso, o menos resistente. Os siltitos, por seu lado, são divididos em duas classes: - Silito HS e o Silito LS. Macroscopicamente esses siltitos se distinguem apenas pelo grau de fissilidade, uma vez que pela textura e cor são muito semelhantes. Do ponto de vista prático, tendo como base as características petrográficas, físicas e as propriedades mecânicas das rochas estudadas, foram definidas 5 classes geomecânicas, conforme visto no Quadro 3.

Os materiais pertencentes às classes geomecânicas Arenito HS and Silito HS representam, aproximadamente, 50% e 20%, respectivamente, das litologias amostradas. Cada uma das 3 outras classes representa cerca de 10%.

Do ponto de vista da resistência ao cisalhamento, por sua vez, a envoltória de ruptura das diferentes classes geomecânicas sugere a existência de apenas 4 classes com características distintas, sendo duas de arenitos e duas de siltitos.



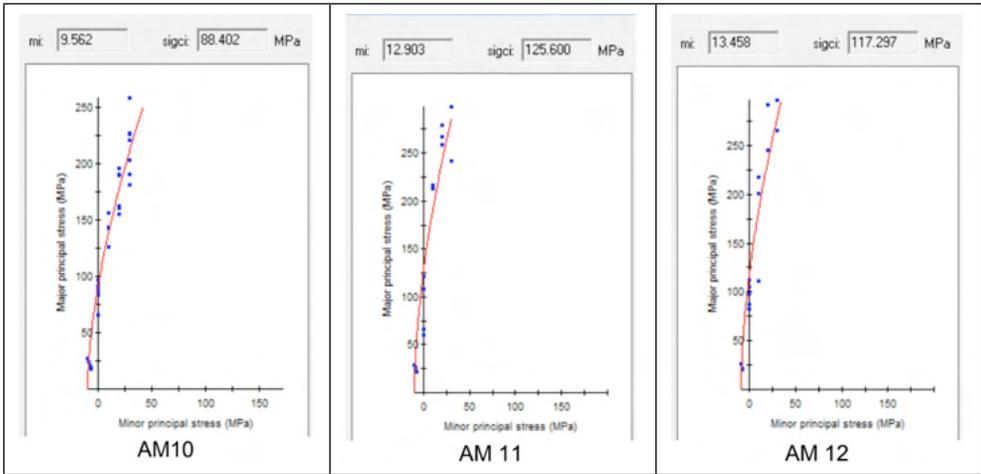


Figura 6a - Amostras das encaixantes da camada de carvão Barro Branco classificadas geomecanicamente como Arenito HS. Resultados de ensaios De cada amostra e envoltória de ruptura da rocha intacta, de acordo com o critério de Hoek-Brown.

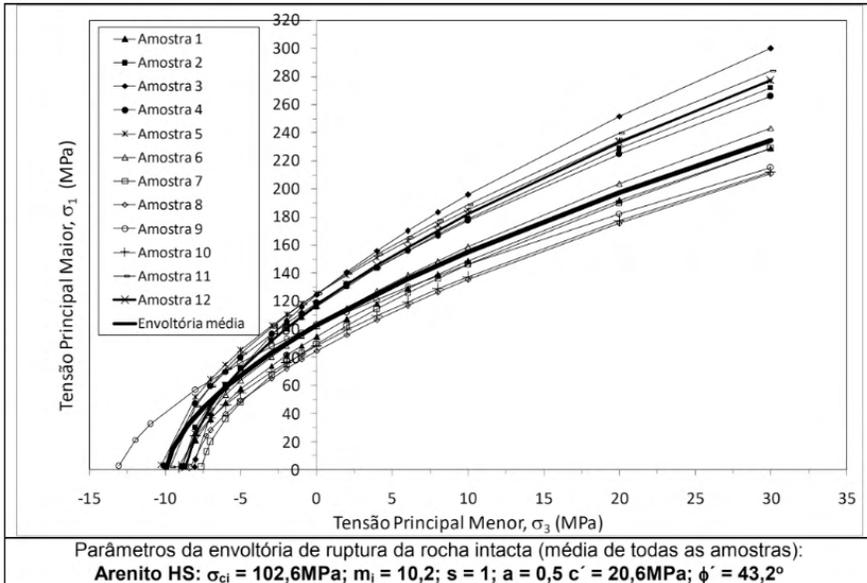


Figura 6b - Envoltórias de ruptura, de acordo com o critério de Hoek-Brown, das amostras de rocha intacta classificadas geomecanicamente como Arenito HS.

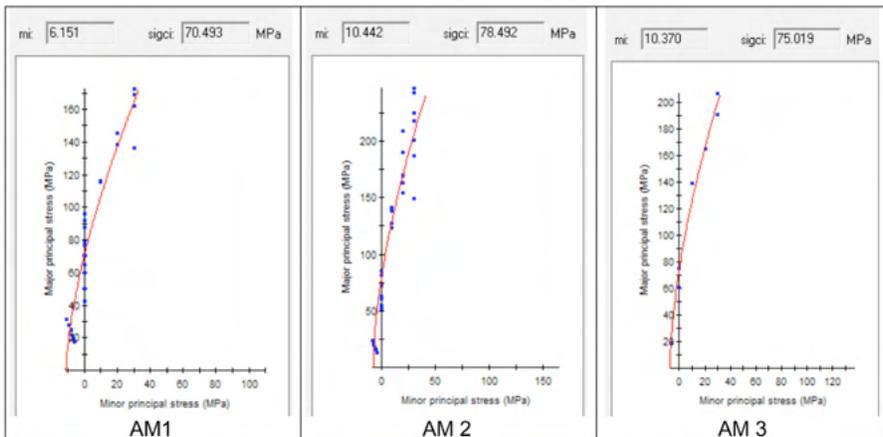


Figura 7a - Amostras das encaixantes da camada de carvão Barro Branco classificadas geomecanicamente como Arenito MS. Resultados de ensaios de cada amostra e envoltória de ruptura da rocha intacta, de acordo com o critério de Hoek-Brown.

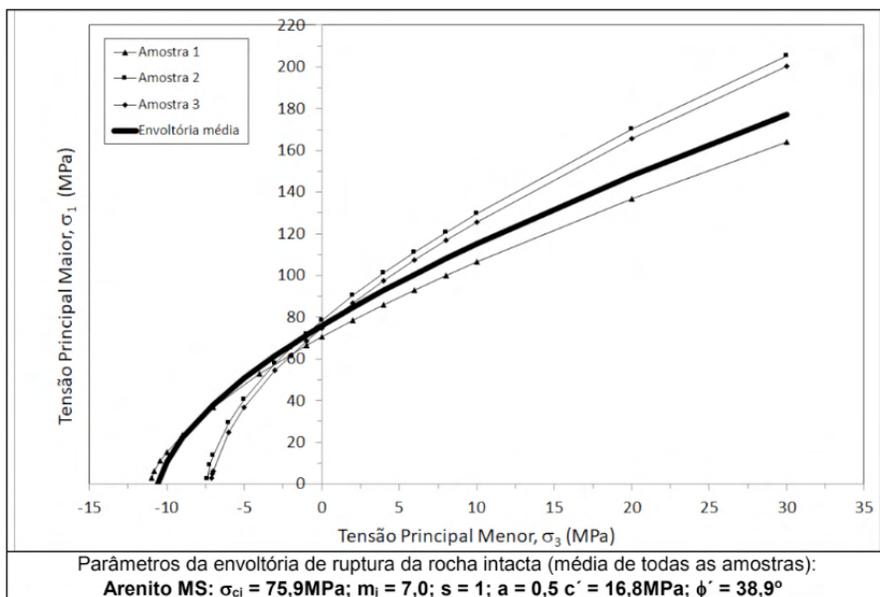


Figura 7b - Envoltórias de ruptura, de acordo com o critério de Hoek-Brown, das amostras de rocha intacta classificadas geomecanicamente como Arenito MS.

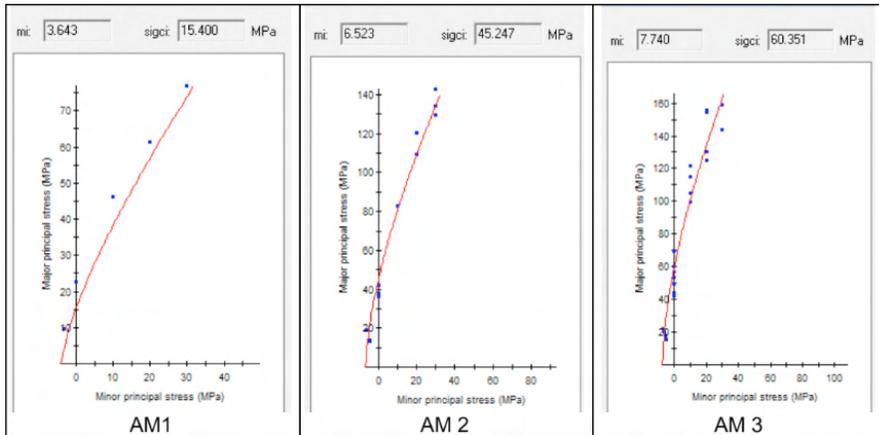


Figura 8a - Amostras das encaixantes da camada de carvão Barro Branco classificadas geomecanicamente como Arenito LS. Resultados de ensaios de cada amostra e envoltória de ruptura da rocha intacta, de acordo com o critério de Hoek-Brown.

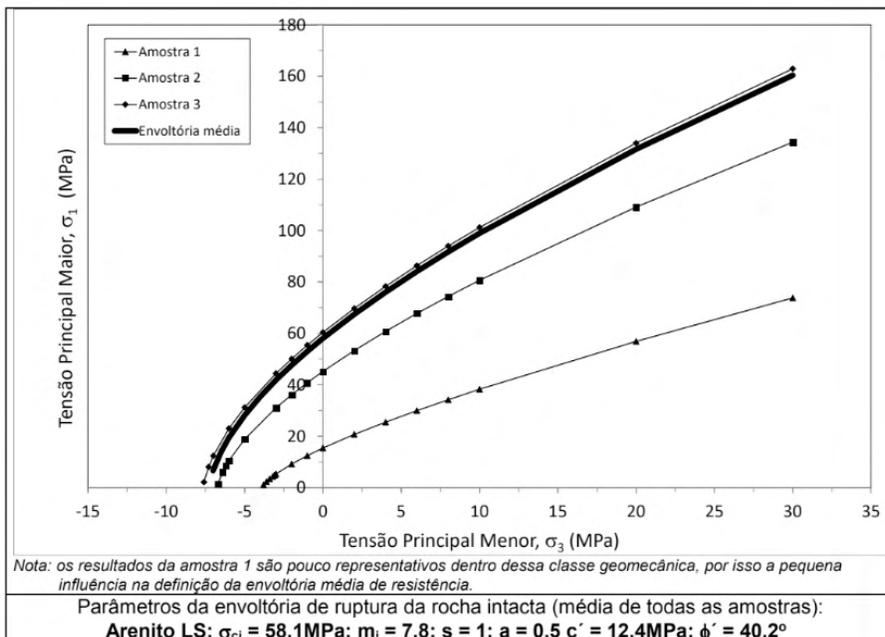


Figura 8b - Envoltórias de ruptura, de acordo com o critério de Hoek-Brown, das amostras de rocha intacta classificadas geomecanicamente como Arenito LS

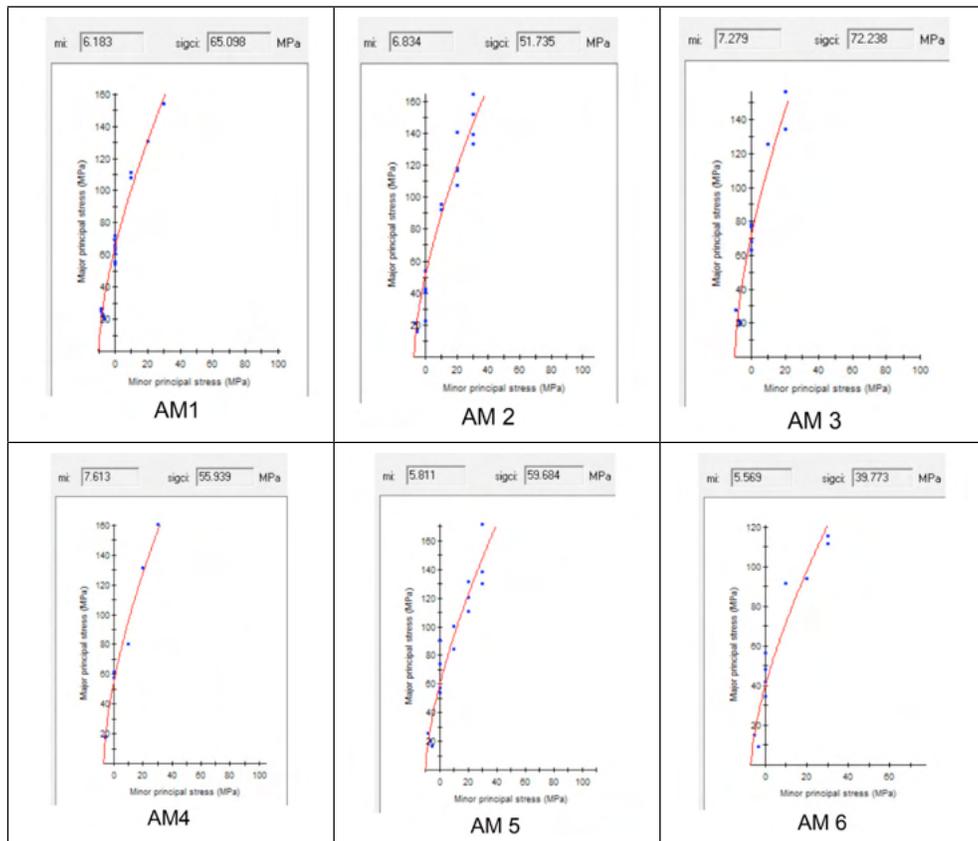


Figura 9a - Amostras das encaixantes da camada de carvão Barro Branco classificadas geomecanicamente como Siltito HS. Resultados de ensaios de cada amostra e envoltória de ruptura da rocha intacta, de acordo com o critério de Hoek-Brown.

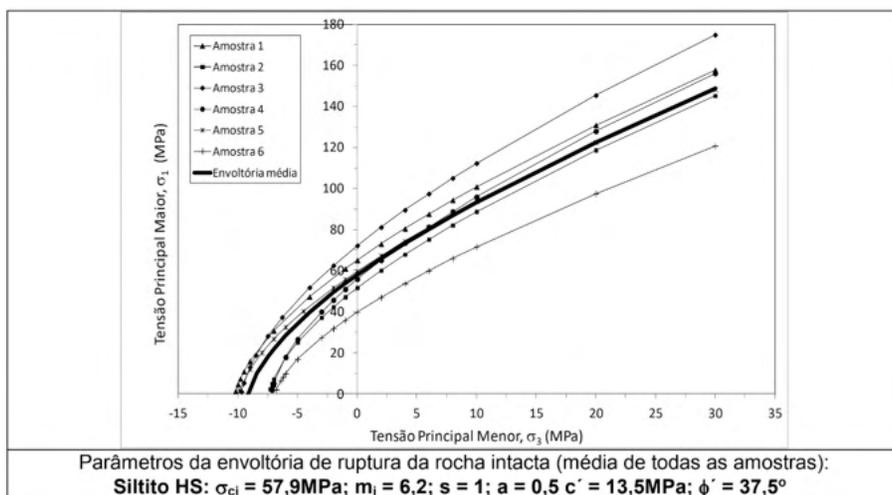


Figura 9b - Envoltórias de ruptura, de acordo com o critério de Hoek-Brown, das amostras de rocha intacta classificadas geomecanicamente como Siltito HS.

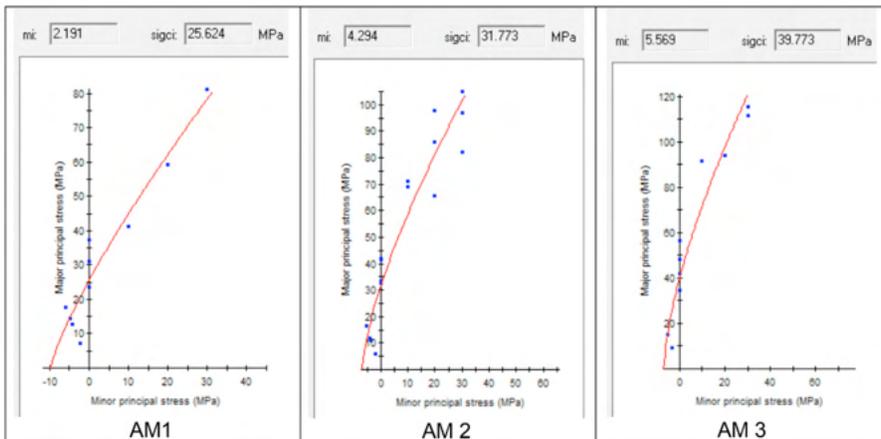


Figura 10a - Amostras das encaixantes da camada de carvão Barro Branco classificadas geomecanicamente como Siltito LS. Resultados de ensaios de cada amostra e envoltória de ruptura da rocha intacta, de acordo com o critério de Hoek-Brown.

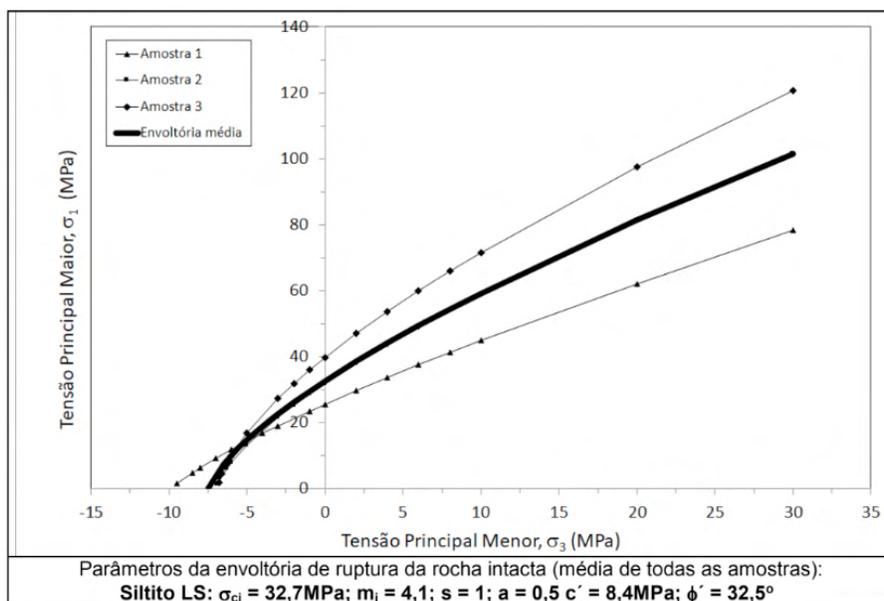


Figura 10b - Envoltórias de ruptura, de acordo com o critério de Hoek-Brown, das amostras de rocha intacta classificadas geomecanicamente como Siltito LS.

Classe Geomecânica	Propriedades Típicas da Rocha Intacta a Partir de Ensaios de Laboratório									
	ρ (g/cm ³)	Vp (km/s)	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	E _m (GPa)	$\nu_{sec\ 50\%}$	Parâmetros do Critério de Ruptura da Rocha Intacta			
							Hoek-Brown (s = 1; a = 0,5)		Mohr-Coulomb	
							σ_{ci} (MPa)	m _i	c' (MPa)	ϕ' (o)
Arenito HS	2,43 (0,07) [#]	4,2 (0,45)	8,2 (2,67)	93,0 (26,47)	34,0 (9,61)	0,31 (0,12)	102,6	10,2	20,6	43,2
Arenito MS	2,51 (0,09)	3,9 (0,65)	7,6 (2,97)	71,0 (14,56)	22,1 (2,84)	0,37 (0,12)	75,9	7,0	16,8	38,9
Arenito LS	2,44 (0,08)	3,1 (0,51)	5,1 (1,74)	42,3 (13,71)	10,8 (1,90)	0,34 (0,11)	58,1	7,8	12,4	40,2
Siltito HS	2,58 (0,08)	3,8 (0,56)	6,8 (1,79)	57,3 (16,64)	18,7 (3,37)	0,24 (0,05)	57,9	6,2	13,5	37,5
Siltito LS	2,50 (0,06)	2,6 (0,95)	4,3 (1,46)	38,3 (7,90)	2,9 (0,57)	0,33 (0,10)	32,7	4,1	8,4	32,5

Valores entre parênteses = desvio padrão.

ρ =massa específica aparente natural; Vp=velocidade da onda P; σ_t =resistência à tração indireta; σ_c =resistência à compressão uniaxial; E_m=módulo de Young médio; $\nu_{sec\ 50\%}$ =coeficiente de Poisson método secante 50%; σ_{ci} =resistência à compressão uniaxial, m_i, s, a=parâmetros do critério de ruptura de Hoek-Brown; c'=coesão, ϕ' =ângulo de atrito do critério de ruptura de Mohr-Coulomb.

Quadro 3 - Parâmetros médios das classes geomecânicas definidas para as rochas encaixantes da camada de carvão Barro Branco na Bacia Carbonífera Sul-Catarinense.

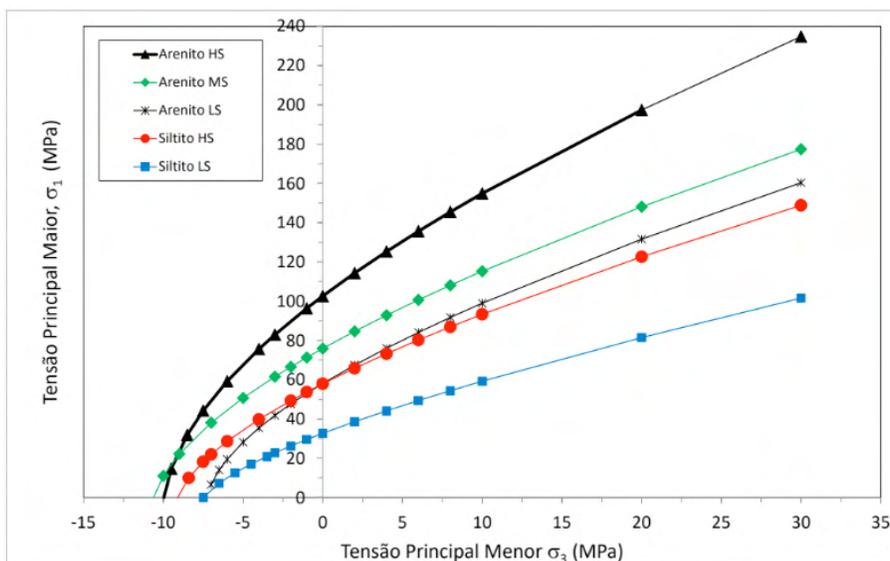


Figure 11 - Envoltórias de ruptura média, de acordo com o critério de ruptura de Hoek-Brown, da rocha intacta representativas das 5 diferentes classes geomecânicas das encaixantes da camada de carvão Barro Branco na Bacia Carbonífera Sul-Catarinense.

Embora na região de tração as classes geomecânicas Arenito LS e Siltito LS sejam semelhantes mecanicamente, na condição confinada a classe geomecânica Arenito LS

se assemelha ao Siltito HS, conforme observado na Figura 11. A explicação para esse comportamento na região de compressão da envoltória de ruptura pode estar associada à textura do Arenito LS (grãos maiores, mais angulosos e rugosos), quando comparado com as classes de siltitos. Esses aspectos texturais do Arenito LS tendem a produzir um aumento na dilatância durante a ruptura, com o consequente aumento da resistência ao cisalhamento.

De acordo com a proposição de ZORZI et al (1991), conforme Figura 12, as classes geomecânicas Arenitos HS e MS e Siltito HS podem ser enquadrados no modelo geológico de rochas competentes. Já as classes geomecânicas Arenito LS e Siltito LS são enquadradas no modelo de rochas fracas. Essas duas classes representam cerca de 20% das rochas encaixantes presentes na bacia carbonífera e requerem análise da capacidade de carga no processo de dimensionamento dos pilares quando diretamente em contato com a camada de carvão. Também são as classes que exigem o sistema de suporte do teto mais robusto.

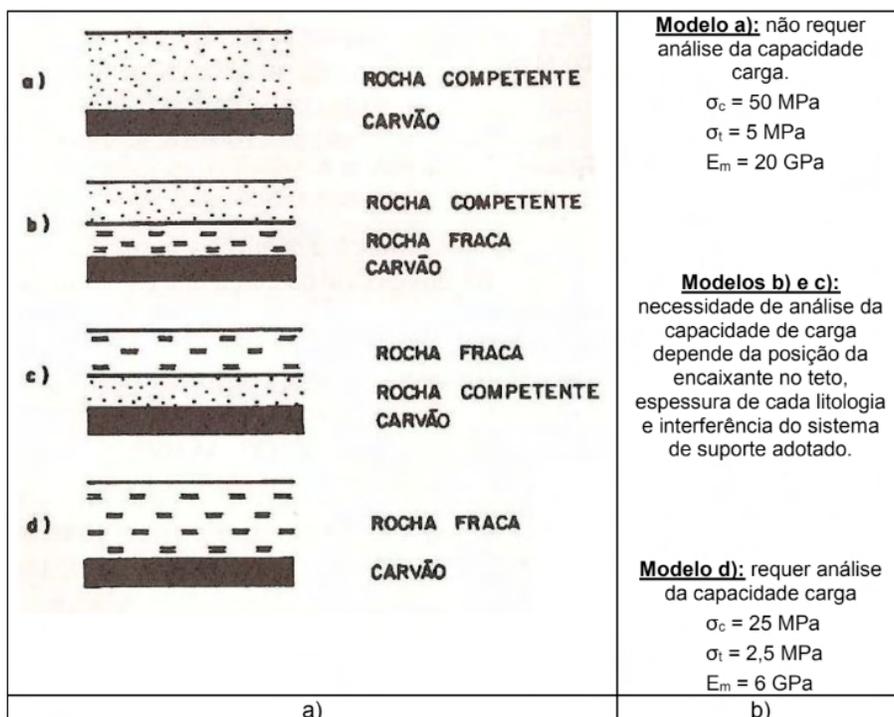


Figura 12 - a) Modelos básicos propostos para a análise da capacidade de carga das rochas encaixantes no dimensionamento de pilares das minas de carvão do Sul do Brasil. A figura representa modelos para o teto imediato (cerca de 5m). O mesmo modelo é válido para as condições do piso. b) Características geomecânicas médias de cada camada (ZORZI et al., 1991).

6 | COMPORTAMENTO DAS ROCHAS DO TETO NAS MINAS DE CARVÃO

As litologias classificadas geomecanicamente como arenitos HS and MS e siltito HS constituem os maciços rochosos de melhor qualidade quanto à estabilidade do teto das galerias. Quando no teto imediato, essas rochas são quase autosustentáveis (arenito) ou exigem sistema de suporte leve (siltitos). Quando acima do teto imediato, constituem os pontos de ancoragem do sistema de tirantes para a suspensão das camadas inferiores.

Os maiores problemas de estabilidade do teto nas minas de carvão na Bacia Sul-Catarinense estão associados à presença do arenito LS ou do siltito LS. Esses materiais, de qualidade mecânica inferior, normalmente exigem intervenções com sistemas de suporte de elevada capacidade de carga, ou seja, parafusos mais longos e malhas mais apertadas (maior densidade de parafusos por área). Nesse tipo de maciço, os sistemas de tirantes não são eficientes quando o mecanismo de suporte é baseado exclusivamente no efeito viga. Nessas condições de teto, necessariamente é preciso recorrer a sistemas de tirantes mais compridos e que atuem por efeito suspensão. Esses tirantes são ancorados nas camadas mais resistentes acima do teto imediato, normalmente de arenitos com características mecânicas das classes arenitos HS e MS ou siltito HS.

Os sistemas de suporte e configurações são diversos nas diferentes minas em operação. Cada mina adota o sistema que melhor se adapta a distribuição das diferentes litologias no teto, espessuras das camadas de rocha das diferentes classes geomecânicas, dimensões da escavação, capaz de proporcionar a estabilidade requerida para as diferentes áreas da mina, seja nos eixos principais, seja nos painéis de lavra.

7 | COMPORTAMENTO DAS ROCHAS DO PISO NAS MINAS DE CARVÃO

Praticamente todas as litologias estudadas podem estar presentes no piso da camada de carvão Barro Branco, embora predominem as das classes geomecânicas Arenito HS, Arenito MS e Siltito HS. Analogamente ao que ocorre no teto, o Arenito LS e, especialmente, o Siltito LS são as litologias sobre as quais se concentram a maior quantidade de problemas de alteração e colapso do piso.

Um dos problemas está associado à baixa capacidade de carga para suportar as cargas imposta pelos pilares. Em casos extremos pode ocorrer a cravação do pilar (*pillar punching*) e colapso do piso da galeria. Outro aspecto importante está associado à alteração do siltito, na presença de água, e desagregação, devido ao intenso tráfego de máquinas pesadas. Esse tipo de problema ocorre predominantemente em áreas onde a camada de carvão apresenta-se inclinada. Nessas condições, os esforços de tração transferidos pelos pneus das máquinas são mais elevados, levando a ruptura da rocha do piso (*peeling*).

8 | CONCLUSÕES

Os estudos realizados permitiram a caracterização geomecânica das principais litologias presentes nas encaixantes da camada de carvão Barro Branco, da Bacia Carbonífera Sul-Catarinense. Pelo menos 5 classes geomecânicas foram definidas em função das diferentes propriedades físicas e mecânicas determinadas em laboratório.

As classes geomecânicas Arenito HS, Arenito MS e Siltito HS representam aproximadamente 80% das rochas presentes nas encaixantes do teto e piso da camada de carvão Barro Branco. Essas classes também se constituem nas rochas de melhor qualidade mecânica. De outra parte, as classes Arenito LS e Siltito LS representam cerca de 20% das rochas encaixantes. De acordo com procedimentos sugeridos por ZORZI et al. (1991) para o dimensionamento dos pilares, quando em contato com a camada de carvão, as rochas encaixantes devem ser analisadas quanto à capacidade de carga.

REFERÊNCIAS

- COSTA, J. F. C. L. (2000). **Avaliação de reservas de carvão - Projeto Fontanella - Carbonífera Metropolitana S.A.**. Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS, Brasil, vol. 1.
- DOBEREINER, L. (1987). **Geotecnia dos arenitos**. Resumo de Tese 08. ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, Sao Paulo-SP, Brasil.
- DUARTE, J. M. G.; MORAES, R. B.; OLIVEIRA, C. A.; CARDOSO, R. M. (2010). **Alguns aspectos geotécnicos específicos do projeto UHE Mauá**. In.: Simpósio Prática de Engenharia e Geotencia da Região Sul, VII. GEOSUL 2010. Foz do Iguaçu-PR, Brasil, 9p..
- GALARNYK, M. (2018). Understanding Boxplot. Disponível na internet em 10/10/2019 no site: <https://towardsdatascience.com/understanding-boxplots-5e2df7bcabd51>.
- HOEK, E.; CARRANZA-TORRES, C.; CORKUM, B. (2002). **Hoek-Brown failure criterion - 2002 edition**. In.: North American Rock Mechanics Symposium, 5th. Proceedings. Toronto, Canadá, v. 1, p. 267-273.
- IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (1987). **Ensaios de laboratório adicionais para estudos geotécnicos de otimização do sistema de atirantamento do projeto Mina Esperança**. Relatório N° 25264. Sao Paulo-SP, Brasil, 41p..
- ISRM - International Society for Rock Mechanics (1978a). **Suggested methods for determining sound velocity**. Int. Journal of Rock Mech. and Min. Science & Geomech. Abstr.. Vol. 15, n° 2, p. 53-58.
- ISRM (1978b). **Suggested methods for determining tensile strength of rock material**. Int. Journal of Rock Mech. and Min. Science & Geomech. Abstr.. Vol. 15, n° 3, p. 99-103.
- ISRM (1979a). **Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties and swelling and slake-durability index properties**. Int. Journal of Rock Mech. and Min. Science & Geomech. Abstr.. Vol. 16, n° 2, p. 141-156.

ISRM (1979b). **Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials**. Int. Journal of Rock Mech. and Min. Science & Geomech. Abstr.. Vol. 16, nº 2, p. 135-140.

ISRM (1983). **Suggested methods for determining the strength of rock materials in triaxial compression: revised version**. Int. Journal of Rock Mech. and Min. Science & Geomech. Abstr.. Vol. 20, nº 6, p. 283-290.

PENG, S. S. (1986). **Coal mine ground control**. John Wiley & Sons: New York, USA.

Software Statgraphics Plus - Version 4.1 - Professional System. S/N 4565002707.

Software RocLab - Version 1.033. Rocscience Inc. Toronto, Canadá. Disponível no site: 2D and 3D Geotechnical Software | Rocscience Inc.

ZORZI, L. (coord.) (1990). **Projeto: Dimensionamento de Pilares em Minas de Carvão**. CIENTEC - Fundação de Ciência e Tecnologia. Porto Alegre-RS, Brasil, 2v.

ZORZI, L. (coord.) (1996). **Projeto MULTICAMADAS - Lavra Subterrânea de Camadas Múltiplas de Carvão - Estudo Geomecânico**. CIENTEC – Fundação de Ciência e Tecnologia. Porto Alegre-RS, Brasil, 2v..

ZORZI, L.; AGOSTINI, I. M.; BENEDETT, J. V. (1989). Características geomecânicas das formações sedimentares da Bacia Carbonífera Santa Terezinha. **In.: Congresso Brasileiro de Mineração, 2º**. Porto Alegre-RS, Brasil, v. 1, p. 13-43.

ZORZI, L.; AGOSTINI, I. M.; GONZATTI, C. (1991). **Metodologia para dimensionamento de pilares em minas de carvão do Sul do Brasil**. CIENTEC - Fundação de Ciência e Tecnologia, Porto Alegre-RS, Brasil, 23p. (Boletim Técnico nº 23).

ANEXO - SIGNIFICADO DA REPRESENTAÇÃO ESTATÍSTICA DE DADOS NA FORMA DE DIAGRAMAS DE CAIXA (*BOX AND WHISKER*)

Essa técnica de representação de dados é extremamente útil para a observação da variabilidade ou a dispersão dos resultados. Esse tipo de representação é extremamente útil para a identificação criteriosa de dados fora de contexto em uma amostra. A técnica utiliza 5 descritores básicos: mínimo, 1º quartil ou quartil inferior, mediana, 3º quartil ou quartil superior, e máximo. A média, opcionalmente, também pode ser representada.

A Figura A1 explicita como são tratados os dados de uma amostra. A caixa retangular engloba a metade central dos valores (50% dos dados). No interior da caixa, a linha horizontal representa a mediana da amostra enquanto o sinal de (+) representa a média considerando todos os dados. A linha vertical, que parte da extremidade inferior da caixa, se estende do primeiro quartil até o menor (*MIN*) valor situado dentro de 1,5 vezes o intervalo interquartil ($IQR=Q3-Q1$). Analogamente, a linha vertical, que parte da extremidade superior da caixa, se estende do terceiro quartil até o maior (*MAX*) valor situado dentro de $1,5 \cdot (IQR)$. Valores

que se situam entre $1,5 \cdot (\text{IQR})$ (*Lower fence* ou *Upper fence*) e $3 \cdot (\text{IQR})$ (*Far Lower fence* ou *Far Upper fence*), a partir dos respectivos quartis (Q1) e (Q3), são plotados como pontos individuais tratados como expúrios ou fora de contexto (*OUTLIER*), simbolizados por um quadrado (□). Eventuais pontos que se situem além de $3 \cdot (\text{IQR})$, abaixo do primeiro quartil (Q1) ou acima do terceiro quartil (Q3), constituem-se em valores extremos (*FAROUTLIER*).

Ainda, para melhor entender o critério utilizado para a definição dos valores *outliers* ou extremos, a Figura A2 mostra a relação do diagrama de caixa e a função densidade de probabilidade para uma amostra com distribuição normal. Nota-se que os dados designados como *outliers* ou extremos, quando a distribuição é normal, correspondem a apenas 0,7%. Os demais 99,7% dos dados estão representados entre os quartis e $1,5 \cdot (\text{IQR})$.

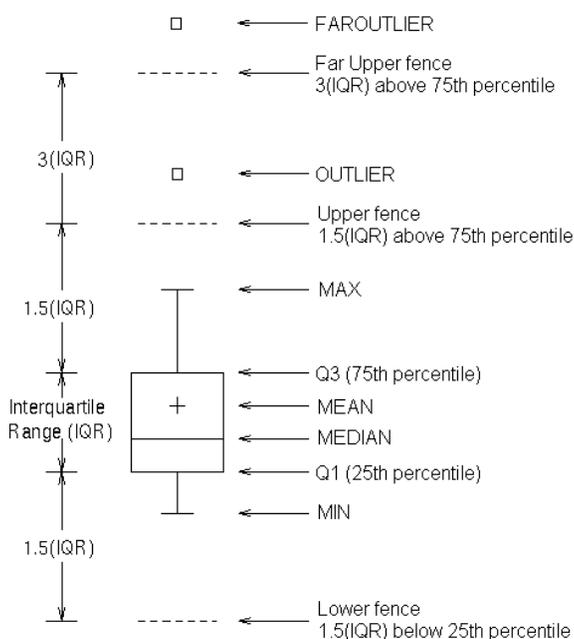


Figura A1 - Ilustração da representação estatística de dados através de diagramas de caixa (*Box and Whisker*) (adaptado de GALARNYK, 2018).

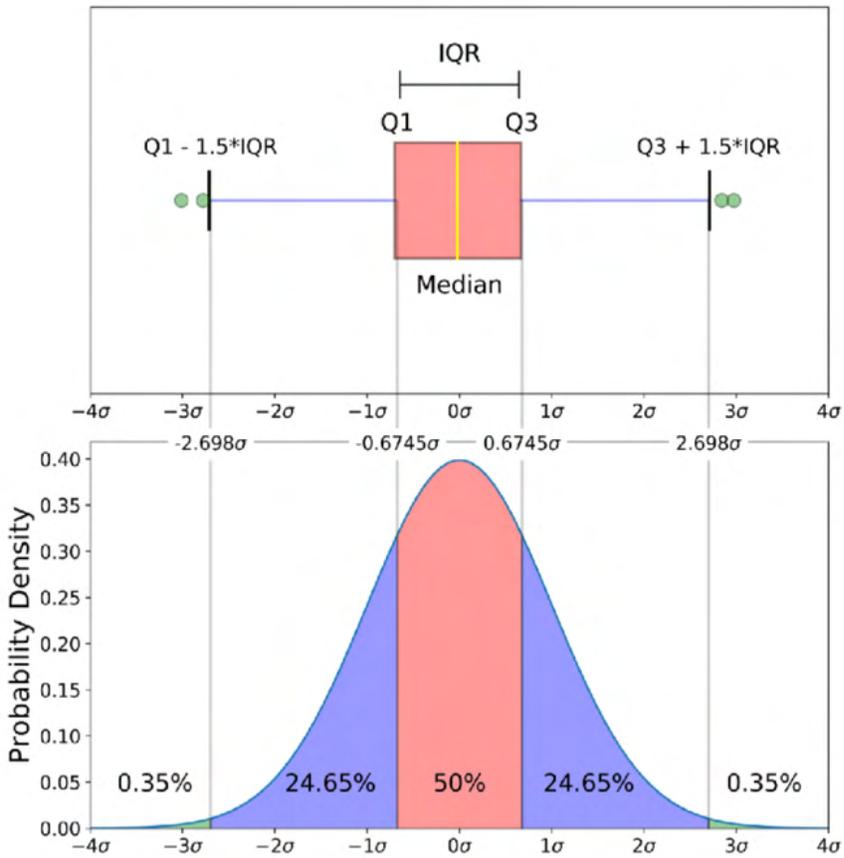


Figura A2 - Ilustração da relação entre o diagrama de caixa e a função densidade de probabilidade de uma distribuição de dados normal (adaptado de GALARNYK, 2018).

REAPROVEITAMENTO DE FINOS DE PEDREIRAS: A UTILIZAÇÃO DO PÓ DE ROCHA COMO REMINERALIZADOR DE SOLO

Data de aceite: 01/11/2021

Data de submissão: 08/10/2021

Ana Olivia Barufi Franco-Magalhães

Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade
Federal de Alfenas – UNIFAL-MG, Campus
Poços de Caldas
<http://lattes.cnpq.br/6807629067093113>

RESUMO: Sabe-se que a mineração de agregados para a construção civil, mais especificamente a brita, é bastante presente e ativa praticamente em todos os estados brasileiros. Porém é muito pouco o conhecimento desenvolvido acerca do potencial de utilização de seus sub-produtos. Estudos recentes apontam que esse material pode ser de grande utilidade na agricultura, devido às suas propriedades físico-químicas, reduzindo assim o consumo de fertilizantes industriais e fomentando o desenvolvimento da mineração sustentável. Este trabalho avaliou, à partir de técnicas de caracterização mineralógica e tecnológica, o potencial para utilização do pó de brita na agricultura como remineralizador de solo. Os resultados indicaram que este material apresenta grande potencial para este uso, segundo as exigências do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

PALAVRAS-CHAVE: Pó de rocha; mineração sustentável; agrominerais; pedreiras.

USE OF QUARRY ROCK DUST AS SOIL REMINERALIZER

ABSTRACT: It is known that mining aggregates for civil construction, more specifically gravel, is very present and active in practically all Brazilian states. However, there is very little knowledge about the potential use of its by-products. Recent studies point out that this material can be of great use in agriculture, due to its physical-chemical properties, thus reducing the consumption of industrial fertilizers and promoting the development of sustainable mining. This work evaluated, using mineralogical and technological characterization techniques, the potential for using rock powder in agriculture as a soil remineralizer. The results indicated that this material has great potential for this use, according to the requirements of the Ministry of Agriculture.

KEYWORDS: Rock Powder; Sustainable Mining; Agrominerals, Quarries.

1 | INTRODUÇÃO

Sabe-se que no Brasil é gerada uma grande quantidade de resíduos provenientes do processo de beneficiamento das pedreiras. Esses produtos são comumente armazenados nas propriedades das mineradoras e/ou vendidos para um mercado específico (LUZ, 2008). Entretanto, segundo Machado (2014), esses resíduos apresentam potencial uso na agricultura, setor de grande importância para a economia brasileira, como melhoradores e/ou

condicionadores de solos.

Isso ocorre porque os solos brasileiros são geralmente ácidos, empobrecidos pela ação do intemperismo químico e muitas vezes carentes nos teores de fósforo e potássio. Esse fato gera uma necessidade de investimento alto em fertilizantes industrializados e corretivos de solo, que são, em sua maioria, importados. Sendo assim, a busca por alternativas que possam substituir total ou integralmente a dependência desses insumos é de grande importância. Com isso, a rochagem apresenta-se como uma prática agrícola viável de incorporação do pó de rocha ao solo empobrecido ou degradado, para promover sua remineralização (BENEDUZZI, 2011).

Considerando que o pó de rocha tem como propósito principal fornecer nutrientes ao solo (IBRAM, 2016), o mesmo é também aceito como um fertilizante inteligente, visto que uma de suas características é o fornecimento gradual de nutrientes, de acordo com a necessidade da planta (BENEDUZZI, 2011).

Portanto, é possível afirmar que a utilização de resíduos de pedreiras como remineralizadores de solo pode promover o aproveitamento de um material antes considerado um passivo ambiental, e até mesmo impulsionar o surgimento de um novo mercado consumidor regional para este material. Nos últimos anos, este tema tem sido muito estudado e debatido por instituições de pesquisa e órgãos governamentais, de forma a subsidiar o conhecimento de diferentes tipos de pós de rocha, sua aplicação e também a sua regulamentação. O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), através da IN nº5/2016, estabeleceu as especificações e garantias mínimas dos remineralizadores de solo, sejam eles sub-produtos de pedreiras ou rejeitos dos processos de beneficiamento.

Dessa forma, este trabalho tem por objetivo avaliar o potencial do pó de migmatito de uma pedreira de brita na região nordeste do estado de SP como remineralizador de solo à partir da caracterização da rocha quanto à sua composição química, mineralógica e distribuição granulométrica.

2 | METODOLOGIA

Foram coletados cerca de 30kg de produto “pó de pedra” (produto da segunda etapa de britagem, equivalente à brita zero), diretamente do britador secundário, em uma pedreira de brita para construção civil. Em campo foram também coletadas amostras de rocha para confecção de lâminas petrográficas. Em laboratório, esse material foi homogeneizado, quarterado e separado em três alíquotas de 300g cada para os ensaios subsequentes. Para caracterizar o material, foram realizadas análises mineralógica, petrográfica, química e granulométrica, conforme descrito a seguir.

Os procedimentos metodológicos aqui descritos basearam-se na análise potencial do material segundo os critérios estabelecidos na IN nº05/2016 do MAPA, onde ficam

estabelecidas as principais especificações e garantias mínimas dos remineralizadores, a saber:

I – em relação à soma de bases (CaO, MgO, K₂O): deve ser igual ou superior a 9% (nove por cento) em peso/peso;

II – em relação ao teor de óxido de potássio (K₂O): deve ser igual ou superior a 1% (um por cento) em peso/peso;

III – em relação ao SiO₂ livre presente no produto: não poderão conter teor superior a 25% (vinte e cinco por cento) em volume/volume;

IV – em relação aos elementos potencialmente tóxicos: não poderão conter teores superiores a 15 ppm de Arsênio (As), 10 ppm de Cádmio (Cd), 0,1 ppm de Mercúrio (Hg) e 200 ppm de Chumbo (Pb).

Além disso, quanto à natureza física dos remineralizadores, a mesma IN refere que o pó de rocha deve ter como garantia mínima:

V - 100% das partículas passantes em peso/peso na peneira 2,0 mm (ABNTn° 10);

VI - no mínimo 70% das partículas passantes em peso/peso na peneira 0,84 mm (ABNTn° 20);

VII – no mínimo 50% das partículas passantes em peso/peso na peneira 0,3 mm (ABNTn° 50).

Análise química

Uma amostra de 300 g do pó de rocha foi destinada para o laboratório SGS-Geosol para a realização da técnica de espectrometria óptica de emissão atômica por plasma de argônio (ICP-OES), de elementos maiores e traços.

Análise mineralógica

Uma alíquota de 300 g foi destinada ao laboratório da Mineração Curimbaba Ltda. para realização da difração de raio X (DRX), que permite a identificação das fases minerais presentes na amostra através da caracterização de sua estrutura cristalina para quantidades superiores a 5%.

Análise petrográfica

Foi realizada à partir da análise de uma lâmina petrográfica da rocha sã em microscópio petrográfico. Para esta análise foi utilizado o microscópio Zeiss modelo Scope A1, do laboratório Multiusuário III da UNIFAL-MG, através de uma lente objetiva de 2,5x.

Análise granulométrica

Uma amostra de 300 g foi peneirada com o auxílio de um peneirador suspenso durante 10 minutos, seguindo as normas da ABNT. Para o procedimento utilizaram-se as seguintes aberturas de peneiras: 6 mesh, 8 mesh, 10 mesh, 14 mesh, 20 mesh, 28 mesh,

40 mesh e 60 mesh.

3 | DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Os resultados ensaio de peneiramento dispostos na Tabela 1 e Figura 1 mostraram que o material apresenta aproximadamente 65,09 % de partículas passantes na peneira de 2 mm.

Essas informações elucidam que o material não cumpre as garantias mínimas para as especificações físicas exigidas no Anexo I Instrução Normativa nº 5/2016 do MAPA, precisando portanto de ajustes físicos para o uso em questão.

AMO STRA (300,10g)						
Peneiras (mesh)	Peneiras(mm)	Retido(g)	Retido acumulado(g)	Passante acumulado(g)	Retido acumulado(%)	Passante acumulado(%)
6	3,35	15,78	15,78	283,22	5,28	94,72
8	2,36	50,17	65,95	233,05	22,06	77,94
10	2,00	38,43	104,38	194,62	34,91	65,09
14	1,18	39,07	143,45	155,55	47,98	52,02
20	0,85	20,68	164,13	134,87	54,89	45,11
28	0,60	25,65	189,78	109,22	63,47	36,53
40	0,425	19,54	209,32	89,68	70,01	29,99
60	0,250	23,12	232,44	66,56	77,74	22,26
Coletor	0	66,56	299,00	0,00	100,00	0,00

Tabela 1: Dados da quantidade de material passante e retido no ensaio de peneiramento.

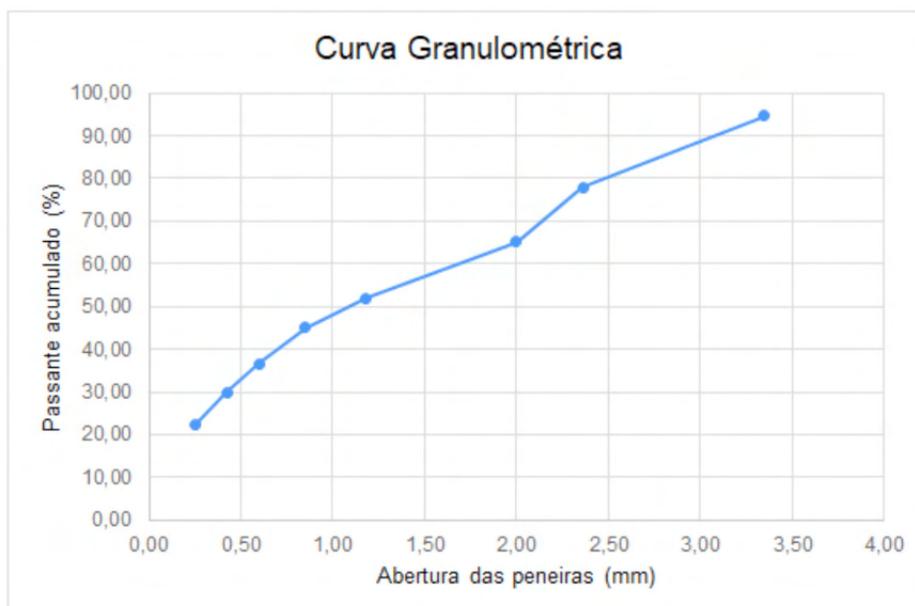


Figura 1: Curva granulométrica da amostra de pó de rocha.

A análise química total realizada por ICP-OES na amostra (Tabela 2) registrou os

seguintes elementos maiores: CaO, Cr₂O₃, Fe₂O₃, K₂O, MgO, Na₂O, P₂O₅, SiO₂, TiO₂, SiO₂, Al₂O₃, MnO, U₃O₈, ZrO₂. Já como elementos traço foram registrados os elementos Ba, Nb, Sr, Zn, Zr, V, Ce, Co, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Ga, Gd, Gf, Ho, La, Lu, Mo, Nb, Nd, Ni, Pr, Rb, Sm, Sn, Ta, Tb, Th, Tl, Tm, U, W, Y e Yb, segundo a tabela 2a – d. Segundo a Instrução Normativa nº 5/2016 do MAPA, a soma das bases (CaO, MgO, K₂O) deve ser superior a 9%. Os resultados aqui apresentados indicam que no caso em questão a soma das bases é de 8,6%, ou seja, num valor muito próximo limite mínimo solicitado.

No cumprimento integral da IN à partir da análise química, tem-se que o material contempla o teor mínimo exigido de pelo menos 1% para K₂O, e que também não registrou teores dos elementos potencialmente tóxicos de Ar, Cd, Hg e Pb à partir da técnica utilizada.

Os resultados das análises mineralógica (realizada através da técnica de Difração de raio X) e petrográfica indicaram a presença de quartzo, plagioclásio, feldspato potássico, biotita, flogopita e hornblenda como minerais principais e, como minerais acessórios, zircão e opacos. A análise petrográfica foi realizada através da contagem volumétrica, cujos resultados da proporção volumétrica dos minerais identificados, estão dispostos na Tabela 3.

	Blank	SJ-01	SJ-01 (REP)
Al ₂ O ₃ (%)	0,03	13,65	14,26
Ba (ppm)	<10	800	875
CaO (%)	<0,01	2,71	2,9
Cr ₂ O ₃ (%)	<0,01	<0,01	<0,01
Fe ₂ O ₃ (%)	0,86	3,9	4,34
K ₂ O (%)	<0,01	3,94	4,25
MgO (%)	<0,01	1,65	1,81
MnO (%)	<0,01	0,08	0,09
Na ₂ O (%)	<0,01	3	3,15
Nb (ppm)	N.A.	N.A.	N.A.
P ₂ O ₅ (%)	<0,01	0,13	0,15
SiO ₂ (%)	>90	69,93	70,76
Sr (ppm)	<10	215	235
TiO ₂ (%)	<0,01	0,48	0,52
Zn (ppm)	10	62	73
Zr (ppm)	<10	260	261
V (ppm)	6	51	56
LOI (%)	-0,24	0,35	n.d.
Ce (ppm)	0,4	101,4	n.d.
Co (ppm)	0,7	9,3	n.d.
Cs (ppm)	0,23	0,81	n.d.
Cu (ppm)	8	21	n.d.
Dy (ppm)	<0,05	4,25	n.d.
Er (ppm)	<0,05	2	n.d.
Eu (ppm)	<0,05	1,32	n.d.
Ga (ppm)	0,2	16,4	n.d.
Gd (ppm)	0,1	5,72	n.d.
Hf (ppm)	<0,05	6,49	n.d.
Ho (ppm)	<0,05	0,74	n.d.
La (ppm)	2,1	51,7	n.d.
Lu (ppm)	<0,05	0,26	n.d.
Mo (ppm)	2	3	n.d.
Nb (ppm)	1,33	11,06	n.d.
Nd (ppm)	0,2	39,2	n.d.
Ni (ppm)	16	41	n.d.
Pr (ppm)	0,06	11,76	n.d.
Rb (ppm)	0,5	146	n.d.
Sm (ppm)	<0,1	7,3	n.d.
Sn (ppm)	0,4	2,3	n.d.

Ta (ppm)	<0,05	<0,05	n.d.
Tb (ppm)	<0,05	0,78	n.d.
Th (ppm)	<0,1	18,2	n.d.
Tl (ppm)	<0,5	<0,5	n.d.
Tm (ppm)	<0,5	0,28	n.d.
U (ppm)	<0,5	1,02	n.d.
W (ppm)	<0,1	0,4	n.d.
Y (ppm)	0,15	19,39	n.d.
Yb (ppm)	<0,1	1,7	n.d.

Tabela 2: Resultados da análise química por ICP-OES.

Mineral	Fórmula química	Porcentagem
Plagioclásio (Anortita)	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	25%
Feldspato Potássico (Microclínio)	KAlSi_3O_8	25%
Quartz o	SiO_2	25%
Acessórios (opacos, zircão)	ZrSiO_4	4%
Hornblenda	$(\text{Na,K})_{-1}\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe}^{2+},\text{Fe}^{3+},\text{Al,Ti})_5(\text{Si,Al})_8\text{O}_{22}(\text{OH},\text{O})_2$	6%
Biotita	$\text{K}(\text{Mg,Fe}^{2+})_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH,F})_2$ ou $\text{K}(\text{Mg,Fe}^{2+})_3(\text{Al,Fe}^{3+})\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH,F})_2$	6%
Flogopita	$\text{KMg}_3\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH,F})_2$	9%

Tabela 3: Proporção volumétrica da mineralogia básica e acessória identificada na análise petrográfica.

4 | CONCLUSÃO

Os resultados alcançados através das análises químicas estão dentro dos padrões aceitados pela Instrução Normativa do MAPA, conforme descrito nos incisos II e III do Art 4°. Dessa forma, entende-se que a química e a mineralogia do material de estudo apresentam um quadro favorável para a prática da rochagem. Ainda com relação aos resultados das análises mineralógica e petrográfica, observou-se que foi cumprido o critério estipulado no Art. 4°, § 2°, inciso I da Instrução Normativa nº 5 do MAPA.

Entretanto, observa-se que a granulometria das partículas não está de acordo com o que foi proposto pela norma. Mais especificamente, o material possui uma distribuição granulométrica imprópria para utilizá-lo como remineralizador. Para melhorar essa distribuição poderiam ser realizadas cominuições utilizando outros equipamentos, tais como britador de rolos de alta pressão e ou até mesmo peneiras de alta frequência, para melhor classificação do material.

A aplicação deste material como remineralizador apresenta grande potencial, mas entretanto precisa de ajustes físicos em seu processo de beneficiamento para cumprimento da norma. Se utilizado também para esse fim, haverá grande contribuição para o não acúmulo de passivos ambientais, além de um novo mercado que auxilie na sustentabilidade das atividades da empresa.

REFERÊNCIAS

BENEDUZZI, E. B. **Rochagem: agregação das rochas como alternativa sustentável para a fertilização e adubação dos solos**. Trabalho de Conclusão de Curso de Geologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 90 p. 2011.

BRASIL – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Instrução Normativa nº05, de 10 de março de 2016.

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração. **Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração** . Organizador: Instituto Brasileiro de Mineração. 1. Ed. Brasília: IBRAM, 2016.

LUZ, M. P. **Aproveitamento de filer de pedreiras da região metropolitana de Goiânia em pavimentos flexíveis urbanos – avaliação técnica e sócio ambiental**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Goiás. Programa de Pósgraduação em Ciências Ambientais, 104 p. 2008.

MACHADO, A.F.; et.al. **Aproveitamento de rejeito de mineração na blindagem de calcário comercial para correção do solo**. Amazon Soil – I Encontro de Ciência do Solo da Amazônia Oriental, p. 17-27. 2014.

CAPÍTULO 5

BIODIGESTÃO DE POME COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA E AMBIENTAL EM PLANTA DE PRODUÇÃO DE ÓLEO DE PALMA

Data de aceite: 01/11/2021

Data de submissão: 02/08/2021

Daniel Dominguez Carvajal

Universidad de Antioquia, facultad de ingeniería
Medellin – Antioquia

https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001675679

Ana Marcela Mosquera Mena

Universidad de Antioquia, facultad de ingeniería
Medellin – Antioquia

https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001729753

John Alejandro Ruiz

Universidad de Antioquia, facultad de ciencias exactas y naturales
Medellin – Antioquia

https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000000928

Francisco José Molina Pérez

Universidad de Antioquia, facultad de ingeniería
Medellin - Antioquia

https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000038970

Carlos Alberto Peláez Jaramillo

Universidad de Antioquia, facultad de ciencias exactas y naturales
Medellin – Antioquia

https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000026794

Mariana Peñuela Vásquez

Universidad de Antioquia, facultad de ingeniería
Medellin - Antioquia

https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000919926

RESUMO: POME (Palm Oil Mill Effluent) é um resíduo do processo de aceitação de extração de palma; Para 2018, foram geradas 4.887.000 toneladas destes resíduos a nível nacional, o seu elevado teor de matéria orgânica (DQO médio de 60.000 mg O₂ / L) torna-o um problema ambiental que deve ser resolvido com urgência. Para o POME de Puerto Salgar (Colômbia), foi encontrado um COD de 69650 mg O₂ / L e 31543 mg SV / L, o que o torna uma matéria-prima com alto potencial metanogênico. No processo de biodigestão, foi alcançada uma produção média de 25,3 L Biogás / LPOME com uma composição de 58,4% CH₄, 40,4% CO₂, 1,1% O₂ e 1156 ppm de H₂S, apresentando uma redução na carga orgânica de 93%. Os resultados obtidos, além da alta disponibilidade desse resíduo, tornam-no um substrato adequado para processos de digestão anaeróbia voltados para a geração de energia a partir de fontes não convencionais.

PALAVRAS-CHAVE: POME, digestión anaerobia, biogás, DQO, UASB.

BIODIGESTION OF POME AS AN
ENERGY AND ENVIRONMENTAL
ALTERNATIVE IN PALM OIL
EXTRACTORS

ABSTRACT: POME (Palm Oil Mill Effluent) is a

residue from the palm oil extraction process; by 2018 4'887.000 tons of this residue were generated nationally, its high organic content (COD average 60000 mg O₂/L) makes it an environmental problem that must be addressed urgently. For POME from Puerto Salgar (Colombia), a COD of 69650 mg O₂/L and 31543 mg_{sólidos volátiles}/L was found, which makes it a raw material with high methanogenic potential. In the biodegradation process, an average production of 25.3 L_{Biogas} /LPOME was achieved with a composition of 58.4% CH₄, 40.4% CO₂, 1.1% O₂ and 1156 ppm H₂S, with an organic load reduction of 93%. The results obtained, together with the high availability of this residue, make this a suitable substrate for anaerobic digestion processes oriented to the generation of energy from unconventional sources.

KEYWORDS: POME, anaerobic digestion, biogas, COD, UASB.

INTRODUCCIÓN

En el año 2018 en Colombia se registró una producción de 1.7 millones de toneladas de aceite de palma lo que generó un residuo de 4.9 millones de toneladas de POME; es importante resaltar el incremento de la producción de aceite de palma en los últimos años, lo cual ha llevado a un aumento de 46.6% de generación de POME desde el año 2014 [2].

El aumento de la producción ha convertido el POME en un problema ambiental importante, debido a que presenta altos niveles de contaminación, pues es depositado en lagunas de oxidación las cuales requieren de grandes extensiones de tierra y largos tiempos de degradación en contacto directo a la atmósfera arrojando dióxido de carbono y metano, los cuales representa una gran parte de los gases de efecto invernadero [3]. En el presente trabajo se expone la caracterización y el aprovechamiento del potencial energético de POME (Palm Oil Mill Effluent), el cual es un residuo proveniente principalmente de la etapa de esterilización y clarificado en el proceso de extracción de aceite de palma, del cual se estima que por cada tonelada de aceite crudo producido se obtienen en promedio 3 toneladas de POME [1].

Sus características fisicoquímicas y su alta carga orgánica, representada principalmente en residuos lipídicos, hacen del POME un sustrato de gran interés para ser sometido a un proceso de digestión anaerobia como una forma de aprovechamiento energético y así revertir el impacto negativo de estos residuos en las comunidades aledañas a las plantas de procesamiento del fruto y los daños causados al ecosistema acuático disminuyendo la carga orgánica de estos efluentes y permitiendo encontrar una aplicación agroindustrial de las corrientes obtenidas, generando así un valor agregado para el proceso.

Muchos autores presentan la digestión anaerobia como una alternativa promisoría para el tratamiento de los residuos de las plantas extractoras de aceite de palma. Pogaku, *et al.*, (2015) alcanzaron una producción de biogás de 0.7825 litros por kilogramo de POME con una composición de 62.5% CH₄, 37.5% CO₂, y trazas de H₂S [4]. Poh and Chong (2014) en un reactor tipo UASB-HCPB obtienen un biogás con un 52% de metano y una remoción de 88% de DQO [7]. En el 2011 Fang, *et al.* alcanzó rendimiento de metano a partir de

POME de 438 CH₄/g SV con una remoción de 90% en DQO [8].

En el presente trabajo se realiza la caracterización y aprovechamiento energético del POME, por medio de un proceso de digestión anaerobia para la producción de biogás que pueda suplir demandas energéticas en las plantas de extracción de aceite de palma.

METODOLOGÍA

Material

El POME es proveniente de una extractora ubicada en el departamento de Cundinamarca (Colombia).

Caracterización

Se caracterizó el POME siguiendo los lineamientos del Standard Methods [5], realizando pruebas por triplicado de los factores más relevantes como sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV) y sólidos fijos (SF), DQO, carbono orgánico, nitrógeno orgánico, pH, DBO.

Evaluación del POME como sustrato

El proceso se realiza en un reactor de flujo ascendente continuo (UASB) de segunda generación acoplado a un reactor secundario; el reactor secundario cumple la función de finalizar la degradación de materia orgánica que no se degradó en el UASB, el cual trabaja con un flujo diario de aproximadamente 3.96 L distribuido a lo largo de las 24 horas, este flujo contiene en promedio 2.03 L de POME. En la Figura 1, se presenta un esquema del sistema que se utiliza para la degradación anaerobia del POME.

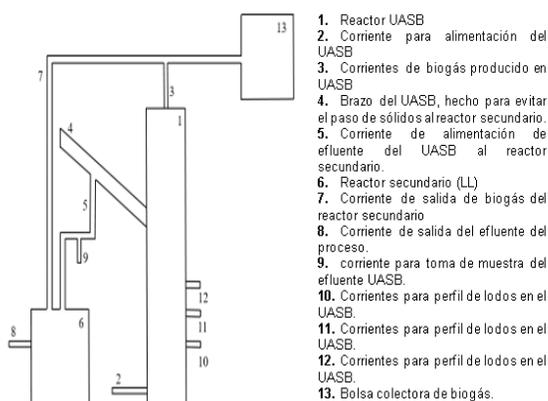


Figura 1. Diagrama del sistema de digestión anaerobia UASB.

Se toman muestras semanalmente, para realizar un control del sistema por medio

de la cuantificación de los parámetros que se consideran pueden afectar la producción de biogás de manera directa, esta cuantificación se realiza principalmente en las corrientes (2), (8), (9) y (13) que se citan en la Figura 1. La cuantificación de estas propiedades se rige bajo los estándares establecidos por el Standard Methods [5], siendo el método (2540) utilizado para la determinación de los sólidos (totales, volátiles y fijos), el método 8000 para determinación de DQO y mediciones de otras variables pH y relación ácidos grasos volátiles y alcalinidad por el método de Kapp [6].

El análisis se lleva a cabo tomando 600 mL de muestra en la corriente 2, 8 y 9 que corresponde a la alimentación, lecho de lodos y UASB, respectivamente. De cada muestra se disponen 150 mL para el análisis de sólidos totales y volátiles, cada análisis se realiza por triplicado; cada muestra se seca en estufa a 105°C por 24 horas para cuantificar sólidos totales y posteriormente en una mufla a 550°C durante 1 hora para cuantificar sólidos volátiles.

Para DQO se toman 20 mL de muestra y se realiza el análisis por triplicado, después de preparar las muestras se agregan a los viales de DQO con micropipeta un volumen de 20 μ L y se ponen a reaccionar en un termoreactor por 2 horas a 150°C, luego de cumplirse el tiempo se dejan reposar hasta llegar a temperatura ambiente y se mide la concentración en un colorímetro de la misma marca del termoreactor¹ el cual tiene como blanco un vial de DQO sin muestra.

Para la medición de pH, cuantificación de ácidos grasos volátiles y alcalinidad, se necesitan alrededor de 125 mL de cada muestra, se centrifugan por 10 minutos y el sobrenadante se titula con ácido sulfúrico 0.1N, este proceso realiza por triplicado. Para el cálculo de ácidos grasos volátiles y alcalinidad se hace uso del método Kapp [6].

Con los datos anteriores se lleva el control de la producción de biogás la cual puede variar debido a inhibiciones que pueda presentar el sistema como aumento en la relación ácidos grasos - alcalinidad, al tener el reactor en funcionamiento se mide la producción específica de biogás cuantificando esta por medio de un medidor de gas² y cuantificación de la composición del mismo por medio de un equipo³, lo cual nos permite saber la proporción de metano, dióxido de carbono, oxígeno y sulfuro de hidrógeno que contiene el biogás.

RESULTADOS

La caracterización del POME se muestra en la Tabla 1. Los resultados del monitoreo del reactor se presentan en las figuras 2, 3, 4, 5 y 6, donde se muestra principalmente el comportamiento de las diferentes variables como sólidos volátiles (SV), DQO, ácidos grasos volátiles (AGV) y alcalinidad (ALK) y la producción de biogás durante el tiempo de monitoreo.

1 Marca HACH

2 Marca Premex

3 GIOTECH BIOGÁS 5000

Parámetros	Promedio	Desviación estándar
ST(mg/L)	39333	± 4481
SV (mg/L)	31236	± 3249
SF (mg/L)	8097	± 1360
DQO (mgO ₂ /L)	69650	± 1866
DBO (mgO ₂ /L)	8500	-
Carbono orgánico (g/L)	23.80	-
Nitrógeno orgánico (g/L)	1.33	-
Relación C/N	17.9	-
pH	3.9	± 0.2

Tabla 1. Caracterización del POME.

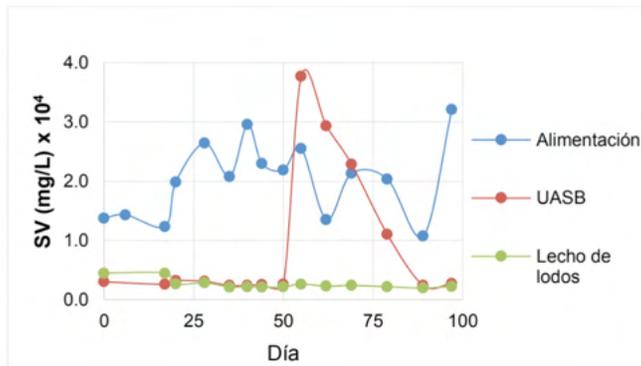


Figura 2. Comportamiento de Sólidos volátiles en el reactor.

En la Figura 2, se observa un pico en el día 55, que representa un incremento en los SV en el UASB, esto como resultado de una sobrecarga en el reactor; sin embargo, la cantidad de SV en el lecho de lodos (reactor secundario) tiene valores que van con el comportamiento normal del reactor, lo que permite decir que esta etapa garantiza obtener una depuración promedio en los sólidos volátiles (SV) en todo el proceso al controlar las sobrecargas.

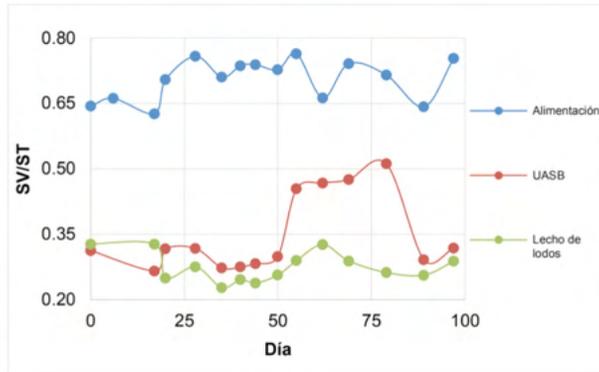


Figura 3. Relación de solidos volátiles y solidos totales durante tiempo de monitoreo del proceso.

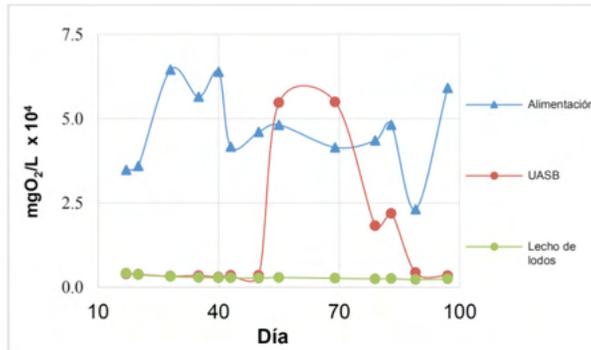


Figura 4. Demanda química de oxígeno del proceso durante tiempo de monitoreo del proceso.

De acuerdo a la Figura 4, se puede apreciar que la mayor depuración de materia orgánica se realiza en el UASB y que el reactor secundario es óptimo para controlar sobrecargas sin necesidad de detener el proceso cuando se presentan.

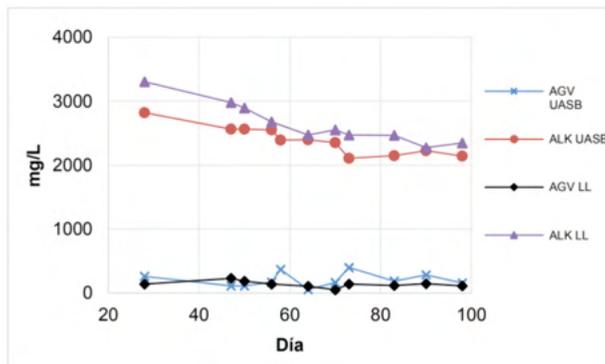


Figura 5. Ácidos grasos volátiles (AGV) y alcalinidad (ALK) durante el monitoreo del proceso tanto en el reactor (UASB) como en el lecho de lodos (LL).

Se mantiene un control de los niveles de AGV y Alcalinidad para evitar sufrir inhibiciones en el sistema por el aumento de esta relación, se puede apreciar que pese a la sobrecarga sufrida el UASB no se ve descompensado y tiende a estabilizarse.

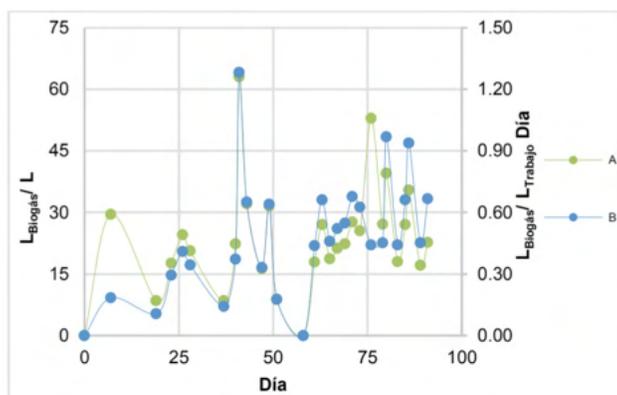


Figura 6. Producción de biogás; A: biogás / volumen de POME, B: producción específica (volumen biogás / (volumen de trabajo – día)

La producción de biogás se ve afectada por el sistema que se empleó para su colecta, siendo modificado (día 40), y dando como resultado una mayor producción debido a que no se contaba con un depósito adecuado que permitiera la adecuada cuantificación de este.

CONCLUSIONES

- A pesar de ser un experimento exploratorio, la biodigestión del POME produce un biogás con una cantidad de metano apreciable (58.4% CH₄, 40.4% CO₂, 1.2% O₂).
- Se logra una remoción de materia orgánica promedio de 93%, indicando que el proceso de digestión anaerobia es un buen proceso para disminuir su impacto ambiental.
- El uso de un reactor secundario garantiza el control de sobrecargas que pueda sufrir el sistema, en donde la cantidad de materia degradada en el UASB disminuye, pero al final del proceso se observa que la remoción se mantiene promedio a la que presenta el sistema cuando está estable.
- Los procesos de digestión anaerobia dan a residuos como el POME un valor energético agregado, contribuyendo así a la valorización de residuos orgánicos y revierten el impacto ambiental que muchos causan tras su disposición final al reducir su carga orgánica que se ve reflejada en la disminución de DQO y sólidos volátiles.

AGRADECIMENTOS

Los autores agradecen al Programa Colombia Científica como fuente de financiación, en el marco de las convocatorias Ecosistema Científico, contrato fp44842- 218-2018

REFERENCIAS

[1] N. Guerrero y E. Elizabeth, «**Estudio sobre la recirculación de agua de producción utilizada para la extracción del aceite crudo de palma**», 2015.

[2] S. de I. estadística del S. P. Sispa, “**Evolución histórica anual de Fruto Procesado en Colombia,**” p. 6000, 2014.

[3] Ling Yu Lang, “**Treatability of palm oil mill effluent (pome) using black liquor in an anaerobic treatment process** by Thesis submitted in fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science July 2007 ACKNOWLEDGEMENTS,” no. July, 2007.

[4] R. Pogaku, K. Y. Yong, y V. P. R. Veera Rao, «**Production of Biogas from Palm Oil Mill Effluent**», en *Advances in Bioprocess Technology*, P. Ravindra, Ed. Cham: Springer International Publishing, 2015, pp. 99-112.

[5] L. L. Bridgewater *et al.*, Eds., **Standard methods for the examination of water and wastewater, 23rd edition**. Washington, DC: American Public Health Association, 2017.

[6] Kapp H, **Schlammfäulung mit hohem Feststoffgehalt. Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Band 86, Oldenbourg Verlag, Munchen, 300 pp (1984).**

[7] P. E. Poh y M. F. Chong, «**Upflow anaerobic sludge blanket-hollow centered packed bed (UASB-HCPB) reactor for thermophilic palm oil mill effluent (POME) treatment**», *Biomass and Bioenergy*, vol. 67, pp. 231-242, ago. 2014.

[8] C. Fang, S. O-Thong, K. Boe, y I. Angelidaki, «**Comparison of UASB and EGSB reactors performance, for treatment of raw and deoiled palm oil mill effluent (POME)**», *Journal of Hazardous Materials*, vol. 189, n.o 1-2, pp. 229-234, may 2011.

AULA PRÁTICA DE MONTAGEM DE UMA UNIDADE SANITÁRIA DE PLÁSTICO RECICLADO RELATO DE EXPERIÊNCIA

Data de aceite: 01/11/2021

Maria Aridenise Macena Fontenelle

UFERSA- Mossoró, Departamento de
Engenharias
Mossoró – RN

Thaís Russiely Guedes Martins

UFERSA- Mossoró, Departamento de
Engenharias
Mossoró – RN

RESUMO: Este estudo visa incrementar o interesse de estudantes do ensino médio e reduzir a evasão do curso de engenharia civil através da realização de aula prática de montagem de unidade sanitária de plástico reciclado pelos discentes da disciplina de Tecnologia das Construções contando com a participação dos estudantes de uma escola de ensino médio. Uma parceria entre uma Universidade pública, o fabricante do banheiro de plástico e uma escola pública do semiárido do nordeste brasileiro foi estabelecida através de um convênio com o CNPq e a Companhia Vale do Rio Doce – Forma Engenharia - com o fito de realizar análises do processo de montagem e desmontagem do banheiro de plástico reciclado. A primeira aula prática foi realizada pelos técnicos da empresa doadora da unidade sanitária. As observações dos participantes durante a referida aula serviram de base para elaboração do procedimento para realização da aula prática de montagem e manual do banheiro de plástico reciclado. Duas aulas práticas foram realizadas com apoio

dos técnicos da Universidade que realizou a pesquisa, e, duas foram realizadas somente pelos estudantes do curso de Engenharia civil da referida Universidade. Em todas elas ficou evidente a dificuldade de encaixe da viga superior em virtude da altura e da necessidade de ajuste entre os quatro pilares. A partir desse estudo a empresa fornecedora realizou testes no protótipo e modificou o material dos pilares de ferro para alumínio.

PALAVRAS-CHAVE: Engenharia civil. Educação e Aula prática.

CLASSROOM PRACTICE ABOUT HEALTH UNIT ASSEMBLY (BATHROOM) FROM RECYCLED PLASTIC – EXPERIENCE REPORT

ABSTRACT: The basic interest of high school students in engineering courses is growing in Brazil. Moreover, a survey carried out at the Polytechnic School of the Universidad de São Paulo (USP) with students from the Civil Engineering course, about evasion in that course showed that students feel that there is excess basic subjects and less focused on practice they perceive as civil Engineering. In this light, it is necessary to take action to increase the interest of students in high school and beyond reduce evasion in engineering course. As well, this study reports the actions taken in the civil engineering course, through a practical class assembly of a sanitary unit made of recycled plastic by students of the construction technology discipline with the participation of students from a high school. It has been the model studied a partnership between a public university, the plastic bathroom

manufacturer and a public school in the semiarid region of northeastern Brazil. The above was established in an agreement with the National Research Center - CNPq and Vale do Rio Doce company with the aim of carrying out analysis of the assembly process and disassembly of recycled plastic bathroom. This study used the technique of participant observation. The observations were the basis for preparing the assembly procedure and bathroom manual recycled plastic. It concludes by highlighting the difficulties at the time of bathroom assembly. From this study the company bathroom idealizing conducted tests on the prototype and modified the material of iron pillars for aluminum.

KEYWORDS: Civil engineer, education, bathroom from recycled plastic.

1 | INTRODUÇÃO

A formação do engenheiro civil é considerada fundamental para o sucesso e a remuneração do profissional no mercado, porém a taxa de evasão em engenharia civil é alta e muitos desistem antes do fim do curso.

Uma pesquisa realizada na Escola Politécnica da USP com estudantes do curso de Engenharia civil sobre evasão no referido curso evidenciou que os alunos consideram que há excesso de matérias básicas e pouco voltadas à prática do que entendem como engenharia civil. Outro problema brasileiro se concentra no baixo interesse dos estudantes de ensino médio pelos cursos de engenharia.

Diante do exposto este estudo visa incrementar o interesse de estudantes do ensino médio e reduzir a evasão do curso de engenharia civil através da realização de aula prática de montagem de banheiro sanitário de plástico reciclado pelos estudantes da disciplina de Tecnologia das Construções do Curso de Engenharia Civil contando com a participação dos estudantes de uma escola de ensino médio.

2 | NOVAS TECNOLOGIAS E ENGENHARIA CIVIL

Sustentabilidade implica em sistemas construtivos que promovam integração com o meio ambiente, adaptando-os para as necessidades de uso, produção e consumo humano, sem esgotar os recursos naturais, preservando-os para as gerações futuras; além da adoção de soluções que propiciem edificações econômicas e o bem-estar social (CÂMARA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO, 2008).

Há alguns anos reforçou-se uma preocupação em termos de Meio Ambiente, poluição, resíduos e desenvolvimento sustentável; fato que gerou, em grande parte da população e em vários setores, a necessidade de inovar, procurar soluções renováveis, que provocassem menores impactos ou que contribuíssem de certa forma para minimizar os impactos gerados no meio.

O setor da Construção Civil é um dos que produzem maior quantidade de resíduos sólidos que ficam dispostos em lixões ou aterros sanitários sem que lhes seja dado reaproveitamento, e para os quais ocorre reaproveitamento, constitui-se métodos difíceis

de serem executados e por vezes caro, tornando essas práticas inacessíveis à população.

A fabricação de diversos produtos com a utilização de material reciclado vem ganhando cada vez mais importância e reconhecimento diante de uma realidade de um planeta cada vez mais sedento por sustentabilidade. Há algumas técnicas construtivas nesse sentido que têm se inserido e ganhado espaço no setor da construção civil, como a técnica dos módulos habitacionais, com os quais se pode construir: canteiro de obras, banheiro, residência, escritórios, os quais são alguns produtos utilizados em obras nacionais, todos fazendo uso do plástico reciclado como matéria prima.

O método dos módulos habitacionais tem se aperfeiçoado, além de viável e inovador, é bastante simples de ser implantado, ou seja, qualquer pessoa seguindo o manual pode montar os produtos; além de ser uma medida sustentável, uma forma alternativa de reaproveitar materiais anteriormente sem destinação precisa, tornando-os materiais de grande utilidade, reduzindo os impactos ambientais.

3 I EDUCAÇÃO FORMAL, NÃO FORMAL E INFORMAL

Aprender traz consigo a possibilidade de algo novo, incorporado ao conjunto de elementos que formam a vida do indivíduo, relacionando-se com a mudança de conhecimentos que ele já possui (OLIVEIRA, 2011).

A ocorrência de educação formal, não formal e informal é independente dos espaços onde ocorrem. Assim as três modalidades de educação podem se dar em espaços formais e em não formais como equivalentes a espaços escolares e espaços não formais como qualquer outro espaço externo à escola (OLIVEIRA e GASTAL, 2009).

A integração entre a prática e a teoria é necessária para integrar os conteúdos que permeiam o curso, além de propiciar a compreensão dos mesmos por meio de vivências do cotidiano da área de estudo. (AGUIAR, et.al., 2016).

A educação não formal é uma atividade aberta, que vem sendo moldada por educadores das mais diversas áreas. Ela não é estática, e isso permite o desenvolvimento da modalidade, bem como da forma como se processa o ensino em momentos em que os ambientes formais não são suficientes para que o processo de aprendizagem ocorra.

4 I UNIDADE SANITÁRIA EM PLÁSTICO RECICLADO

A unidade sanitária de plástico reciclado, em seu modelo convencional, conta com montantes de alumínio, geralmente com 2,70 m de altura; Juntas de encaixe que também são constituídas de material metálico formando perfil H revestido com pvc, que ficam entre uma placa de plástico e outra, e entre as cintas de alumínio e as placas de plástico, facilitando os encaixes, a mesma possui 84 cm de comprimento. Para a base é colocado uma cinta de metalon galvanizado, que já apresenta os encaixes necessários

para os montantes de alumínio; o piso é constituído por placas de plasterit encaixadas. E, a parte superior é constituída por uma cinta de amarração também de metalon galvanizado. Nas partes dos nós entre a ligação das cintas é colocado parafuso autobrocante utilizando furadeira.

A caixa d'água fica localizada no interior da unidade sanitária suspensa na parte superior por meio de uma estrutura metálica apoiada na cinta superior, a caixa d'água é de 200 litros, se tratando de um uso básico, convencional; sendo que sua capacidade máxima dependerá da necessidade do projeto, onde poderá ser feito reforço do metalon de suporte de acordo com o esforço demandado. A parte de instalações elétricas é feita normalmente, assim como a hidráulica contendo bacia sanitária, chuveiro, pia e tudo o que se utiliza comumente em banheiros convencionais; porta conforme a norma de edificações da norma de acessibilidade 9050, de 80 cm de largura e saída de ar.

A obra finalizada da unidade sanitária apresenta 1,83 de comprimento por 1,53 de largura. Figura 1. A estrutura pode ser tanto comprada como alugada para obras e os módulos podem ser montados e desmontados quantas vezes se fizerem necessárias.

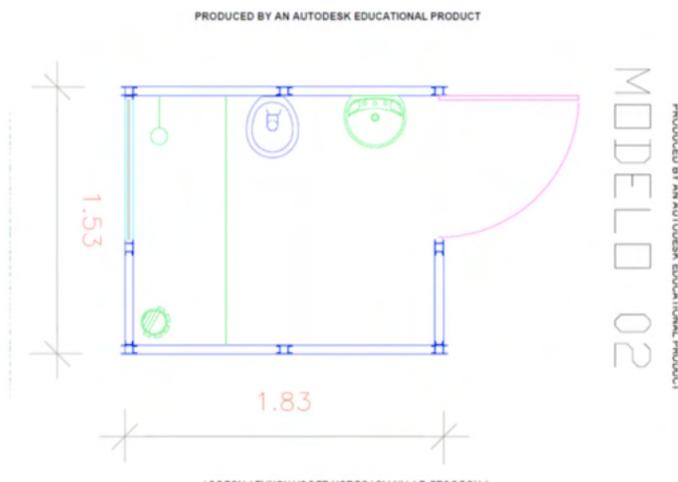


Figura 1 – Módulo do banheiro de plástico reciclado

Fonte: Impacto Protensão (2016).

A instalação elétrica pode ser feita por cima e pode ficar embutida nos perfis de alumínio que já possuem furações predeterminadas para as instalações de tomada baixa ou alta. As instalações hidros-sanitárias ficam expostas no interior ou exterior do contêiner plástico. A vasão de descarte pode ser feita ligada à rede de esgoto ou através de fossas sépticas. As instalações hidráulicas são realizadas junto com a colocação das bases.

Apesar do banheiro de plástico ser totalmente modularizado, há possibilidade de se fazer algumas adaptações para instalações elétricas e hidráulicas. No piso com modulação

plástica pode haver necessidade de corte do plasterit. Para passagem das instalações hidráulicas através do piso ou das paredes utiliza-se uma serra-copo para perfurações. Caso as especificações do projeto sejam passadas com antecedência os ajustes de cortes são realizados na própria empresa que fabrica o material, de forma a aumentar a rapidez da montagem e evitar a necessidade de mão de obra especializada.

5 | ESTUDO DE CASO

A disciplina de Tecnologia das Edificações do oitavo semestre do curso de Engenharia Civil visa proporcionar aos discentes conhecimentos das etapas de execução dos serviços de uma obra de construção civil com visão dos processos, linguagem técnica e ferramentas básicas para gestão e produção de edificações.

O conteúdo programático é dividido em duas partes denominadas de obra bruta e fina.

As principais estratégias de ensino utilizadas são: Aulas expositivas com discussão de conceitos e estudos de caso; Leitura e interpretação de textos; Seminários dos alunos para apresentação de artigo científico e de estudos de caso e/ou trabalhos práticos realizados por eles e Visitas técnicas.

Na aula prática de montagem e desmontagem do banheiro de plástico reciclado, que é o foco deste estudo, procura-se observar na prática os processos construtivos estudados em sala de aula e também inovações tecnológicas utilizadas nas obras.

A primeira aula prática foi realizada pelos técnicos da empresa doadora do referido banheiro. As observações dos participantes durante a referida aula serviram de base para elaboração do procedimento para realização da aula prática de montagem e manual do banheiro de plástico reciclado. Duas aulas práticas foram realizadas com apoio dos técnicos da Universidade que realizou a pesquisa, e, duas foram realizadas somente pelos estudantes do curso de Engenharia civil da referida Universidade. Figura 2.



Figura 2 – Montagem do módulo do banheiro de plástico reciclado.



Figura 3 – Colocação da viga metálica superior – andaimes sem tábuas.

A figura 3 mostra a finalização da montagem do módulo do banheiro de plástico reciclado evidenciando a colocação da viga metálica e a ausência de tábua para maior segurança e apoio no andaime.

É necessário difundir a abordagem dessas novas tecnologias para construtoras e profissionais da área de engenharia, porém também é bastante interessante que essas práticas comecem a ser abordadas e incentivadas desde a graduação, para os futuros profissionais, de forma que incentive a utilização futura.

Tendo em vista a importância do incentivo da aplicação de novas tecnologias, tem sido realizada uma prática da apresentação da unidade sanitária de plástico reciclado em uma Universidade Federal da cidade de Mossoró, em parceria com uma instituição pública de ensino médio

O banheiro de plástico foi selecionado dentre os diversos produtos que são produzidos através da reciclagem do plástico por ser de porte menor que o de um módulo habitacional e por envolver parte de instalações, uma vez que constitui uma abordagem importante para os alunos.

O projeto visa promover a inclusão de alunos nos cursos de engenharia apresentando o curso como inovador e dinâmico. Busca despertar maior interesse dos alunos que já estão na Universidade, de forma a minimizar as frequentes evasões.

O planejamento da aula prática inicia-se pela organização das atividades a serem desenvolvidas, através da elaboração do cronograma de atividades (Tabela 1).

Cronograma de Atividades	
Atividades	Descrição
1	Planejamento das atividades e parcerias
2	Aquisição do banheiro plástico reciclado
3	Capacitação na montagem
4	Redação do procedimento da aula teórica e prática
5	Realização da aula prática

Tabela 1 – Cronograma das Atividades

Fonte: Relatório de pesquisa– Edital 005/ 20012 CNPq /Vale – Forma Engenharia

Para realização da aula prática foi necessário estudar o processo de montagem do banheiro de plástico reciclado e elaborar o procedimento para realização da aula prática de montagem e o manual do banheiro de plástico reciclado. Também foi realizada a divulgação da referida aula para os alunos do ensino médio, da escola correspondente. As aulas práticas ocorrem semestralmente, com a presença dos estudantes de Engenharia Civil e os alunos de ensino médio da escola parceira.

Com base nas orientações de montagem da empresa fornecedora da unidade sanitária de plástico reciclado foi elaborado Procedimento de Montagem do Banheiro de Plástico Reciclado, descrito a seguir:

1. Posicionar a cinta metálica de amarração inferior e a tubulação sanitária;
2. Concretar (Montar) a estrutura do piso;
3. Posicionar os perfis verticais de PVC (Cloreto de Polivinila) reforçados internamente com tubo industrial metálico quadrado para estruturação das paredes;
4. Encaixar as placas plásticas 0,61cm x 0,61cm em polipropileno EP200K reciclado preenchidas com poliestireno expandido (EPS) com isolante térmico acústico nos perfis metálicos do piso e nos perfis verticais de PVC (Cloreto de Polivinila) reforçados internamente com tubo industrial metálico quadrado para estruturação das paredes;
5. Distribuir as esquadrias (portas e janelas) de acordo com o projeto de montagem;
6. Posicionar a cinta metálica de amarração superior;
7. Posicionar a caixa d'água;
8. Fixar a telha metálica;
9. Distribuir as instalações, hidros-sanitárias, elétricas e as louças e metais sanitários;
10. Fixar através de parafusos as cintas metálicas inferiores e superiores nos perfis verticais de PVC reforçados internamente com tubo industrial metálico quadrado para estruturação das paredes;

11. Fixar a cobertura com telhas trapezoidais em aço galvanizado;

O processo de desmontagem foi realizado em agosto de 2013 pela equipe do projeto com auxílio de técnicos do laboratório de tecnologia das construções e de instaladores da Universidade correspondente. O tempo e as dificuldades nos procedimentos de montagem foram similares aos de montagem.

Realizou-se o acompanhamento da desmontagem e montagem do banheiro de plástico reciclado. Esta tarefa foi executada por duas turmas da disciplina de Tecnologia das Edificações de uma Universidade Federal da cidade de Mossoró, com o acompanhamento de alunos do ensino médio de uma instituição pública de ensino médio. Esse processo constitui uma parceria que compõe um projeto, cujo objetivo é atrair alunos para o curso de engenharia civil na instituição e minimizar as evasões que ocorrem frequentemente.

A primeira estratégia para obter bom desempenho na tarefa é observar bem a forma como se dá a montagem, seja através do manual ou do vídeo que explicam a montagem e realizar um planejamento rápido com base nas ferramentas que se pode utilizar. O segundo passo deve ser organizar todo o material ao redor da obra, para facilitar o manuseio sem desperdícios de tempo. Aplicando essas estratégias e juntamente obtendo empenho e dedicação da parte da equipe de obras, é possível que a realização da montagem ocorra de forma fácil, eficaz e com economia de tempo.

O primeiro processo de montagem ocorreu com a turma de 2013, a qual realizou o referido processo com base em um manual de montagem do próprio produto reciclado. No procedimento observou-se que houve cooperação mútua e trabalho em equipe, porém não foi dada tanta importância a questão da organização do canteiro, o que acabou sendo um fator relevante, pois como inicialmente não pesou-se tanto essa questão, a turma acabou executando a tarefa com o dobro de tempo, se comparada à turma de 2016.

A segunda turma foi acompanhada durante o processo de montagem em 2016. Dessa vez os alunos não tiveram acesso ao manual de montagem, mas assistiram um vídeo do processo de montagem da unidade sanitária de plástico reciclado. Esta turma por sua vez apresentou melhor desempenho na realização da tarefa, pois foram bastante reforçados os conceitos comumente utilizados ao longo da graduação, quanto o trabalho em equipe, a organização do material o mais próximo possível do local onde está sendo realizada a obra, os prazos, o incentivo mútuo da equipe de obra. Dessa vez o tempo de desmontagem foi de 15 minutos.

A montagem e desmontagem do banheiro são procedimentos simples que com poucas ferramentas é possível realizar. Das etapas de montagem a que a equipe apresentou maiores dificuldades foi com o encaixe da cinta metálica superior, pois para sua realização todas as peças deveriam estar bem alinhadas.

Outra dificuldade com relação à desmontagem e montagem da unidade sanitária, foi sobre a ausência de equipamentos de proteção individuais, como: capacete, bota,

óculos e cinto. Porém, a maior dificuldade foi em decorrência da ausência de tábuas para deslocamento nos andaimes, diante dessa situação, os alunos que estavam realizando a montagem tinham que se equilibrar para realizar as atividades em altura, se submetendo a risco de acidente.

A realização da tarefa mostrou-se bastante dinâmica, foi visível a interação entre os participantes da aula prática. A montagem da unidade sanitária se mostrou uma tarefa além de possível de ser realizada bastante simples, visto que alunos totalmente sem experiência na montagem, pela primeira vez que se depararam com o desafio e conseguiram desempenhar com êxito.

Para as próximas turmas que irão realizar a tarefa, pretende-se implementar um novo método pré-montagem da unidade sanitária, no qual além de poderem assistir o vídeo de montagem, os alunos também tenham acesso ao manual para que dessa forma se verifique o tempo em que eles conseguem concluir a montagem. O intuito é promover uma montagem com o mínimo de tempo possível, realizada por alunos, ou seja, pessoas comuns que não constituem uma mão de obra especializada para a realização da tarefa, de forma a mostrar que a execução pode ser desenvolvida por qualquer pessoa e atestar a praticidade que o método oferece.

6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O acompanhamento da aula prática possibilitou a comprovação da simplicidade da montagem do material. O projeto, que envolve alunos da disciplina de Tecnologias das Edificações de uma Universidade Federal de Mossoró, em parceria com uma instituição pública de ensino médio, mostrou-se bastante eficiente em atender a finalidade para a qual foi designado, pois, visa apresentar as técnicas de construção na prática, envolvendo os alunos na montagem para que estes despertem um maior interesse para o curso de engenharia civil.

Com a realização da tarefa de montagem, foi possível aplicar vários conhecimentos adquiridos ao longo da graduação como por exemplo planejamento, gestão e controle de obras, a importância de identificar que sem tais conceitos na realização das diversas atribuições às quais o engenheiro civil está sujeito, uma tarefa que poderia ser facilmente executada pode gerar tantos transtornos, atraso e retrabalhos em uma obra.

Dois aulas práticas foram realizadas com apoio dos técnicos da Universidade que realizou a pesquisa, e, duas foram realizadas somente pelos estudantes do curso de Engenharia civil da referida Universidade. Em todas elas ficou evidente a dificuldade de encaixe da viga superior em virtude da altura e da necessidade de ajuste entre os quatro pilares. A partir desse estudo a empresa fornecedora realizou testes no protótipo e modificou o material dos pilares de ferro para alumínio.

AGRADECIMENTOS

A empresa Impacto Proteção e Escola Estadual Moreira Dias pela parceria na pesquisa.

Ao CNPq/Vale – Edital 005/2012 pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABENGE. Estatuto da ABENGE – Associação Brasileira de Educação em engenharia. Disponível em: < www.abenge.com.br > Acesso em: 14 de Abril de 2016.

AGUIAR, C.R.L de; MARAGONI, C. ; Valle, J.A.B. Estratégias de ensino desenvolvidas através de ambientes não formais em um curso de engenharia. In: **Revista de Ensino de Engenharia**. Vol. 25 N.1 Janeiro/junho de 2016: ABENGE

CÂMARA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Guia de Sustentabilidade na Construção. Belo Horizonte: FIEMG, 2008. 60p.

Impacto Protensão. Disponível em: < www.impacto.com.br >. Acesso em 05 de Abril de 2016.

OLIVEIRA, F.G. **Psicologia da Educação e aprendizagem**. Indaial, SC: Uniasselv, 2011.

OLIVEIRA, R.I.R de; GASTAL, M. L. A. Educação formal fora da sala de aula: olhares sobre o ensino de ciências utilizando espaços não-formais. In: XXXVII CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA. **Anais...** Florianópolis, 2009.

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA LAGOA DO COLOSSO, MUNICÍPIO DE FORTALEZA, CEARÁ: CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO INSTITUTO FEDERAL DO CEARÁ - IFCE

Data de aceite: 01/11/2021

Data de submissão: 20/08/2021

Georgia Kelly Terto Galvao

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará | Campus Fortaleza
Fortaleza – Ceará
<http://lattes.cnpq.br/2134833790386289>

RESUMO: A qualidade da água tem uma relação intrínseca com a gestão da bacia hidrográfica, onde as formas de uso do solo serão os parâmetros para definir o grau de impacto na área da bacia hidrográfica. Diante dessas questões o objetivo geral deste estudo foi realizar um estudo acerca na Lagoa do Colosso e no decorrer do estudo procurou-se alcançar os seguintes objetivos específicos: conceituar recursos hídricos; verificar que instrumentos legais definem as normas da gestão ambiental no rio; e por fim conhecer os instrumentos legais que definem as normas da gestão ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: Água. Recursos hídricos. Lagoa do Colosso.

ENVIRONMENTAL DIAGNOSIS OF
COLOSSO LAGOON, FORTALEZA
MUNICIPALITY, CEARÁ: SCIENCE
AND TECHNOLOGY OF THE FEDERAL
INSTITUTE OF CEARÁ – IFCE

ABSTRACT: Water quality has an intrinsic relationship with river basin management, where land use forms will be the parameters for defining

the degree of impact in the catchment area. In view of these questions the general objective of this study was to carry out a study about Colosso Lagoon and during the study the following specific objectives were sought: conceptualizing water resources; verify that legal instruments define the norms of environmental management in the river; and finally to know the legal instruments that define the norms of environmental management.

KEYWORDS: Water. Water resources. Colosso Lagoon.

1 | INTRODUÇÃO

A questão da gestão de recursos hídricos mobiliza a cada ano mais cientistas, organizações não governamentais e a sociedade civil organizada, explicitando a preocupação com a manutenção de um dos recursos ambientais que, apesar de renováveis, tem sofrido diminuições sucessivas de sua potabilidade/qualidade diante do crescimento populacional e das atividades econômicas. Constitui, portanto, matéria de interesse internacional, transcendendo as barreiras entre as diversas regiões.

Sendo a água um dos recursos naturais mais intensamente utilizados torna-se nítida a necessidade de administrá-la, garantindo seus requisitos de qualidade e uma oferta que atenda à demanda dos polos industriais, dos grandes centros urbanos, zonas de irrigação, bem como as necessidades metabólicas do homem e de outros seres vivos.

A qualidade da água tem uma relação intrínseca com a gestão da bacia hidrográfica, onde as formas de uso do solo serão os parâmetros para definir o grau de impacto na área da bacia hidrográfica.

Vale relembrar que os estudos relacionados à análise ambiental têm sempre como referencial uma determinada comunidade e sua relação com o contexto espacial em que vive e desenvolve suas atividades, podendo ser um país, estado, município, lugarejo, ou microbacia hidrográfica etc. Desse modo os estudos ambientais apresentam uma preocupação holística de relacionar a complexidade social, cultural e econômica de uma sociedade com o processo de apropriação e ocupação do meio ambiente em que vivem (ROSS, 2006).

De acordo com Gonçalves et al. (2013) a Lagoa do Colosso fica localizada no bairro Edson Queiroz, na cidade de Fortaleza. A localização geográfica da lagoa é de 0558707W latitude e 9582264S de longitude. No entorno da lagoa é possível perceber inúmeras interferências humanas, dentre essas intervenções estão: construções civis, vias de acesso e também a utilização da lagoa como um meio de entretenimento.

A Lagoa do Colosso é um local interessante para prática do turismo, quanto para moradores de Fortaleza, sobretudo no tocante a turismo ecológico. Nesse espaço da capital cearense é possível fugir da agitação que é característica dos dias em Fortaleza.

A Lagoa do Colosso é um local bastante utilizado na capital para diversos esportes, graças as suas calmas águas. Dois desses esportes náuticos são o Wakeboard e o Stand Up Paddle e também para balneabilidade e lazer em geral.

Além dos programas aquáticos para aqueles que gostam de praticar esportes, há também outras opções fora d'água, nos quais é possível aproveitar um momento familiar ou mesmo passar o tempo com os amigos, visto que muitos já adotaram o local como ponto de encontro.

Diante dessas questões o objetivo geral deste estudo foi realizar uma análise na Lagoa do Colosso e no decorrer do estudo procurou-se alcançar os seguintes objetivos específicos: conceituar recursos hídricos e sua área de influência hidrográfica; verificar que instrumentos legais definem as normas da gestão ambiental no rio; e por fim conhecer os instrumentos legais que definem as normas da gestão ambiental.

2 | MATERIAS E MÉTODOS

Este trabalho teve como método a realização de pesquisa exploratória na bacia hidrográfica, e criação de um referencial teórico, no qual fez-se uma avaliação geral sobre os autores que discutem a temática, com o objetivo de entender a real situação dos recursos hídricos e os impactos causados pelo o homem, em seguida com base nos instrumentos legais que definem as normas da gestão ambiental na bacia, principalmente utilizando a resolução vigente, a CONAMA 357/2005, apresentar uma análise descritiva dos dados

coletados na Lagoa do Colosso.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com um estudo realizado por Gonçalves et al. (2013) a contaminação da água é um problema que tem ocorrido de maneira frequente no momento atual, pois ela pode ser realizada de várias maneiras, de acordo com os autores essas contaminações podem ocorrer das seguintes maneiras:

- Contato de produtos químicos com a água;
- Despejo inadequado de esgoto domésticos;
- Despejo de uma quantidade muito grande de nutrientes.

Segundo Gonçalves et al. (2013) através dessas situações o processo de eutrofização das águas pode ocorrer, e dessa maneira a quantidade de água própria para banho vai sofrendo escassez, assim como aquela água que deveria ser utilizada para consumo da população.

Baseado na citada Resolução do CONAMA após a análise de salinidade da Lagoa do Colosso, a mesma foi classificada como: Seção I, das águas Doces; Artigo 4º, III – Classe 2. (GONÇALVES et al., 2013).

Gonçalves et al. (2013) afirma que com o passar do tempo os ecossistemas aquáticos terminam por incorporar algumas substâncias que tem origem natural, e essas substâncias têm a capacidade de trazer alterações no comportamento químico da água. O que também vem a ocorrer é que a ação humana decorrente das substâncias que são lançadas no copo d'água pode vir a trazer problemas bastante significativos no tocante a qualidade da água.

A seguir ressalta-se uma tabela apresentando os parâmetros dos estudos relativos a água na Lagoa do Colosso por Gonçalves et al. (2013).

Parâmetro	1998	2000	2002
pH			
Oxigênio Dissolvido (OD)	4,04 mg/LO ₂	4,35 mg/LO ₂	3,65
Salinidade	0,42	0,42	
Condutividade Elétrica	0,948 µs/cm	0,948 µs/cm	0,94
Temperatura	28,31°C	29,62°C	28,31
Turbidez	14,2 NTU	13,5 NTU	

Figura 4 - Parâmetros analisados

Fonte: Gonçalves et al. (2013)

As temperaturas encontradas no fundo, no meio e na superfície foram respectivamente de 28,31°C, 29,62°C e 29,58°C. De acordo com o CONAMA 357/2005, a Turbidez encontrada nas águas está dentro do padrão, sendo que nesse padrão se vai até 40 NTU.

Gonçalves et al. (2013) relata que os valores encontrados no fundo, meio e superfície são respectivamente de 14,2 NTU e 13,5 NTU. O que indica que há pouco material particulado em suspensão quando foi realizada a leitura.

O pH da água deve estar entre 6,0 e 9,0, de acordo com o CONAMA 357/2005. Gonçalves et al. (2013) apresentou o resultado de no fundo de 7,23, no meio de 7,23 e no fundo de 7,15. O que coloca a lagoa como dentro da Resolução do CONAMA.

A amostra da água para clorofila “a” foi realizada às 9:40 da manhã e teve adição de carbonato de magnésio na sua amostra. Quando analisada a clorofila três medições diferentes de onda foram realizadas (663, 645 e 630 nm), o que resulta em 6,487 mg/m³. Tais valores estão dentro do padrão aceito pelo CONAMA.

De acordo com os resultados obtidos por Gonçalves et al. (2013):

- A Lagoa do Colosso possui um valor abaixo do aceitável no tocante ao oxigênio dissolvido, podendo isso significar que há uma grande quantidade de microrganismos aeróbios, que são os responsáveis pela decomposição da matéria orgânica;
- A lagoa conta com a presença de coliformes termotolerantes e E.coli. Com isso o uso da água é impossibilitado para a utilização em contato primário, por exemplo: agricultura, recreação e a pesca;
- Quanto a turbidez, esse apresenta-se de acordo com o que é proposto pela Resolução do CONAMA 357/2005, estando dessa maneira satisfatório;

O local onde foi realizada a amostragem apresentou uma grande interferência antrópica, de acordo com Gonçalves et al. (2013) isso implica que a população local tem realizado a utilização da água do rio para atividades recreativas, plantações e que tendo em base essa referência é possível que existam até mesmo o despejo de esgoto ao redor do local, podendo esse ser proveniente da população local ou por alguma indústria.

Assim Gonçalves et al. (2013) concluíram que as análises realizadas não apresentaram números satisfatórios baseado na Resolução CONAMA 357/2005 e, que dessa maneira com a poluição detectada no local, as águas da lagoa deveriam ser utilizadas em atividades que fossem menos exigentes.

4 | CONCLUSÕES

O Estado do Ceará possui uma variedade de ambientes e de atrações que fazem com que esse seja um dos estados mais visitados do Brasil. Fortaleza conta com 161 lagoas, rios e lagos, essas são muitas vezes opções de lazer para os finais de semana

dos fortalezenses, as atividades que normalmente são realizadas dizem respeito a estar com a família ou amigos, aproveitando o ambiente para a realização de piqueniques e de pescarias.

O órgão responsável pela fiscalização das 161 lagoas, rios e lagos de Fortaleza é a Secretária Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente (Seuma). A limpeza dos reservatórios é realizada pela Seuma em parceria com outros órgãos, dentre esses órgãos estão a Defesa Civil, Secretarias Regionais e Autarquia de Urbanismo e Paisagismo de Fortaleza (Urbfor).

A limpeza de lagoas como a do Colosso, Parangaba e do Opaia ocorrem de acordo com a Seuma a cada três meses. O Programa Águas da Cidade é gerido pela Seuma, e esse programa tem como o seu objetivo a melhora nos índices de balneabilidade dos recursos hídricos de Fortaleza.

A Lagoa do Colosso é uma das que foi considerada própria para o banho, situado no bairro Água Fria, assim como o riacho Cachoeirinha e o açude Santo Anastácio, que são localizadas no bairro do Pici em Fortaleza.

Os esgotos são um dos principais problemas relacionados para as lagoas, rios e açudes, e eles podem fazer com que o banho venha a se tornar impróprio nesses locais.

As fiscalizações acerca dos esgotos ocorrem de maneira diária pela Seuma. Essa fiscalização pode se dar tanto por denúncias quanto por uma busca ativa do órgão a prédios que não possuam ligação à rede pública de esgoto e de ligações clandestinas. A balneabilidade é afetada diretamente graças aos resíduos que são despejados no local de banho.

REFERÊNCIAS

BRASIL. **Lei 6.938, de 31.08.81**. Dispõe sobre a política nacional do meio ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Código Civil. 18. ed. São Paulo: Saraiva, 2003. (Legislação brasileira).

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 396**, de 03 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Brasília, DF, 2008.

CEARÁ. **Descubra o Ceará**. Governo do Estado do Ceará. Disponível em: <http://www.ceara.gov.br/turismo/?repeat=w3tc>. Acesso em: 03 out. 2018.

GONÇALVES, D. B *et al.* Análise físico-química e biológica de água na Lagoa do Colosso – 2013.1. *In: XIX Encontro de Iniciação à Pesquisa*. Universidade de Fortaleza. Fortaleza/CE. 21 à 25 de Outubro. 2013.

LAGOAS da capital estão impróprias para o banho na capital. **Diário do Nordeste**, 2016. Disponível em: <http://diariodonordeste.verdesmares.com.br/editorias/metro/lagoas-estao-improprias-para-o-banho-na-capital-1.1604756>. Acesso em: 23 ago. 2016.

TV DIÁRIO. **Lagoa do Colosso oferece lazer e contato com a natureza.** 2014. Disponível em: <http://tvdiario.verdesmares.com.br/noticias/cidade/lagoa-do-colosso-oferece-lazer-e-contato-com-a-natureza-1.1076558>. Acesso em: 03 dez. 2018.

CAPÍTULO 8

MEASUREMENTS OF GAMMA, NEUTRONS, RAINFALLS, AND POSSIBLE CORRELATIONS IN TROPICAL REGION OF BRAZIL

Data de aceite: 01/11/2021

Inacio Malmonge Martin

Technological Institute of Aeronautics - ITA -
Department of Physics
São Jose dos Campos – Brazil

Mauro Angelo Alves

Technological Institute of Aeronautics - ITA -
Department of Physics
São Jose dos Campos – Brazil

Marcelo Pêgo

Technological Institute of Aeronautics - ITA -
Department of Physics
São Jose dos Campos – Brazil

ABSTRACT: The months of October 2019 until the end of January 2020 were very rainy in São Jose dos Campos (23°12'S, 45°52'W) tropical Brazilian region. In the period from 10/14/2019 to 01/27/2020, the counting of gamma rays, neutrons and rainfall intensity in a tower at 25 meters high was monitored at every one-minute interval. This tower is located in a free area without electromagnetic interference from man on the site. The average rate of gamma radiation count between (0.2-10.0) MeV was 39000 counts / min. The average neutron count observed was 2 neutrons / min, between 25 eV to 10.0 MeV. The amount of net rainfall in the period was 461 (mm) with variations in dry weather, fine, moderate and heavy rainfall throughout the monitored interval time. It can be seen in these measurements that the intense rains correlate very well with variations in the gamma rays and delayed of 4

to 5 days with the measured neutron intensities. This work gives possible explanations about this correlation based in in same site of rainfalls, gamma and neutron observations.

KEYWORDS: Neutron, gamma rays and rainfall measurements.

MEDIÇÕES DE GAMA, NÊUTRONS, CHUVA E AS POSSÍVEIS CORRELAÇÕES NAS REGIÕES TROPICAIS DO BRASIL

RESUMO: Os meses de outubro de 2019 até o final de janeiro de 2020 foram muito chuvosos na região tropical brasileira de São José dos Campos (23°12'S, 45°52'W). No período de 14/10/2019 a 27/01/2020, a contagem de raios gama, nêutrons e intensidade das chuvas em uma torre a 25 metros de altura foi monitorada a cada intervalo de um minuto. Esta torre está localizada em área livre, sem interferência eletromagnética do homem no local. A taxa média de contagem de radiação gama entre (0,2-10,0) MeV foi de 39.000 contagens / min. A contagem média de nêutrons observada foi de 2 nêutrons / min, entre 25 eV a 10,0 MeV. A quantidade de chuva líquida no período foi de 461 (mm) com variações de tempo seco, chuva fina, moderada e forte ao longo do intervalo de tempo monitorado. Pode-se observar nessas medições que as chuvas intensas se correlacionam muito bem com as variações dos raios gama e retardadas de 4 a 5 dias com as intensidades de nêutrons medidas. Este trabalho dá possíveis explicações sobre esta correlação com base em um mesmo local de chuvas, observações gama e de nêutrons.

PALAVRAS-CHAVE: Medições de nêutrons,

raios gama e precipitação.

1 | INTRODUCTION

At the ground level interface of the Earth's surface, ionizing radiation it is composed mainly of gamma ray, soil telluric radiation, primary and secondary cosmic ray radiation [1]. However, it is difficult to separate over time the intensity of the ionizing radiation emanating from each component as the energies overlap. The telluric radiation is given by ^{238}U , ^{235}U , ^{40}K and ^{232}Th disintegration's series that are constant for each region. The gamma ray and neutrons coming from radon gas arriving through the ^{238}U in Earth's crust disintegration to ^{226}Ra and ^{222}Rn reaching the stables isotopes ^{214}Pb , ^{214}Po and ^{214}Bi . Radioactive elements such as Uranium, Thorium and Potassium are found in almost all types of rocks, sands, soils and water [2]. The Radium ^{226}Ra and its decay products are responsible for a major fraction of the dose of internal emissions received by humans. ^{226}Ra has a half-life of 1,600 years, and decays to Radon ^{222}Rn , which has a half-life of 3.82 days. The decay of ^{222}Rn is followed by successive disintegration of short half-life alpha, beta and gamma ray emitters. After decay stages, the radioactive chain ends with stable lead ^{206}Pb . The alpha particles coming from radon gas in interaction with elements of ground level and can produce neutrons. With regard to soils and rocks, the ^{226}Ra is present in virtually all soils and rocks in varying amounts. Areas with high levels of background radiation found in some soils are due to geological conditions and geochemical effects and cause increased terrestrial ionizing radiation. Researches in the world, and specifically in Brazil, show these conditions. Several studies report variations throughout the day of radon concentrations. Maximum concentrations are observed in the first hours of the day and the lowest values are found late near afternoon, when concentrations are about one third of morning values [3]. The same profile is observed with the gamma ray intensity variation in the tropics region. However, it is likely that variations in concentrations in localities of gamma ray intensity are dependent on local meteorological parameters (rain, wind, pressure, temperature and cloudiness) in the gamma ray detector site [4]. Electrical discharges in low atmosphere of the region also can contribute with production of low energy gamma ray and neutrons near ground level according lightning see Figure1 and Figure 2.



Fig. 1: Geographical location of Sao Jose dos Campos.

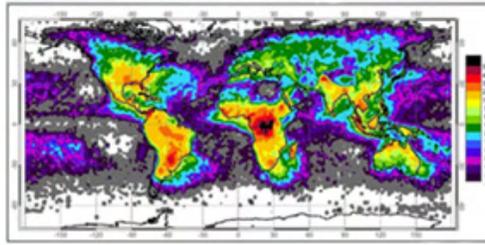


Fig. 2: Frequency of lightning strikes per km² per year. The frequency of lightning strikes at São José dos Campos is about 20-40 strikes /km²·year.

2 | METHOD & MATERIAL

To monitor the gamma radiation in energy interval 200 keV to 10.0 MeV, it has been used a portable system detector composed of Sodium Iodide scintillator activated with Thallium NaI(Tl). This crystal (3" x 3") inches (diameter and height) placed in a thin cylinder of aluminum foil and coupled with a PM (photomultiplier) with source power circuit settled in 1500 VDC and with data acquisition system provided by the company (Aware Electronics-Inc., USA) [5]. Detector and associated electronics of gamma ray were previously calibrated in ITA (Technological Institute of Aeronautics) laboratory using radioactive sources (Cs-137) and (Co-60) in terms of energy from emitted photons 662 keV and 1,17 MeV, 1,33 MeV respectively [6]. The data acquisition in terms of gamma radiation and intensity of rainfall was performed using 1-minute time interval between each measurement. This detail contributes to verify possible correlations between variation of rain intensity, and local ionizing gamma radiation.

The Ludlum Model 25311 tube Neutron Detector is designed for detection of thermal and fast neutrons (0.025 eV to 10 MeV) [7]. The neutrons are detected, not directly, but through nuclear reactions, which result in energetically charged particles such as alpha particles. In many instances, intense fields of gamma rays are also found with neutrons. Therefore, it is important to choose a method of neutron detection with the ability to discriminate against these gamma rays in the detection process. The most common reaction used in neutron detection today is: $(n+3\text{He} \rightarrow 3\text{H}+1\text{H} + 0.764 \text{ MeV})$ where both the proton H and the ${}^3\text{H}$ are detected by gas-filled ${}^3\text{He}$ the Ludlum Model 25311 tube. The helium-3(${}^3\text{He}$), which fills the gas proportional tube of the detector, with 1500 VDC and sensitivity: 100 cpm/mrem/hr using the neutron source of (${}^{241}\text{AmBe}$ fast neutrons) [8].

The rainfall intensity in (mm) was measured with a pluviometer (bascula/bucket) rain gauge and data logger acquisition developed in ITA according to the international recommendations. The data acquisition in terms of ionizing radiation and intensity of rainfall was performed using 1-minute time interval between each measurement [9]. Using these three tools properly calibrated for the measurements of gamma rays, neutrons and rainfall intensity, he was placed in the tower at 25 meters high for simultaneous monitoring see

Figure 3.



Fig. 3 - Aerial and ground view of the tower ACA and his environmental field region in São José dos Campos, SP, Brazil ($23^{\circ} 12'45''$ S, $45^{\circ} 52'00''$ W)

3 | RESULTS AND DISCUSSIONS

During the period from 10/14/2019 to 01/27/2020, 8 peaks of gamma radiation are observed, as shown in Figure 4. However, in Figure 5, the measurements of rainfall intensity show 5 peaks indicating heavy rains. Therefore, it is admitted that not only heavy rains cause an increase in the observed gamma radiation. Figure 6 shows the neutron monitoring observed every minute. The intensity during each day varies very related to weather. After 4 to 5 days of intense rain there is a significant increase in neutrons in the region. This fact can be explained by the increase of hydrogen atoms of water in the earth close to the detector that through the reaction (protons / alpha) produce neutrons. That kind of cosmogenic neutrons produced from cosmic radiation in the Earth's atmosphere or surface is very well studied today [10].

With the soil on the wet surface conditions, the back scattering neutrons increase at the measurement site. In times of heavy rain with very humid soil, there was always an increase in neutron counts caused by interactions of cosmic rays. Also in times of dry and very hot weather, the measurements obtained show a variation and increase in neutrons, but now originated by the exhalation of radon gas from the earth's surface. Radon gas produces alpha particles that interact with the soil and produce neutrons in this energy range. For this reason, the neutron monitoring graphic is very variable in this period studied here see Figure 5.

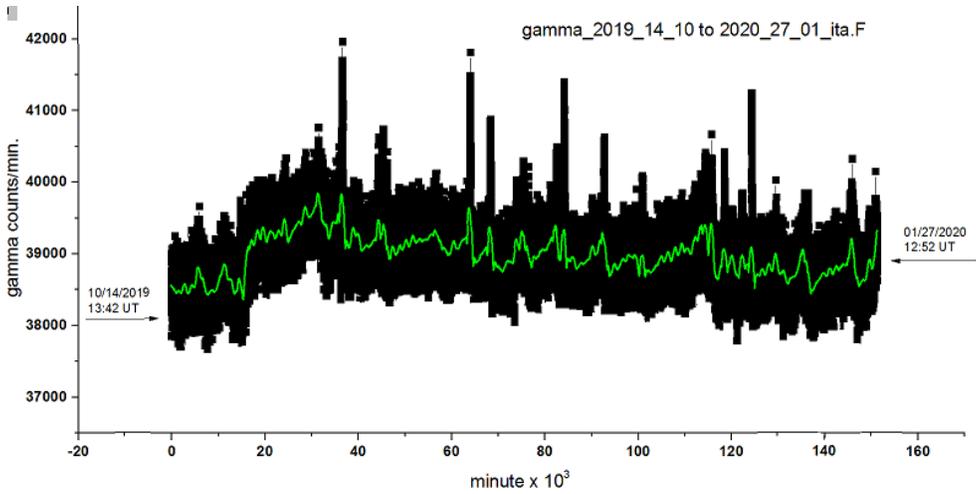


Fig. 4 - Measures every minute of gamma radiation intensity between 10/14/2019 and 01/27/2020 showing 8 peaks of radiation increase.

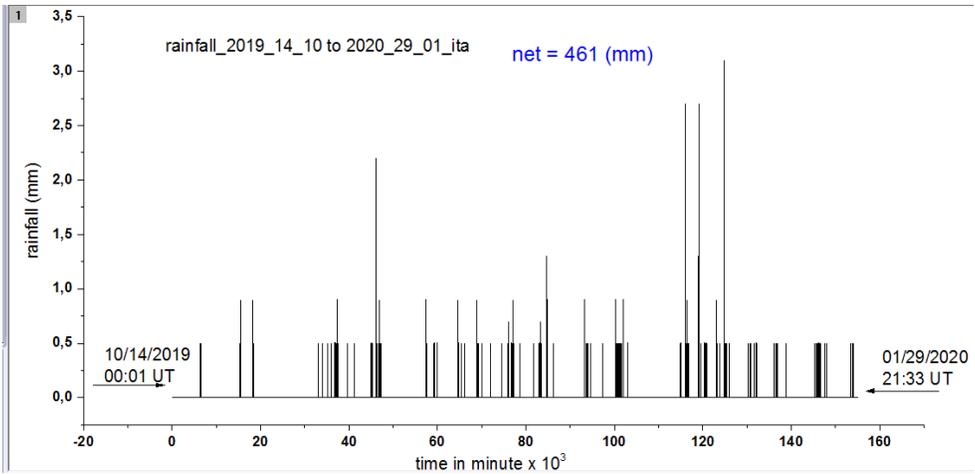


Fig. 5 – Measures of rainfalls each minutes during 10/14/2019 to 01/27/2020.

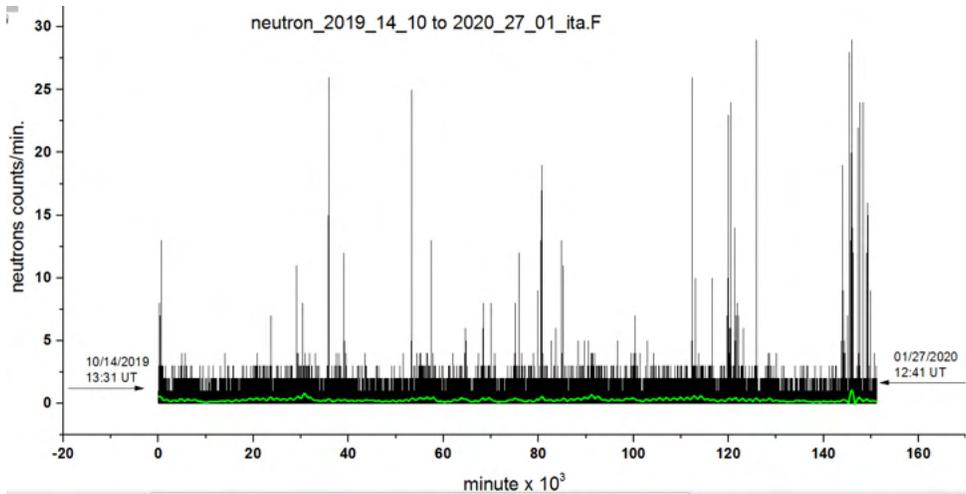


Fig. 6 - Detection and monitoring of thermal and fast neutrons (0.025 eV to 10 MeV) during the period of 10/14/2019 to 01/27/2020. Green line represents 1-day variation.

Figures 4, 5, 6 show a good correlation between rainfall intensities and intensities of gamma rays during monitoring time. In the case of neutron and rainfall measurements, the correlation is good but there is also a delay of a few days as clearly seen at the end of the monitoring curve in the Figure 6.

4 | CONCLUSION

Variations in the intensities of gamma rays, neutrons and rains were monitored between 10/14/2019 to 1/27/2020 in tropical regions with only 1 minute intervals between each measurement. These measures show a good correlation between rain and gamma radiation due to the presence of radon gas in heavy rains. The correlation between rain and neutrons is due to the wet soil coming from rain and the phenomenon of neutron back scattering via cosmic rays. Also in the case of neutrons in dry times is due to exhalation of radon gas that increases the production of neutrons via interaction of alpha particles with elements of the Earth surface.

ACKNOWLEDGEMENTS

Thanks CNPq (National Counsel of Technological and Scientific Development) Proposal 306095/2013-0, 480407/2011-8 and 305145/ 2009-6 and CAPES (Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel) by the fellowships grants support to the group's researchers. To the INCT-FNA-ITA for providing instruments. The Division of Fundamental Sciences, Department of Physics - ITA -Technological Institute of Aeronautics and IAE Institute for the support of infrastructure.

REFERENCES

- [1] – Inacio Malmonge Martin- Environmental low energy gamma ray spectrum in São José dos Campos, Brazil region, Global Journal of Engineering Science and Researches, Vol.7, serie 1, pag. 30-37, January 2020, DOI-10.5281/zenodo.3611220.
- [2] - N. A. Bui Van, I. M. Martin and A. Turtelli Jr. – Measurements of natural radioactivity at different atmospheric depths. Revista Geofísica, IPGH, numero 28, enero-junio 1988, México.
- [3] - Tameshige Tsukuda- Radon-gas monitoring by gamma-ray measurements on the ground for detecting crustal activity changes – Bull. Earth.Research Institute, University of Tokyo, vol (83), (2008), pg. 227-241, Japan.
- [4] - Martin, I. M., Germano, J. S. E., and Takaki, T. M. (2013). ITA-DATALOGGER: Continuous Monitoring of Pressure, Relative Humidity, Temperature, Rainfall Intensity and Dose of Ionizing Radiation Near the Surface of the Earth in São José dos Campos, SP, Brazil. In 65^a Annual Meeting of Brazilian Science for Progress Society (SBPC), 57-62.
- [5] - Boardman, B. J.: User's Page. (2015). Aware Electronic Corp. Accessed in 2017. www.aw-el.com.
- [6] - Matheus Carlos Silva, Douglas Carlos Vilela, Victor G. Migoto, Marcelo P. Gomes, Inácio M. Martin and Silvério J. Germano. In Ionizing radiation measurements using low cost instruments for teaching in college or high-school in Brazil published to Physics Education, may 2017 see <http://iopscience.iop.org/journal/0031-9120>.
- [7] – Ludlum Measurements, Inc. Medical Physics, Survey Meters, $^3\text{H}_g$ Proportional Detector, USA - <https://ludlums.com/products/medical-physics/category/neutron-meters-mp> , accessed 08 February, 2020.
- [8] – Federico, C.A., O. L. González, E.S. Fonseca, I.M. Martin, L.V.E. Caldas; Neutron spectra measurements in the south Atlantic anomaly region; Radiation Measurements, vol. 45, pg. 1526-1528, 2010.
- [9] - Inacio Malmonge Martin, Marcelo Pego Gomes & Anatoli A. Gusev, *Low Energy Gamma Rays Measurements During January to February 2017 in São José dos Campos, SP, Brazil Region*. International Journal of Research in Engineering & Technology, ISSN(E)2321-8843, vol. 5, Issue 3, March 2017, pag 21-26.
- [10] – Inacio M. Martin, Variation of the Neutron Flux and Gamma Rays of Origin Cosmic as a Function of Latitude, Master Thesis, Center for Space Studies and Radiation, University de Toulouse III-Paul Sabatier, Toulouse, France, 1971. (in French).

APLICAÇÃO DO DESACOPLAMENTO ENTRE MALHAS DE CONTROLE EM REATOR CONTÍNUO DE TANQUE AGITADO (CSTR)

Data de aceite: 01/11/2021

Data de submissão: 08/10/2021

Mário Luiz Pereira Souza

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Norte de Minas Gerais, *Campus* Montes Claros
Montes Claros- MG
<http://lattes.cnpq.br/2681846911896508>

Emilly Damiani Nunes Prates

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Norte de Minas Gerais, *Campus* Montes Claros
Montes Claros- MG
<http://lattes.cnpq.br/3350858798611457>

Saulo Fernando dos Santos Vidal

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Norte de Minas Gerais, *Campus* Montes Claros
Montes Claros- MG
<http://lattes.cnpq.br/4067311972228358>

RESUMO: No presente trabalho, foi desenvolvida a simulação referente a um Reator Contínuo de Tanque Agitado (CSTR), ao qual foram aplicadas perturbações de diferentes magnitudes nas variáveis de entrada. Observou-se o comportamento transiente do sistema e efetuou-se a sintonia de um Controlador PI. Em seguida, aplicaram-se ao processo elementos dinâmicos denominados desacopladores, os quais visam à atenuação da interferência entre as malhas em um sistema de controle automático. Executado o

controle multivariável através do desacoplamento entre as malhas, das variáveis temperatura e concentração de reagente, foram verificadas as respostas do processo e a obtenção de resultados de precisão significativa utilizando um software de simulação gratuito. Concluiu-se que, em geral, todos os controladores apresentaram desempenho satisfatório, excetuando aquele com as malhas totalmente desacopladas. Logo, para a operação analisada, há dependência das duas variáveis manipuladas, corrente de alimentação e calor retirado, para o ajuste preciso das variáveis controladas.

PALAVRAS-CHAVE: Simulação, Reator CSTR, Controle, Desacoplamento.

APPLICATION OF DECOUPLING BETWEEN CONTROL MESHES IN CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR (CSTR)

ABSTRACT: In the present work, a simulation of a Continuous Agitated Tank Reactor (CSTR) was developed, to which perturbations of different magnitudes were applied to the input variables. The transient behavior of the system was observed and a PI Controller was tuned. Then, dynamic elements called decouplers were applied to the process, which aim to attenuate the interference between the meshes in an automatic control system. After performing the multivariable control through the decoupling between the meshes, the temperature and reagent concentration variables, the responses of the process and the obtaining of results of significant precision were verified using a free simulation software. It was concluded that, in general, all controllers presented satisfactory

performance, except for the one with fully uncoupled meshes. Therefore, for the analyzed operation, there is dependence of the two manipulated variables, supply current and removed heat, for the precise adjustment of the controlled variables.

KEYWORDS: Simulation, CSTR reactor, Control, Decoupling.

1 | INTRODUÇÃO

Na sociedade atual com o aumento populacional e a incessante demanda por produtos de alta qualidade, é essencial a inserção de profissionais com a qualificação necessária para a implementação desses requisitos. Desta forma, com a visão global e acurada dos processos químicos pelos profissionais, se desenvolve uma análise crítica sobre a utilização de insumos, eficiência na integração energética, mitigação de impactos ambientais e certificação de produtos finais dentro das normas do mais elevado rigor.

No contexto abordado acima, a criação de metodologias de melhoria contínua e otimização de processos é fundamental. Um dos métodos associados ao estabelecimento de práticas eficientes é o controle de processos. Este visa garantir que uma propriedade do sistema (nível, temperatura ou concentração) fique em um valor previamente estabelecido. Assim, pode-se garantir que o processo apresentará menores desperdícios de recursos e aplicar diretrizes à otimização do lucro, redução de custos operacionais e de tempo, além da menor geração de rejeitos.

Nesse viés, a simulação do processo ganha contornos fundamentais. A partir do artifício computacional, pode-se visualizar o comportamento de plantas industriais completas ou operações específicas. É inteligente, e até prudente, a verificação preliminar dos possíveis atenuantes à robustez dos diferentes processos químicos, e também o estabelecimento de alternativas na escolha das variáveis para o controle automático de processos.

No presente trabalho é efetuado o controle multivariável com desacoplamento entre as malhas do processo referente ao Reator Contínuo de Tanque Agitado (CSTR). Ademais, é apresentada uma estrutura completa através da modelagem matemática e desenvolvimento das estruturas em malha aberta, malha fechada e com desacoplamento do referido sistema, o que possibilita uma visão amplificada dos processos intrínsecos ao reator.

Objetivou-se a aferição da precisão e robustez do sistema de controle, frente às perturbações nas variáveis de entrada, através de indicadores de desempenho e o esforço de controle dos equipamentos eletromecânicos, visando à condição para a eficaz execução da operação.

2 | REFERENCIAL TEÓRICO

Sistemas SISO (single-input, single-output) são aqueles que apresentam uma

variável manipulada (entrada), também chamada de variável de controle, e uma variável controlada (saída), podendo ser denominada, também, de variável de processo. Já os sistemas MIMO (multiple-input, multiple-output) são constituídos por duas ou mais variáveis manipuladas as quais visam ajustar múltiplas variáveis controladas.

Os processos químicos, em sua maioria, são sistemas multivariáveis. Conseqüentemente, é necessário implementar várias malhas de controle em um mesmo equipamento. Devido à interferência de uma variável manipulada em mais de uma variável controlada, as malhas de controle interagem entre si, resultando em um controle de baixo desempenho (KALID, 2004; STEPHANOPOULOS, 1983). Logo, o uso de desacopladores se torna essencial ao pleno desenvolvimento dos processos mencionados.

A Figura 1 A ilustra um sistema com duas variáveis de processo e duas variáveis manipuladas, sem a aplicação do controle automático (conhecido como processo em malha aberta).

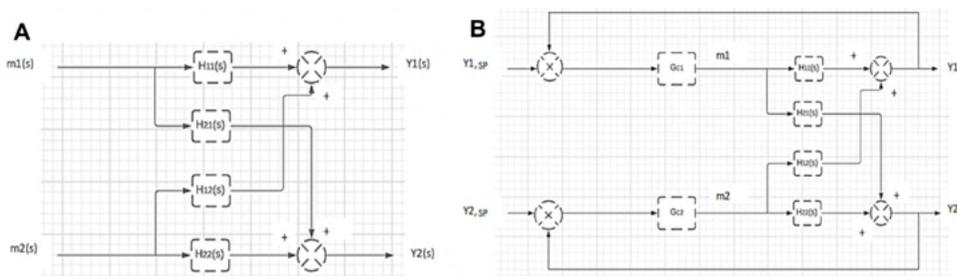


Figura 1- A-Diagrama de blocos para um processo em malha aberta; B-Diagrama de blocos para um processo em malha fechada

Fonte: adaptado de Stephanopoulos (1983)

em que: $H(s)$ representam as quatro funções de transferência intrínsecas ao processo; $m(s)$ denota a variável manipulada e $Y(s)$ a variável de processo.

A Figura 1 B apresenta o mesmo processo da ilustração anterior, no entanto, há a presença de dois controladores (G_{c1} e G_{c2}), caracterizando um sistema em malha fechada. O sistema de controle aplica uma ação corretiva na variável controlada, de modo a esta apresentar um valor equivalente ou próximo à definição do *set-point* ($Y_{,SP}$).

Nessa linha, considerando que, inicialmente, ambas as saídas estejam nos valores de *set-point*, ao se efetuar uma perturbação neste causada pela malha de controle 2, tal alteração acarretará uma mudança no valor de m_2 . Não obstante, também será gerada uma perturbação indesejada na malha 1. Desta forma, é crucial a alteração no valor de m_1 de modo a cancelar o efeito da interação de m_2 .

Deve-se, então, introduzir um elemento dinâmico com uma função de transferência que gere uma ação compensativa para atenuar os efeitos de acoplamento entre as

variáveis trabalhadas. Os seguintes equacionamentos abordam de forma mais clara o que fora enunciado previamente.

$$D'(s) = \frac{-H_{12}}{H_{11}} \quad (1)$$

Esse elemento dinâmico é chamado desacoplador (D') e, quando instalado no sistema de controle minimiza qualquer efeito que a malha 2 possa ter sob a malha 1.

Para a atenuação da interação da malha 1 na 2, segue-se o mesmo raciocínio acima, chegando à função de transferência mostrada na Equação 11:

$$D''(s) = \frac{-H_{21}}{H_{22}} \quad (2)$$

Em um processo com duas entradas e duas saídas, são requisitados dois desacopladores para gerar malhas não interativas. Assim, têm-se ações compensativas para minimizar ou até mesmo cancelar por completo as interferências entre as malhas de controle. A seguir é apresentado um sistema contendo dois elementos para o desacoplamento entre as malhas.

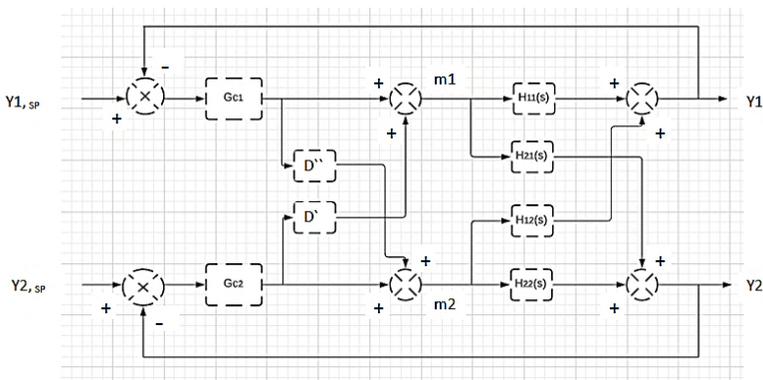


Figura 2- Sistema Contendo dois elementos

Fonte: adaptado de Stephanopoulos (1983)

3 I METODOLOGIA

A metodologia se pautou na modelagem e simulação da reação química em Reator CSTR, juntamente com a aplicação de controladores com as malhas acopladas, desacopladas e parcialmente desacopladas. Também serão feitos os comentários pertinentes às respostas, com base nas perturbações aplicadas às variáveis de entrada, dos controladores citados.

3.1 Modelagem Matemática

O reator contínuo de tanque agitado (CSTR) é comumente usado em processos industriais, principalmente, para reações em fase líquida. Considera-se que os constituintes do meio reacional estão perfeitamente misturados, ou seja, temperatura e concentração são idênticas em qualquer ponto do reator (FOGLER, 2009; LUYBEN, 2007).

Realizou-se a modelagem matemática baseada em um problema prático abordado em Fogler (2009). A reação química considerada foi a isomerização em fase líquida no n-butano, em um Reator CSTR, para geração do isobutano, o qual é um produto valioso utilizado na fabricação de aditivos para a gasolina (FOGLER, 2009).

Considerou-se que o volume do meio reacional (V) se manteve constante ao longo do processo, portanto, a vazão volumétrica de entrada (F_0) é igual à vazão de saída (F). Além disso, é destacável que a reação química abordada era exotérmica, de primeira ordem e elementar, do tipo: $A \rightarrow B$. A partir dessas considerações desenvolveu-se o balanço para a concentração do reagente A e o balanço energético do sistema.

3.2 Funções de transferência e parâmetros do controlador

Com base nas formulações matemáticas, implementou-se na plataforma *x-cos* os diagramas de blocos para a resolução das equações diferenciais.

O reator em questão apresenta duas variáveis manipuladas, vazão volumétrica e quantidade de calor retirada por um sistema de resfriamento. Foram exercidas perturbações na interface de simulação, sendo estas perturbações do tipo degrau em +20% no valor das variáveis citadas.

O objetivo dessas flutuações é encontrar a função de transferência do processo. Para tal, utilizou-se a ferramenta *Solver* do *Excel*, de modo a minimizar o erro da diferença entre a curva do processo obtida e a curva de identificação, encontrando, assim, os parâmetros da função de transferência.

Logo após, utilizou-se do método de Astrom- Hagglund para realizar as perturbações inerentes ao processo e obter os parâmetros do controlador. O método é utilizado em malha fechada, no qual se utiliza um relé que provoca o aparecimento de oscilações e gera-se um gráfico para avaliação do K_c crítico.

3.3 Perturbações e controle com e sem desacoplamento

Aplicaram-se perturbações, de diferentes magnitudes, às variáveis de entrada (Ca_0 e T_0), a fim de se observar como o processo em malha fechada se comportava. As flutuações em questão foram de 10% em Ca_0 e 1% em T_0 , embasadas em uma ordem de grandeza coerente. Realizou-se a verificação do desempenho dos controladores, com as malhas acopladas e desacopladas, através dos gráficos gerados.

Por fim, foi aferido o Esforço de Controle (Esf) e o indicador de desempenho ITAE (Integral do Erro Absoluto Ponderado pelo Tempo), a partir das simulações desenvolvidas.

As Equações 3 e 4 representam de forma elucidativa o cálculo do ITAE e Esf, respectivamente.

$$ITAE = \int_0^{\infty} t|e(t)|dt \quad (3)$$

$$Esf = \int_0^t \Delta u^2 dt \quad (4)$$

em que t representa o tempo de simulação ou de operação e u é a variável manipulada.

4 | RESULTADOS

4.1 Modelagem Matemática

Mediante as considerações desenvolvidas a respeito da manutenção do volume do meio constante, a Equação final representativa da variação da concentração ao longo do tempo é mostrada pela expressão matemática a seguir:

$$\frac{dC_a}{dt} = \frac{F}{V}(C_{a0} - C_a) - k_0 \cdot e^{-\frac{E_a}{R \cdot T}} \cdot C_a \quad (5)$$

em que: F representa a vazão volumétrica do processo, V o volume do meio reacional, C_{a0} a concentração inicial do reagente, C_a a concentração do reagente em determinado tempo, k_0 denota o fator pré-exponencial relacionado à frequência de colisões, E_a é a energia de ativação da reação, T representa a temperatura, a qual ocorre a reação, e R a constante geral dos gases.

A Equação descritiva da variação, ao longo do tempo, da temperatura (T) é mostrada abaixo:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{F}{V}(T_0 - T) - \frac{Q}{\rho \cdot V \cdot C_p} - \frac{\Delta Hr \cdot C_a \cdot k_0 \cdot e^{-\frac{E_a}{R \cdot T}}}{\rho \cdot C_p} \quad (6)$$

em que: T_0 é a temperatura inicial, Q é a quantidade de calor retirada do sistema, ρ é a densidade do reagente, C_p é o calor específico da espécie química envolvida e ΔHr representa a variação de entalpia da reação.

Logo após a modelagem matemática, desenvolveram-se no x-cos os diagramas de blocos referentes às equações diferenciais (as quais denotam o comportamento transiente do sistema) apresentadas pelas Equações 5 e 6.

As Figuras 3 A e 3 B ilustram as resoluções das equações diferenciais inerente à variação de Concentração do reagente analisado e Temperatura, ao longo do tempo, pelos diagramas de blocos.

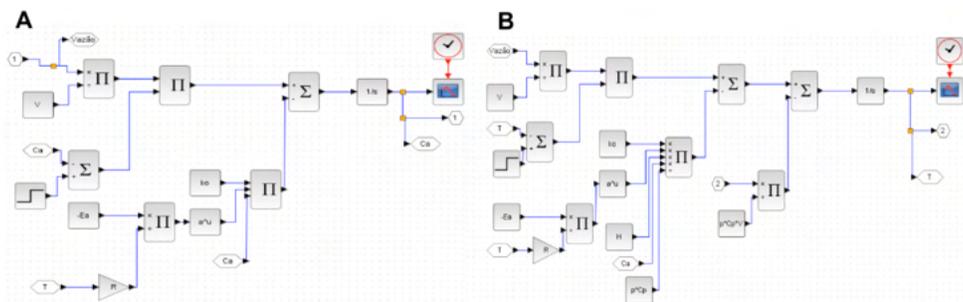


Figura 3- A- Variação de concentração do reagente com o tempo; B- Variação da temperatura com o tempo

Fonte: acervo do autor

O uso da plataforma *x-cos* é respaldado pela facilidade na disposição dos elementos essenciais à averiguação do perfil dinâmico do processo e ser bastante intuitivo. Os valores dos parâmetros e demais variáveis estão alocados na tabela seguinte. É importante salientar que alguns valores de variáveis de processo como: vazão volumétrica, calor removido e das condições iniciais de temperatura e concentração foram estabelecidos pelo autor.

V (m ³)	F_0 (m ³ /s)	Q (W)	Ca_0 (mol/m ³)	T_0 (K)
1,0	0,0044	30000	1000	330
E_a (J/mol)	ρ (Kg/m ³)	C_p (J/Kg.K)	ΔH_r (J/mol)	K_o
65700	573	2600	-6900	$3,50 \cdot 10^7$

Tabela 1- Valores das propriedades referentes às equações diferenciais

Fonte: adaptado de Fogler (2009)

Além dos dispostos acima, utilizou-se o valor da constante dos gases, R, equivalente a 8,314 J/mol.K (ÇENGEL; CIMBALA, 2012).

4.2 Funções de transferência e parâmetros do controlador

As Figuras 4 A e 4B representam as curvas de resposta frente à perturbação aplicada. Vale destacar que a representação é feita da concentração do reagente A (Ca) e da Temperatura (T), em variável desvio (diferença do valor atual da propriedade com relação ao estado estacionário) em função do tempo (t). Empregam-se as variáveis de desvio, com o objetivo da eliminação das condições iniciais dos modelos em função de transferência (FT), cuja vantagem é a nulidade adquirida pelo termo de condição inicial (BOJORGE, 2021). É interessante abordar que os valores encontrados para o estado estacionário envolvendo a concentração de A e temperatura foram, respectivamente, 3851 mol/m³ e 354 K.

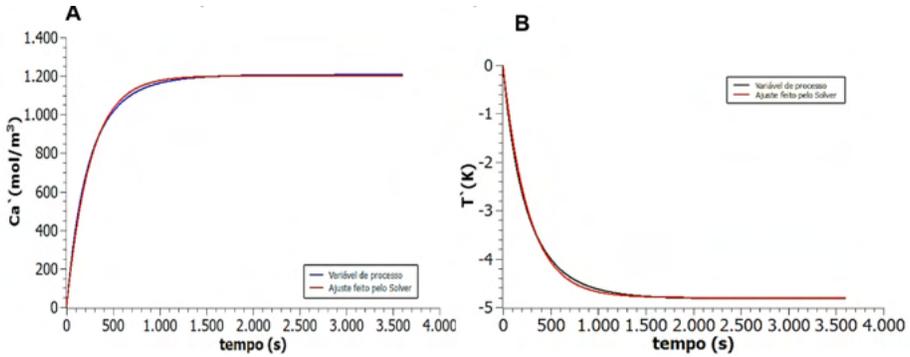


Figura 4- A-Perturbação aplicada à vazão e verificação do comportamento da concentração; B- Perturbação aplicada à vazão e verificação do comportamento da temperatura

Fonte: acervo do autor

Os parâmetros intrínsecos ao sistema estão dispostos na tabela seguinte.

	Vazão (m³/s)	Calor (W)
Kp	1,360.10 ⁶	5455
τ	256,2	269,0

Tabela 2- Valores de τ e Kp para a identificação do sistema mediante alteração da vazão

Fonte: acervo do autor

Logo, a função de transferência global para a concentração do reagente A é:

$$Ca'(s) = \frac{1,360.10^6 \cdot F'}{256,2s + 1} \quad (7)$$

No tocante à modificação do calor retirado, as figuras abaixo ilustram o comportamento do sistema:

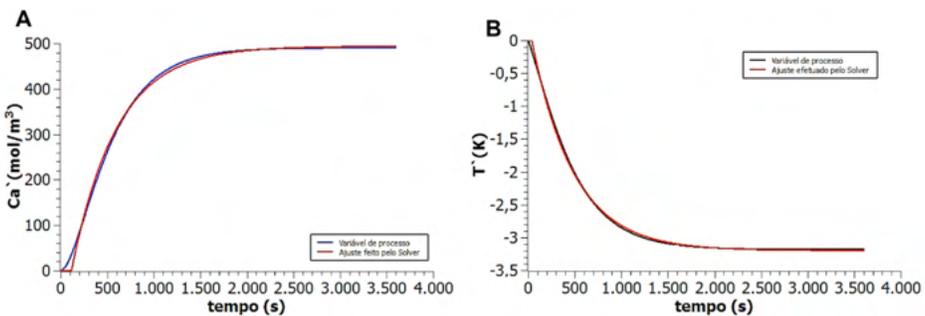


Figura 5- A-Perturbação aplicada ao calor e verificação do comportamento da concentração; B- Perturbação aplicada ao calor e verificação do comportamento da temperatura

Fonte: acervo do autor

Ao se analisar as figuras acima, observa-se que o comportamento de ambas é inerente ao sistema de segunda ordem, sendo assim, podem ser aproximadas ao modelo de primeira ordem com tempo morto. Efetuando os ajustes, chega-se aos seguintes valores dispostos na Tabela 3.

	Vazão (m³/s)	Calor (W)
Kp	0,080	5,00.10 ⁻⁴
τ	482,4	452,0
td	117,7	39,4

Tabela 3- Valores de τ , Kp e td para a identificação do sistema mediante alteração do calor

Fonte: acervo do autor

A FT global para a temperatura referente à alteração da variável manipulada calor é:

$$T^{\wedge}(s) = \frac{5,00.10^{-4} \cdot e^{-39,4} \cdot Q^{\wedge}}{452,0s + 1} \quad (8)$$

Conseguidas as funções de transferência, foram calculados os parâmetros do Controlador PI a partir do método de Astrom-Hagglund. Uma observação pertinente sobre a utilização deste método foi pelo fato de não apresentar restrições. Resumidamente, na Tabela 4 estão alocados os valores correspondentes aos parâmetros dos controladores PI.

Controladores			
Concentração		Temperatura	
Kc	τi	Kc	τi
5,04.10 ⁻⁷	1041,7	1720	1125

Tabela 4- Valores dos parâmetros dos controladores PI

Fonte: acervo do autor

4.3 Perturbações e controle com e sem desacoplamento

Com o auxílio fornecido pela sintonia dos controladores e os equacionamentos matemáticos representativos das variações de Ca e T, construiu-se o sistema completo envolvendo diagramas de blocos. A Figura 6 representa a síntese do trabalho desenvolvido. Nela se encontram os dois desacopladores e todo o aporte necessário para a geração dos gráficos, os quais serão ferramentas importantes para a comparação da performance envolvendo os controladores.

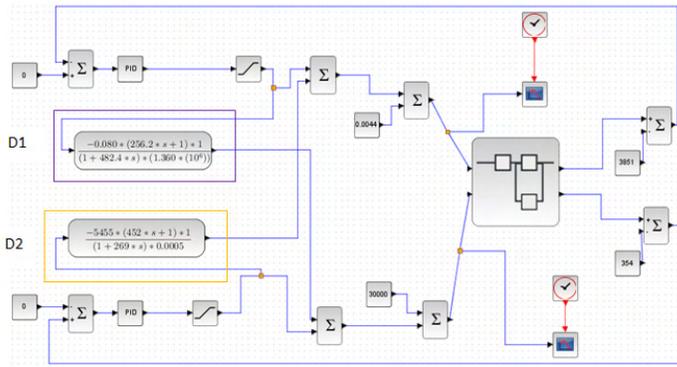


Figura 6- Sistema com desacoplamento aplicado no $x\text{-cos}$

Fonte: acervo do autor

Os gráficos representativos do comportamento do sistema com os controladores acoplados e desacoplados estão alocados a seguir, para cada uma das perturbações aplicadas nas variáveis de entrada, concentração (Ca_0) e temperatura (T_0). Ademais, são tabelados os valores conseguidos de indicadores de desempenho e esforços de controle.

Perturbação de +10% Ca_0 e +1% T_0

O comportamento transiente da concentração é mostrado pelo gráfico seguinte. Nele, são apresentadas as variações do sistema com as malhas acopladas (SA), com as malhas desacopladas (SD) e com as malhas parcialmente desacopladas; D1 se refere ao sistema desacoplado parcialmente, de modo a atenuar a interação da malha de controle de concentração na malha referente ao controle de temperatura; D2 também representa um sistema desacoplado parcialmente, o qual visa a não interferência da malha de controle da temperatura na malha de controle da concentração.

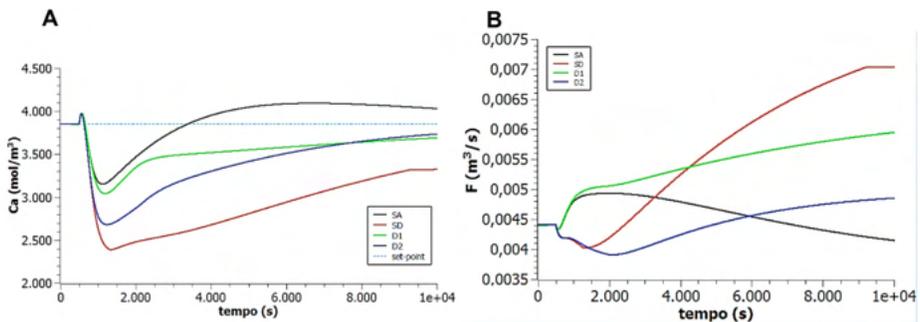


Figura 7- A-Sistema em malha fechada correspondente à variação da concentração ao longo do tempo para a perturbação de +10% Ca_0 e +1% T_0 ; B- Variação da vazão ao longo do tempo para a perturbação de +10% Ca_0 e +1% T_0

Fonte: acervo do autor

Ao se elevar a concentração inicial, a conversão aumenta, visto que é maior a probabilidade de colisões efetivas com o aumento no número de partículas reagentes (Brady; Humiston, 1986). Para o sistema ser ajustado ao *set-point*, a vazão é alterada de modo a diminuir (aumentar o tempo espacial, elemento representativo do tempo em que as moléculas levam para percorrer o elemento espacial do reator) e, desta forma, elevar a conversão para que a concentração de A volte ao valor estabelecido inicialmente.

NA Figura 7 B, observa-se que há um aumento significativo da vazão para o sistema com as malhas desacopladas e com desacoplamento parcial, D1. Este fato implica diretamente a geração de um ajuste ruim, o que pode ser comprovado pela análise da resposta para a variável controlada (ambos os controladores citados apresentaram maiores valores de *off-set* ao se avaliar a diferença entre o *set-point* e o valor de concentração no intervalo de tempo analisado).

Na Figura 8 A, é mostrado o comportamento transiente da temperatura no interior do reator. O gráfico denotativo à retirada de calor no decorrer do tempo está alocado na Figura 8 B.

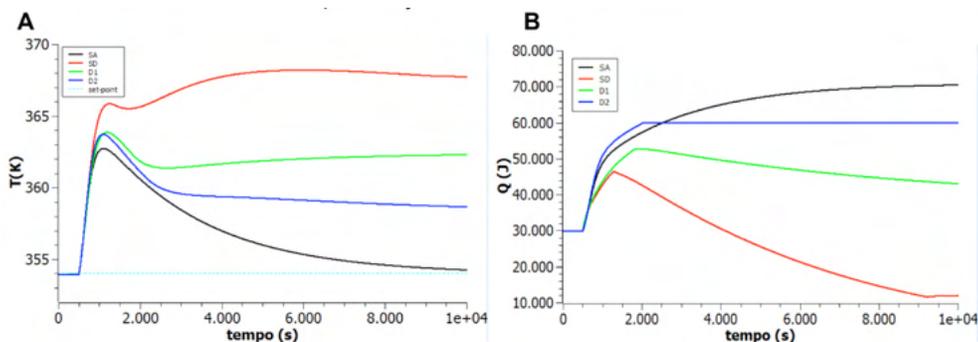


Figura 8- A- Sistema em malha fechada correspondente à variação da temperatura ao longo do tempo para a perturbação de +10% Ca₀ e +1%T₀; B- Variação do calor ao longo do tempo para a perturbação de +10% Ca₀ e +1%T₀

Fonte: acervo do autor

Ao se elevar a temperatura, a conversão sofre um aumento pelo fato decorrente do acréscimo de energia cinética das moléculas, acarretando uma maior facilidade em romper a barreira reacional imposta pela energia de ativação (Brady; Humiston, 1986). Para efetuar um controle de temperatura, a quantidade de calor retirada deve aumentar (fato que foi observado no gráfico acima para a maioria dos controladores). Todavia, para o sistema totalmente desacoplado, houve um declínio considerável a partir de 1500s, de tal modo em que a temperatura não é controlada de forma acurada. O fato descrito, não esperado, é decorrente de uma ineficiência do controle da temperatura somente pela manipulação da quantidade de calor.

Na Tabela 5 são apresentados os valores dos indicadores de desempenho para a concentração (ITAE Ca) e temperatura (ITAE T). Além disso, estão alocados os esforços de controle para a vazão (Esf. T) e sistema de resfriamento (Esf. Q).

	SA	SD	D1	D2
ITAE Ca	$1,06 \cdot 10^{10}$	$4,1 \cdot 10^{10}$	$1,31 \cdot 10^{10}$	$1,69 \cdot 10^{10}$
ITAE T	$7,89 \cdot 10^7$	$6,84 \cdot 10^8$	$4,0 \cdot 10^8$	$2,56 \cdot 10^8$
Esf. F	$7,67 \cdot 10^{-12}$	$1,69 \cdot 10^{-11}$	$9,20 \cdot 10^{-12}$	$5,91 \cdot 10^{-12}$
Esf. Q	$8,79 \cdot 10^3$	$6,17 \cdot 10^3$	$5,63 \cdot 10^3$	$1,03 \cdot 10^4$

Tabela 5- Indicadores de desempenho e esforços de controle

Fonte: acervo do autor

Com base na tabela anterior, constata-se o melhor desempenho, no sistema acoplado, visto que este apresenta os menores valores de ITAE, parâmetro associado ao erro. Nota-se que os esforços inerentes à vazão apresentaram valores pequenos, isto é, não há um efeito pronunciado no equipamento transportador de fluido ao se efetuar o ajuste da vazão. Quanto ao calor, o menor esforço de controle é conseguido pelo controlador parcialmente desacoplado D1, para o qual é requisitado um menor gasto com refrigeração para a execução do ajuste que se mostrou robusto.

Perturbação de $-10\% Ca_0$ e $-1\%T_0$

Para a referente perturbação foram gerados os gráficos relativos do comportamento ao longo do tempo para as variáveis controladas e manipuladas. Na Figura 9 A, é mostrado o perfil dinâmico da concentração. No presente caso, ao se reduzir a concentração inicial, a conversão é reduzida e, por conseguinte, a vazão necessita ser aumentada, objetivando a elevação da concentração do reagente ocasionada pela redução da conversão reacional. A Figura 9 B ilustra o comportamento transiente da vazão.

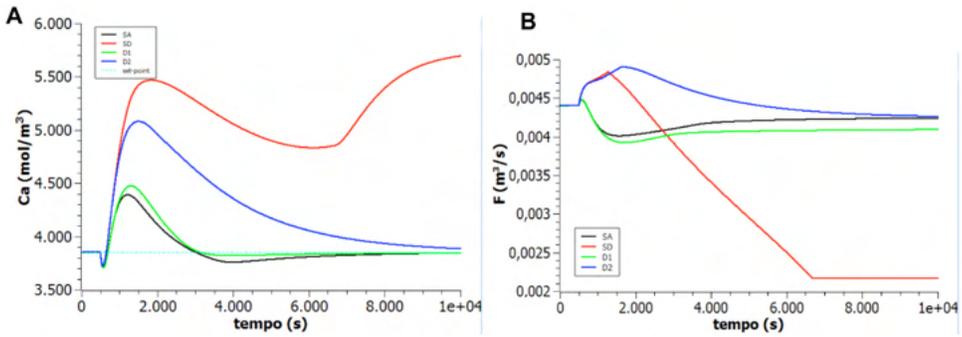


Figura 9- A- Sistema em malha fechada correspondente à variação da concentração ao longo do tempo para a perturbação de $-10\% Ca_0$ e $-1\% T_0$; B- Variação da vazão ao longo do tempo para a perturbação de $-10\% Ca_0$ e $-1\% T_0$

Fonte: acervo do autor

Mais uma vez, nota-se uma incongruência para o controlador com as duas malhas desacopladas, a vazão diminui de forma abrupta em torno de 1500s e, no tempo aproximado de 6200s, fica estagnada em um valor extremamente baixo, o que não permite a execução de um controle significativo.

De forma posterior, foram gerados os gráficos referentes ao controle de temperatura e do calor extraído do sistema.

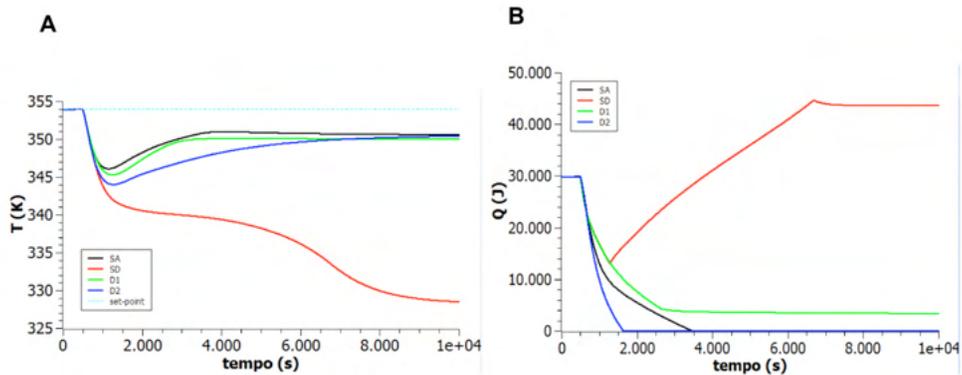


Figura 10- A- Sistema em malha fechada correspondente à variação da temperatura ao longo do tempo para a perturbação de $-10\% Ca_0$ e $-1\% T_0$; B- Variação do calor ao longo do tempo para a perturbação de $-10\% Ca_0$ e $-1\% T_0$

Fonte: acervo do autor.

Observa-se que a variável de estado temperatura, apresentou valores destoantes ao *set-point*, para todos os controladores, em especial, para SD. Com o decréscimo em T_0 , deve-se reduzir a quantidade de calor retirado para que a temperatura da meio volte a subir. Com base na última afirmação, o comportamento do calor para SD é absurdo,

visto que a retirada de energia aumenta de maneira significativa, acarretando um controle ruim da temperatura. Pode-se afirmar, então, para o sistema em estudo são necessárias, obrigatoriamente, duas variáveis manipuladas para o ajuste acurado das variáveis controladas.

	SA	SD	D1	D2
ITAE Ca	$2,46 \cdot 10^9$	$6,9 \cdot 10^{10}$	$1,8 \cdot 10^9$	$1,24 \cdot 10^{10}$
ITAE T	$1,75 \cdot 10^8$	$1,02 \cdot 10^9$	$2,07 \cdot 10^8$	$2,31 \cdot 10^8$
Esf. F	$4,56 \cdot 10^{-12}$	$1,83 \cdot 10^{-11}$	$5,22 \cdot 10^{-12}$	$6,01 \cdot 10^{-12}$
Esf. Q	$6,88 \cdot 10^3$	$6,70 \cdot 10^3$	$5,35 \cdot 10^3$	$9,89 \cdot 10^3$

Tabela 6- Indicadores de desempenho e esforços de controle

Fonte: acervo do autor

Mediante a observação da Tabela 6, verifica-se que o controlador para o sistema totalmente desacoplado, apresentou o pior desempenho, analisando os valores de ITAE. Esse fato era esperado, visto que o ajuste ao *set-point*, confirmado pela avaliação dos gráficos, foi extremamente defasado. Para D1, foi obtido o menor esforço de controle para o sistema de resfriamento.

5 I CONCLUSÃO

Com o aporte teórico fornecido pela literatura foi possível a aplicação da estratégia de controle multivariável através do desacoplamento entre as malhas de controle para a concentração e temperatura de um Reator CSTR, envolvendo uma reação química de grande relevância nos processos industriais, retirada de um problema prático, para o qual engenheiros de processos são solicitados, com o objetivo de melhorar o processo químico descrito. Como era esperado, obtiveram-se respostas diferentes para cada tipo de controlador, mediante as flutuações aplicadas às variáveis de entrada.

Para o esforço da manipulação do calor retirado, os menores valores foram encontrados para o caso de desacoplamento parcial D1. Conseqüentemente, este é o mais indicado visando à economia de fluido refrigerante para a aplicação no processo analisado.

Uma menção a ser feita é que fica a cargo de projetistas a análise melhor definida de quais são as perturbações mais comuns nesse tipo de reator e a seleção do melhor controlador com base em economia de recursos financeiros e adequações a condições estabelecidas.

REFERÊNCIAS

BOJORGE, N. **Modelagem de Processos - Técnica de Linearização**. Departamento de Engenharia Química e de Petróleo. Universidade Federal Fluminense. 2021. Disponível em: https://www.professores.uff.br/ninoska/wp-content/uploads/sites/57/2017/09/Control_Aula05-ModProcessos_2sem2017-1.pdf. Acesso em 12 de Agosto de 2021.

BRADY, J. E.; HUMISTON, G. E. **Química Geral**. Volume 2. 2ª Edição. Editora LTC. 1986.

ÇENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. **Mecânica dos Fluidos: fundamentos e aplicações**. Editora AMGH. 2012.

FOGLER, H. S. **Elementos de Engenharia das Reações Químicas**. 4ª Edição. Editora LTC. Rio de Janeiro-RJ. 2009.

KALID, R. A. **Controle de Processos Químicos**. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Química. Universidade Federal da Bahia. Salvador- BA. 2004.

LUYBEN, W. L. **Chemical Reactor Design and Control**. John Wiley & Sons Inc. Hoboken. New Jersey. 2007.

STEPHANOPOULOS, G. **Chemical Process Control: An Introduction to Theory and Practice**. New Jersey. Prentice-Hall International Inc. 1984.

CAPÍTULO 10

GESTÃO DE FADIGA DE OPERADORES DE CAMINHÕES FORA DE ESTRADA: ESTUDO DE CASO EM UMA MINA A CÉU ABERTO

Data de aceite: 01/11/2021

Pedro Henrique Evangelista Porto

Vale S.A.

Samuel Lourival Diamantino

Vale S.A.

Leandro Geraldo Canaan Silveira

Vale S.A., Universidade Federal de Ouro Preto.

Eduardo Augusto Malta

Vale S.A.

Juliano Alves dos Reis

Vale S.A.

RESUMO: Os profissionais que trabalham em regimes de turno, como na mineração, têm o seu ciclo circadiano bastante alterado, podendo ser conduzidos a um estado de fadiga. Nessa condição há uma maior propensão à tomada de decisões erradas ou tardias, que comumente são causas de acidentes. Nesse contexto, este trabalho visa verificar a efetividade da aplicação do sistema de gerenciamento de fadiga OptAlert®, que mede a sonolência de operadores de caminhão fora de estrada, em uma mina a céu aberto. Três fases de teste, sob distintas condições de tratativa de fadiga, durante o período de seis semanas cada foram realizadas com vinte e quatro operadores. Os resultados mostraram que a implantação de um sistema de gerenciamento capaz de quantificar a sonolência de operadores e estabelecer procedimentos e tratativas específicas é efetiva no aumento do

nível de alerta dos operadores, podendo assim ser útil para redução do risco de acidentes.

PALAVRAS-CHAVE: Gerenciamento de fadiga; sonolência; caminhão fora de estrada; risco de acidente.

FATIGUE MANAGEMENT OF TRUCK OPERATORS WHEN OFF WORK : CASE STUDY IN AN OUTSIDE MINE

ABSTRACT: Shift workers, as in mining, have their circadian cycle greatly altered, and may be led to a state of fatigue. In this condition, there is a greater propensity to make wrong or late decisions, which are commonly causes of accidents. In this context, this work aims to verify the effectiveness of the application of the OptAlert® fatigue management system, which measures the drowsiness of off-road truck operators, in an open pit mine. Three test phases, under different fatigue management conditions, during a period of six weeks each were performed with twenty-four operators. The results have shown that the implementation of a management system capable of quantifying the sleepiness of operators and establishing specific procedures and treatments is effective in increasing the operator's alertness level, thus being able to be useful for reducing the risk of accidents.

KEYWORDS: Fatigue management; drowsiness, off-road truck, risk of accident.

INTRODUÇÃO

A fadiga representa um grande desafio no seguimento da mineração. Dependendo

da ocupação específica e da configuração operacional, os trabalhos do setor podem ter uma quantidade razoável de tarefas intensas, monótonas e repetitivas. Combinado com as cumprimentos da jornada de trabalho e horários de turno, a aparição de fadiga nos colaboradores é algo esperado, como descrito por Bauerle, Dugdale e Poplin [1]

É prática comum que operações mineiras adotem regimes de trabalho em turnos, de maneira a atender as demandas de mercado, sempre em acordo com as regulamentações trabalhistas locais. Os regimes de trabalho adquirem diversas formas, desde a adoção de sistema *fly-in/fly-out* aos regimes de turno em diferentes configurações. Boivin e Boudreau [2] estudaram os impactos na saúde de trabalhadores e os distúrbios do sono associados ao trabalho em regimes de turno. Os autores concluíram que o trabalho sob estes regimes aumenta o risco de erros e acidentes no ambiente de trabalho.

A fadiga é um fenômeno que interessa várias áreas de estudos da sociedade em geral. Por isso, não se obtém uma unanimidade de definição em seu conceito. Para este estudo se adotará a definição de Everitt [3], que diz que a fadiga pode ser inferida por meio de várias características observáveis e monitoráveis. Segundo Shen, Barbera e Shapiro [4], a fadiga se manifesta, principalmente, por meio de quatro fatores: psicológico (cansaço, falta de motivação, ações induzidas pelo estresse), fisiológico (perda de força e resistência, consumo de energia), cognitivo (tempo de reação retardado, esquecimento) e comportamental (fechamento da pálpebra ou aceno de cabeça, fala mais lenta, diminuição da produtividade).

Um estudo publicado em 2007 pela Caterpillar Global Mining [5] estimou que até 65% dos acidentes de transporte de materiais em minerações a céu aberto foram relacionados à fadiga dos operadores. Pelders e Nelson [6] investigaram os fatores chave que contribuem para a fadiga em operadores em quatro minas de ouro e em uma mina de platina na África do Sul. Qualitativamente, a fadiga pôde ser atribuída ao regime de trabalho de turno, bem como às questões cotidianas, como problemas pessoais de cada indivíduo.

Johns *et al.* [8] propuseram uma escala (JDS ou *Johns Drowsiness Scale*) derivada de uma análise de regressão múltipla *stepwise backward*, validada estatisticamente, para medição de sonolência através de uma combinação ponderada de variáveis oculares por oculografia de refletância de infravermelho. Essa escala foi proposta através de um estudo que consistiu na análise de falhas de desempenho em dois diferentes testes de tempos de reação (tempo de reação e tempo de decisão) e também em testes de condução simulada de veículos. Trinta e um voluntários saudáveis participaram dos dois testes de tempo de reação por quinze minutos, com e sem privação de sono (27 ~ 33 horas). Em ambos cenários, a sonolência deles foi medida pela escala JDS (0 – 10) a cada minuto. Como resultado, o experimento concluiu que após a privação de sono o tempo de reação cresceu e os erros de omissão (falha em responder ao estímulo em até 2 segundos) ocorreram com mais frequência nos dois tipos de teste. Saídas de pista também aumentaram consideravelmente de acordo com o aumento da pontuação da escala e o risco por

minuto cresceu progressivamente. Portanto, o risco da falha em estado de sonolência pode ser amplamente associado às altas pontuações na escala JDS, refletindo mudanças nas características de movimentação de pálpebra durante as piscadas. Foram ainda identificadas três faixas de interesse na escala JDS, a saber: o risco de falha começava a aumentar apenas levemente à medida que a pontuação ultrapassa o valor de 3 (risco baixo); para pontuações de 4,5 até 5 (risco médio) o risco aumentava substancialmente e acima de 5 (risco alto) o risco de falha de desempenho era tão alto que o indivíduo era instruído que estava sonolento demais para continuar a dirigir.

Em um experimento conduzido por Aidman *et al.* [8] foi realizado o monitoramento de condutores de veículos leves utilizando o sistema de monitoramento de fadiga OptAlert em rodovias, que usa a escala JDS. Esse grupo foi supervisionado por alguns dias com o sistema funcionando em dois cenários: no primeiro cenário o sistema apenas monitorava e não gerava nenhum alerta de sonolência ao condutor. No segundo cenário, os condutores eram comunicados sempre que o sistema alertava e gerava alarme de sonolência. Os resultados obtidos foram expressivos e verificados através das variações do JDS. Deste modo, verificou-se que no segundo cenário as pontuações de JDS foram menores do que no primeiro. Conseqüentemente, verificou-se que o sistema corroborou para um maior nível de alertar dos condutores.

Nesse contexto, este trabalho visa verificar a efetividade da aplicação do sistema de gerenciamento de fadiga OptAlert no aumento do nível de alerta dos operadores de caminhão fora de estrada em uma mina a céu aberto, contribuindo, conseqüentemente, na redução do risco de acidentes relacionados à fadiga.

METODOLOGIA

Foram selecionados aleatoriamente vinte e quatro operadores de caminhões fora de estrada, que trabalham em regime de turno, para avaliação do sistema de monitoramento de fadiga. A mina em estudo opera vinte e quatro horas por dia, sete dias por semana, com os turnos configurados da seguinte maneira:

- Noturno: 01:00 às 07:00h;
- Diurno: 07:00 às 16:00h;
- Tarde: 16:00 às 01:00;

Durante o experimento os operadores trabalharam em escala fixa em seis caminhões, no quais foram instalados os kits do sistema OptAlert®. Os operadores foram avisados do início do experimento e treinados no funcionamento do sistema.

O período de avaliação foi de cinco meses, superando a ordem de onze mil horas monitoradas. O experimento foi dividido em três fases de seis semanas cada, conforme Figura 1.

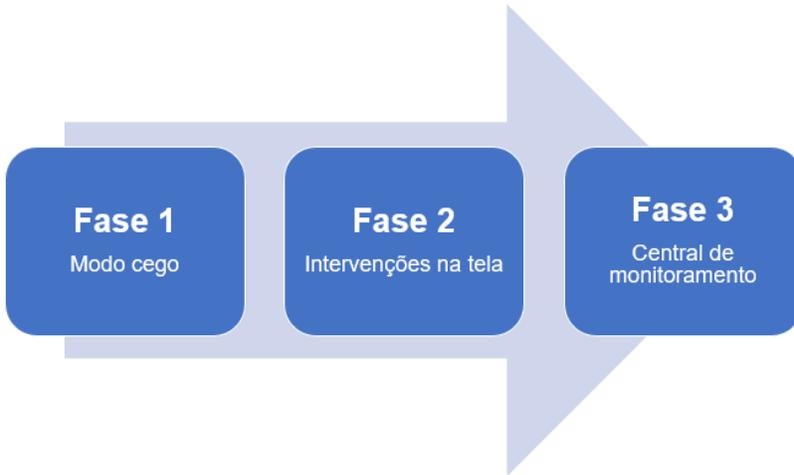


Figura 1: Fases do experimento.

- Fase 1: os operadores foram orientados a operar os equipamentos utilizando os óculos OptAlert®, mas sem receber nenhum tipo de aviso ou interferência sobre o estado de sonolência medido. A tela do dispositivo instalado na cabine do equipamento foi desabilitada, não informando o operador sobre os níveis de sonolência apresentados. Essa fase, chamada de “modo cego”, teve como objetivo estabelecer o padrão de alerta e sonolência da mina, de maneira a conhecer os níveis de sonolência da operação previamente à implementação do sistema, possibilitando análises e comparações futuras.
- Fase 2: os operadores passaram a receber, em tempo real, alertas visuais e sonoros através da tela do dispositivo instalada dentro da cabine do equipamento quando atingiam níveis de sonolência médios e altos. Nessa fase objetivou-se estabelecer o grau de eficiência do sistema, de maneira gradual, assim como a mudança comportamental dos operadores quando sujeitos a intervenções do sistema
- Fase 3: nessa fase, além dos alertas sonoros e visuais na cabine dos equipamentos presentes na fase 2, houve também a intervenção da equipe de monitoramento do sistema de gerenciamento de fadiga. A equipe de monitoramento foi responsável por monitorar, vinte e quatro horas por dia, o sistema de gestão de fadiga, acionando o procedimento estabelecido sempre que alarmes médios ou altos fossem recebidos por um operador. O procedimento preconiza que, caso o operador receba de um a quatro alarmes médios, deve-se paralisar o equipamento, realizar a ginástica laboral e/ou ingerir um lanche caso tenha se passado muito tempo desde a última ingestão de glicose. No caso de mais de quatro alarmes médios ou um alarme de nível alto, o operador deve parar o equipamento em local seguro e ser substituído naquele turno, como ilustrada na Figura 2.

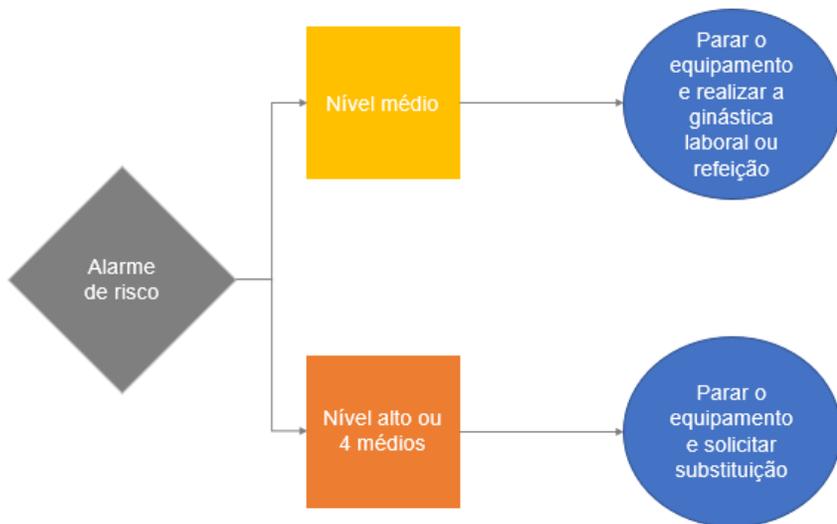


Figura 2: Procedimento operacional para alarmes de fadiga.

Vale ressaltar que na fase 3, foi designado um profissional habilitado para monitorar os resultados advindos do sistema e realizar as intervenções, quando necessário.

Durante todo o período do experimento os dados foram coletados pelo sistema OptAlert®, possibilitando análises sobre o nível de risco da mina antes e depois da implantação do sistema e das intervenções feitas no caso de alertas de risco.

DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Os dados foram analisados de maneira a verificar a efetividade da aplicação do sistema e das intervenções na redução do nível de risco dos operadores da operação. Inicialmente, analisou-se a pontuação média, medida em JDS, das fases do experimento. A Tabela 1 sumariza as principais estatísticas descritivas por fase, também ilustradas pelos boxplots da Figura 3, em que é possível observar a redução de cerca de 22% (1,70 para 1,32) na pontuação média entre as fases 1 e 3.

<i>Estatísticas Descritivas</i>	<i>Fase 1</i>	<i>Fase 2</i>	<i>Fase 3</i>
Média	1,70	1,47	1,32
Erro padrão	0,00301	0,00279	0,00282
Mediana	1,50	1,30	1,20
Desvio padrão	1,28	1,13	1,03
Variância da amostra	1,64	1,28	1,06
Mínimo	0,00	0,00	0,00

Máximo	7,90	7,00	6,90
n	180695	164136	132392

Tabela 1: Estatísticas da pontuação média nas três fases do experimento.

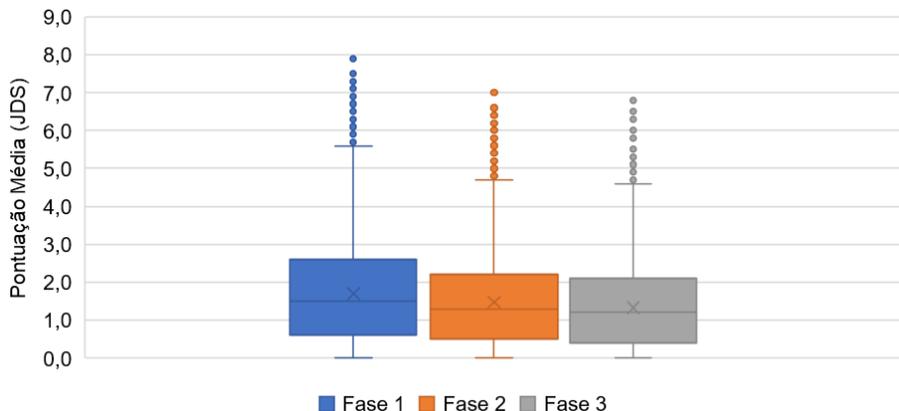


Figura 3: Boxplot da pontuação média por fase do experimento.

A Figura 4 avalia a evolução da pontuação média por hora do dia. Não se pode deixar de notar a gradual evolução do nível de sonolência ao longo dos turnos, em que o turno noturno apresenta um nível de sonolência médio maior que os outros turnos e que o turno diurno é o que apresenta o menor nível. Os picos de sonolência acontecem no final do turno da tarde (entre 22h e 0h) e próximos ao final do turno noturno (entre 04h e 06h). Esse comportamento sazonal ao longo do dia se repetiu independente da fase do experimento. Além disso, há clara diferença na pontuação média entre as 3 fases do experimento, em que a intervenção direta da central de monitoramento, na fase 3, resultou em menores níveis de sonolência por hora.

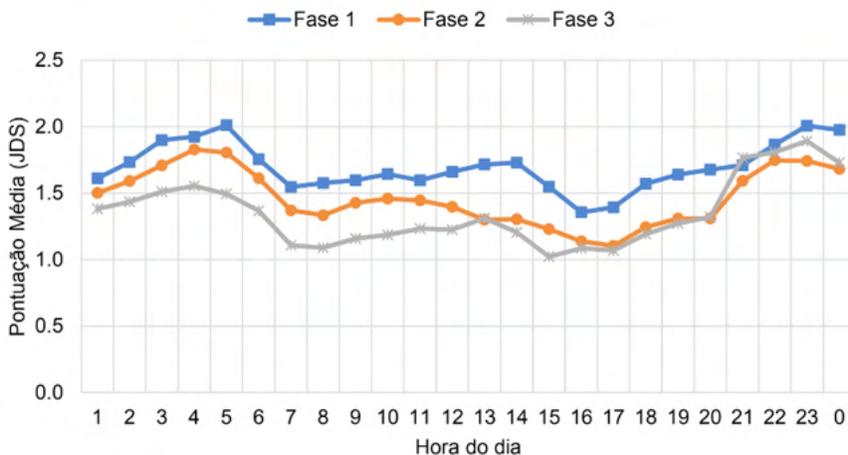


Figura 4: Pontuação média (JDS) por hora do dia em cada fase do experimento.

Outra análise se refere à quantidade de alarmes de risco gerados por hora do dia. Nesse sentido, a frequência média de alarmes por hora foi reduzida em cerca de 86% entre as fases 1 e 3, conforme Tabela 2. Na Figura 5 é possível observar que, além do evidente deslocamento de médias entre as fases do experimento, há redução na variabilidade dos resultados.

<i>Estatísticas Descritivas</i>	<i>Fase 1</i>	<i>Fase 2</i>	<i>Fase 3</i>
Média	0,67	0,26	0,10
Erro padrão	0,05077	0,02613	0,02328
Mediana	0,70	0,25	0,07
Desvio padrão	0,25	0,13	0,11
Variância da amostra	0,06	0,02	0,01
Mínimo	0,19	0,07	0,01
Máximo	1,09	0,50	0,53
n	24	24	24

Tabela 2: Estatísticas da frequência de alarmes por hora nas três fases do experimento.

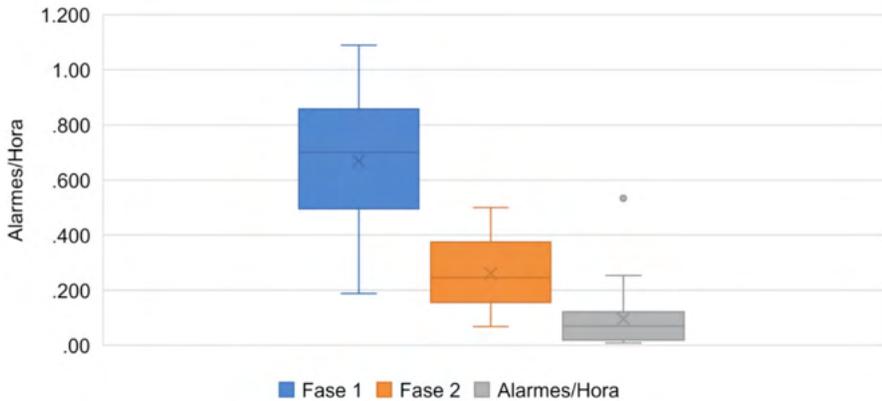


Figura 5: Frequência de alarmes por hora nas três fases do experimento.

A redução da frequência de alarmes por hora se deu tanto para alarmes de risco de nível médio quanto para os de nível alto, bem como nos diferentes turnos e horas do dia, como pode ser comparado na Figura 6, Figura 7 e Figura 8. Nota-se que, mesmo nas diferentes fases do experimento, a frequência de alarmes por hora aumenta ao longo dos turnos, se mantendo mais concentrada no final do turno da tarde e do turno noturno, em conformidade com o resultado analisado de média de pontuação por hora. Tais resultados corroboram com o ciclo circadiano humano, uma vez que os operadores do experimento estavam mais cansados ao final dos turnos que se passam no período noturno.

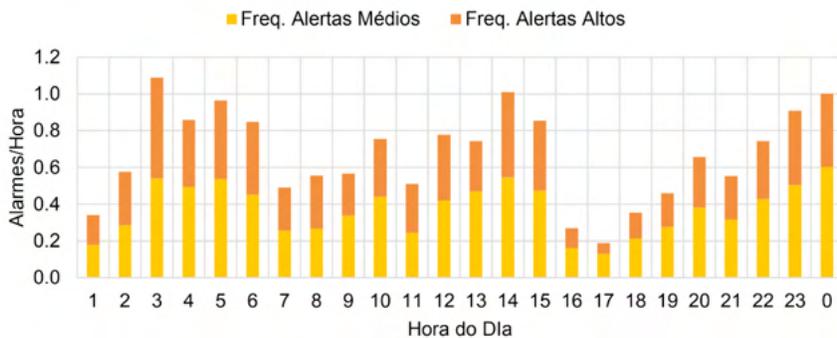


Figura 6: Frequência de alertas por hora do dia - Fase 1.



Figura 7: Frequência de alertas por hora do dia - Fase 2.



Figura 8: Frequência de alertas por hora do dia - Fase 3.

As análises mostram que a simples intervenção de alarmes sonoros e visuais na cabine dos equipamentos aumentaram o nível de alerta dos operadores e reduziram o nível de risco operacional, com uma redução de cerca de 61% na frequência de alarmes entre as fases 1 e 2. Já a intervenção direta de uma equipe responsável pelo monitoramento e gestão da fadiga dos operadores acarretou na uma redução ainda mais acentuada no perfil de risco da operação, visto que a frequência de alarmes entre as fases 1 e 3 foi reduzida em cerca de 85% e em 62% entre as fases 1 e 2.

CONCLUSÃO

Este estudo apresentou uma metodologia para verificar a efetividade de um sistema de gerenciamento de fadiga em aumentar o nível de alerta dos operadores de caminhão fora de estrada em uma mina a céu aberto e assim contribuir na redução de acidentes. Três etapas de teste, bem definidas, a saber: etapa “modo cego” (uso de óculos, porém sem alertas de sonolência na tela ou intervenções); etapa com alertas na tela e etapa com intervenção da central de monitoramento se fizeram necessárias para observar o aumento a evolução do nível de alerta dos operadores. Com base nos resultados e análises apresentados, concluiu-se que a implantação de um sistema de monitoramento e

gestão de fadiga capaz de determinar de maneira quantitativa a sonolência de operadores e estabelecer procedimentos e tratativas específicos é de grande valia e efetiva no que tange à gestão de riscos e pode ser útil na prevenção de acidentes em operações a céu aberto. Ademais, verificou-se que a intervenção através de uma central de monitoramento responsável pela gestão do sistema é de suma importância para o aumento do nível de alerta dos operadores e consequente redução do risco relacionado à fadiga.

REFERÊNCIAS

- [1] Bauerle, T., Dugdale, Z., Poplin, G. (2018). Mineworker fatigue: A review of what we know and future decisions, 70 (3), pp. 33-40
- [2] Boivin, D., Boudreau, P. (2014). Impacts on shift work on sleep and circadian rhythms. *Psychologie Biologie*, vol 62 (5), pp.292-301.
- [3] Everitt, B. An introduction to latent variable models. Chapman and Hall; London: 1984.107 pp.
- [4] Shen J, Barbera J, Shapiro C. Distinguishing sleepiness and fatigue: Focus on definition and measurement. *Sleep Medicine Reviews*. 2006;10:63–76. [PubMed]
- [5] Caterpillar Global Mining, Viewpoint. Operator Fatigue Detection Technology Review Caterpillar, Peoria, IL (2008).
- [6] Pelders e Nelson (2019) Contributors to Fatigue of MineWorkers in the South African Gold and platinum sector. 10:188-195.
- [7] Johns, M., Chapman, R., Crowley, K., Tucker, A. (2008) A new method for assessing the risks of drowsiness while driving. *Somnologie - Schlafforschung und Schlafmedizin*. 12, 66–74(2008)
- [8] Aidman, E., Chadunow, C., Johnson, K., Reece, J. Real-time driver drowsiness feedback improves driver alertness and self-reported driving performance. *Accident Analysis & Prevention*. 81: 8-13.

CHARACTERISTICS OF Pb^{2+} DOPED CsI MATRIX UNDER GAMMA AND NEUTRON EXCITATIONS

Data de aceite: 01/11/2021

Data de submissão: 08/10/2021

Maria da Conceição Costa Pereira

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
(IPEN / CNEN - SP)
São Paulo, SP – Brazil
<http://lattes.cnpq.br/0977986453736808>

Tufic Madi Filho

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
(IPEN / CNEN - SP)
São Paulo, SP – Brazil
Universidade Paulista – UNIP
Campus Tatuapé
São Paulo - Brazil
<http://lattes.cnpq.br/3251192790149021>

José Roberto Berretta

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
(IPEN / CNEN - SP)
São Paulo, SP – Brazil
<http://lattes.cnpq.br/4444753560161862>

Lucas Faustino Tomaz

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
(IPEN / CNEN - SP)
São Paulo, SP – Brazil
<http://lattes.cnpq.br/1901511133573103>

ABSTRACT: In recent years, there has been an increasing interest in finding new fast scintillating material or improve the characteristics of known scintillators for the demand of high energy physics, industrial and nuclear medical applications. Divalent lead ions Pb^{2+} built in some crystal

structures are efficient emission centers and their applications in scintillators were and are still the reason of an intensive study of emission properties of different compounds containing these ions. In this context, the crystals of Pb^{2+} doped CsI matrix were grown by the vertical Bridgman technique and subjected to annealing in vacuum of 10^{-6} mbar and constant temperature of $350^{\circ}C$, for 24 hours, and then they were employed. To evaluate the response of the $CsI:Pb$ scintillator crystal to gamma radiation, radioactive sources of ^{137}Cs (662 keV), ^{60}Co (1173 keV and 1333 keV), ^{22}Na (511 keV and 1275 keV) and ^{133}Ba (355 keV) were used. The operating voltage of the photomultiplier was 2700 V for the detection of gamma rays and the accumulation time in the counting process was 600 s. The scintillator response to neutron radiation from a radioactive source of $AmBe$ with energy range of 1 to 12 MeV was available. The activity of the $AmBe$ source was 1 Ci Am . The emission rate was 2.2×10^6 neutrons/second. The operating voltage of the photomultiplier tube was 1300 V. The accumulation time in the counting process was 600 s. With the results obtained, it may be observed that the crystals are sensitive to these radiations.

KEYWORDS: Scintillator, crystal growth, gamma radiation, neutron radiation.

CARACTERÍSTICAS DA MATRIZ CsI DOPADA COM Pb^{2+} SOB EXCITAÇÕES GAMA E NÊUTRONS

RESUMO: Nos últimos anos, tem havido um interesse crescente em encontrar novos

materiais de cintilação rápida ou melhorar as características de cintiladores conhecidos para atender a demanda de física de alta energia, aplicações médicas, industriais e nucleares. Os íons divalentes de chumbo Pb^{2+} inseridos em algumas estruturas cristalinas são centros emissores eficientes e suas aplicações em cintiladores foram e ainda são motivo de um estudo intensivo das propriedades de emissão de diferentes compostos contendo esses íons. Nesse contexto, os cristais de matriz CsI dopada com Pb^{2+} foram crescidos pela técnica de Bridgman vertical e submetidos ao tratamento térmico a vácuo de 10^{-6} mbar e temperatura constante de $350^{\circ}C$, por 24 horas. Para avaliar a resposta do cristal cintilador CsI:Pb à radiação gama, foram utilizadas fontes radioativas de ^{137}Cs (662 keV), ^{60}Co (1173 keV e 1333 keV), ^{22}Na (511 keV e 1275 keV) e ^{133}Ba (355 keV). A tensão de operação do tubo fotomultiplicador foi de 2700 V para a detecção dos raios gama e o tempo de acumulação no processo de contagem foi de 600 s. A resposta do cintilador à radiação de nêutrons de uma fonte radioativa de AmBe com intervalo de energia de 1 a 12 MeV foi estudada. A atividade da fonte AmBe foi de 1 Ci Am. A taxa de emissão foi de $2,2 \times 10^6$ nêutrons/segundo. A tensão de operação do tubo fotomultiplicador foi de 1300 V. O tempo de acumulação no processo de contagem foi de 600 s. Com os resultados obtidos, pode-se observar que os cristais são sensíveis a essas radiações.

PALAVRAS-CHAVE: Cintilador, crescimento de cristal, radiação gama, radiação de nêutrons.

1 | INTRODUCTION

The scintillation method is widely used for detection of various types of ionizing radiation. A scintillator consists of material able to convert energy of absorber ionizing radiation into a flash light. The flash light, usually visible or ultraviolet, emitted by a scintillator, is called scintillation. Any scintillator should be transparent to the wavelength of its own emission. The use of scintillation to detect radiation is a century old. The discovery of scintillator materials may be divided into three periods. The first period included the earliest scintillators: $CaWO_4$, first used in the year following Rontgen's discovery for X-rays; uranyl salts used by Becquerel to discover radioactivity and by Rutherford to study alpha particle scattering. The second period began with Hofstadter's development of the thallium activated NaI. The third period, the past two decades, has witnessed a veritable renaissance in research and development of scintillator materials, prompted in large part by the need for scintillators for precision calorimetry in high energy physics and for high light output scintillators for medical imaging, geophysical exploration, tomography, astrophysics and numerous other scientific and industrial applications. [7,16]

There is still considerable interest in finding inorganic materials with perfect scintillation properties or improving the traditional scintillators, including alkali halides. In order to enhance the characteristics of a known scintillator or to obtain a new crystal, it is necessary to solve many problems, such as crystalline structure, chemical binding or impurity concentration, which is more advantageous for high light output of a crystal. [17]

Scintillators based on cesium iodide are the leading ones among the materials

available for radiation detectors. Cesium iodide based scintillators have high luminescence yield accompanied by high energy resolution and radiation stability. Cesium iodide has elements of ionic radius, namely: the cesium ion (Cs^+) radius is 1.652 Å, electronegativity 0.7 eV and the iodine ion (I^-) radius is 2.256 Å; electronegativity 2.5 eV the equilibrium value lattice separation is 4.512 Å. This facilitates the incorporation of a large number of cationic impurities. Various impurities have been included into alkali halides and their effects on electrical, magnetic and optical properties have been investigated.

The CsI matrix is poorly hygroscopic, its constituents have a high atomic number, are easy to handle and have relatively low cost.[15] Babin et al. [2] mention the interest in CsI:Pb crystals as possible materials for scintillators, since their luminescence is practically not studied. Some data reported by different authors are quite contradictory. This indicates a complexity of this system and a strong dependence on the optical characteristics of the crystals that may be related to the method used for growth. According to Keszthelyi et al. [6], the scintillation characteristics of the crystals are also influenced by the growth method used.

Divalent lead ions Pb^{2+} in some crystal structures are efficient emission centers and their application in scintillators was and is still the reason of an intensive study of emission properties of different compounds containing these ions. The study of pure and doped cesium iodide has been the theme of search in our laboratory. In continuation, a systematic investigation has been carried out in Pb^{2+} doped cesium iodide crystals under gamma and neutron excitations and the results are discussed in this paper.

2 | MATERIALS AND METHODS

Lead doped CsI crystals were grown using the vertical Bridgman technique. [3,12,13,9,14] The grown crystals were subjected to annealing. In this procedure, vacuum of 10^{-6} mbar and constant temperature of 350° C, for 24 hours, were employed. The crystals were cut into cylindrical form and their faces were polished with ethylene glycol p.A. ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$). The side surfaces were left unpolished to enhance internal reflection.

The luminescence decay time of each crystal was determined under excitation of 662 keV gamma rays from a ^{137}Cs source. The scintillation photons were detected using a bi-alkaline photomultiplier tube (model RCA 8575, 21 pins). The conformation of the signal from the photomultiplier tube was obtained using the RC (resistor-capacitor) circuit having a time constant of approximately 5 ns and fed directly to the oscilloscope (Philips PM3295A), resulting in the measurement of the decay of the scintillation pulses. In Fig. 1 the electronic system used for luminescence decay time measurements is schematically show.

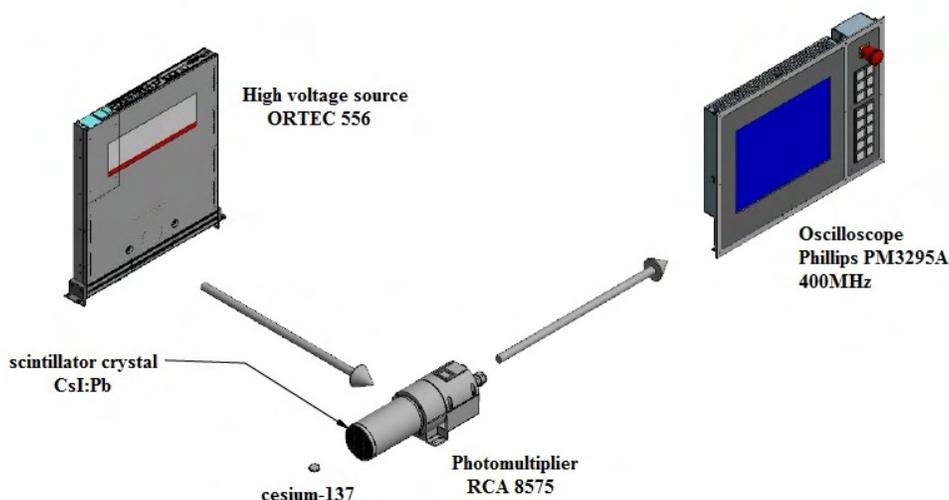


Figure 1: Diagram of the electronic system used for luminescence decay time measurements.

In the gamma ray response study, the crystals were cut with dimensions of 20 mm diameter and 20 mm high, polished and coupled directly to the bi-alkaline photomultiplier tube (model RCA 8575, 21-pin) using silicone grease (Dow Corning) of 0.5 McStokes viscosity as optical interface. This ensures a uniform refractive index across the contact surface between crystal and photomultiplier tube. The sides of the crystal which were not in contact with the photosensor were covered with several layers of polytetrafluoroethylene (PTFE) tape to assure good reflection of light.

The radioactive sources were positioned in the center of the upper face of the crystal. Conventional ORTEC electronic modules constitute the electronics for the treatment of the signals from the photomultiplier tube. Gamma radiation sources with energies in the range of 335 keV to 1333 keV were used. The operating voltage of the photomultiplier was 2700 V and the accumulation time in the counting process was 600 s. In Fig. 2, the diagram of the measuring system is showed.

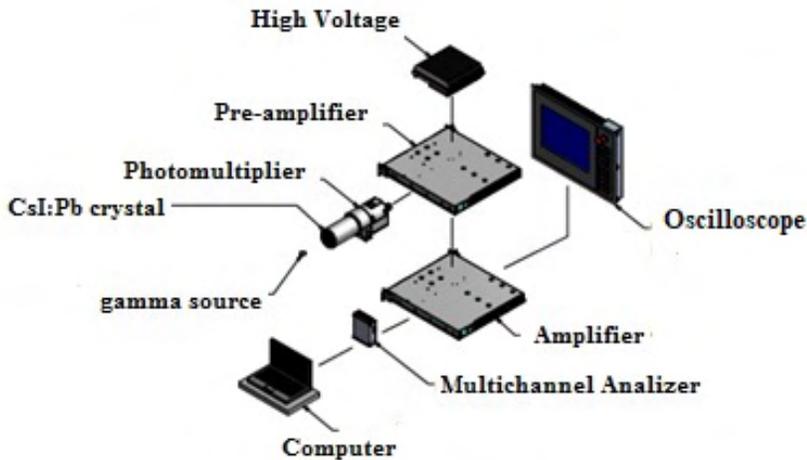


Figure 2: Schematic representation of the electronics associated with the CsI:Pb scintillator crystal coupled to the photomultiplier tube.

The AmBe source with energy range of 1 to 12 MeV was used to study the neutron radiation response. The activity of the AmBe source was 1Ci Am. The emission rate was 2.6×10^6 neutrons/second. The operating voltage of the photomultiplier tube was 1700 V; the accumulation time in the counting process was 1800 s. The scintillator used was cut with dimensions of 20 mm diameter and 10 mm high.

The detection efficiency of the scintillator crystal was measured with the AmBe source positioned at a distance of 100 mm from the photomultiplier tube. A foil of cadmium (Cd) was placed around the detector and the photomultiplier tube in order to avoid the scattered neutron contribution, as showed in Fig.3. Paraffin shielding to protect the worker, was used.

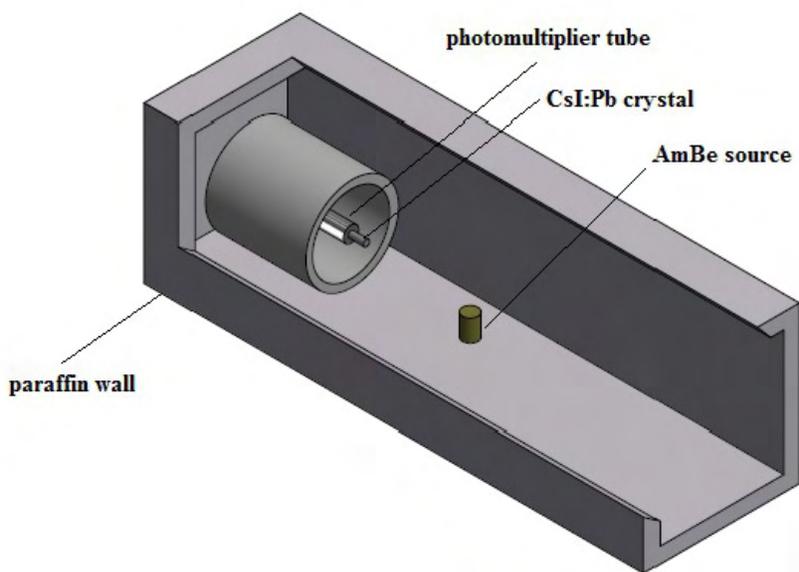


Figure 3: Exploded schematic representation of the array used for measurements.

3 I RESULTS AND DISCUSSION

In Fig. 5, the luminescence decay curves of the CsI:Pb crystals are presented. For comparison purposes, the luminescence decay constant was determined for the pure CsI crystal, as shown in Fig. 4.

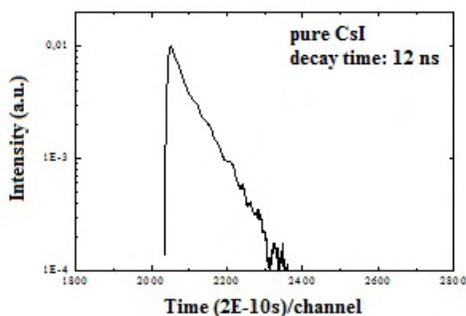


Figure 4: Luminescence decay time spectrum of pure CsI crystal.

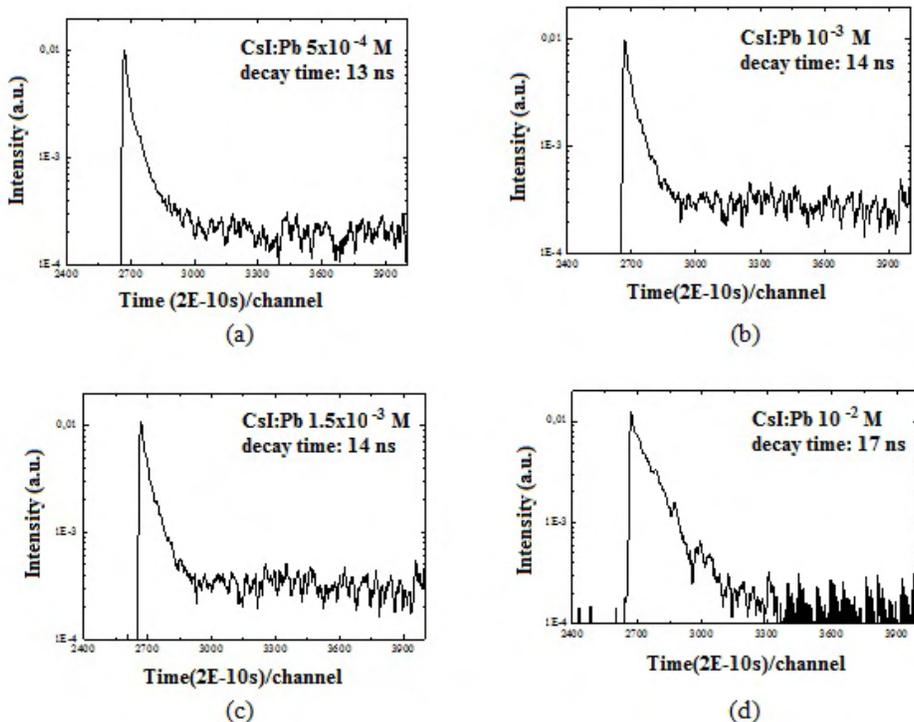


Figure 5: Luminescence decay time spectra of CsI:Pb crystals at various concentrations: (a) 5×10^{-4} M, (b) 10^{-3} M, (c) $1,5 \times 10^{-3}$ M and (d) 10^{-2} M.

Fig. 5 and Fig.4 show the luminescence decay curves for the CsI:Pb and pure CsI crystals. As it may be observed in these curves, there were no significant differences for the various concentrations of lead in the crystals evaluated. The incorporation of the Pb into the CsI matrix, did not, practically, change the luminescence decay time compared to that obtained for pure CsI, whose values are between 13 ns and 17 ns. These results are very promising, i. g. to obtain crystals having shorter decay time comparable to pure CsI scintillator crystal. The crystal of pure CsI produced in this work, for comparison purposes showed a luminescence decay constant of 12 ns in accordance with the literature [5, 1, 10].

The luminescence decay time parameter is one aspect of crystal quality, especially for applications requiring high radiation rates or high energy radiations. The luminescence decay time results found in this work are encouraging since, with the introduction of dopant ions such as Tl^+ or Na^+ in the CsI matrix, it results in increased luminescence decay time for 1 s and 630 ns respectively. The CsI:Tl crystal is one of the most efficient scintillators in gamma ray detection per unit volume, but the long decay time, in the order of 1s, is one of its disadvantages, increasing the probability of occurrence of overlapping signals, when more intense radioactive sources are used. The decay time in the order of 1s, practically makes it unfeasible rapid temporal studies, such as those of the decay structure performed in nuclear

physics. The CsI:Na crystal presents good light production, but the luminescence decay time is still high for specific applications and its main disadvantage is the hygroscopy [7,16].

Fig. 6 to 9 show the gamma radiation spectroscopy results of ^{137}Cs (662 keV), ^{60}Co (1173 keV and 1333 keV), ^{22}Na (511 keV and 1275 keV) and ^{133}Ba (355 keV) obtained with the CsI:Pb crystals. It may be observed that the crystals are sensitive to these radiations; however, the photopeak of these radionuclides have not been identified.

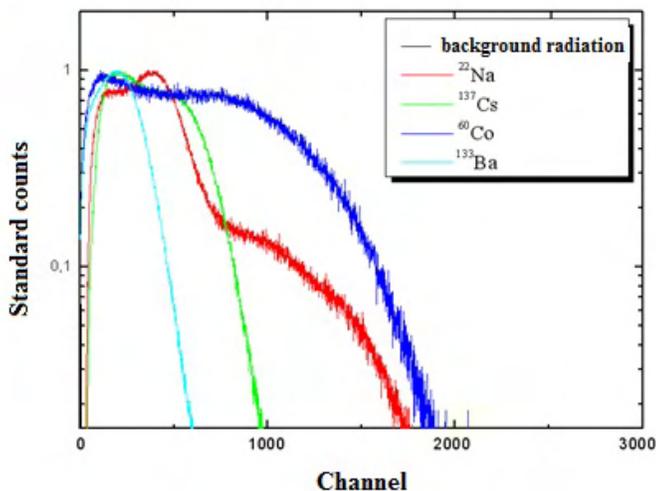


Figure 6: Spectra obtained for the radiation of ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{22}Na and ^{133}Ba sources with CsI:Pb $5 \times 10^{-4}\text{M}$ crystal.

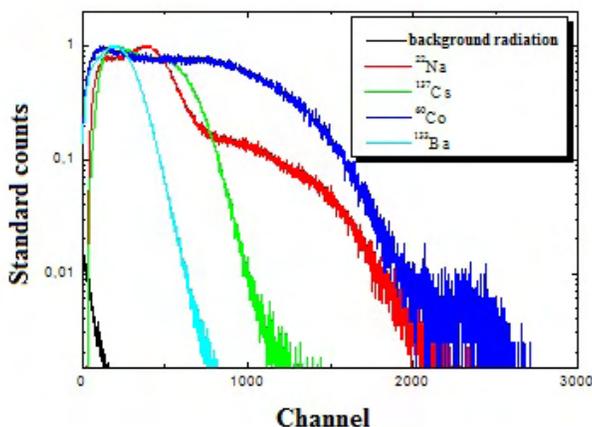


Figure 7: Spectra obtained for the radiation of ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{22}Na and ^{133}Ba sources with CsI:Pb 10^{-3}M crystal.

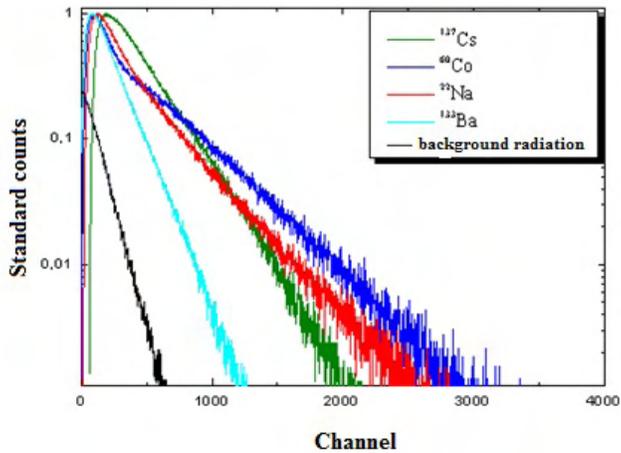


Figure 8: Spectra obtained for the radiation of ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{22}Na and ^{133}Ba sources with CsI:Pb $1.5 \times 10^{-3}\text{M}$ crystal.

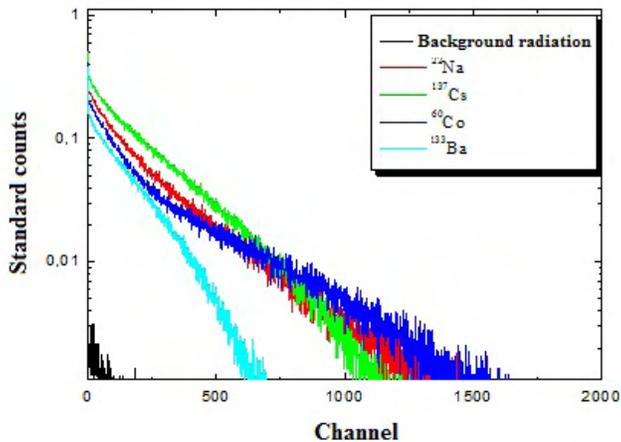


Figure 9: Spectra obtained for the radiation of ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{22}Na and ^{133}Ba sources with CsI:Pb 10^{-2}M crystal.

From the curves obtained for the CsI:Pb crystals, using gamma radiation from the sources of ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{22}Na and ^{133}Ba (Figs. 6-9) it was not possible to extract the resolution of these detectors. The low resolution capacity of the crystals of CsI:Pb may be attributed to the self-absorption of the luminescence in the crystals themselves, due to the presence of Pb in their structures. However, for applications where the energy resolution is not a relevant item, the CsI:Pb crystals may be used when a radiation detector with good mechanical resistance, relatively low cost of production and different sizes and geometries is desired.

In electromagnetic calorimeters, the need for large-scale high-energy particle detectors has led to international collaboration to develop, optimize and produce scintillators

for this purpose. The Compact Muon Solenoid (CMS) experiment in the Large Hadron Collider (LHC) accelerator at CERN uses approximately 80,000 PbWO_4 (lead tungstate) crystals, totalling approximately 100 tonnes [11]. Another project, ALICE, also in the accelerator (LHC) will use 18,000 PbWO_4 crystals, about 13 tons [4]. The crystal scintillator PbWO_4 presents light output of 250 photons / MeV and decay time of 5 to 15 ns [4,8].

Fig. 10 shows of measurements performed using the CsI:Pb crystals with concentrations 10^{-2} M, 10^{-3} M and 5×10^{-4} M and the neutron source.

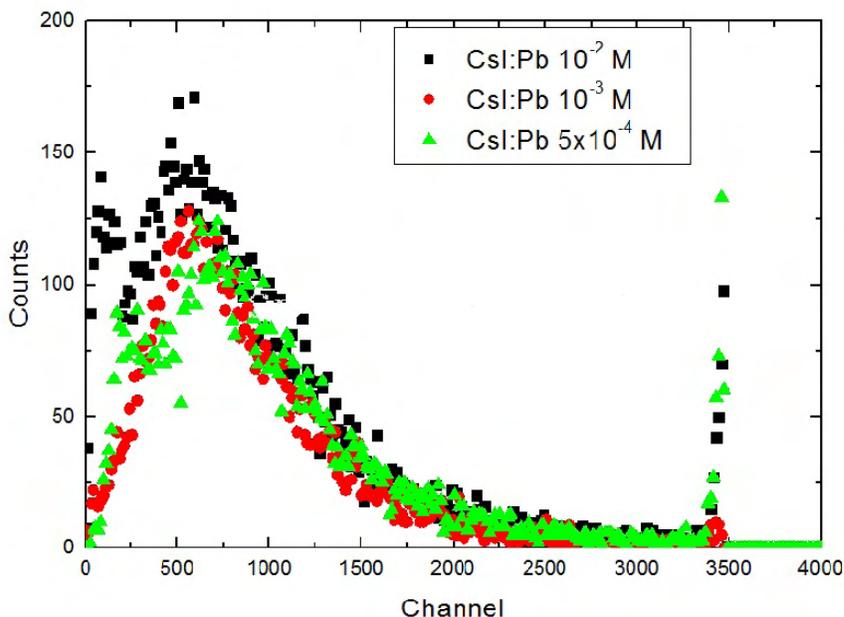


Figure 10: Results of the measurements using CsI:Pb crystal and neutron source.

CsI:Pb crystals, when excited with radioactive source of AmBe with energy range of 1 to 12 MeV, showed sensitivity to fast neutron, and the highest counting efficiency was obtained in the concentration of 10^{-2} M.

4 | CONCLUSION

The CsI: Pb crystals presented short decay time values, demonstrating the viability of their use for measurements of high dose and high energy rates. These results have shown to be very promising to obtain crystals having short decay time, when compared to the pure CsI scintillator crystal.

The crystals of CsI:Pb showed sensitivity to gamma radiation detecting the energies

of the radioactive sources used, although it was not possible to identify the corresponding photopeak.

The addition of the lead ions (Pb^{2+}) to the CsI matrix resulted in crystals with promising results, when excited with neutron radiation. The crystal showed to be sensitive to fast and thermal neutron.

In the dopant concentration range (Pb) studied, the best neutron detection efficiency was obtained for the molar fraction 10^{-2} .

The results showed the feasibility of using the crystals developed in this work for application in high energy physics. In our work environment, they may be applied as area of a neutron detector and used in the personal dosimeter for the workers of the IEA-R1 and IPEN/MB-01 nuclear research reactors.

REFERENCES

1. AMSLER, C.; GROGLER, D.; FOFFRAIN, W.; LINDELOF, D.; MARCHESOTTI, M.; NIEDERBERGER, P.; PRUYS, H.; REGENFUS, C.; RIEDLER, P.; ROTONDI, A. **Temperature dependence of pure CsI: scintillation light yield and decay time**. Nucl Instrum Methods Phys Res., v.A480, p .494-500, 2002.
2. BABIN, V.; KRASNIKOV, A.; NIKL, A.; NITSCH, K.; STOLOVITS, A.; Zazubovich, S. **Luminescence and relaxed excited state origin in CsI:Pb crystals**. Journal of Luminescence, v.101, p. 219-226, 2003.
3. BRIDGMAN, P. W. **Proc. Amer. Acad. Arts Sci.**, v. 60, p. 303-383, 1925.
4. CMELCHEER, C. L. **Perspectives on the future development of new scintillators**. Nucl Instrum Methods Phys Res, v.537, p. 6-14, 2005.
5. HAO, G.R.; HUI, Z.S.; CHUAN, Z.Z.; KAN, Z.; FAN, Y.; YING, L.H.; FENG, C.X. **Luminescence and decay time properties of pure CsI crystals**. Journal of Inorganic Materials, v.32 (2), p.169-174, 2017.
6. KESZTHELYI, L.S.; FOLDVÁRI, I.; VOSKA, R.; FODOR, Z.; SERES, Z. **Decay time measurements on pure CsI scintillators prepared by different methods**. Nucl Instrum Methods Phys Res, v.A303, p. 374-380, 1991.
7. KNOLL, G. F. **Radiation Detection and Measurement**, 4th ed. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, 2010.
8. KOBAYASHI, M.; USUKI, Y.; ISHII, M.; ITOH, M.; KIKL, M. **Further study on different dopings into PbWO_4 single crystals to increase the scintillation light yield**. Nucl Instrum Methods Phys Res, v.540, p.381-394, 2005.
9. MARGULIES, M.; WITOMSKI, P.; DUFFAR, T. **Optimization of the Bridgman crystal growth process**. Journal of Crystal Growth, v.266, p. 175-181, 2004.

10. MIKHAILIK, V. B.; KAPUSTYANYK, V.; TSYBULSKYI, V.; RUDYK, V.; KRAUS, H. **Luminescence and scintillation properties of CsI: A potential cryogenic scintillator**. Phys Status Solidi B, v.252, n°4, p. 804-810, 2015.
11. Novoyny, R. **Inorganic scintillators-a basic material for instrumentation in physics**, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. v.A537, pp.1-5, 2005.
12. PEREIRA, M.C.C.; FILHO, T.M. **Scintillation Characteristics of CsI Crystal Doped Br under Gamma and Alpha Particles Excitation**. Materials Sciences and Applications, v. 05, p. 368-377, 2014.
13. PEREIRA, M.C.C.; FILHO, T.M.; HAMADA, M.M. **The effect of Pb²⁺ dopant in the crystal of CsI and its application as scintillation detector: a study of alpha particles**. Radiation Effects and Defects in Solids, v. 167, p. 921-928, 2012.
14. RAVI, B.; RAJARAJAN,G. **Study on growth and optical, scintillation properties of thallium doped cesium iodide scintillator crystal**, Oriental Journal of Chemistry, v. 30, p. 581-586, 2014.
15. SELVASEKARAPANDIAN, S.; BRAHMANANDHAN, G.M.; MALATHI, J.; JOSEPH, V. **Thermoluminescence and photoluminescence studies on gamma irradiated CsI:Pb²⁺ crystals**. Radiation Effects & Defects in Solids, v.161, n°9, p. 559-570, 2006.
16. TSOULFANIDIS, N. **Measurement and Detection of Radiation**, New York, N.Y.: Harper & Row, 1983.
17. ZAZUBOVICH, S. **Physics of halide scintillators**. Radiation Measurements, v. 33, p. 699-704, 2001.

OTIMIZAÇÃO DO SABOR DE UMA BEBIDA UTILIZANDO O MÉTODO DE TAGUCHI

Data de aceite: 01/11/2021

Matheus Sousa Garreto

Discente do Curso de Engenharia Mecânica -
UEMA
São Luís - MA
<http://lattes.cnpq.br/3910100396052627>

RESUMO: O método de Taguchi/projeto robusto foi desenvolvido pelo engenheiro e estatístico Genichi Taguchi (1924 - 2012) sendo denominado por ele de controle off-line. Este método, segundo o estatístico, foi idealizado como uma nova abordagem da qualidade com ênfase no produto e no processo. A qualidade é medida pelo desvio que uma característica funcional apresenta em relação ao valor base esperado da mesma. Os fatores responsáveis por esses desvios são chamados de “ruídos”(temperatura, poeira, vibração, umidade, etc) que acabam afetando a qualidade do produto. A função perda, proposta por Taguchi, modela estas perdas causadas pelos ruídos. Afim de ter um produto de qualidade devemos buscar otimizar a função perda do mesmo utilizando técnicas estatísticas para poder ter um resultado com a menor perda por ruídos possível. Utilizando o método de Taguchi buscamos obter um produto robusto, ou seja, um produto que não altere suas condições de funcionamento ou trabalho por uma grande gama de variáveis que venham a produzir ruídos. Além da otimização da função perda o método engloba um conjunto de técnicas propostas para atingir o objetivo, por exemplo, os experimentos fatoriais

com matrizes ortogonais. Por ser um método muito prático, sendo esta uma das preocupações no momento de sua idealização, ficou bem reconhecido por empresas que começaram a implantá-lo em suas diretrizes. O projeto feito neste artigo foi desenvolvido utilizando o método de Taguchi, especificamente os experimentos fatoriais com matrizes ortogonais. O objetivo do trabalho é procurar a melhor combinação de ingredientes buscando o melhor sabor possível para a bebida junto aos clientes.

PALAVRAS-CHAVE: Taguchi, Otimização, Matriz ortogonal, Produtividade.

OPTIMIZING THE FLAVOR OF A BEVERAGE USING THE TAGUCHI METHOD

ABSTRACT: The Taguchi method / robust design was developed by the engineer and statistician Genichi Taguchi (1924 - 2012) being called by him of control offline. This method, according to the statistician, was conceived as a new approach to quality with an emphasis on product and process. The quality is measured by the deviation that a functional characteristic presents in relation to the expected base value of the same. The factors responsible for these deviations are called “noises” (temperature, dust, vibration, humidity, etc.) that end up affecting the quality of the product. The loss function, proposed by Taguchi, models these losses caused by noise. In order to have a quality product we must seek to optimize the loss function of the same using statistical techniques to be able to have a result with the least noise loss possible. Using the Taguchi method we seek to obtain a robust

product, that is, a product that does not alter its working or working conditions by a wide range of variables that will produce noises. In addition to the optimization of the loss function, the method encompasses a set of techniques proposed to achieve the objective, for example, the orthogonal matrix factorial experiments. Being a very practical method, being one of the preoccupations at the moment of its idealization, was well recognized by companies that began to implant it in its directives. The design made in this article was developed using the Taguchi method, specifically the orthogonal matrix factorial experiments. The objective of the work is to look for the best combination of ingredients seeking the best possible flavor for the beverage with the customers.

KEYWORDS: Taguchi, Optimization, Orthogonal Matrix, Productivity.

1 | INTRODUÇÃO

Atualmente, a indústria está procurando maneiras de reduzir custos, despesas e maximizar a produtividade, consequentemente aumentando os lucros. A aplicação de métodos estatísticos nos processos de produção e prestação de serviços tem se tornado um fator importante e diferenciador entre as organizações.

O estudo estatístico utilizando a variância (ANOVA) de determinado fenômeno permite o controle da variabilidade, ou seja, um padrão de comportamento pode ser definido, diminuindo os ruídos, que são os principais responsáveis pela falta de precisão e acurácia nos processos dentro de uma indústria.

O planejamento é embasado em análises de dados, que em sua grande maioria, são realizadas de maneira estatística.

O método de Taguchi pode ser usado para determinar a combinação ótima de fatores e interações que influenciam o comportamento das variáveis de resposta em um determinado processo. Em geral, esse método requer menos esforço de amostragem e menores custos de teste, sem afetar significativamente as conclusões tiradas (ROSA et al., 2009).

Este artigo trata da aplicação do método Taguchi como ferramenta estatística para a análise e investigação dos principais fatores e interações que influenciam no melhor sabor de suco dentre as combinações propostas pelo estudo para uma pesquisa de mercado.

2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A pesquisa de mercado é uma etapa que auxilia a indústria no que tange os anseios dos clientes. Deve-se saber o que vender, para isso, saber o que o cliente quer comprar se torna um quesito chave. Para responder a esta pergunta nada mais prático que ouvir do próprio interessado no produto, ou seja, o consumidor, sobre o que necessita, o que deseja adquirir.

Lima et al. (2011) explicam que planejar experimentos é a forma mais adequada para estudar a complexidade dos vários fatores do processo e suas interações, a fim

de aumentar a probabilidade de resolução de problemas por meio de análise estatística (ANOVA). Esse método, que se acredita ter melhorado a qualidade e a produtividade, tem sido cada vez mais aplicado nos últimos anos na indústria brasileira (SILVA e SILVA, 2008).

A obtenção de dados, nesse caso, geralmente é realizada por meio de questionários ou entrevistas com os consumidores em potencial. Para a análise desses dados, a ferramenta taguchi/projeto robusto, que foi idealizada pelo estudioso japonês Dr. Genichi Taguchi, se torna um artifício muito prático, didático e de fácil interpretação, tendo em vista que se baseia na melhora das características dos processos de um produto através do controle e ajuste dos chamados fatores controláveis. Estes minimizam a variação do produto final em comparação com o resultado pretendido que é estabelecido no começo da análise. Ajustando os fatores importantes para o nível ótimo, a fabricação dos produtos pode ser realizada de forma que se adeque a uma maior gama de situações, tal característica é observada nos ditos produtos robustos. Os fatores incontroláveis, como condições ambientais, variação dimensional, dentre vários outros são os responsáveis pela variabilidade do processo, portanto, quanto mais robusto um produto se apresenta, menos se observa variação no seu objetivo final.

Nos anos 1950 e 1960 o Dr. Genichi Taguchi desenvolveu um design robusto e aplicou essa abordagem em muitas áreas (SOUZA et al., 2011).

Primeiramente devemos passar pelas etapas básicas para a aplicação da metodologia Taguchi. Esta se divide em quatro:

I. Identificação dos fatores

Nesta etapa será realizada a identificação dos fatores (ruído e fatores do ambiente e processo de fabricação) e os parâmetros dos produtos.

Para estes fatores são analisados as possíveis influências e iterações com os outros.

Deve-se tomar cuidado para não deixar de fora algum parâmetro muito importante e significativo na hora da escolha dentre os vários parâmetros que o problema venha a ter. Caso isso aconteça ocorrerá uma distorção da função perda.

II. Planejamento e condução dos experimentos

Este é o momento do planejamento de coleta dos dados experimentais. A partir destes dados podemos construir a relação sinal/ruído.

Para realizar o planejamento deve-se iniciar pela escolha do tipo de planejamento, ou seja, pela escolha da matriz ortogonal que melhor se aplica ao problema.

A escolha das matrizes dependem principalmente do número de fatores e da quantidade de corridas (ou seja, de casos de experimentos) que poderiam ser realizados conforme a disponibilidade de tempo e custo.

Em seguida são especificados valores para os diferentes níveis dos parâmetros.

Com estes dados basta escolher de forma aleatória as corridas e programar a

realização dos ensaios.

III. Análise dos níveis ótimos dos parâmetros

É feita a otimização dos parâmetros do produto a partir da relação com o sinal/ruído.

Isto significa obter um modelo estatístico desta relação com os dados coletados no experimento e aplicar, neste modelo, técnicas de otimização para encontrar os valores dos parâmetros ótimos dos produtos.

Ao final desta etapa tem-se um conjunto de valores de parâmetros (ou características) do produto que tornam seu desempenho robusto e estável em relação às características ambientais e às variações do processo.

IV. Validação dos resultados

Como os níveis ótimos dos parâmetros obtidos anteriormente são fruto de um modelo estatístico, e, portanto, uma aproximação da realidade, deve-se realizar uma etapa de validação dos resultados encontrados, ou seja, verificação dos níveis ótimos especificados para os parâmetros.

Isto é feito conduzindo um experimento com um protótipo cujos parâmetros são ajustados conforme os valores ótimos obtidos na fase anterior.

Os resultados deste experimento devem coincidir com àqueles encontrados por meio do modelo, dentro, é claro, da devida margem de segurança.

Caso isto ocorra significa que o modelo obtido é confiável e, portanto, pode-se aprovar estes parâmetros como especificações para o projeto.

O arranjo ortogonal é uma matriz com os dados, parâmetros e níveis dos experimentos realizados. Existem diferentes tipos de dimensões para as tabelas e cabe ao projetista analisar e utilizar dentro do seu número de parâmetro e níveis do problema investigado a dimensão para o seu caso, explica Taguchi (1990). Para a construção de um arranjo ortogonal é preciso que cada fator seja ortogonal ao outro, ou seja, tenha os seus níveis aparecendo o mesmo número de vezes.

Taguchi explica que o arranjo ortogonal está diretamente ligado ao grau de liberdade, que é calculado através da subtração do número de fatores do processo estudado menos um. Através da contagem do grau de liberdade é concebido o arranjo ortogonal (ROSS, 1995).

Arranjo Ortogonal	Número de ensaios	Nº. Máximo de Fatores	Nº. Máximo de Colunas e seus Níveis			
4	4	2	2	3	4	5
8	8	4	3	7	-	-
9	12	11	-	4	-	-
12	16	15	11	-	-	-
16	24	8	-	-	5	-
18	27	6	1	7	-	-
25	32	13	-	-	-	6
27	36	23	1	13	9	-
32	50	12	3	13	-	-
36	54	26	1	-	-	11
50	64	63	-	25	-	-
64	81	40	-	-	21	-

Tabela 1 - Matriz ortogonal para o método experimental de Taguchi.

Fonte: adaptado Montgomery (2004)

A matriz varia conforme o número de fatores e níveis que serão utilizados. Tais fatores são determinados após consulta na literatura ou por protocolos já existentes (HUANG; HUNG; YANG, 2016).

Em uma análise experimental Taguchi sugere a análise da resposta média de cada linha no arranjo mais interno e também a análise da variação utilizando uma escolha apropriada de relação Sinal/Ruído (S/N). Essas relações S/N derivam da função-perda quadrática, tendo três tipos padrão para análise, segundo Souza et. al. (2011):

a. Nominal é melhor

Idealmente, para este tipo de função de perda, a resposta deve ter um valor de trabalho igual ao valor base especificado. Por exemplo, na fabricação de peças de máquinas, o cumprimento dimensional estrito é exigido de acordo com as regras de montagem. Caso contrário, as peças não funcionarão juntas, pois geralmente são feitas de um material muito duro e durável. Portanto, o valor nominal necessário para o modelo é ótimo.

A equação que rege este modelo é uma função quadrática descrita logo a seguir:

$$L(y) = k(y - m)^2$$

Onde:

- L é a perda associada a uma partícula característica de performance, no caso o y ;
- m é o valor objetivo;
- k é o parâmetro de perdas;
- y é a resposta de cada experimento.

A relação sinal/ruído para esta situação é designada por:

$$SN_T = 10 \log \left(\frac{\bar{y}}{S^2} \right)$$

Onde:

- \bar{y} é a média de cada experimento;
- S^2 é o desvio padrão das respostas para determinada combinação de níveis de parâmetros.

b. Menor é melhor

Como exemplo para este caso podemos citar o consumo de combustível de um carro ou o tempo que o computador demora pra iniciar. É regida peça equação:

$$L(y) = ky^2$$

A relação sinal/ruído para esta situação é definida pela equação:

$$SN_S = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)$$

Onde:

- y é a resposta de cada experimento;
- n é o número de respostas de cada experimento.

c. Maior melhor

Neste caso o valor ideal seria infinito e neste ponto a perda seria zero. Porém, isso não é possível, portanto, através deste método podemos otimizar para um maior valor positivo possível. A equação que rege este método é:

$$L(y) = k \left(\frac{1}{y^2} \right)$$

Onde:

- k é o parâmetro de perdas;
- y é a resposta de cada experimento.

A relação Sinal/Ruído para esta situação é:

$$SN_L = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right)$$

3 | METODOLOGIA

Este projeto tem como objetivo através da combinação de alguns ingredientes

determinar qual o melhor sabor para uma bebida, levando em consideração dosagens e tipos de frutas. Para isto estabelecemos os parâmetros e níveis a seguir:

Parâmetro	Descrição	Nível I	Nível II
A	Suco de laranja	30 ml	125 ml
B	Abacaxi	40 g	20 g
C	Maçã	80 g	120 g
D	Água	150 ml	40 ml
E	Açúcar	20 g	60 g

Tabela 2 - Parâmetros e níveis do experimento

Fonte: Dados colhidos mediante pesquisa do autor.

A matriz ortogonal escolhida para este projeto foi a L8 com 7 observações para cada experimento:

Nº	A	B	C	D	E	F	G
1	30 ml	40 g	80 g	150 ml	20 g	1	1
2	30 ml	40 g	80 g	40 ml	60 g	2	2
3	30 ml	20 g	120 g	150 ml	20 g	2	2
4	30 ml	20 g	120 g	40 ml	60 g	1	1
5	125 ml	40 g	120 g	150 ml	60 g	1	2
6	125 ml	40 g	120 g	40 ml	20 g	2	1
7	125 ml	20 g	80 g	150 ml	60 g	2	1
8	125 ml	20 g	80 g	40 ml	20 g	1	2

Tabela 3 - Tabela L8 dos experimentos

Fonte: Dados colhidos mediante pesquisa do autor.

A tabela a seguir foi obtida pelos experimentos feitos. Para este procedimento foram analisadas as respostas da seguinte forma, desagradável (1), regular(3), bom(5) e foi calculado a média dos experimentos. Cada combinação de sabor foi provada por duas pessoas. Para manter o critério de avaliação constante, cada um provou as oito combinações possíveis. Para o primeiro indivíduo:

N°	A	B	C	D	E	F	G	yi
1	5	1	1	1	5	5	1	2,71
2	5	3	3	1	3	1	3	2,71
3	3	5	1	3	1	5	5	3,29
4	5	3	3	1	3	1	1	2,43
5	5	5	1	3	3	1	5	3,29
6	5	5	5	5	5	3	3	4,43
7	5	5	3	3	1	3	3	3,29
8	3	1	1	1	1	5	5	2,43

Tabela 4 - Experimentos para o primeiro indivíduo

Fonte: Dados colhidos mediante pesquisa do autor.

Para o segundo indivíduo:

N°	A	B	C	D	E	F	G	yi
1	5	3	1	1	5	5	1	3
2	5	1	3	1	3	1	3	2,42
3	3	3	1	3	1	5	5	3
4	5	5	3	1	3	1	1	2,71
5	5	5	1	3	3	1	5	3,29
6	5	5	5	5	5	3	3	4,43
7	5	5	3	3	3	3	3	3,57
8	3	1	3	1	1	5	5	2,71

Tabela 5 - Experimentos para o segundo indivíduo

Fonte: Dados colhidos mediante pesquisa do autor.

Portanto, a tabela com os experimentos e a relação sinal ruído (maior melhor) é:

N°	A	B	C	D	E	F	G	yi	yii	Média	S/N(dB)
1	30 ml	40 g	80 g	150 ml	20 g	5	1	2,71	3	2,85	9,07
2	30 ml	40 g	80 g	40 ml	60 g	1	3	2,71	2,42	2,56	8,14
3	30 ml	20 g	120 g	150 ml	20 g	5	5	3,29	3	3,14	9,92
4	30 ml	20 g	120 g	40 ml	60 g	1	1	2,43	2,71	2,57	8,16
5	125 ml	40 g	120 g	150 ml	60 g	1	5	3,29	3,29	3,29	10,34
6	125 ml	40 g	120 g	40 ml	20 g	3	3	4,43	4,43	4,43	12,93
7	125 ml	20 g	80 g	150 ml	60 g	3	3	3,29	3,57	3,43	10,68
8	125 ml	20 g	80 g	40 ml	20 g	5	5	2,43	2,71	2,57	8,16

Tabela 6 - Experimentos e resultados

Fonte: Dados colhidos mediante pesquisa do autor.

A influência de cada parâmetro é dada pela média das respostas para o nível auto do parâmetro menos a média das respostas para o nível baixo do parâmetro. Portanto, calculando a influencia de cada parâmetro:

Parâmetro A:

$$E(A) = [(3,29 + 4,43 + 3,43 + 2,57) - (2,85 + 2,56 + 3,14 + 2,57)]/4$$

$$E(A) = 0,65$$

Parâmetro B:

$$E(B) = [(2,85 + 2,56 + 3,29 + 4,43) - (3,14 + 2,57 + 3,43 + 2,57)]/4$$

$$E(B) = 0,355$$

Parâmetro C:

$$E(C) = [(3,14 + 2,57 + 3,29 + 4,43) - (2,85 + 2,56 + 3,43 + 2,57)]/4$$

$$E(C) = 0,505$$

Parâmetro D:

$$E(D) = [(2,85 + 3,14 + 3,29 + 3,43) - (2,56 + 2,57 + 4,43 + 2,57)]/4$$

$$E(D) = 0,145$$

Parâmetro E:

$$E(E) = [(2,56 + 2,57 + 3,29 + 3,43) - (2,85 + 3,14 + 4,43 + 2,57)]/4$$

$$E(E) = -0,285$$

Podemos então analisar a influência de cada parâmetro e destacar que três deles tem um impacto grande positivamente no resultado, calculando a interação entre eles:

Nº	Identificação	A	B	C	AB	AC	BC	ABC	y _i	y _{ii}	Média
1	(1)	-	-	-	+	+	+	-	2,71	3	2,85
2	a	+	-	-	-	-	+	+	2,71	2,42	2,56
3	b	-	+	-	-	+	-	+	3,29	3	3,14
4	ab	+	+	-	+	-	-	-	2,43	2,71	2,57
5	c	-	-	+	+	-	-	+	3,29	3,29	3,29
6	ac	+	-	+	-	+	-	-	4,43	4,43	4,43
7	bc	-	+	+	-	-	+	-	3,29	3,57	3,43
8	abc	+	+	+	+	+	+	+	2,43	2,71	2,57

Tabela 7 - Influência dos parâmetros

Fonte: Dados colhidos mediante pesquisa do autor.

Interação AB:

$$E(AB) = [(2,95 + 2,57 + 3,29 + 2,57) - (2,56 + 3,14 + 4,43 + 3,43)]/4$$

$$E(AB) = -0,57$$

Interação AC:

$$E(AC) = [(2,85 + 3,14 + 4,43 + 2,57) - (2,56 + 2,57 + 3,29 + 3,43)]/4$$

$$E(AC) = 0,285$$

Interação BC:

$$E(BC) = [(2,85 + 2,56 + 3,43 + 2,57) - (3,14 + 2,57 + 3,29 + 4,43)]/4$$

$$E(BC) = -0,505$$

Interação (ABC):

$$E(ABC) = [(2,56 + 3,14 + 3,29 + 2,57) - (2,85 + 2,57 + 4,43 + 3,43)]/4$$

$$E(ABC) = -0,43$$

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como estamos buscando maximizar a qualidade do sabor do suco vamos analisar quais parâmetros mais contribuíram positivamente para um bom sabor da bebida.

- I. O parâmetro “A”, suco de laranja, contribui com 0,65 unidades positivamente.
- II. O parâmetro “B”, abacaxi, contribui com 0,355 unidades positivamente.
- III. O parâmetro “C”, maçã, contribui com 0,505 unidades positivamente.
- IV. O parâmetro “D”, água, contribui com 0,145 unidades positivamente.
- V. O parâmetro “E”, açúcar, contribui com 0,285 unidades negativamente.
- VI. A interação “AB”, suco de laranja e abacaxi, contribuiu com 0,57 unidades negativamente.
- VII. A interação “AC”, suco de laranja e maçã, contribuiu com 0,285 positivamente.
- VIII. A interação “BC”, abacaxi e maçã, contribuiu com 0,505 unidades negativamente.
- IX. A interação “ABC”, suco de laranja, abacaxi e maçã, contribuiu com 0,43 unidades negativamente. experimento 6 foi o que mais contribuiu positivamente para o sabor. Ele contribuiu em média com 4,43 unidades.

Como exposto, os parâmetros “A”, “B” e “C” foram os que mais contribuíram positivamente para a bebida com uma porcentagem de 77,83% da contribuição total dos parâmetros. O açúcar, parâmetro “E”, contribuiu negativamente, ou seja, está diminuindo o grau de excelência da bebida.

Podemos ainda definir o nível mais importante para o sabor de cada parâmetro:

Parâmetros/níveis	A	B	C	D	E
Nível I	11,12	13,13	11,41	12,71	12,99
Nível II	13,72	11,71	13,43	12,13	11,85

Tabela 8 - Contribuição de cada nível

Fonte: Dados colhidos mediante pesquisa do autor.

Sabendo a contribuição de cada parâmetro e de cada nível, dentre os experimentos podemos analisar qual combinação de sabor tem um maior impacto positivo no palato dos clientes, ou seja, aquela combinação que está próxima do valor bom (5). O experimento 6 é o que mais se adequa a exigência, abaixo podemos ver a sua combinação que ficou com 4,43 unidades positivas, ou seja, 88,6% do valor julgado bom (5). A pior combinação foi a do experimento 2 com uma contribuição de 2,56 unidades positivas, ou seja, ficou abaixo da condição regular (3) e com uma porcentagem em relação ao valor considerado bom (5) de 51,2%.

Parâmetro	Descrição
A - Nível 2	125 ml de suco de laranja
B - Nível 1	40 g de abacaxi
C - Nível 2	120 g de maçã
D - Nível 1	40 ml de água
E - Nível 1	20 g de açúcar

Tabela 9 - Melhor combinação de parâmetros

Fonte: Dados colhidos mediante pesquisa do autor.

Podemos analisar a resposta e comparar com o gráfico da contribuição dos parâmetros para as médias:

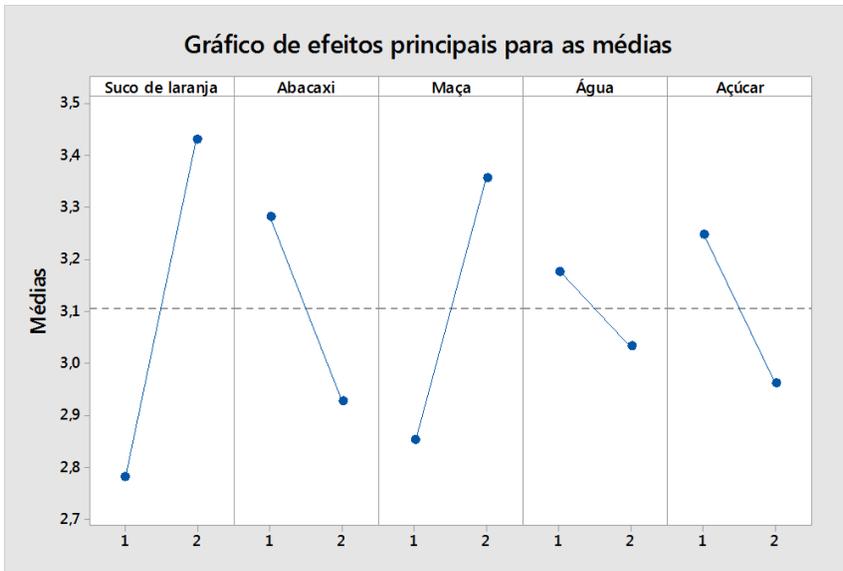


Figura 1 - Efeito dos parâmetros nas médias.

Fonte: Dados colhidos mediante pesquisa do autor.

Efeitos principais dos parâmetros para a relação sinal ruído, segundo Phadke (1989):

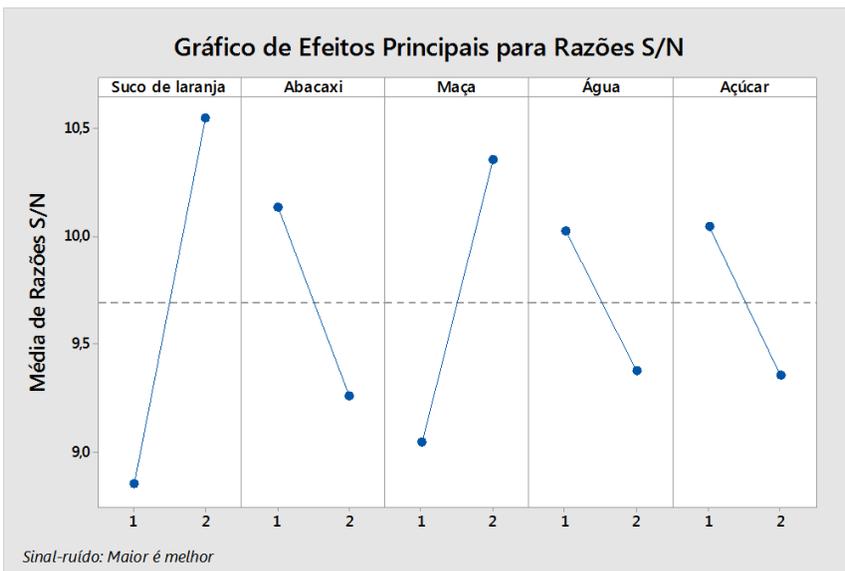


Figura 2 - Efeitos principais dos parâmetros em relação ao S/N

Fonte: Dados colhidos mediante pesquisa do autor.

5 | CONCLUSÕES

O método de Taguchi é uma ferramenta muito eficiente e prática para a otimização de produtos. O processo experimental fatorial com a matriz ortogonal permite analisar por meio de ensaios o comportamento e a resposta do produto a condições impostas pelo projetista.

Neste trabalho podemos perceber que esta análise pode ser realizada por grandes empresas como multinacionais, por exemplo, pois além de aumentar a qualidade do produto se aproxima do cliente e de seus gostos, com isto, também se torna uma análise de mercado, tendo em vista que quanto maior a aceitação da sua bebida pelo palato dos clientes, mais vendas você terá e conseqüentemente mais lucro.

O processo maximiza a produtividade pois busca eliminar ou atenuar os ruídos que causam a variabilidade e a falta de padrão dos produtos em sua fase final. A padronização de um serviço ou produto demonstra a perícia naquilo que está sendo trabalhado por parte da empresa, contribuindo para uma melhor experiência do cliente e alavancando o nome da organização no mercado de trabalho, evidenciando a qualidade nos serviços prestados.

REFERÊNCIAS

HUANG, Mei-Ling; HUNG, Yung-Hsiang; YANG, Zih-Sian. **Validation of a method using Taguchi, response surface, neural network, and genetic algorithm**. Measurement, v. 94, p. 284-294, 2016.

LIMA, V. B. S.; BALESTRASSI, P. P.; PAIVA, A. P. **Otimização do desempenho de amplificadores de radiofrequência banda larga: uma abordagem experimental**, Produção, v. 21, n. 1, p. 118-131, jan/mar, 2011.

MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments**, 5. ed. New York: John Wiley and Sons, 2004.

ROSA, J. L.; ROBIN, A.; SILVA, M. B.; BALDAN, C. A.; PERES, M. P. **Electrodeposition of copper on titanium wires: Taguchi experimental design approach**, Journal of Materials Processing Technology, v.209, p. 1181-1188, 2009.

ROSS, P.; (1995). **Taguchi technique for quality engineering: loss function, orthogonal experiments, parameters and tolerance design**. 2ed. New York: McGraw-Hill.

SILVA, H. A.; SILVA, M. B. **Aplicação de um projeto de experimentos (DOE) na soldagem de tubos de zircaloy-4**; Produção & Engenharia, v. 1, n. 1, p. 41-52, set./dez. 2008.

SOUZA, H. J. C.; MOYSES, C. B.; PONTES, F. J.; DUARTE, R. N.; SILVA, C. E. S.; ALBERTO, F. L.; FERREIRA, U. R.; SILVA, M. B. Optimization Molecular assay optimized by Taguchi experimental design method for venous thromboembolism investigation, **Molecular and Cellular Probes**, v.25, p. 231-237, 2011.

TAGUCHI, G.; ELSAYED, E. A.; HSIANG, T. C. **Engenharia da qualidade em sistemas de produção**. São Paulo: Mc Graw – Hill, 1990. 235p

PHADKE, M. S. **Quality engineering using robust design**. USA: Prentice-Hall, 1989.

CAPÍTULO 13

INTERLIGANDO O CICLISMO

Data de aceite: 01/11/2021

Data de submissão: 04/08/2021

Alexandre Passos Pagin

Acadêmico de Educação Física no Centro
Universitário São Lucas
Porto Velho

RESUMO: O Ciclismo é a modalidade esportiva que acopla o atleta e uma bicicleta, envolvendo movimentos sincronizados entre uma série de articulações que proporcionam o esforço constante da região pélvica-lombar e membros inferiores, sendo uma corrida constante contra o tempo. O Ciclismo permite ao indivíduo a prática esportiva de forma individual ou em grupos. No Município de Porto Velho – RO é comum observar diversos grupos de Ciclistas ou grupos de “Pedal”, realizando percursos ou trilhas diversas através de toda extensão territorial da capital do estado de Rondônia. Em virtude dos fatos constatados pensou-se em desenvolver uma plataforma que pudesse proporcionar ao esportista uma experiência nova e repleta de interatividade, criando uma área onde pudesse desenvolver relacionamentos, buscar informação e que lhe gerasse praticidade, para uma atividade física mais segura. O aplicativo MUNDOBIKE tem por finalidade interligar todos os ciclistas de um bairro, município, estado ou até mesmo de um País. Tomando por base que a sociedade atual está cada vez mais integrada a plataformas digitais para a sua vivência do dia a dia, seja por

meio de redes sociais ou aplicativos que facilitem as suas tomadas de decisão, o MUNDOBIKE tem a meta de gerar conexão entre as pessoas, em uma sociedade que está se mostrando mais digitalizada a cada dia que passa.

PALAVRAS-CHAVE: Aplicativo; Ciclismo; Interligação; Virtual; MundoBike.

LINKING CYCLING

ABSTRACT: Cycling is a sport that combines the athlete and a bicycle, involving synchronized movements between a series of joints that provide the constant effort of the pelvic-lumbar region and lower limbs, being a constant race against time. Cycling allows individuals to practice sports individually or in groups. In the Municipality of Porto Velho – RO, it is common to observe several groups of Cyclists or groups of “Pedal”, performing different routes or trails through the entire territorial extension of the capital of the state of Rondônia. Due to the facts presented, it was thought to develop a platform that could provide the athlete with a new experience full of interactivity, creating an area where they could develop relationships, seek information and generate practicality, for a safer physical activity. The MUNDOBIKE app aims to connect all cyclists in a neighborhood, city, state or even a country. Based on the fact that today’s society is increasingly integrated with digital platforms for their daily lives, either through social networks or apps that facilitate decision-making, MUNDOBIKE aims to generate connection between people, in a society that is showing itself to be more digitalized every day.

KEYWORDS: Apps; Cycling; Interconnection; Virtual; MundoBike.

1 | INTRODUÇÃO

Com o advento da Internet, e a constante globalização, o surgimento de aplicativos que possam trazer conforto e praticidade pra vida do ser humano é cada vez mais comum. Em uma sociedade que é mais capitalista, tecnológica e materialista a cada dia que passa, constata-se que o ser humano busca ferramentas que lhe proporcione mais agilidade na hora de executar uma determinada tarefa, facilitando-lhe, o mínimo que seja, a sua vida.

Segundo a própria definição do dicionário, aplicativo é “um programa de computador concebido para processar dados eletronicamente, facilitando e reduzindo o tempo de execução de uma tarefa pelo usuário”. Sendo assim, levando em consideração a crescente demanda social por um estilo de vida mais saudável, tendo cada vez mais pessoas optando por uma maneira mais “fit” de levar a vida, viu-se a possibilidade de se desenvolver um aplicativo focado em um nicho específico e que gerasse essa praticidade e interatividade aos seus usuários.

A partir de estudo feito entre ciclistas locados no município de Porto Velho – RO constatou-se que haveria espaço no mercado para um aplicativo que gerasse maior interligação entre ciclistas de uma determinada área proporcionando uma maior visibilidade a modalidade e aproveitando a facilidade de comunicação e integração das plataformas digitais pensou-se em criar um aplicativo que promovesse e desenvolvesse uma nova experiência dentro do esporte, ao mesmo tempo em que incentivasse a saúde pessoal e o bem estar social como um todo.

2 | O APLICATIVO

Primeiramente o aplicativo irá nivelar a categoria do Ciclista, conforme a sua experiência com a modalidade, para que o usuário possa estar se identificando e progredindo conforme o uso da ferramenta. O aplicativo será denominado de “MUNDOBIKE” e oferecerá ao seu usuário uma série de ferramentas que lhe permita desenvolver o seu conhecimento do esporte, dando-lhe dicas de como progredir e até mesmo lhe oferecendo uma rede de outros usuários, permitindo assim a interligação entre todos os praticantes do esporte no seu Estado.

O MUNDOBIKE usará uma interface estilo mapa GPS, assim como outros aplicativos de localização (Waze, Google Maps, dentre outros) onde estarão ilustrados percursos e distâncias percorridos pelo ciclista, irá sinalizador grupos de ciclistas próximos ao usuário, dará sugestão de metas e desafios a serem executados pelo usuário e proporcionar a experiência mais completa possível. A princípio, o aplicativo irá dividir os usuários em 04 categorias: Iniciante, Intermediário, Experiente e Profissional oferecendo diversas metas

ou desafios para que esteja incentivando e desafiando a evolução constante do ciclista sendo que conforme ele for completando essas tarefas ocorrerá a progressão de nível dentro do próprio aplicativo, assim mantendo a sua curiosidade pelo esporte e a promoção de uma vida mais saudável e menos sedentária.

2.1 Iniciante

Como o próprio nome já diz, aqui será enquadrado aquele indivíduo que está tendo um primeiro contato com o esporte ou que tenha pouca vivência dentro do Ciclismo. O aplicativo irá dar todas as dicas para tornar a experiência a mais descontraída possível, sem ter aquela pressão por resultado de categorias mais avançadas, de preferência apontando percursos com menor comprimento e de curta duração. O aplicativo agiria como um guia para o iniciante dando dicas de segurança e zelando pelo bem estar físico do usuário.

2.2 Intermediário

Neste estágio de evolução, o ciclista já possui um nível de conhecimento adequado do aplicativo e assim estará sujeito a percursos mais longos e com trechos que exigem uma afinidade maior do ciclista com a sua bicicleta.

2.3 Experiente

Em se tratando de ciclistas experientes, o aplicativo estará direcionando um usuário com mais vivência, e assim apontará grupos que percorrem trajetos mais longos ou trajetos que não sejam muito explorados dentro do aplicativo.

2.4 Profissional

O ciclista profissional está totalmente habituado a rotina de pedalar e praticamente transformou-a em um estilo de vida. O aplicativo exigirá metas de alta dificuldade do usuário e estabelecerá grupos mais restritos que tenham regularidade maior dentro do aplicativo com distâncias percorridas de ampla exigência e duração. O foco será proporcionar com maior dificuldade técnica e exigente ao usuário.

3 | RESULTADO E DISCUSSÕES

Em se tratando da aplicabilidade da ferramenta, desenvolveu-se um estudo conforme necessidades de ciclistas quanto à viabilidade e interesse em uma possível plataforma digital que lhes permitisse encontrar grupos que dividissem o mesmo interesse que eles, sem que houvesse qualquer tipo de prejuízo a sua privacidade digital. Apesar da existência de ferramentas semelhantes ao aplicativo MUNDOBIKE, a forma com que o usuário utilizará o aplicativo e, sendo provocado por esse, para que atinja novos níveis de desempenho, é único e intrigará a curiosidade do público em um real interesse pelo uso da ferramenta.

4 | CONCLUSÃO

Assim, conforme apresentação, projeção e futura demonstração, se comprovará a real viabilidade comercial e econômica no desenvolvimento do aplicativo MUNDOBIKE para proporcionar uma experiência virtual mais completa ao esportista, com a finalidade de desenvolver o Ciclismo como prática esportiva benéfica a saúde e assim gerando uma comunidade mais ativa primeiramente no Município de Porto Velho – RO, futuramente visando uma maior visibilidade estadual e atingindo patamar nacional.

PERCEPÇÃO DOS EGRESSOS SOBRE A QUALIDADE DOS CURSOS DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE – UPM

Data de aceite: 01/11/2021

Data de submissão: 02/09/2021

Leila Figueiredo de Miranda

Universidade Presbiteriana Mackenzie, Escola
de Engenharia
São Paulo – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/0218222413589119>
ID Lattes: 0218222413589119

Terezinha Jocelen Masson

Universidade Presbiteriana Mackenzie, Escola
de Engenharia
São Paulo – São Paulo
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7538523685244929>
ID Lattes: 7538523685244929

Antonio Hortêncio Munhoz Jr.

Universidade Presbiteriana Mackenzie, Escola
de Engenharia
São Paulo – São Paulo
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8233884614933594>
ID Lattes: 8233884614933594

RESUMO: O presente trabalho analisou o resultado da avaliação dos cursos de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM), sob a ótica de seus egressos, no período de 2012 a 2017, visando utilizar os resultados como ferramenta de gestão do ensino. A avaliação de um curso de graduação em Engenharia, sob a ótica dos seus egressos, é um dos indicadores da qualidade do curso, pois estes têm uma visão ampla do processo de ensino e capacidade de verificar a contribuição do curso na sua formação

pessoal e profissional, permitindo verificar se as metas de formação propostas estão sendo bem recebidas pelo mercado de trabalho globalizado. Para tanto, devem ser resgatados os conceitos relacionados à avaliação educacional e avaliação da educação superior no Brasil, prática desenvolvida por meio do Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior - SINAES, criado pela Lei nº 10.861, de 14 de abril de 2004. Os resultados obtidos, fornecem subsídios para a crítica, a reflexão e o diálogo sobre o projeto pedagógico dos cursos oferecidos, apresentando tanto os seus diferenciais, que devem ser preservados e reforçados, quanto as suas fragilidades que indicam os aspectos que subsidiarão discussões que possam conduzir a melhorias dos cursos, devendo ser considerados como ferramentas de controle estratégico e operacional.

PALAVRAS-CHAVE: Avaliação de curso. Percepção do Egresso. Qualidade dos Cursos de Engenharia. Formação. Mercado de Trabalho.

PERCEPTION OF GRADUATE ABOUT THE QUALITY OF UPM ENGINEERING COURSES

ABSTRACT: The present work analyzed the evaluation of the Engineering courses of the Mackenzie Presbyterian University, from the point of view of its graduates, in the period from 2012 to 2017, aiming to use the results as a teaching management tool. The evaluation of an undergraduate course in Engineering, from the perspective of its graduates, is one of the indicators of the quality of the course. These have a vision of the teaching process and ability

to verify the contribution in their personal and professional formation, making it possible to verify whether the proposed training goals are being well received by the globalized labor market. Therefore, should be rescued the concepts related to the educational evaluation and evaluation of higher education in Brazil, a practice developed through the National System for the Evaluation of Higher Education - SINAES, created by Law No. 10,861 of April 14, 2004. The results obtained provide support for criticism, reflection and dialogue on the pedagogical project of the offered courses, presenting both their differentials, which must be preserved and reinforced, as well as their fragilities that indicate the aspects that will support discussions that may lead course improvements, and should be considered as a strategic and operational control tool.

KEYWORDS: Course evaluation. Perception of egress Quality of engineering courses. Formation. Job market.

1 | INTRODUÇÃO

De acordo com SINAES (2004),

Os principais objetivos da avaliação envolvem melhorar o mérito e o valor das instituições, áreas, cursos e programas, nas dimensões de ensino, pesquisa, extensão, gestão e formação; melhorar a qualidade da educação superior e orientar a expansão da oferta, além de promover a responsabilidade social das IES, respeitando a identidade institucional e a autonomia de cada organização.

A avaliação é uma prática que possibilita a transparência das realizações institucionais, tanto para a comunidade acadêmica como para a sociedade, fornecendo subsídios para a análise de seus processos, possibilitando uma visão da problemática educacional implantada. Deve ser um processo sistemático e contínuo que tem por finalidade oferecer meios para o aprimoramento do currículo, apresentando, entre outros aspectos a associação entre avaliação e o processo de tomada de decisão (VIANNA, 2000).

Como os processos avaliativos são instrumentos de gestão universitária capazes de indicar os melhores caminhos e formas de melhorias para um ensino de qualidade, a avaliação pelos egressos é uma das formas de se verificar a opinião deste grupo que já está exercendo suas atividades profissionais, possibilitando uma visão das transformações que ocorre com o egresso devido à influência exercida pelo currículo cursado, no seu desempenho como critério de avaliação de curso (VASCONCELOS, 2012).

A Avaliação Institucional na UPM já está consolidada e vem sendo realizada desde 1990, e de forma sistematizada desde 2001, objetivando a promoção da melhoria do ensino-aprendizagem e da avaliação global da eficiência da Universidade que se efetiva pela análise dos resultados obtidos (CASTANHEIRA; MASSON; MIRANDA, 2006; MIRANDA et al, 2011).

O objetivo maior dos Cursos de Engenharia da UPM é proporcionar ao aluno uma excelente formação integral e, seus egressos, podem fornecer subsídios para avaliar o

alcance desse macro objetivo, sendo que o Projeto Didático Pedagógico (PPC), segundo Brito Cruz (2002), deve criar condições para capacitar seus egressos a criar e aplicar conhecimentos, promover a pesquisa cooperativa com empresas através do apoio em pesquisa e desenvolvimento (P&D), criar condições para a sustentabilidade em sua área específica, ser empreendedor e gestor. Muitos desses engenheiros deverão atuar no desenvolvimento de alta tecnologia em uma relação íntima entre a tecnologia e a ciência.

Assim, torna-se importante avaliar a percepção dos egressos para verificar se os objetivos estão sendo atingidos (VASCONCELOS; PEREIRA, 2015).

2 | AVALIAÇÃO REALIZADA PELOS EGRESSOS

A avaliação é um tema que requer um detalhamento especial, pela sua própria natureza e principalmente pela função especial que cumpre dentro do currículo, que se fundamenta no princípio de que a aprendizagem não é alcançada espontaneamente pelo tecnicismo, mas, requer um processo acumulativo de assimilação reflexiva, de modo que o educando, a partir da reflexão sobre suas experiências e percepções iniciais, observe, reelabore e sistematize seu conhecimento acerca do objeto em estudo (DAVINI, 2008).

Objetivando conhecer e acompanhar o percurso dos egressos, quanto ao mercado de trabalho, à satisfação atual com o curso realizado e à imagem da UPM, a Comissão Própria de Avaliação-CPA desenvolveu um instrumento de investigação para ser aplicado periodicamente.

A importância da pesquisa com os egressos tem ganhado relevância na medida em que se percebe que o desempenho desse grupo pode ser considerado como um dos indicadores da qualidade dos cursos oferecidos pela Escola de Engenharia (Civil, Elétrica, de Materiais, Mecânica e de Produção), bem como do seu compromisso social, pois um dos objetivos da Universidade é a preparação de seu aluno para o mundo do trabalho.

Como parte do instrumento, o egresso é convidado a manifestar-se sobre a contribuição da Universidade na sua formação profissional e no seu desenvolvimento cultural. A pesquisa anterior teve uma abrangência de um período de 10 anos (egressos desde 2005/2º semestre a 2015/1º semestre), e a pesquisa atual, realizada em 2017, teve uma abrangência de 5 anos, correspondendo aos egressos formados no período de 2012/1º semestre a 2016/2º semestre.

O método de pesquisa utilizado foi o *mail survey*, que se caracteriza pelo questionamento direto das pessoas cuja opinião ou comportamento se deseja conhecer. Neste caso os levantamentos são utilizados quando o pesquisador deseja responder acerca da distribuição de uma variável ou de maneira como ocorrem em as relações entre características de pessoas ou grupos, de forma como ocorrem em situações naturais, sendo esta a estratégia mais apropriada para a análise de fatos e descrições (MARTINS; THEOPHILO, 2009).

Além disso, este tipo de pesquisa facilita a obtenção de um maior número de respondentes (UMBACH, 2004). Neste caso, os respondentes são os egressos de cursos de graduação da Escola de Engenharia da UPM. Os resultados estão divulgados em escala de 0 a 1 (onde 1 é o patamar máximo de qualidade – aprovação máxima do indicador; e 0 é o patamar mínimo de qualidade – reprovação absoluta do indicador).

Os indicadores apresentados de 0 a 1 representam as porcentagens de repostas positivas, retratando uma indicação de qualidade e o nível de satisfação do egresso sobre o tipo de serviço prestado pela universidade e a percepção da sociedade sobre a Escola de Engenharia da UPM.

O questionário utilizado é composto de 14 questões fechadas e 1 questão aberta (sugestões), de acordo com a Tabela 1.

<i>Tipos</i>	<i>Número de Questões</i>
Sobre Profissão e Mercado de Trabalho	7
Sobre Profissão e o Mackenzie	3
Satisfação com o Mackenzie	4

Tabela 1 : Tipos de Questão

Considerando o instrumento, o objetivo desse momento avaliativo foi conhecer a opinião do egresso sobre a qualidade da preparação oferecida pela UPM para o enfrentamento dos desafios da sociedade em geral e do complexo mundo corporativo.

3 | RESULTADOS OBTIDOS

O processo avaliativo foi realizado em dois meses, abrangendo o envio do instrumento aos egressos e o fechamento da coleta dos dados. Dos 3273 alunos convidados a responder o instrumento, 658 responderam, ou seja, obteve-se uma adesão de 20,13%.

Para um intervalo de confiança de 95% da pesquisa, ou seja, se todos os indivíduos tivessem a mesma probabilidade de responder ao instrumento, a margem de erro estimada, para um índice de confiança de 95%, seria de 3,4%, mas neste caso deve-se levar em conta os erros estatísticos devido a dois fatores: não foram enviados e-mail para todos os formandos (somente para aqueles com os e-mails ativos), e nem todos responderam.

Comparando o número de participantes da pesquisa atual (20,13%) com a realizada anteriormente (20,67%) observou-se que o percentual de participantes foi praticamente igual (decréscimo de 0,54%).

O instrumento é composto por dois indicadores sensoriais que auxiliam na construção de uma base de dados para as análises que serão realizadas. A esses dois indicadores seguem três referentes ao ingresso no mundo do trabalho, dessa forma os cinco primeiros indicadores são de natureza objetiva e não abordam a percepção do

egresso. A partir do sexto indicador busca-se a opinião do egresso sobre a qualidade percebida sobre a formação recebida assim como o modo como a sociedade, em especial o mercado de trabalho, percebe a UPM. Os últimos indicadores referem-se a situação atual do egresso no mundo corporativo. Esses indicadores podem ser associados a um critério de empregabilidade do egresso.

As Tabelas 2 a 4 apresentam os resultados das respostas válidas sobre as informações gerais.

Sexo	Quantidade de respostas	Percentual (%)
Feminino	289	43,92
Masculino	368	55,93
Sem Resposta	1	0,15
Total	658	100

Tabela 2: Sexo do Egresso

Os resultados mostram que ainda o percentual feminino é menor que o masculino na área das engenharias.

Idade	Quantidade de respostas	Percentual (%)
≤25 anos	241	36,63
26 a 29 anos	282	42,86
30 a 40 anos	108	16,41
41 a 49anos	26	3,95
mais de 50 anos	0	0,00
Sem Resposta	1	0,15
Total	658	100

Tabela 3: Idade atual do Egresso

Comparando os resultados obtidos na pesquisa atual com a realizada anteriormente, observou-se que houve um aumento no percentual de egressos com faixa etária menor que 25 anos (aumento de 8,98%), bem como na faixa etária entre 26 a 29 anos (aumento de 3,80%).

Estado	Quantidade de respostas	Percentual (%)
SP	624	94,83
MG	16	2,43
BA	2	0,30
PB	1	0,15
PE	1	0,15

RJ	2	0,30
Exterior	11	1,67
Sem Resposta	1	0,15
Total	658	100

Tabela 4: Estado onde o Egresso reside atualmente.

Comparando os resultados obtidos na pesquisa atual com a realizada anteriormente, observou-se que houve um aumento no percentual de egressos com faixa etária menor que 25 anos (aumento de 8,98%), bem como na faixa etária entre 26 a 29 anos (aumento de 3,80%).

Predominantemente os alunos residem na região sudeste (em São Paulo a maioria) e apenas 1,67% (11 alunos) estão residindo no exterior. Comparando os resultados obtidos na pesquisa atual com a anterior, houve um aumento no percentual de egressos residindo no exterior (aumento de 83%), e um decréscimo de no percentual dos egressos que residem em São Paulo.

A Tabela 5 apresenta o tempo entre a formatura e o início da atividade profissional.

Tempo	Quantidade de respostas	Percentual (%)
Já estava exercendo atividade profissional antes da formatura	435	66,11
Menos de 1 ano	119	18,09
De 1 a 2 anos	67	10,18
De 2 a 3 anos	19	2,89
De 3 a 4 anos	9	1,37
Mais de 4 anos	5	0,76
Sem Resposta	4	0,61
Total	658	100

Tabela 5: Tempo entre a formatura e o início da atividade profissional.

Embora a variação do tempo entre a formatura e o início da atividade profissional tenha sido praticamente mantida nesta pesquisa, observou-se que houve um discreto aumento no tempo para o egresso ser absorvido pelo mercado de trabalho, quando se compara os resultados obtidos na pesquisa anterior.

A Tabela 6 apresenta o tipo de empresa em que o egresso trabalha.

Tipo de Empresa	Percentual (%)
Empresa privada	58,06
Profissional liberal ou autônomo	10,48
Proprietário de empresa ou firma individual	4,71
Outros	26,75
Total	100

Tabela 6: Natureza do emprego atual

Comparando os resultados obtidos na pesquisa atual com a realizada anteriormente, observou-se que houve um decréscimo no percentual dos egressos sendo absorvidos por empresas privadas (-2,21%) e que sejam proprietários de empresas ou firma individual (-1,44%), e um aumento em atividades como profissional liberal ou autônomo (+1,12%), o que aponta para um aumento da absorção do egresso em atividades profissionais empreendedoras.

A Tabela 7 apresenta a renda média mensal dos egressos.

Renda (R\$)	Quantidade de respostas	Percentual (%)
Até 5.000	227	34,50
De 5.001 até 7.000	293	44,53
De 7.001 até 9.000	58	8,81
Acima de 9.500	53	8,05
Sem Resposta	27	4,10
Total	658	100

Tabela 7: Renda Média Mensal (bruta) em reais.

Comparando os resultados obtidos na pesquisa atual com a realizada anteriormente, observa-se que houve um aumento do percentual de egressos com salários menores que R\$5000,00 (9,31%), embora na pesquisa anterior o universo da mesma tenha atingido egressos com maior tempo exercendo a atividade profissional.

3.1 Indicadores institucionais: avaliações dos anos de 2015 e 2017

A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos para o grau de satisfação do Egresso em relação à Instituição nas pesquisas realizadas nos anos de 2015 e 2017 (questões 4 a 13). O indicador varia de 0 (nota mínima) a 1 (nota máxima).

Perguntas	Avaliação 2015 (2ºS/2006- 1ºS/2015)	Avaliação 2017 (1ºS/2012- 2ºS/2017)	Variação
4. Qual o nível de satisfação com a sua profissão? (Alto)	0,58	0,56	-0,02
5. Você se sentiu preparado para o mundo do trabalho quando se formou? (Sim , muito)	0,73	0,74	+0,01
6. O conjunto de componentes curriculares contribuiu para o seu desempenho profissional? (Muito)	0,69	0,66	-0,03
7. O curso como um todo colaborou para o seu desenvolvimento cultural e social? (Sim , muito)	0,73	0,77	+0,04
8. Qual o conceito que você atribui aos professores do curso que você fez?	0,89	0,88	-0,01
9. Você mantém algum contato atual com a Universidade Presbiteriana Mackenzie? (Sim)	0,39	0,44	+0,05
10. Você escolheria a UPM novamente para realizar um curso de pós-graduação? (Sim)	0,78	0,82	+0,04
11. Como você avalia a imagem do Mackenzie ?	0,91	0,89	-0,02
12. Qual o seu nível de satisfação com a sua situação profissional atual no aspecto financeiro?	0,65	0,60	-0,05
13. Qual o seu nível de satisfação com a sua situação atual, no aspecto social?	0,81	0,77	-0,04
Média	0,72	0,71	-0,01

Tabela 8: Grau de satisfação do Egresso em relação à Instituição.

Embora a média dos indicadores seja maior que 70%, observa-se que há indicadores que exigem atenção.

Os indicadores que exigem maior atenção são aqueles correspondentes às **questões 4 e 9** que apresentaram índices de satisfação menor ou igual a 60%.

Comparando-se os indicadores institucionais obtidos no ano de 2016 em relação ao ano de 2015, observa-se que dos 10 indicadores avaliados houve um decréscimo em 7 indicadores.

Salienta-se que entre os indicadores que sofreram acréscimo foram: **questão 5** (Você se sentiu preparado para o mundo do trabalho quando se formou?), **questão 7** (O curso como um todo colaborou para o seu desenvolvimento cultural e social?), **questão 9** (Você mantém algum contato atual com a Universidade Presbiteriana Mackenzie?) e **questão 10** (Você escolheria o Mackenzie novamente para realizar um curso de pós-graduação?), com aumentos de 0,01; 0,04; 0,05 e 0,04%, respectivamente.

A queda média nos indicadores foi de -0,01.

A maior queda foi atribuída à **questão 12** (Qual o seu nível de satisfação com a sua situação profissional atual no aspecto financeiro?), cujo decréscimo foi de -0,05.

Em relação ao nível de satisfação profissional e à percepção quanto à formação obtida na universidade para o mundo do trabalho, os indicadores obtidos foram abaixo de

0,60, significando que grande parte dos egressos avaliou esse indicador como negativo, sendo que estes apresentaram uma queda em relação à avaliação anterior.

Os resultados continuam apontando que se deve dar uma atenção especial para uma efetiva preparação para o mundo do trabalho, sendo que este aspecto precisa ser fortemente considerado na revisão dos PPCs, bem como na modernização das novas matrizes curriculares, levando-se em conta as novas tendências e exigências profissionais atuais.

Os resultados obtidos mostram que 71% dos alunos avaliam de forma satisfatória a formação recebida, sendo que tanto o atendimento como as estruturas curriculares são consideradas fatores que atenderam às necessidades do aluno.

A satisfação do egresso com a Instituição, bem como a sua qualidade são atestadas pelos índices obtidos para a intenção de complementação da formação na UPM.

3.2 Índice de satisfação geral

Neste item são abordados dois parâmetros em que se agregam as questões em médias aritméticas para dois conjuntos de séries: satisfação geral com trabalho (questões: 4, 12 e 13) e satisfação geral com o Curso/UPM (questões: 5,6,7,8,10, 11). A Tabela 9 e o Gráfico da Figura 1 apresentam os resultados obtidos para os índices de satisfação geral por curso.

Curso	Satisfação geral com trabalho (questões: 4, 12 e 13)	Satisfação geral com o Curso/UPM (questões: 5,6,7,8,10, 11)
Eng. Civil	0,65	0,81
Eng. Elétrica	0,55	0,67
Eng. Materiais	0,69	0,88
Eng. Mecânica	0,63	0,83
Eng. Produção	0,68	0,75
Média	0,64	0,79

Tabela 9: Índices de satisfação geral.

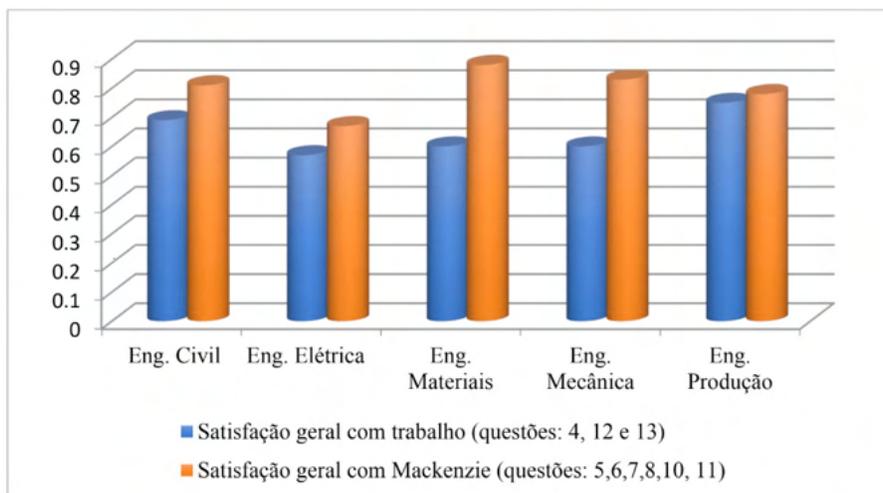


Figura 1 – Gráfico dos Índices de satisfação geral.

Por meio dos resultados pode-se observar que na Escola de Engenharia da UPM, o curso que apresenta o maior índice de satisfação com o trabalho é o Curso de Engenharia de Materiais (0,69) e o que apresenta o menor índice de satisfação é o Curso de Engenharia Elétrica (0,55).

Quanto ao índice de satisfação com o Mackenzie o curso que apresenta o maior índice de satisfação é o Curso de Engenharia de Materiais (0,88) e o que apresenta o menor índice de satisfação é o Curso de Engenharia Elétrica (0,67).

3.3 Grau de empregabilidade

A Tabela 10 e o Gráfico da Figura 2 apresentam os resultados obtidos para o grau de empregabilidade.

Curso	Sim, na área de formação	Sim, mas fora da área de formação	Não	Sem resposta
Engenharia Civil	52,22%	18,89%	27,78%	1,11%
Engenharia Elétrica	43,90%	21,95%	31,72%	2,44%
Engenharia de Materiais	44,74%	39,47%	15,79%	0
Engenharia Mecânica	48,84%	34,88%	16,28%	0
Engenharia de Produção	50,00%	41,91%	6,06%	2,03%
Média EE	49,95%	27,85%	21,27%	0,93%

Tabela 10: Grau de empregabilidade (exercício de alguma atividade profissional).

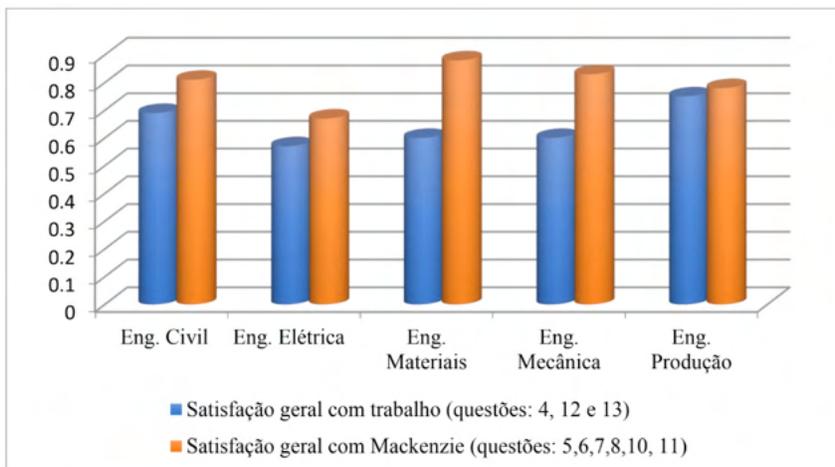


Figura 2 – Gráfico do Grau de empregabilidade (exercício de alguma atividade profissional).

Os resultados obtidos mostram que cerca de 50% dos alunos trabalham na área de sua formação e 77,80% se encontram empregados. O curso que apresenta o maior grau de empregabilidade é o curso de Engenharia de Produção (91,91%) e o com menor empregabilidade é o de Engenharia Elétrica (65,85%).

Os egressos dos cursos de engenharia são os que vem sofrendo maior impacto com a crise econômica pela qual o país vem passando, pois o mercado de trabalho para este profissional foi um dos mais afetados. Neste contexto, a ênfase que vem sendo implementada em toda a universidade para a educação empreendedora, torna-se um importante diferencial para a inserção do egresso da UPM no mercado de trabalho.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os processos avaliativos são fundamentais para a melhoria dos cursos de Engenharia, pois por meio das informações obtidas nesses levantamentos, os projetos pedagógicos são atualizados, incorporando as solicitações globalizadas exigidas pelo mercado de trabalho, com enfoque nas observações dos alunos e dentro do contexto institucional.

Pela importância socioeconômica da engenharia, o seu ensino deve ser coerente com as aspirações da sociedade onde se insere. Para isso, deverá atualizar-se constantemente criando condições para o pleno desenvolvimento técnico e humanístico de seus alunos, que devem estar preparados para enfrentar situações diversas, conscientes de suas expertises.

Desta forma a avaliação é a única forma de assegurar o acompanhamento do ensino e da aprendizagem, da gestão, da pesquisa e das atividades extracurriculares preservando assim a identidade institucional e sua capacidade de se adaptar às exigências do mercado sem perder de vista a formação integral do aluno.

As avaliações realizadas com os egressos da Escola de Engenharia da UPM, em 2017, utilizando a metodologia *mail survey* contemplaram um número significativo de alunos (cerca de 20%). O ideal seria pelo menos 40%, o que é extremamente difícil de se conseguir depois de algum tempo, pois os dados são dinâmicos.

Os resultados obtidos mostraram que a satisfação positiva do egresso com a Instituição, bem como a sua qualidade são atestadas pelos índices obtidos para a intenção de complementação da formação.

Os projetos didático-pedagógicos dos cursos de engenharia da UPM têm sido atualizados periodicamente considerando os resultados destas avaliações e de outros estudos e análises que envolvem dados levantados como o perfil do aluno que se deseja formar e com as ações necessárias para cumprir os objetivos, deixando explícito o perfil do profissional a ser formado.

Para atingir estes objetivos, dentre as ações implementadas, citam-se: reformulação e flexibilização curricular com revisão da estrutura acadêmica buscando o aumento da qualidade; mudança de horário de aulas, de forma a envolver mais o aluno como a implantação de atividades integradoras ao longo de todo o curso, incentivando o protagonismo estudantil, visando despertar maior interesse pela sua área escolhida; maior incentivo ao empreendedorismo, estímulo à inovação, bem como a participação em programas de iniciação científica, além da implantação de práticas pedagógicas modernas objetivando o decréscimo nas taxas de evasão.

Destaca-se também o incentivo à internacionalização, por meio dos convênios com Universidades Estrangeiras, que permitem aos alunos vivenciar novas realidades, novos métodos de ensino, proporcionando uma formação mais abrangente, além de propiciar a dupla titulação que possibilita o futuro exercício profissional fora do país.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Lei no 10.861, de 14 de abril de 2004. Institui Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior – SINAES.

BRITO CRUZ, C. H. B. *A Universidade, a Empresa, e a Pesquisa que o país precisa*. **Parcerias Estratégicas** v. 1 (8), p. 5-30, 2000.

CASTANHEIRA, A. M. P.; MASSON, T. J.; MIRANDA, L. F. . A avaliação institucional como parâmetro de qualidade de ensino na Escola de Engenharia. In: International conference on Engineering and Computer Education-ICECE'2007. **Anais**. Santos, 2007

DAVINI, M. C. **Métodos de enseñanza: didáctica general para maestros y profesores**. Santillana: Buenos Ayres, 2008

MARTINS, G. A.; THEOPHILO, C. R. **Metodologia da investigação científica para ciências sociais aplicadas**. São Paulo: Atlas, 2009.

MIRANDA, L. F.; MASSON, T. J. ; MUNHOZ JÚNIOR, A. H. ; FALDINI, S. B. . Curriculum e Avaliação Integrada na Engenharia de Materiais da Universidade Presbiteriana Mackenzie. In: XXXIX Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia - COBENGE 2011, **Anais** Blumenau, 2011.

UMBACH, P. D. Web Surveys: Best practices. **New Directions for Intitucional Research**. v.2004, n.121, 2004.

VASCONCELOS, N.V.C., PEREIRA, F.C.B., **Avaliação do Ensino Superior Sob a Ótica dos Egressos**. Editora Appris, 1a Edição, Curitiba-PR, 2015.

VASCONCELOS, N.V.C. **Egressos na Avaliação da Qualidade de um Curso: O Caso da Engenharia de Produção da UFRN**. Dissertação apresentada ao Programa de Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2012.

VIANNA, H. M. **Avaliação Institucional**. São Paulo: Ibrasa, 2000.

SOBRE OS ORGANIZADORES

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 da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Engenharia de Telecomunicações pela UFPR. MBA em Gestão pela FAE Business School, Mestre em engenharia elétrica pela UEL. Doutorando em Engenharia Espacial pelo INPE.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Acidente 96, 126

Acústica 1, 2, 3, 11, 18, 25

Agrominerais 73

Água 34, 35, 40, 48, 68, 91, 98, 99, 100, 101, 102, 154, 157, 158

Aplicativo 4, 5, 7, 20, 161, 162, 163, 164

Avaliação de curso 165, 166

B

Biogás 80, 81, 82, 83, 86

C

Caminhão fora de estrada 126, 128, 134

Caracterização geomecânica 44, 45, 46, 59, 69

Carvão 44, 45, 46, 48, 49, 50, 52, 53, 54, 55, 58, 59, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70

Ciclismo 161, 163, 164

Cintilador 137

Conforto ambiental 1

Controle 5, 6, 18, 25, 32, 37, 40, 96, 111, 112, 113, 114, 115, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 148, 149, 150, 165

Crescimento de cristal 137

D

Desacoplamento 111, 112, 114, 115, 119, 120, 121, 124

E

Educação 36, 88, 90, 97, 98, 111, 161, 165, 166, 175, 176, 177

Egresso 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 175, 176

Engenharia civil 45, 88, 89, 92, 94, 95, 96, 174

Engenharia de áudio 1

Ensaios de laboratório 44, 51, 66, 69

Estúdio 1, 28

G

Gerenciamento de fadiga 126, 128, 129, 134

I

Interligação 161, 162

M

Matriz ortogonal 148, 150, 152, 154, 160

Mercado de trabalho 160, 165, 167, 168, 169, 170, 175

Mineração 33, 38, 39, 40, 42, 43, 45, 46, 70, 73, 75, 79, 126

O

Otimização 35, 37, 40, 69, 112, 148, 151, 160

P

Pedreiras 73, 74, 79

Pó de rocha 73, 74, 75, 76

Produtividade 33, 34, 36, 38, 39, 40, 127, 148, 149, 150, 160

Q

Qualidade 11, 13, 21, 33, 34, 37, 41, 42, 46, 50, 51, 68, 69, 98, 99, 100, 112, 148, 150, 157, 160, 165, 166, 167, 168, 169, 173, 176, 177

R

Radiação de nêutrons 137

Radiação gama 104, 137

Reator 111, 112, 114, 115, 121, 124

Recursos hídricos 98, 99, 102

S

Sala de audição 1

Simulação 1, 3, 5, 7, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 20, 24, 31, 35, 40, 41, 111, 112, 114, 115, 116

Sonolência 39, 126, 127, 128, 129, 131, 134, 135

T

Taguchi 148, 149, 150, 151, 152, 160

Engenharias:

da genialidade à profissão e
seu desenvolvimento

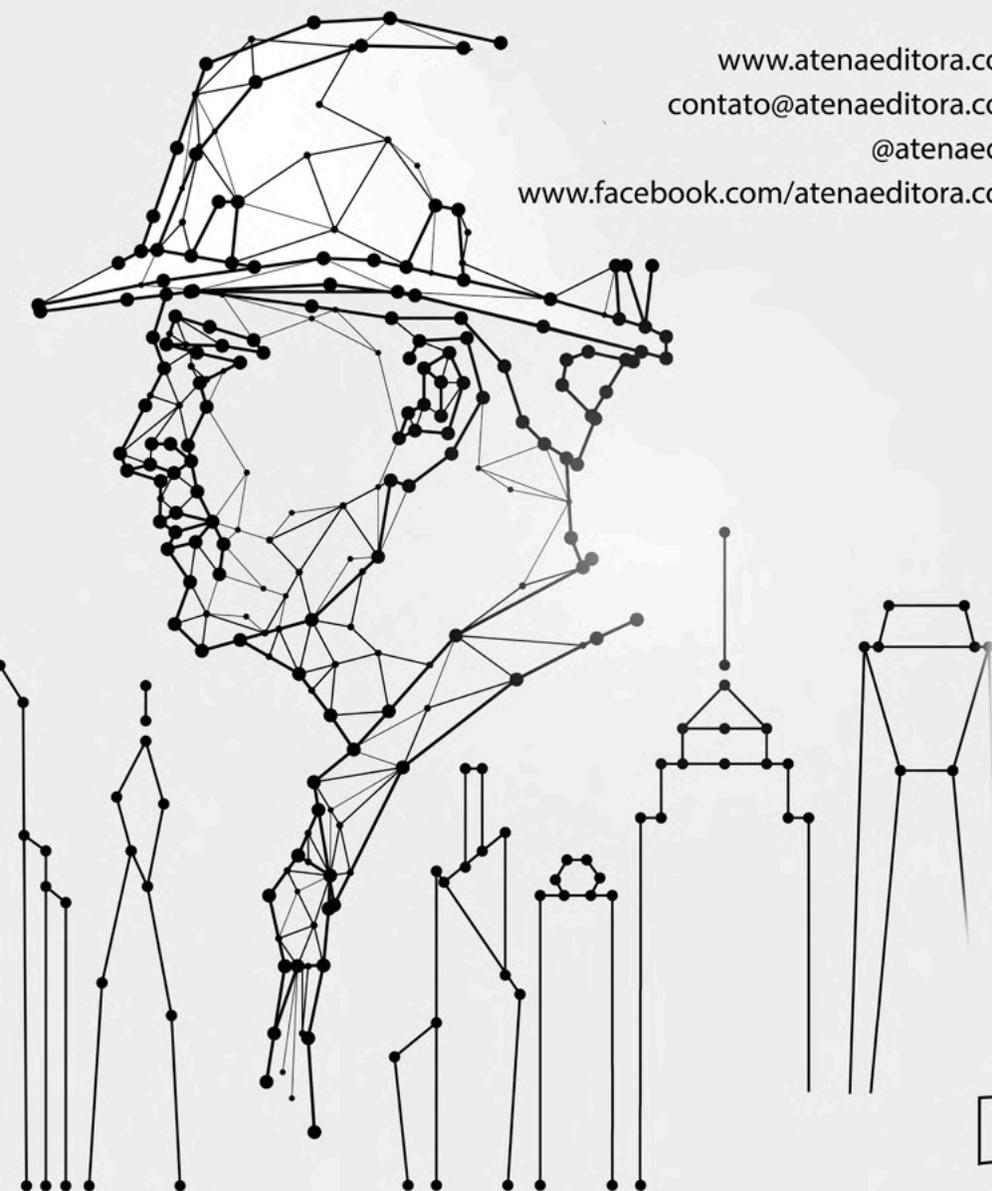
2

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 



Atena
Editora

Ano 2021

Engenharias:

da genialidade à profissão e
seu desenvolvimento

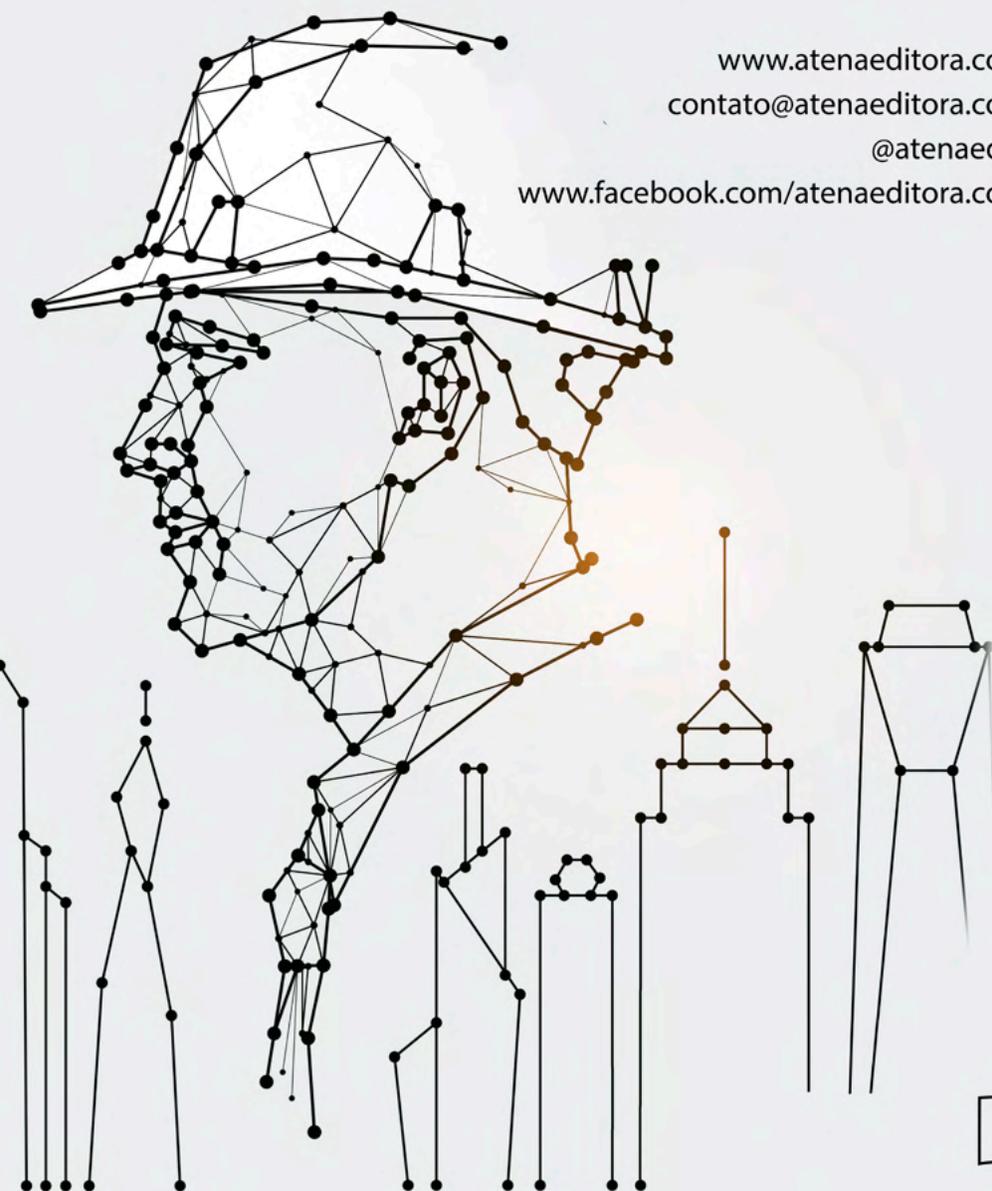
2

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 



Atena
Editora

Ano 2021