



As **engenharias** agregando conhecimento em setores emergentes de **pesquisa e desenvolvimento 2**

Henrique Ajuz Holzmann
(Organizador)

Atena
Editora
Ano 2022



As engenharias agregando conhecimento em setores emergentes de pesquisa e desenvolvimento 2

Henrique Ajuz Holzmann
(Organizador)

Atena
Editora
Ano 2022

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 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-Não-Derivativos 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 Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

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 Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
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
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
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



As engenharias agregando conhecimento em setores emergentes de pesquisa e desenvolvimento 2

Diagramação: Daphynny Pamplona
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Henrique Ajuz Holzmann

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 As engenharias agregando conhecimento em setores emergentes de pesquisa e desenvolvimento 2 / Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0141-4

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.414222104>

1. Engenharia. I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. 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



Atena
Editora
Ano 2022

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

Na sociedade atual, onde cada vez mais se necessita de informações rápidas e eficientes, o repasse de tecnologias é uma das formas mais eficazes de se obter novas tendências mundiais. Neste cenário destaca-se as engenharias, as quais são um dos principais pilares para o setor empresarial. Analisar os campos de atuação, bem como pontos de inserção e melhoria dessa área é de grande importância, buscando desenvolver novos métodos e ferramentas para melhoria contínua de processos.

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

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

MINIATURIZAÇÃO DE UM ARRANJO LOG-PERÍODICO QUASE-FRACTAL DE ANTENAS DE MICROFITA PARA APLICAÇÕES EM REDES DE COMUNICAÇÃO SEM FIO NA FAIXA DE 2,44 GHZ

Elder Eldervitch Carneiro de Oliveira

Pedro Carlos de Assis Júnior

Vinícius Nunes de Queiroz

Marcos Lucena Rodrigues

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4142221041>

CAPÍTULO 2..... 14

A NORMATIZAÇÃO COMO MEIO DE INCENTIVO A DISSEMINAÇÃO DAS MICRORREDES ATRAVÉS DE POLÍTICA DE IMPOSTO E TARIFAÇÃO

Kelda Aparecida Godói dos Santos

Pedro André Zago Nunes de Souza

André Nunes de Souza

Haroldo Luiz Moretti do Amaral

Fábio de Oliveira Carvalho

Pedro da Costa Junior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4142221042>

CAPÍTULO 3..... 27

ESTUDO DO CONSUMO RESIDENCIAL DE ÁGUA VIA IOT EM RESERVATÓRIO COM CONTROLE DE NÍVEL AUTOMATIZADO

Eduardo Manprin Silva

Luís Miguel Amâncio Ribeiro

Selton de Jesus Silva da Hora

César Augusto Domingues Loureiro

Rogério Luis Spagnolo da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4142221043>

CAPÍTULO 4..... 34

SISTEMA SUPERVISÓRIO E CONTROLE MIMO ATRAVÉS DE LÓGICA

Márcio Mendonça

Gilberto Mitsuo Suzuki Trancolin

Marta Rúbia Pereira dos Santos

Carlos Alberto Paschoalino

Marco Antônio Ferreira Finocchio

Francisco de Assis Scannavino Junior

José Augusto Fabri

Edson Hideki Koroishi

André Luís Shiguemoto

Celso Alves Corrêa

Kazuyochi Ota Junior

Odair Aquino Campos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4142221044>

CAPÍTULO 5..... 50

EMPILHADEIRA AUTOMÁTICA

Camila Baleiro Okado Tamashiro

Edison Hernandez Belon

Gabriel Pucharelli Molina

Filipe Cortez

Joao Victor de Elmos da Silva

Joao Vitor da Silva Santana

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4142221045>

CAPÍTULO 6..... 53

INTENSIVE RAINFALLS AND IONIZING RADIATION MEASUREMENTS IN FEBRUARY 2020 IN SÃO JOSÉ DOS CAMPOS BRAZIL REGION

Inacio Malmonge Martin

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4142221046>

CAPÍTULO 7..... 62

ANÁLISE DE FALHA DE QUEBRA DE MANCAL SNH517 EM FERRO FUNDIDO CINZENTO EN GJL-200 (EN 1561) EM REGIME DE TRABALHO

Cristofer Vila Nova Fontes

Marcelo Bergamini de Carvalho

João Mauricio Godoy

Sérgio Roberto Montoro

Amir Rivaroli Junior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4142221047>

CAPÍTULO 8..... 71

PULSE TRANSIT TIME DETECTS CHANGES IN BLOOD PRESSURE IN RESPONSE TO GALVANIC VESTIBULAR STIMULATION AND POSTURE

Adriana Pliego Carrillo

Rosario Vega

Daniel Enrique Fernández García

Claudia Ivette Ledesma Ramírez

Enrique Soto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4142221048>

CAPÍTULO 9..... 78

EVIDENCIA INICIAL DE LAS ACCIONES DE ADAPTACIÓN DE EMPRESAS COLOMBIANAS A LA PANDEMIA CAUSADA POR EL SARS-COV2

Lucas Adolfo Giraldo-Rios

Jenny Marcela Sanchez-Torres

Diana Marcela Cardona Román

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4142221049>

CAPÍTULO 10..... 85

AVALIAÇÃO DO CONFORTO HUMANO DE PISOS MISTOS (AÇO-CONCRETO) SUBMETIDOS A CARGAS DINÂMICAS RÍTMICAS

Elisângela Arêas Richter dos Santos
Karina Macedo Carvalho
Miguel Henrique de Oliveira Costa
José Guilherme Santos da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210410>

CAPÍTULO 11 100

PANORAMA DAS POLÍTICAS DE PARCERIAS PÚBLICO-PRIVADAS (PPP'S) EM AEROPORTOS BRASILEIROS

Débora Comin Dal Pozzo
Caroline Miola
Humberto Anselmo da Silva Fayal

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210411>

CAPÍTULO 12..... 112

ENCERRAMENTO DE ATIVIDADE INDUSTRIAL: DIRETRIZES PARA DESENVOLVIMENTO DE PLANOS DE DESATIVAÇÃO

Loiva Zukovski
Marlene Guevara dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210412>

CAPÍTULO 13..... 125

USO DE INDICADORES SOCIOAMBIENTAIS PARA ANÁLISE DOS IMPACTOS DO USO PÚBLICO NO PARQUE NACIONAL DO PAU BRASIL, PORTO SEGURO - BA

Bianca Rocha Martins
Michele Barros de Deus Chuquel da Silva
Gabriela Narezi
Valter Antonio Becegato

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210413>

CAPÍTULO 14..... 138

AVALIAÇÃO DE NÍVEL DE MATURIDADE DE CULTURA DE SEGURANÇA EM ORGANIZAÇÃO DO TERCEIRO SETOR

Rodrigo Ferreira de Azevedo
Gilson Brito Alves de Lima
Licínio Esmeraldo da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210414>

CAPÍTULO 15..... 152

THE EVOLUTION OF REGULATION OF THE AIR NAVIGATION ACTIVITY IN BRAZIL

Marcus Vinicius do Amaral Gurgel
Jefferson Luis Ferreira Martins

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210415>

CAPÍTULO 16..... 169

ESTUDO DE *BACKGROUND* GEOQUÍMICO ambiental em ÁREA DE INFLUÊNCIA DIRETA (aid) DA MINERAÇÃO

Flávio de Moraes Vasconcelos
Gabriel Melzer Aquino
Nathália Augusta Ferreira Sales Coutinho
João Santiago Reis

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210416>

CAPÍTULO 17..... 183

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE DRENAGEM ÁCIDA E LIXIVIAÇÃO DE METAIS EM PILHAS DE ESTÉRIL E BARRAGEM DE REJEITOS DE MINERAÇÃO

Nathália Augusta Ferreira Sales Coutinho
Flávio de Moraes Vasconcelos
Hairton Costa Ferreira
Marcos Rogério Palma
Denner Dias Ribeiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210417>

CAPÍTULO 18..... 197

ESTUDO DE TRATABILIDADE DA ÁGUA DA CAVA DA MINERAÇÃO RIACHO DOS MACHADOS PARA DESCARTE DO EFLUENTE

Flávio de Moraes Vasconcelos
Nathália Augusta Ferreira Sales Coutinho
Igo de Souza Tavares
Ernesto Machado Coelho Filho
Luiz Lourenço Fregadolli

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210418>

CAPÍTULO 19..... 204

MEDIÇÃO DE DESCARGA LÍQUIDA: MÉTODO DO MOLINETE NA BACIA DO RIO JI-PARANÁ (RONDÔNIA)

Renato Billia de Miranda
Frederico Fábio Mauad
Denise Parizotto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210419>

CAPÍTULO 20..... 218

APLICAÇÃO DE MATRIZ FILTRANTE DESFLUORETADORA, COMPOSTA POR SISTEMA CÉRIA/CARVÃO ATIVADO DE COCO (*Coccus nucifera* L.), EM ÁGUAS COMPLEXAS DO SEMIÁRIDO PARAIBANO

Carlos Christiano Lima dos Santos
Poliana Sousa Epaminondas Lima
João Jarllys Nóbrega de Souza
Tainá Souza Silva
Rodrigo Lira de Oliveira
Carlo Reillen Lima Martins

Ilauro de Souza Lima
Ana Sabrina Barbosa Machado
Maria Soraya Pereira Franco Adriano
Alexandre Almeida Júnior
Isabela Albuquerque Passos Farias
Fabio Correia Sampaio

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210420>

CAPÍTULO 21.....233

RESPONSIBLE MANAGEMENT OF XANTHATES TO ENSURE THE SUSTAINABILITY OF MINING INDUSTRIES IN LATIN AMERICA

Fredy Castillejo
Gloria Valdivia
María Atusparia

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210421>

CAPÍTULO 22.....251

COBERTURA DE PILHA DE ESTÉRIL EM CLIMAS SEMI-ÁRIDOS

Flávio de Moraes Vasconcelos
Nathália Augusta Ferreira Sales Coutinho
Michael Milczarek
Rodrigo Dhryell Santos
Luiz Lourenço Fregadolli

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210422>

CAPÍTULO 23.....258

SÍNTESE E QUEBRA DE EMULSÃO ÓLEO EM ÁGUA (O/A) VIA AQUECIMENTO E ADITIVAÇÃO COM NONILFENOL POLIETOXILADO

Heithor Syro Anacleto de Almeida
Geraldine Angélica Silva da Nóbrega
Diego Ângelo de Araújo Gomes
Rafael Stefano Costa Mallak,
Francisco Klebson Gomes dos Santos
Alyane Nataska Fontes Viana

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210423>

CAPÍTULO 24.....268

DESESTABILIZAÇÃO DE EMULSÃO (O/A) DO PETRÓLEO BRUTO UTILIZANDO ÁLCOOL LAURÍLICO ETOXILADO ALIADO A VARIAÇÃO DA TEMPERATURA

Rafael Stefano Costa Mallak
Heithor Syro Anacleto de Almeida,
Geraldine Angélica Silva da Nóbrega
Francisco Klebson Gomes dos Santos
Alyane Nataska Fontes Viana
Diego Angelo de Araujo Gomes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210424>

| | |
|--|------------|
| CAPÍTULO 25..... | 280 |
| ESTUDIO PARA EVITAR LA CONTAMINACIÓN POR MEDIO DELA COMBUSTIÓN DEL GAS METANOS IN REALIZAR UNA RECUPERACIÓN ENERGÉTICA Vilma Del Mar Amaya Gutiérrez  https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210425 | |
| SOBRE O ORGANIZADOR..... | 285 |
| ÍNDICE REMISSIVO..... | 286 |

CAPÍTULO 1

MINIATURIZAÇÃO DE UM ARRANJO LOG-PERÍODICO QUASE-FRACTAL DE ANTENAS DE MICROFITA PARA APLICAÇÕES EM REDES DE COMUNICAÇÃO SEM FIO NA FAIXA DE 2,44 GHz

Data de aceite: 01/02/2022

Elder Eldervitch Carneiro de Oliveira

Universidade Estadual da Paraíba
João Pessoa - PB

Pedro Carlos de Assis Júnior

Universidade Estadual da Paraíba
Patos – PB

Vinícius Nunes de Queiroz

Universidade Estadual da Paraíba
Patos – PB

Marcos Lucena Rodrigues

Universidade Estadual da Paraíba
Patos – PB

RESUMO: O grande avanço nas redes de telecomunicações e mais precisamente nas redes e comunicações móveis, a exemplo das redes 4,5G e 5G, tornam a busca por dispositivos compactos, com propriedades multi-frequência bem atrativas a essas aplicações. Por esses motivos as antenas, arranjos de antenas e os circuitos planares são excelentes dispositivos capazes de funcionar nessas aplicações, isso em virtude de suas características, tais como: baixo custo, baixo peso e capacidade de operar em altas frequências. Nesse contexto, este trabalho consiste no projeto numérico e experimental de um arranjo de antenas de microfita log-periódico quase-fractal fazendo uso da curva de Koch nível 2. O arranjo foi projetado para operar na faixa de frequência de 2,44 GHz, onde temos muitas aplicações, além de ser uma faixa livre

para testes pertencente a banda ISM (*Industrial Scientific and Medical*). O arranjo foi projetado por meio do *software Ansys Designer™*, onde foi possível conseguir um dispositivo menor, com uma redução de aproximadamente 41% quando comparado a um arranjo retangular convencional para a mesma faixa de frequência. Uma vez o dispositivo projetado, o mesmo passou por uma série de simulações com o intuito de investigar o comportamento em frequência desse dispositivo. Para isso, foi realizada medições dos parâmetros de espalhamento (parâmetros S) associados ao arranjo de antenas proposto. A estrutura apresentou boas características de radiação e baixas perdas de retorno, com os resultados concordando muito bem entre si.

PALAVRAS-CHAVE: Arranjo log-periódico quase-fractal, Curva de Koch, Comunicação sem fio.

ABSTRACT: The great advance in Telecommunications networks and more precisely in networks and mobile communications, such as 4.5G and 5G networks, make the search for compact devices with multi-frequency properties very attractive to these applications. For this reason, antennas, antenna arrays and planar circuits are excellent devices capable of working in these applications, due to their characteristics, such as: low cost, low weight and ability to operate at high frequencies. In this context, this work consists of the numerical and experimental design of a quasi-fractal log-periodic microstrip antenna array using the level 2 Koch curve. The array was designed to operate in the 2.44 GHz frequency range, where we have many

applications, in addition to being a free range for tests belonging to the ISM band (Industrial Scientific and Medical). The array was designed using Ansys Designer™ software, where it was possible to achieve a smaller array, with a reduction of approximately 41% when compared to a conventional rectangular array for the same frequency range. Once the device was designed, it went through a series of simulations in order to investigate the frequency behavior of this device. For this, measurements of the scattering parameters (S parameters) associated with the proposed antenna array were performed. The structure showed good radiation characteristics and low return losses, with the results agreeing very well with each other.

KEYWORDS: Quasi-fractal log-periodic array, Koch curve, Wireless communication.

1 | INTRODUÇÃO

Com a consolidação no setor de Telecomunicações e das tecnologias de quarta geração, mais conhecido como 4G, oferecendo serviços baseados em IP (Voz e Dados), com uma experiência de internet de banda larga rápida, sendo o foco principalmente nas mais diversas aplicações, com uma boa taxa de transmissão de dados e baixa latência, as pesquisas em comunicações móveis ganharam ainda mais relevância por parte da comunidade científica, na busca por dispositivos móveis, com conexão sem fio, eficientes e de preferência a um custo relativamente baixo para sua produção em larga escala. Daqui para frente, essa será uma linha de pesquisa muito estudada devido a sua importância para tecnologias emergentes, por exemplo a tecnologia de quinta geração (5G), já em pleno funcionamento em alguns lugares do mundo, mais que ainda no Brasil se encontra em fase de testes para uma futura implementação (ANATEL, 2022).

Essa tecnologia de quinta geração (5G), vai exigir ainda mais recursos dos dispositivos móveis de telecomunicação, isso em virtude da mesma proporcionar além da melhoria na velocidade, espera-se que a rede 5G gere um ecossistema massivo para a Internet das Coisas (IoT), no qual as redes móveis possam atender às necessidades de comunicação de bilhões de dispositivos conectados, com um equilíbrio justo entre velocidade, latência e custo.

Esse grande avanço tecnológico aliado as limitações de espaço cada vez mais perceptível nos equipamentos modernos, fazem das tecnologias de circuitos planares um importante recurso para projetos de dispositivos móveis para possíveis aplicações nas mais diversas áreas de interesse (OLIVEIRA, 2008). Tais dispositivos se apresentam como candidatos em potencial a aplicações em sistemas de comunicações sem fio, uma vez que a miniaturização desses dispositivos e o funcionamento em várias faixas de frequências são requisitos requeridos pelos aparelhos de comunicação modernos (MALEK, et al., 2019). Neste mercado competitivo, o surgimento de novas tecnologias sem fio resulta em demandas crescentes por antenas compactas/multibandas, que permitam, por exemplo, a união de diferentes tecnologias sem fio em dispositivos portáteis sem perda de desempenho.

Diversas técnicas de miniaturização dos dispositivos estão sendo estudadas e

aplicadas envolvendo estruturas planares, são elas: i) utilização de substratos dielétricos de alta permissividade elétrica (CHAUDHURI, et al. 2013), aumento do comprimento elétrico da antena por meio de otimização de sua geometria utilizando estruturas fractais (OLIVEIRA, 2008). Muitas são as aplicações que necessitam que o dispositivo opere em modo multi ressonante, por exemplo, o telefone celular modo *dual-band* é um bom exemplo de dispositivo sem fio multifrequência. Essa operação *dual-band* para o caso do GSM, envolve transmissão e recepção em 850 MHz e 1850 MHz. Antenas tradicionais são incapazes de conseguir esse tipo de comportamento.

O uso da geometria fractal no projeto de arranjo de antenas apresenta vantagens em termos de miniaturização e a capacidade de operar em múltiplas bandas de frequência de ressonância com características de radiação similares (BHATTACHARYYA, 2020). Em comunicações de longa distância, uma antena com baixa capacidade diretiva deixa de ser atrativa. Neste sentido, para contornar esse problema um arranjo de antenas proporciona um melhor desempenho, uma vez que, por meio da radiação de seus elementos agregados, permite radiar o máximo da energia em uma direção particular e muito pouca em outras direções (GARG, et al., 2001). Dessa forma, uma maior concentração de energia em uma determinada região apresenta uma melhor capacidade de irradiação por parte da antena, consequentemente apresenta uma maior diretividade e um maior ganho quando comparado a uma antena patch retangular convencional (BALANIS, 1997).

Neste contexto, a busca por dispositivos cada vez menores e sem perda de desempenho vem impulsionando as pesquisas na área de telecomunicações e do eletromagnetismo aplicado. A proposta deste artigo consiste no projeto de um arranjo de antenas log-periódico quase fractal operando na banda ISM (*Industrial Scientific and Medical*), mais precisamente na frequência de 2,44 GHz.

2 | GERAÇÃO DA CURVA FRACTAL DE KOCH NÍVEL 2

A geometria fractal surgiu através do pesquisador Benoit Mandelbrot na década de 70, baseado em observações de figuras exóticas totalmente inspiradas na natureza, onde Mandelbrot explicou que era possível obter novas figuras a partir de outras figuras complexas por meio da auto similaridade, dado a dimensão exata dessas estruturas (figuras) (MANDELBROT, 1983). A priori, a geometria fractal foi muito utilizada para modelar formas geométricas difíceis, até então não explicadas por meio da geometria Euclidiana, tais como: as formas das galáxias, a forma da folha do brócolis e das samambaias, além de figuras geométricas geradas por computador, etc.

A geometria fractal pode ser definida com uma figura que apresenta auto repetição, sendo gerada por meio de um processo recursivo em que uma fração é idêntica ao todo, diferindo apenas na escala (OLIVEIRA, 2008). Assim, de forma simplificada, um fractal pode ser definido como um objeto auto similar em diferentes graus de ampliação possuindo

simetria através de uma escala, em que cada parte é uma réplica similar a sua parte maior (MANDELBROT, 1983).

Dessa forma, os pesquisadores fizeram uso dessas características dos fractais para aplicações em dispositivos de alta frequência, como é o caso de antenas planares e arranjo de antenas planares (Puente, et al. 1998). As pesquisa nessas áreas apontaram que a propriedade de preenchimento do espaço por parte de um fractal é capaz de reduzir as dimensões dos dispositivos e que a propriedade de auto similaridade seria capaz de reproduzir um comportamento multi-ressonante para esses dispositivos, o que o torna muito interessante em diversas aplicações (OLIVEIRA, 2008). A curva fractal de Koch foi a utilizada no projeto do arranjo log-periódico de antenas proposto neste artigo, onde a mesma pode ser obtida de forma recursiva por meio de 4 (quatro) transformações afins (q_i), em que, as quatro transformações fazem a contração de $1/3$; q_2 faz uma rotação de $-\pi/2$ rad e uma translação de uma unidade para a direita; q_3 faz uma rotação de $\pi/2$ rad, uma translação de $3/2$ unidades para a direita; q_4 executa uma translação de 2 unidades para a direita (OLIVEIRA, 2008).

A transformação usada foi a seguinte: $q_i : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^2$, para a obtenção da curva de Koch através do método IFS (*Iterative Function System*) é dada na equação (1). A Figura 1 ilustra o processo de construção de uma curva fractal de Koch a partir dos lados de um quadrado (forma iniciadora).

$$q_i(x, y) = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} \cos(\theta_i) & -\text{sen}(\theta_i) \\ \text{sen}(\theta_i) & \cos(\theta_i) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e_i \\ f_i \end{pmatrix} \quad (1)$$

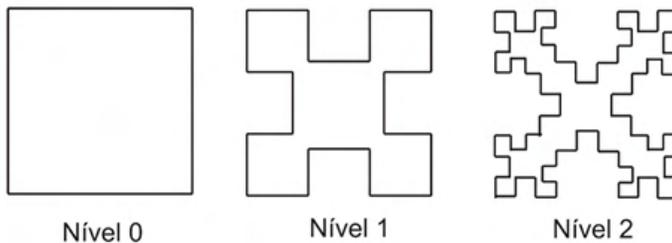


Figura 1 – Geração da curva fractal de Koch.

3 | METODOLOGIA EMPREGADA E ESTRUTURA DO ARRANJO DE ANTENAS FRACTAL LOG-PERIÓDICO PROPOSTO

A geometria fractal de Koch em nível 2 foi utilizada para projetar um arranjo log-periódico de antenas patch de microfita para a faixa de frequência das micro-ondas em 2,44 GHz. O arranjo projetado foi denominado de arranjo AKR2, consistindo de três elementos patches ressonantes quando excitados por um gerador de micro-ondas em sua porta de entrada por meio de um conector SMA de 50Ω . Para que o projeto do arranjo AKR2 fosse

possível, inicialmente a curva de Koch nível 2 foi adicionada às margens radiante e não radiante de um arranjo log-periódico nível 1 (AKR1) já projetado e conforme descrito em Costa et al. (2014) e mostrado na Figura 2.

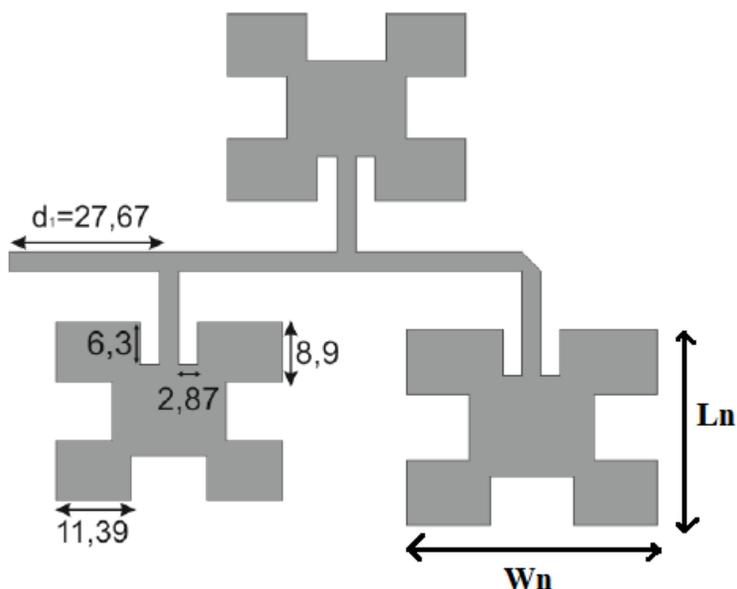


Figura 2 – Arranjo log-periódico nível 1 (AKR1).

Fonte: Costa et al., 2014.

Onde o comprimento do elemento patch é dado por W_n , a largura dos elementos patches é dado por L_n e o espaçamento entre eles é dado por d_n . As demais medidas crescem em uma escala logarítmica por um fator constante de 1,05 mm. Toda a estrutura foi construída em um material de baixo custo, neste caso utilizou-se a fibra de vidro (FR4), com uma espessura (h) de 1,5 mm e uma constante dielétrica (ϵ_r) de 4,4.

As dimensões iniciais do projeto do arranjo AKR2 foram obtidas por meio das equações do modelo da linha de transmissão (TLM) descrito em Balanis (1997). As dimensões obtidas por meio desse conjunto de equações serviram de ponto de partida para o projeto de um arranjo log-periódico nível 0 e posteriormente após a aplicação da curva Koch, foi possível obter o arranjo log-periódico de nível 2, conforme mostrado na Figura 3 seguinte. As dimensões iniciais obtidas foram: $d_n = 22,67$ mm; $W_n = 37,7$ mm e $L_n = 29,9$ mm. O comprimento de d_n que corresponde a linha de excitação foi considerado meio comprimento de onda guiado ($\lambda_g / 2$) na frequência de projeto desejada.

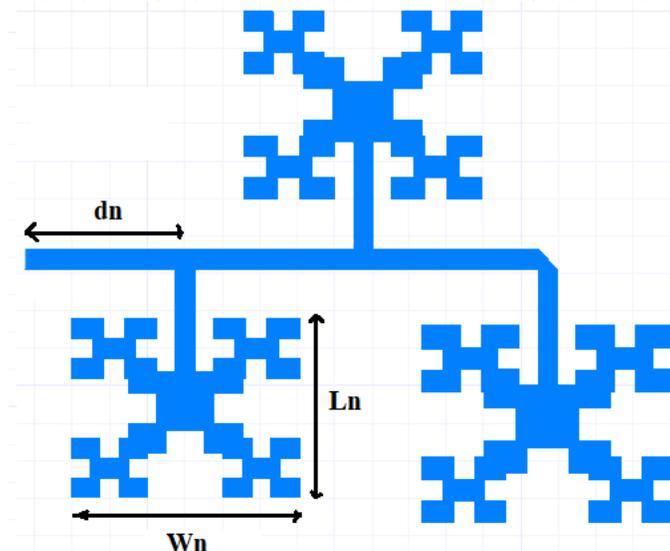


Figura 3 – Estrutura do Arranjo log-periódico nível 2 (AKR2).

A etapa seguinte ao projeto, consistiu em uma série de simulações utilizando um simulador de onda completa (*Ansys Designer*) para caracterização eletromagnética da estrutura proposta, onde suas dimensões foram otimizadas para um bom funcionamento do dispositivo na frequência de 2,44 GHz. As dimensões encontradas foram utilizadas no elemento 1 do arranjo, sendo as dimensões do elemento denominados de W_1 , L_1 e d_1 . As demais dimensões para os elementos 2 e 3 do arranjo log-periódico estão diretamente relacionados ao fator (R) em uma razão de escala logarítmica segundo a equação (2). Esse fator é determinado para a razão da estrutura do arranjo de antenas, pois trata-se de uma razão entre as frequências (F) de ressonâncias adjacentes.

$$R = \frac{F_1}{F_2}, \quad F_2 > F_1 \quad (2)$$

Esta propriedade do fator de escala R , indicará que o arranjo projetado apresentará as mesmas características de radiação em todas as frequências de ressonâncias que tem como base o fator R . Assim, em Balanis (1997) é apresentado as seguintes equações de projeto:

$$F_r = \frac{c}{2(L + \Delta L)\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (3)$$

Onde,

$$\Delta L = 0,412 \frac{\varepsilon_{eff}+0,3}{\varepsilon_{eff}+0,3} x \frac{W/h+0,264}{W/h+0,8} \quad (4)$$

$$\varepsilon_{eff} = \frac{\varepsilon_r+1}{2} + \frac{\varepsilon_r-1}{2} x \left(1 + 12 \frac{h}{W}\right)^{-1/2} \quad (5)$$

Onde, Fr é a frequência de ressonância, ΔL é o comprimento Frings e o εeff é a permissividade elétrica efetiva. Para a proposta do arranjo log-periódico de nível 2, o fator R foi considerado igual 1,05 mm, sendo um arranjo formado por três elementos adjacentes, em um arranjo de antenas log-periódica. Os demais elementos foram dimensionados apresentando por base as dimensões do elemento anterior. Conforme mostra a equação (6).

$$R = \frac{Ln+1}{Ln} + \frac{Wn+1}{Wn} + \frac{dn+1}{dn} \quad (6)$$

Utilizando a equações mencionadas, e partindo dos valores iniciais otimizados no simulador, foi possível obter as seguintes dimensões mostradas na Tabela 1 para o arranjo AKR2 log-periódico projetado.

| Elemento n | Dimensão dn | Dimensão Wn | Dimensão Ln |
|------------|-------------|-------------|-------------|
| 1 | 24,7 mm | 34,2 mm | 26,7 mm |
| 2 | 24,7 mm | 35,9 mm | 28,0 mm |
| 3 | 24,7 mm | 37,7 mm | 29,4 mm |

Tabela 1 - Dimensões do arranjo AKR2 log-periódico proposto.

Um protótipo de arranjo de antenas quase-fractal nível 2 foi construído (ver Figura 4) e teve seus parâmetros eletromagnéticos medidos em um analisador de rede vetorial (modelo ZVB14 *Rohde & Schwarz*).

Um fato observado no projeto do arranjo AKR2 é que devido ao uso da curva de Koch nível 2 (Figura 1) acabou por aumentar o comprimento elétrico do arranjo proposto, o que consequentemente segundo a relação $c = \lambda / F$, fez com que a frequência do dispositivo ressoe e um nível inferior ao desejado que é a frequência em 2,44 GHz, devido a isso se faz necessário um ajuste nas dimensões do arranjo AKR2 de modo a trazer a frequência fundamental para a faixa de 2,44 GHz, resultando assim em uma nova estrutura capaz de funcionar na frequência de projeto desejada.

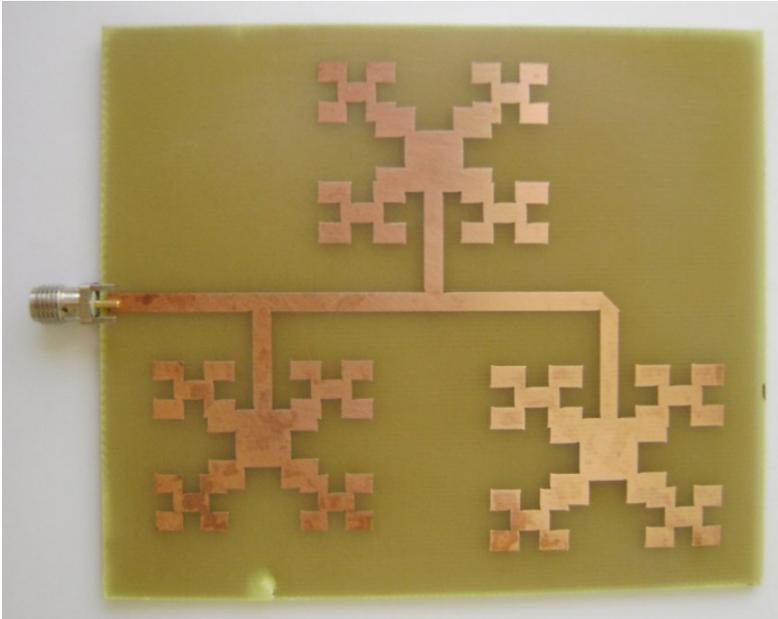


Figura 4 – Arranjo log-periódico AKR2 construído.

Isso é possível de se conseguir ao aplicarmos um fator de compressão (CF) as dimensões do arranjo AKR2 por meio do cálculo desse fator mostrado na equação (7) (OLIVEIRA, 2008).

$$CF = 100\% - ((Fr(\text{GHz})/2,44 (\text{GHz})) \times 100\%) \quad (7)$$

O uso do fator de compressão resultou em novas dimensões para o arranjo de antenas AKR2 proposto, acarretando dessa forma em um novo dispositivo com dimensões inferiores, o qual denominamos de arranjo log-periódico miniaturizado (AKR2 mini), onde o mesmo foi reprojetoado para ressoar na frequência de projeto desejada em 2,44 GHz. Esse arranjo miniaturizado apresentou uma redução em suas dimensões de aproximadamente 41% quando comparada as dimensões do arranjo AKR2 inicialmente projetado. As dimensões em milímetros do arranjo AKR2 mini são mostrados na Tabela 2.

A etapa final do procedimento metodológico empregado no projeto e construção do arranjo log-periódicos de antenas fractais consiste na etapa de medição de seus parâmetros eletromagnéticos (Parâmetros S) que foi realizado no analisador de rede vetorial na faixa de frequência entre 1 – 3 GHz. A faixa de frequência de 2,44 GHz se torna interessante por ser não licenciada e livre para teste em dispositivos de micro-ondas.

| Elemento n | Dimensão dn | Dimensão Wn | Dimensão Ln |
|------------|-------------|-------------|-------------|
| 1 | 13,5 mm | 20,1 mm | 15,7 mm |
| 2 | 14,1 mm | 21,1 mm | 16,5 mm |
| 3 | 14,88 mm | 22,4 mm | 17,5 mm |

Tabela 2 - Dimensões do arranjo AKR2 mini log-periódico proposto.

4 | RESULTADOS SIMULADOS E MEDIDOS PARA A ANTENA PROPOSTA

O primeiro resultado experimental do dispositivo proposto consiste na perda de retorno dado em função do seu coeficiente de reflexão (parâmetro S_{11}), que consiste na medida da relação entre as potências incidentes e refletidas no conector do arranjo de antenas, e sua fórmula matemática é dado pela equação (8) (BALANIS, 1997).

$$RL = -20\log |S_{11}| \quad (8)$$

O resultado da Figura 5 mostra uma comparação entre os resultados numéricos obtidos na simulação com o resultado medido no analisador de rede vetorial. Desse resultado podemos ver duas ressonâncias, a primeira em 1,41 GHz e o segundo harmônico em 1,51 GHz. Os resultados simulados e medido apresentaram uma boa concordância entre si, com baixas perdas de retorno (perdas de retorno abaixo de -16 dB), o que caracteriza um bom casamento de impedância para a estrutura analisada.

O resultado do coeficiente de reflexão para o arranjo AKR2 mini é mostrado na Figura 6. Similar ao resultado anterior para o arranjo AKR2, o arranjo log-periódico miniaturizado também apresentou duas frequências de ressonância, caracteriza-se assim como um dispositivo *dual band*.

Os resultados simulado e medido concordaram bem, onde o resultado medido na frequência fundamental apresentou uma ressonância de 2,48 GHz e uma perda de retorno abaixo de -30 dB. A largura de banda na primeira ressonância foi de 60 MHz, um pouco abaixo do valor desejado de 83,5 MHz, considerado ideal para aplicações em sistemas de comunicação *wireless*.

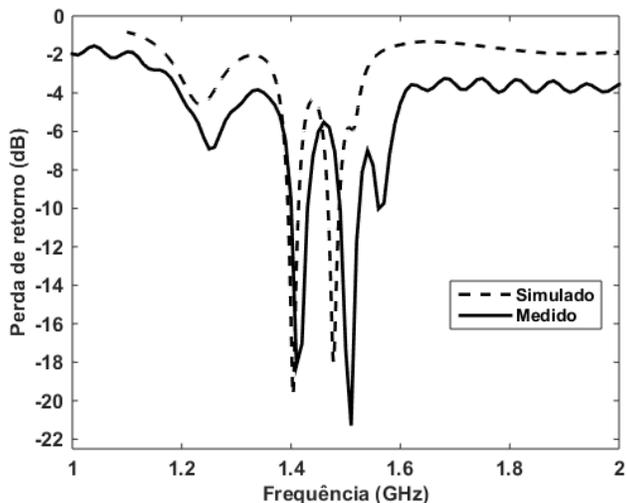


Figura 5 – Resultado de simulação e medição para o arranjo AKR2.

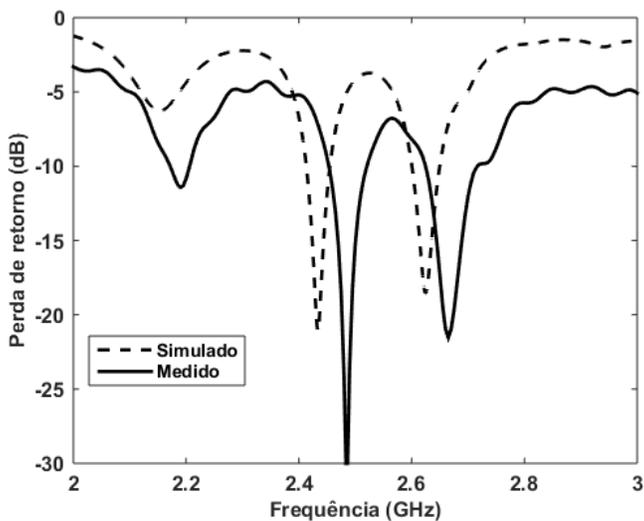


Figura 6 – Simulação e medição para o arranjo AKR2 mini proposto.

O coeficiente de onda estacionária (VSWR) é o parâmetro ideal para medir a energia devolvida ao gerador na forma de onda estacionária na linha de alimentação. Isso acontece na maioria dos casos devido a um descasamento de impedância na estrutura entre a linha de alimentação e o elemento patch irradiante. Esse parâmetro é dado pela razão entre os coeficientes de reflexão das ondas incidentes e refletidas, conforme a equação (9).

$$VSWR = \frac{1+|S_{11}|}{1-|S_{11}|} \quad (9)$$

A Figura 7 mostra a medição do parâmetro VSWR medido para o arranjo log-periódico quase-fractal AKR2 miniaturizado. O valor obtido na medição foi de 1,05 bem abaixo do valor de corte que corresponde a um VSWR de 2.

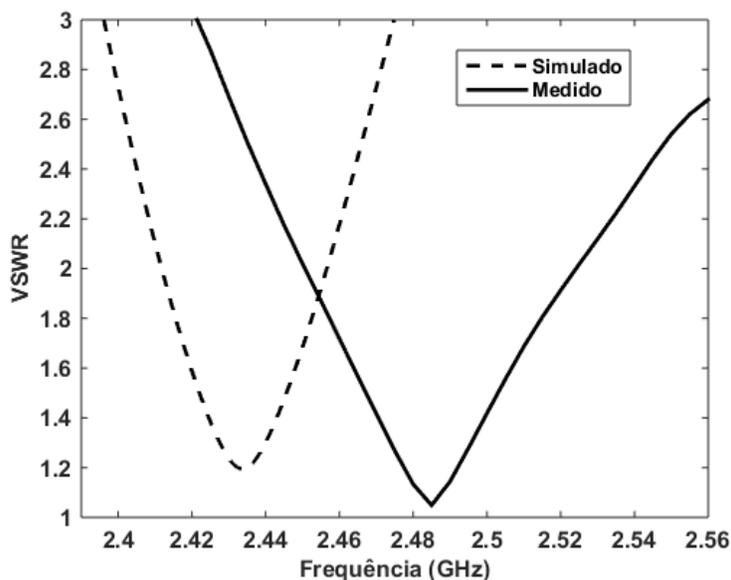


Figura 7 – Resultado medido e simulado de VSWR para o arranjo AKR2 mini.

O resultado da Figura 8 mostra os diagramas de irradiação 2D (plano H) e 3D para o arranjo de antenas log-periódica AKR2 mini. A priori, observamos um diagrama bem comportado, apresentando características direcionais na região de campo distante. O diagrama 2D nos mostra um feixe de radiação com largura de feixe de meia potência (HPBW) de $92,02^\circ$, por sua vez, o diagrama de radiação 3D mostra um ganho diretivo de 6,64 dB na direção *broadside* de campo distante.

Todos os resultados obtidos para o arranjo de antenas AKR2 mini se encontram resumidos na Tabela 2.

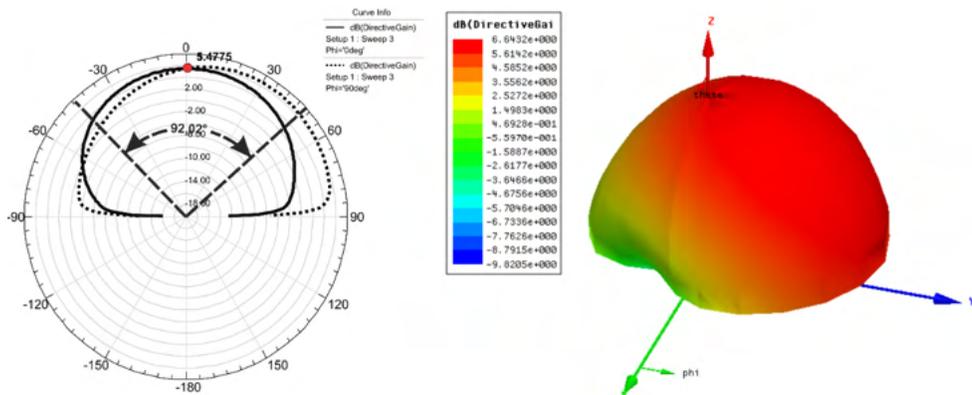


Figura 8 – Diagrama de irradiação 2D e 3D para o arranjo de antenas log periódico AKR2 mini.

| Resultados | Arranjo AKR2 mini | |
|-------------------------------------|-------------------|----------|
| | Simulado | Medido |
| Frequência de ressonância (F_r) | 2,48 GHz | 2,44 GHz |
| Perda de retorno (RL) | -30,0 dB | -21,0 dB |
| Largura de banda (BW) | 60 MHz | 40 MHz |
| Largura de banda percentual (BW%) | 1,64% | 2,42% |
| VSWR | 1,05 | 1,2 |
| Ganho | 6,64 dB | — |

Tabela 2 – Resultados simulados e medidos para o arranjo de antenas quase-fractal AKR2 mini proposto.

51 CONCLUSÃO

Foi proposto nesse trabalho um novo arranjo de antenas utilizando a geometria fractal de Koch de nível 2 em seu projeto. O arranjo foi projetado baseado na escala logarítmica para o espaçamento entre seus elementos irradiantes. A estrutura como um todo foi excitada pela técnica de linha de microfita e seus elementos patches foram desenhados utilizando a curva de nível 2 do fractal de Koch.

O arranjo AKR2 mini teve suas dimensões reduzidas em 41% aproximadamente, o que é de grande valia em projeto de antenas visando aplicações em dispositivos que exijam um baixo perfil. A estrutura AKR2 ressoou na frequência 2,48 GHz, próximo ao valor desejado de 2,44 GHz, apresentando uma largura de banda na frequência fundamental de 60 MHz. O erro estimado entre as frequências simulada e medida foi de 1,64% considerado tolerável e dentro das expectativas do projeto.

O arranjo log periódico AKR2 mini apresentou boas características de irradiação, a priori sem deformações em seu feixe irradiado com um comportamento diretivo, bem acima

da média das antenas patch retangular convencional que é de 2 a 3 dB de ganho.

Todos os resultados para os demais parâmetros de antenas (parâmetros S) foram simulados e medidos, apresentando ótima concordância entre seus pares de resultados, com baixas perdas de retorno, caracterizando assim um bom casamento de impedância para essa estrutura. A impedância medida para o arranjo AKR2 foi de 47,97 Ω , próximo aos 50 Ω que seria o caso ótimo, com máxima transmissão de energia para os elementos irradiantes.

REFERÊNCIAS

ANATEL. Agência Nacional de Telecomunicações. Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/5G/tecnologia-5g>. Acesso em: 23 de Jan. 2022.

OLIVEIRA, E. E. C. **Antenas de Microfita com Patch Quase-Fractal para Aplicações em Redes WPAN/WLAN**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

MALEK, N. A.; SABRI, N. A. C.; ISLAM, M. R.; MOHAMAD, S. Y.; ISA, F. N. M. **Design of Hybrid Koch-Minkowski Fractal Dipole Antenna for Dual Band Wireless Applications**, IEEE Asia-Pacific Conference on Applied Electromagnetics (APACE), 2019.

CHAUDHURI, S.; MISHRA, M.; KSHETRIMAYUM, R. S.; SONKAR, R. K. **Wideband Rectangular Dielectric Resonator Antenna Array for ISM Band Applications**. 2020 IEEE Region 10 Symposium (TENSYMP), 2020.

BHATTACHARYYA, A.; BANERJEE, A.; CHATTERJEE, S.; GUPTA, B. **Dual-Band Minkowski Fractal Patch Antenna With Polarization Diversity**. 2020 IEEE Calcutta Conference (CALCON), 2020.

GARG, R.; BHARTIA, P.; BAHL, I.; ITTIPIBOON, A. **Microstrip Antenna Design Handbook**, Boston, USA: Artech House, Inc., 2001.

BALANIS, C. A. **Antenna theory-analysis and design**, 2nd ed. USA: John Wiley & Sons, 1997.

MANDELBROT, Benoit. **The Fractal Geometry of Nature**, New York: W. H. Freeman, 1983.

PUENTE, C.; ROMEU, J.; POUS, R.; CARDAMA, A. **On the Behavior of the Sierpinski Multiband Fractal Antenna**, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 46, pp. 517-524, 1998.

COSTA, J. A. S.; VIEIRA, M. S.; OLIVEIRA, E. E. C.; ASSUNÇÃO, A. G. **Projeto e Análise de um Arranjo Log-periódico de Antenas Quase-fractais para a Banda 2,44 GHz (IEEE 802.11 b/g)**. 16º SBMO - Simpósio Brasileiro de Micro-ondas e Optoeletrônica e 11º CBMag - Congresso Brasileiro de Eletromagnetismo (MOMAG 2014), 2014.

Ansoft Designer (part of ANSYS Inc.) [Online]. Available: www.ansoft.com.

MORETTI, Isabella. "Regras da ABNT para TCC: conheça as principais normas". 2017. Disponível em: <https://viacarreira.com/regras-da-abnt-para-tcc-conheca-principais-normas>. Acesso em: 23/01/2022.

A NORMATIZAÇÃO COMO MEIO DE INCENTIVO A DISSEMINAÇÃO DAS MICRORREDES ATRAVÉS DE POLÍTICA DE IMPOSTO E TARIFAÇÃO

Data de aceite: 01/02/2022

Kelda Aparecida Godói dos Santos

Univ. Estadual Paulista
(UNESP)
Bauru-SP, Brasil

Pedro André Zago Nunes de Souza

Instituição Toledo de Ensino (ITE)
Bauru-SP, Brasil

André Nunes de Souza

Univ. Estadual Paulista
(UNESP)
Bauru-SP, Brasil

Haroldo Luiz Moretti do Amaral

Univ. Estadual Paulista
(UNESP)
Bauru-SP, Brasil

Fábio de Oliveira Carvalho

Univ. Estadual Paulista
(UNESP)
Bauru-SP, Brasil

Pedro da Costa Junior

Univ. Estadual Paulista
(UNESP)
Bauru-SP, Brasil

RESUMO: A adoção de novas tecnologias em escala depende da normatização em vigor. As microrredes são um exemplo de inovação que sofre fortemente esse impacto. Tal inovação aplicada a rede elétrica tem apresentado elevado potencial para sanar questões ligadas a geração

de energia e a qualidade dessa energia. Nesse contexto, o artigo aborda as características da matriz energética brasileira em relação a mundial, os possíveis impactos econômicos e ambientais, bem como as consequências da penetração do novo modelo em outros países, onde a técnica é mais difundida e finalmente, as considerações sobre o emprego da técnica no Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: Normatização, qualidade da energia, energias renováveis e microrredes.

1 | INTRODUÇÃO

A energia é um bem essencial à sociedade, sendo utilizado cotidianamente na preparação de alimentos, na iluminação pública entre outros; sua disponibilidade e custos afetam diretamente o desenvolvimento socioeconômico de um país. Pode-se constatar a sua necessidade quando ocorre uma interrupção no fornecimento, como no Amapá no início de novembro de 2020, quando a ausência de energia elétrica causou sérios problemas nos setores da saúde, da economia e desabastecimento.

Contudo, as interrupções de curta duração e as variações de tensão fora do padrão também podem causar grandes prejuízos, sobretudo aos processos industriais. O aumento substancial dos equipamentos eletrônicos impõe a necessidade de um fornecimento de energia mais preciso, condição que não era vista quando a infraestrutura da

rede foi concebida.

A modernização da rede não é trivial, embora seja necessária. Para que isso ocorra de maneira satisfatória, deve-se considerar o investimento em equipamentos e mão de obra, além da interrupção no fornecimento de energia para remover os equipamentos obsoletos.

Além da necessidade de modernização, existe a busca por incrementar a capacidade de geração de energia elétrica, buscando paralelamente reduzir o uso dos combustíveis fósseis e aumentar o uso de fontes renováveis, como os geradores fotovoltaicos e as usinas eólicas. Essas fontes podem ser instaladas ao longo do sistema de potência, constituindo assim a geração distribuída, com necessidades específicas de medição e monitoramento.

No Brasil, a normatização para a inserção de novas fontes renováveis e para a modernização do sistema de potência carece de aprimoramento que incentive a adoção dessas medidas.

O objetivo deste trabalho é apresentar o cenário onde as novas tecnologias estão em fase de implementação e como as normatizações que tratam dessa técnica pode contribuir para qualidade de energia através do incentivo as microrredes, dadas as condições observadas e os desafios tecnológicos, financeiros e ambientais ligados à temática.

2 | ENERGIAS RENOVÁVEIS

A. A matriz energética brasileira

A matriz energética brasileira tem característica bastante peculiar comparada ao resto do mundo, grande parte de sua energia elétrica vem de fontes renováveis correspondendo a 83% em 2019. Destaque ao setor hidrelétrico que corresponde à aproximadamente 65% de toda a geração elétrica. Comparado com os membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e do mundo, que apresentaram em 2017 valores respectivamente de 26% e de 22% de geração de energia elétrica a partir de renováveis, os níveis apresentados pelo Brasil são significativamente maiores [1].

A grande vantagem em relação aos demais países se dá por sua hidrografia que permite uma exploração acentuada da geração hidrelétrica. Entretanto, essa dependência também confere riscos associados aos ciclos hidrológicos, que podem alterar a capacidade de produção de energia devido aos níveis dos reservatórios. As mudanças climáticas têm interferido e os reservatórios, inúmeras vezes, são fontes de abastecimento de água para as populações também.

Para assegurar a continuidade do fornecimento várias usinas térmicas foram instaladas no país, mas é preciso ressaltar que esse tipo de geração tem vários pontos negativos, como a quantidade de gases de efeito estufa que libera na atmosfera além do baixo rendimento.

A última década foi marcada por avanços significativos no desenvolvimento e

expansão de tecnologias ligadas à geração solar e eólica, tidas como alternativas mais sustentáveis e limpas para a diversificação da matriz energética. A produção de energia a partir da radiação solar e da cinética dos ventos somam quase 10% da geração elétrica nacional, sendo 1% solar e 8,6% eólica e a tendência de crescimento permanece forte [1].

Os dois tipos de fontes renováveis mencionadas anteriormente, têm características de expansão distintas, enquanto a energia eólica está mais fortemente ligada às grandes plantas, a energia solar está bastante ligada aos projetos de pequeno porte.

As instalações feitas na modalidade de geração distribuídas ultrapassaram as 470 mil unidades e a fonte predominante é a radiação solar, a potência instalada supera os 5,5 GW, ou seja, a maior parte dessa porcentagem vem de instalações de pequeno porte conectadas diretamente à rede de distribuição [2].

B. Cenário mundial

Analisando essa mudança é possível observar uma tendência global, as Tabelas 1 e 2 ilustram os valores atuais da capacidade instalada e geração, apuradas em alguns países que tem investido fortemente em energias renováveis.

| Energia Solar | | |
|----------------------|-----------------------------|----------------------------|
| | Capacidade (MW) 2019 | Produção (GWh) 2018 |
| China | 205.493 | 178.071 |
| Estados Unidos | 62.298 | 85.184 |
| Alemanha | 49.018 | 45.784 |
| Japão | 61.840 | 62.668 |
| Itália | 20.906 | 22.666 |
| Reino Unido | 13.626 | 12.857 |
| Espanha | 11.065 | 12.744 |

Tabela 1- Capacidade de geração e produção solar. Adaptado [3].

| Energia Eólica | | |
|-----------------------|-----------------------------|----------------------------|
| | Capacidade (MW) 2019 | Produção (GWh) 2018 |
| China | 210.478 | 366.542 |
| Estados Unidos | 103.584 | 275.834 |
| Alemanha | 60.840 | 109.951 |
| Japão | 3.786 | 7.481 |
| Itália | 10.758 | 17.716 |
| Reino Unido | 23.975 | 56.904 |
| Espanha | 25.553 | 50.896 |

Tabela 2- Capacidade de geração e produção eólica. Adaptado [3].

Com a produção em escala industrial dos equipamentos necessários às tecnologias renováveis os investimentos se tornaram mais atrativos. Outra característica favorável à continuidade do desenvolvimento das formas de geração renovável solar e eólica está ligada aos incentivos à implantação dessas tecnologias que vêm sendo feitos através do *net metering* e de linhas de financiamento com menores taxas.

A sustentabilidade e independência do mercado externo também são fatores importantes que impulsionam as diversas nações a continuar construindo políticas de incentivo e integração dessas fontes, além de aproveitar os potenciais energéticos sustentáveis que ainda podem ser explorados [4].

Ademais os pontos apresentados, o Acordo de Paris também deve ser levado em conta como fator de incentivo para adoção de fontes energéticas renováveis. O acordo prevê um esforço de todas as nações em reduzir as emissões dos gases do efeito estufa de modo a não ultrapassar a marca dos 2° C de aumento de temperatura, comparados aos níveis pré-industriais, e manter tais níveis em no máximo 1,5° C até o ano de 2100 [5].

A geração de energia tem papel muito importante nesse cenário e através de medidas de transformação energética pode reduzir em até 75% as emissões de CO₂ [5]. No Brasil, mesmo com números favoráveis em relação às fontes renováveis, ainda há espaço para melhorar o aproveitamento dos recursos energéticos existentes no país e evitar a utilização de fontes que são mais custosas tanto economicamente quanto para o meio ambiente.

As medidas adotadas até o momento, de planejar e aplicar medidas, ainda estão aquém do necessário para evitar as consequências ambientais decorrentes da intensificação do efeito estufa [5].

3 | OS DESAFIOS DA NORMATIZAÇÃO

O sistema brasileiro de energia é atualmente bastante intrincado e complexo, com diversas empresas envolvidas tanto públicas como privadas e de capital misto. A ANEEL é responsável por definir as regras entre fornecedores e consumidores de energia elétrica.

Essas regras definem os aspectos de geração, transmissão e distribuição, definindo as características mínimas para o bom funcionamento das instalações que pertencem à rede elétrica.

No contexto da difusão das energias renováveis, a resolução normativa 482/2012 definiu um novo marco que mudou as relações existentes no sistema até então [6].

Esse conjunto de regras consentiu que a rede de distribuição também permitisse o fluxo de energia das unidades consumidoras para a mesma, de forma que o fluxo teria duas direções possíveis: o convencional, da distribuidora em direção ao consumidor, e do consumidor de volta à rede.

A modalidade de conexão de fontes nos níveis de baixa tensão ainda se encontra em fase de expansão e seus impactos ainda geram muitas dúvidas. A geração distribuída,

como é chamada essa modalidade de conexão, obedece a uma série de critérios para que possa coexistir com as tecnologias e infraestrutura já existentes.

O Procedimento de distribuição PRODIST é o dispositivo utilizado para reunir as normatizações e padronizações no país, em relação às condições técnicas e operacionais para os acessantes da rede elétrica na modalidade da geração distribuída e nas modalidades convencionais [7].

Contudo, as particularidades referentes à modalidade de geração distribuída, micro e minigeração está definida na resolução normativa 687/2015 que é a atualização da primeira normatização feita em 2012 [8].

As regras previstas na atualização permitem contribuir para maior clareza em pontos como: procedimentos para requerer a nova conexão, prazos para resposta das distribuidoras, trazendo maior segurança para os consumidores que optarem por aderir à prática.

O texto de 2015 permitiu que a utilização dos créditos, gerados pelo excedente de energia cedido à rede, fossem utilizados em prazo de tempo maior, flexibilizou as formas como os consumidores podem usufruir dos créditos e gerou mais possibilidades de negócios, acelerando a expansão do modelo.

A implantação desse modelo trouxe vários benefícios como o ganho de qualidade do produto, conferindo mais robustez à rede que passa a não depender somente das subestações e diminui as perdas ocasionadas pelas longas distâncias entre os centros consumidores e geradores [8].

As perdas na distribuição e na transmissão de energia foram responsáveis por pouco mais de um quarto do total das mesmas, contabilizadas pelo setor elétrico [1]. Tendo em vista a penetração crescente da tecnologia em território nacional foram observadas também algumas dificuldades que passaram a surgir com o crescimento das instalações feitas no país.

Uma das dificuldades encontradas com a maior inserção das fontes distribuídas na rede de baixa tensão está relacionada com as características dos níveis de tensão na rede. Como a geração é feita principalmente usando fontes solares, a variação da quantidade de energia injetada na rede durante o dia oscila assim como a carga e não existe controle desse fornecimento [4].

As fontes de energia não despacháveis, como a solar, apresentam a desvantagem de apresentar maior geração em períodos que não coincidem com o volume da demanda, visto que a diminuição e extinção da geração ocorre justamente durante o período de pico de consumo.

A integração de renováveis a rede de distribuição também traz questões ligadas a qualidade de energia que diferem de uma tecnologia para outra, as formas mais comuns de geração nesse nível de tensão são predominantemente solar e uma pequena parte em eólica, ambas apresentam impactos em relação aos harmônicos de tensão injetados na

rede, interrupções de fornecimento, cintilação [9].

A geração solar ainda causa impactos no desbalanço de tensão enquanto a eólica pode provocar afundamentos e picos de tensão além de transientes de tensão diretamente relacionados com a sua natureza de geração.

Apesar desses valores de máximos e mínimos para estas distorções estarem previstos no módulo 8 do PRODIST, o impacto na rede dessas variações pode prejudicar o bom funcionamento das cargas mais próximas, considerando-se que a taxa de penetração da tecnologia tende a aumentar e a características das cargas também tende a ser não linear [9].

Para conectar a geração à rede, usualmente são aplicados inversores que transformam a energia gerada, para tensão e corrente alternada. Esses equipamentos devem fornecer ao sistema uma onda senóide o mais próximo possível dos limites determinados pelo PRODIST [7].

Outro fenômeno pouco explorado pela legislação são os níveis dos supraharmônicos, frequências que variam entre 2kHz e 150kHz. Até então as frequências harmônicas mais observadas eram as ímpares de menor magnitude, mas frequências mais altas passaram a ser mais relevantes devido a correspondência com a frequência de chaveamento dos equipamentos de eletrônica de potência, amplamente usados para conectar as fontes renováveis na baixa tensão, e que também opera a taxas que iniciam em 2kHz [n].

A esses fenômenos soma-se a falta de sincronismo entre consumo e geração, que exige que o sistema tradicional passe a fornecer grande quantidade de energia em pouco tempo. No caso da matriz brasileira, a carga seria suprida por fontes térmicas que ficariam ociosas enquanto a geração distribuída ocorre, e torna o processo de geração mais caro ao manter a planta de geração térmica a disposição por causa das características da variação de carga durante o dia [4][10].

Analisando as exigências feitas pelo módulo 8 dos procedimentos de distribuição, que trata da qualidade da energia, é possível observar que existem vários níveis de tensão que podem ser aplicados na rede de distribuição e dependem de suas configurações estruturais.

Tal diversidade de padrões traz dificuldades adicionais para os diferentes tipos de inversores de frequência disponíveis no mercado, que devem atender a demanda do ponto de acoplamento com as especificações locais [7].

Os inversores de frequência são itens essenciais no contexto da geração distribuída uma vez que a energia é modulada nos padrões da rede através de equipamento e como é um elemento que usa eletrônica de potência a qualidade da energia também pode afetar seu funcionamento.

A. Ausência de normarização específica

O Brasil está em 53º lugar em um *ranking* de 125 países, que qualifica o desempenho energético considerando os quesitos de diversificação, segurança e sustentabilidade energética. Algumas medidas recentes de incentivo às fontes nucleares e desestímulo às energias renováveis claramente mostram que as políticas aplicadas estão em dissonância com as tendências mundiais [11].

A legislação também não tem acompanhado o desenvolvimento de tecnologias como as usinas híbridas, solar e hidrelétrica, o modelo foi testado em algumas represas em diferentes regiões do país. Os estudos realizados sobre esses exemplos mostram que o desenvolvimento desse tipo de geração poderia diminuir a necessidade de utilização de recursos como o carvão e poupar o lançamento de toneladas de CO₂ na atmosfera.

Além da questão ambiental, os estudos preliminares sugerem que aportes de dezenas de bilhões estão travados por falta de regulamentação a respeito e poderia trazer cerca de 19 GW para a matriz brasileira e gerar empregos. Ademais as questões já mencionadas anteriormente, o Brasil registou o pior nível nos reservatórios das hidrelétricas dos últimos 90 anos.

Outro ponto importante que carece de normatização são os medidores inteligentes, que podem trazer novas possibilidades para o controle da rede e auxiliar o processo de expansão do modelo de geração distribuída.

Existe uma necessidade crescente de identificação dos parâmetros de qualidade e demanda, conseqüentemente, uma massa de dados consideravelmente grande a ser tratada. Os medidores eletrônicos e mecânicos, os mais utilizados, não possuem capacidade de armazenar e transmitir dados [11].

Os medidores inteligentes são parte importante das redes inteligentes, que entre outras características, conectam e permitem a comunicação entre os diferentes *stakeholders* para melhorar as condições de operação da rede e dos serviços associados à energia elétrica [12].

A inserção de geração na rede de distribuição exige cada vez mais monitoramento e controle dos indicadores de qualidade da energia em tempo real devido às características de intermitência da fonte e da variação da demanda ao longo do dia.

A modificação de configuração da estrutura para um modelo inteligente pode permitir melhoria nos índices de aproveitamento da infraestrutura e melhorar os índices de qualidade [13].

Entretanto, não há no presente momento, normatização que atenda às necessidades do segmento. As tratativas a esse respeito ainda se encontram dentro dos grupos de trabalho aguardando posicionamento da ANEEL [11].

B. Proposições de mudança da legislação

Mesmo em meio à crise sanitária, que toma grande parte dos esforços da sociedade e dos legisladores, um projeto de lei está prestes a entrar em discussão e trata justamente da taxação sobre o uso da rede de distribuição pelos consumidores que também geram energia.

O projeto teve seu texto original modificado no início de 2021 de modo a oferecer maior segurança jurídica aos consumidores que já aderiram a esse modelo. Além disso, sem a cobrança gradativa do imposto há fortes indícios que toda a cadeia produtiva ligada ao setor, que tem em sua maioria a presença do modelo de geração fotovoltaica, seria afetada e haveria desaceleração nas instalações e conexões desse tipo.

A gradação do imposto vai ao encontro das soluções aplicadas em outros países como Portugal, por exemplo, e tem como apoio estudos que mostram que o investimento inicial para instalação de geração solar tende a diminuir com o tempo, assim apesar de haver a taxação, um menor investimento inicial não iria afetar tão fortemente a expansão desse modelo de geração, e corrigiria a distorção entre os encargos cobrados dos consumidores que geram e os consumidores que não geram energia [14].

Analisando os benefícios a qualidade de energia esse modelo permitiria um uso mais eficiente da infraestrutura de transmissão e distribuição já existente, melhora na confiabilidade e na diversificação da matriz de geração permitindo ao país um alinhamento com as práticas de descarbonização de geração de energia.

4 | DISSEMINAÇÃO DAS MICRORREDES

A resolução normativa 482/2012 foi o início da aplicação do modelo de geração distribuída no Brasil, e em 2015 essa resolução foi alterada para melhorar alguns pontos e tornar mais atraente a adoção desse modelo. O gráfico mostrado na Figura 1 apresenta o número de mini e microgeração acumulado no Brasil [2].

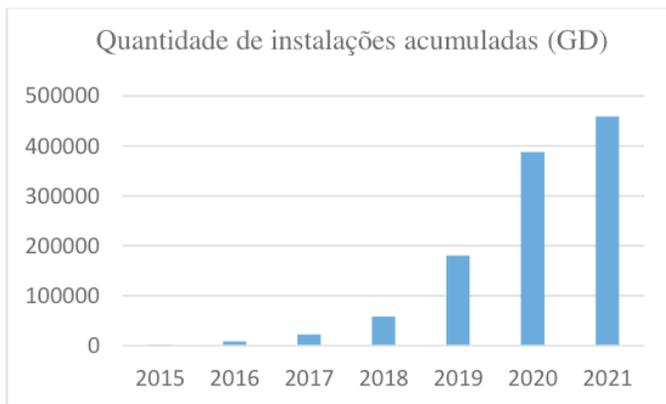


Figura 1- Quantidade anual de conexões acumuladas. Adaptado [2].

Analisando os dados fornecidos pela ANEEL é possível notar um grande salto entre os valores consolidados, houve um crescimento de cerca de 70% nas novas conexões no ano de 2020 em comparação com o anterior. Observando a quantidade de conexões realizadas nos 3 primeiros meses e considerando que o número de conexões venha a se manter no ritmo ao longo do ano, a quantidade de novas conexões deve superar novamente o volume de conexões feitas em 2020 [2].

Segundo dados da agência reguladora, o Brasil possui atualmente cerca de 80 milhões de unidades consumidoras (UCs). Existe por volta de 580 mil UCs que recebem compensação pelo modelo de geração distribuída aplicado no país, e aproximadamente 470 mil instalações, o que representa uma taxa de disseminação de 0,7% de geração nos níveis de distribuição. Em comparação com outros países, que também adotam essa tecnologia, existe bastante espaço para ampliação desse modelo. Alemanha e Espanha tem taxas de 5% e 6% respectivamente [2] [14].

A. Regulação nos Estados Unidos

Nos Estados Unidos a micro e minigeração tem características e legislações diferentes de estado para estado, tendo em vista as peculiaridades do seu arranjo normativo. Apesar disso muitas políticas relacionadas ao suprimento de energia elétrica têm características semelhantes. Alguns casos foram pontuados como exemplo.

A Califórnia, por sua vez, sofreu uma série de dificuldades de abastecimento devido as mudanças aplicadas à legislação do setor elétrico e uma conjuntura de aumento de demanda, dificuldades de compra de energia de outros estados, que culminaram em uma série de *blecautes*. Muitas empresas do setor de distribuição tiveram as finanças bastante afetadas pela instabilidade regulatória e abriram falência.

Os estados de Nova York, Nevada e Havaí, também passaram por processos de mudança na regulação do setor elétrico, mas ao contrário da Califórnia, as mudanças aplicadas não causaram efeitos tão impactantes no abastecimento dos consumidores. Cada um adotou medidas para aumentar a competitividade do setor levando em consideração suas características locais.

O Havaí talvez tenha as características mais particulares, visto que o conjunto de ilhas não está interligado eletricamente e esse fato traz uma série de desafios que diferem dos demais estados.

O ponto em comum em todas as mudanças normativas aplicadas aos exemplos citados é o incentivo a expansão das microrredes e das fontes renováveis, que podem ser feitas através de incentivos fiscais, financiamento de investimento na geração, tarifas diferenciadas para tecnologias de geração mais sustentáveis entre outros [4].

B. Incentivos na Alemanha

A Alemanha possui fortes incentivos a adoção da geração distribuída, os primeiros sistemas usando o modelo datam do início da década de 1990. A matriz energética era bastante dependente de fontes com forte impacto na produção de gases do efeito estufa e da geração nuclear. Somente o setor de geração de energia era responsável por 45% das emissões do país.

Assim, iniciou-se a adoção de políticas públicas para garantir que os pequenos geradores de energia tivessem suas produções adquiridas pelas empresas de fornecimento de energia a preços próximos ao custo final da tarifa praticada.

As políticas iniciais de *feed-in tariff*, que garantiam a compra da energia de pequenos produtores através de contratos e valores diferenciados, ainda não foram suficientes para gerar a expansão pretendida. Programas de subsídios de investimentos para fontes renováveis, principalmente solar, foram aplicados, permitindo até 70% do valor investido pago pelo governo [15].

Quando as metas desse programa foram atingidas, outros tipos de financiamento tomaram seu lugar para continuar a expansão, apoiados na diminuição dos custos da tecnologia solar e na adequação das tarifas para os demais consumidores [4].

Atualmente, o país passa por um processo ambicioso de descontinuidade da geração nuclear, o prazo para desconexão total é 2022. A demanda por energia segue praticamente estável nos últimos dez anos, assim a preocupação principal é aumentar a eficiência da rede e promover uma transformação energética para um sistema mais sustentável que seja seguro e acessível.

Um dos pontos explorados em estudos recentes é o uso de sistemas de armazenamento, para garantir o aproveitamento da energia, até mesmo sistemas de hidrelétricas invertidas foram contemplados. Tecnologias de geração mais flexíveis e

sistemas de armazenamento, permitiriam atender a um aumento da carga em um curto período, como no caso do horário de pico, momento de transição da elevação da demanda e da interrupção da geração solar, por exemplo [4].

C. Comparação com a normatização brasileira.

Muitas das políticas adotadas mundo a fora tem bastante semelhança com as políticas adotadas no Brasil. Existe um espelhamento das soluções já experimentadas em outros locais.

Pode-se observar que em comparação aos exemplos mencionados, as políticas nacionais surgiram com mais de uma década de diferença. Esse atraso prejudicou fortemente a expansão das tecnologias renováveis em território nacional e com isso o estudo das práticas das adequações necessárias às peculiaridades do sistema nacional.

As soluções observadas em outras partes do mundo podem servir como balizadoras, mas devem sobretudo atender às características climáticas e arranjos da rede já existentes.

As pessoas são parte essencial do projeto de desenvolvimento elétrico, não somente como consumidores, mas também como agentes de mudanças de políticas governamentais e econômicas.

Nesse contexto é possível citar o exemplo alemão, as usinas nucleares têm tido cada vez menos espaço na geração de energia no país europeu e mesmo antes do acidente na usina de Fukushima (Japão) em 2011, já existiam planos para gradualmente abandonar esse tipo de geração, todavia, a pressão popular foi importante para acelerar o projeto e mitigar os riscos de usar esse tipo de energia e gerir seus subprodutos [4].

5 | CONCLUSÃO

Como as microrredes ainda estão em processo de disseminação, as normas têm grande impacto sobre sua expansão para mais consumidores. Promover mudanças na legislação que retirem incentivos a técnica trará consequências desfavoráveis que interferem tanto na infraestrutura da rede como na preservação ambiental.

Diante deste quadro, para que esta inovação permita uma melhora na qualidade de energia e evite danos à estrutura já existente é importante que seja realizado um planejamento amplo, envolvendo a previsão de equipamentos e processos que permitam aproveitar de forma mais eficiente a energia gerada pelas fontes renováveis.

Vislumbra-se, neste momento a possibilidade da utilização de armazenadores de energia, por exemplo. Outro caminho seria melhorar o manejo da geração energia de forma descentralizada, a implementação em larga escala das redes inteligentes permitiria uma adequação da estrutura aos fluxos bidirecionais de energia e melhora nos indicadores de qualidade promovendo uso mais eficiente da rede. Essa aplicação também carece de critérios básicos para que seja implementada.

Aproximar o país do cumprimento das metas firmadas em acordos internacionais é essencial. Importante ressaltar que há um potencial muito grande para as renováveis e ainda existe espaço para explorá-lo apropriadamente e cabe a sociedade, como um todo: geradores, consumidores, responsáveis pelas políticas públicas e pesquisadores, contribuir para o aprimoramento das soluções e normatizações para que o sistema elétrico seja capaz de absorver futuras demandas, e ainda assim garantir produtos e serviços confiáveis e de qualidade com uma tarifa de energia elétrica justa aos consumidores.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia de Bauru e ao Laboratório de Sistemas de Potência e Técnicas Inteligentes (LSISPOTI) da Universidade Estadual Paulista (UNESP).

REFERÊNCIAS

- [1] EPE. Empresa de Pesquisa Energética, “Balanço Energético Nacional 2020: Ano base 2019/Empresa de Pesquisa Energética”, Rio de Janeiro, 2020.
- [2] ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. “Geração distribuída- Planilha de Dados SISGD”. Disponível em <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoizjM4NjM0OWYtN2lwZS00YjVlTlIIMjltN2E5Mz-BkN2ZlMzVklwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9> >Acessado em 25 de abril de 2021.
- [3] IRENA. Agência Internacional de Energia Renovável. “Renewable Energy Statistics 2020”. Disponível em < <https://www.irena.org/publications/2021/March/Renewable-Capacity-Statistics-2020> > Acessado em 21 de julho de 2020
- [4] N. J. Castro, G. Dantas, “Experiências Internacionais em Geração Distribuída: Motivações, Impactos e Ajustes”. Publit. Rio de Janeiro 2018.
- [5] IRENA. Transformando o sistema energético. Agência Internacional de Energia Renovável. 2019. Disponível em https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Transforming_2019_PT.pdf?la=en&hash=1C80BF4184770647989885F8ED872A0122D4D7AB > acessado em 12 de abril de 2021 > Acessado em 21 de junho de 2021
- [6] ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 482. Brasília, 2012. Disponível em < www.aneel.gov.br > Acessado em 10 de abril de 2021
- [7] PRODIST. “Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional da ANEEL”. Brasília, 2020. Disponível em < www.aneel.gov.br > Acessado em 10 de abril de 2021.
- [8] ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 687. Brasília, 2015. Disponível em < www.aneel.gov.br > Acessado em 21 de julho de 2021
- [9] Alkahtani, A. A. et al., “Power Quality in Microgrids Including Supraharmonics: Issues, Standards, and Mitigations,” in IEEE Access, vol. 8, pp. 127104-127122, 2020.
- [10] IEMA. Instituto Energia e Meio Ambiente, “Prioridades para a integração das fontes renováveis variáveis no sistema elétrico”. -Informe Técnico 04. Dezembro de 2016. Disponível em < <https://energiaemambiente.org.br> > Acessado em 20 de abril de 2021.

- [11] L. Piahyilino Filho, "Os revezes legais e o desafio de tornar o Brasil a matriz energética mais limpa do mundo". *Cenários Solar*.ed. Brasil Energia. 31 de março de 2021. Disponível em < <https://cenariosolar.editorabrasilenergia.com.br/os-revezes-legais-e-o-desafio-de-tornar-o-brasil-a-matriz-energetica-mais-limpa-do-mundo> > Acessado em 22 de abril de 2021.
- [12] J. Ekanayake et al, *Smart Grid: Technology and Applications*. Wiley. United Kingdom, 2012.
- [13] K. Sharma, K. Chauhan, "Smart Grid System: A Review". In: *2020 International Conference on Smart Technologies in Computing, Electrical and Electronics (ICSTCEE)*. [s.l.: s.n.], 2020, p. 614–618.
- [14] V. H. Silva, "Projeto de lei para energia solar no Brasil quer definir subsídio até 2047". *Tecnoblog*. 18 de março de 2021. Disponível em < <https://tecnoblog.net/422401/projeto-de-lei-para-energia-solar-no-brasil-quer-definir-subsidio-ate-2047> > acessado em 12 de abril de 2021
- [15] M.D.P Coelho, J.T. Saraiva, "Modelling the Growth of DG Market and the Impact of Incentives on its Deployment: Comparing Fixed Adoption and System Dynamics Methods in Brazil". In: *2019 IEEE Milan PowerTech* [s.l.:s.n.] 2019, p1-6.

ESTUDO DO CONSUMO RESIDENCIAL DE ÁGUA VIA IOT EM RESERVATÓRIO COM CONTROLE DE NÍVEL AUTOMATIZADO

Data de aceite: 01/02/2022

Data da submissão: 15/03/2022

Eduardo Manprin Silva

Departamento de Engenharia, Faculdades Metropolitanas Unidas – FMU

Luis Miguel Amancio Ribeiro

Departamento de Engenharia, Faculdades Metropolitanas Unidas – FMU

Selton de Jesus Silva da Hora

Departamento de Engenharia, Faculdades Metropolitanas Unidas – FMU

César Augusto Domingues Loureiro

Departamento de Engenharia, Faculdades Metropolitanas Unidas – FMU Professor nos cursos de Engenharia Elétrica e de Controle e Automação
Bela Vista, São Paulo, SP

Rogério Luis Spagnolo da Silva

Departamento de Engenharia, Faculdades Metropolitanas Unidas – FMU Professor nos cursos de Engenharia Elétrica e de Controle e Automação
Bela Vista, São Paulo, SP

RESUMO: No projeto apresentado foi desenvolvido um protótipo de um reservatório com controle de nível automatizado integrado à IoT, com o intuito de estudar o consumo de água em aplicações residenciais para estabelecer um planejamento de consumo. A interface de supervisão é responsável por apresentar

os dados do processo. O protótipo tem suas ações coordenadas por um microcontrolador ESP32 que recebe leitura de sensores – de distância ultrassônico (HC-SR04), boia horizontal (genérico), de fluxo de água (YF-S201) - e envia comandos para o atuador (bomba – RS385 2L/min), otimizando o sistema. O tema apresenta como resultado o levantamento do consumo nesta aplicação a partir da vazão quando o nível do reservatório mantém-se controlado.

PALAVRAS-CHAVE: Consumo de água, residencial, IoT, controle de nível.

STUDY OF RESIDENTIAL WATER CONSUMPTION VIA IOT IN RESERVOIR WITH AUTOMATED LEVEL CONTROL

ABSTRACT: In the presented project, a prototype of a reservoir with automated level control integrated to the IoT was developed, to study water consumption in residential applications to establish a consumption plan. The supervision interface is responsible for presenting the process data. The prototype's actions are coordinated by an ESP32 microcontroller that receives sensor readings – ultrasonic distance (HC-SR04), horizontal float (generic), water flow (YF-S201) – and sends commands to actuator (pump – RS385 2L/min), optimizing the system. The theme presents as a result the survey of consumption in this application from the flow when the reservoir level remains controlled.

KEYWORDS: Water consumption, residential, IoT, level control.

1 | INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

Este projeto tem como intuito contribuir com a aderência e mudança de cultura (mindset) ao planejamento de consumo de água em aplicações residenciais através do compartilhamento de dados em nuvem, ilustrando o consumo racional dos recursos hídricos.

1.2 Objetivo

Desenvolvimento de um protótipo de um reservatório com controle de nível automatizado integrado à IoT, com o intuito de estudar o consumo de água em aplicações residenciais para estabelecer um planejamento de consumo alinhado à recomendação da Organização das Nações Unidas (ONU) de 110 litros de água diários.

1.3 Justificativa

Segundo o Centro Regional da Informação das Nações Unidas (UNRIC, 2021): “A escassez deste bem universal tende a aumentar até 2050 devido à procura do setor industrial e doméstico das economias emergentes e devido ao aumento da população mundial”.

Observando essa explanação, a iniciativa de criar um projeto que pudesse oportunizar um controle de utilização da água de uma residência, torna-se uma importante ação para se buscar economia no consumo de água.

2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Desperdício de água

A água é um recurso natural de extrema importância para a sobrevivência dos seres humanos e de outras vidas, como plantas, vegetações e animais. Portanto, deve-se utilizá-la de maneira adequada de modo a evitar escassez, tendo em vista que a quantidade de água doce é pequena em comparação com a água salgada.

Segundo o Conselho Federal de Administração (CFA, 2020), no Rio de Janeiro o consumo de água por habitante é de 254 litros por dia, sendo que a recomendação da ONU de utilização de água diária para atender as necessidades é de 110 litros por dia, além disso, a média de consumo per capita de água no Brasil é de 154 litros por dia, ficando acima da recomendação.

Outros problemas que podem acarretar desperdícios de água são vazamentos nas redes, fraudes, erros de leitura dos hidrômetros, além de outros reveses, que podem propiciar uma perda de 40 litros de água dos 100 litros tratados para consumo, gerando prejuízos econômicos de grande escala (VELASCO, 2020).

Segundo a Companhia de saneamento básico do Estado de São Paulo (SABESP, 2017), mais de 25.000 casos de furto de água foram flagrados nas regiões metropolitanas de São Paulo e Bragantina no ano de 2016, totalizando um desvio de quase 3,8 bilhões de litros de água.

Um dos tópicos de estudo para ajudar no problema de desperdício de água, é o monitoramento adequado deste consumo e a facilidade de acesso a esses dados, pois a falta de informação atrapalha na solução da adversidade, pelo fato de não saber com exatidão a origem do problema, se é o alto consumo, vazamentos, extensões clandestinas entre outras complicações.

De acordo com a *Wast Management World* (2021) uma empresa de resíduos têxteis conhecida como “*Ekocharita*”, conseguiu reduzir os custos de coletas em 20%, utilizando softwares de monitoramento e sensores específicos para o serviço, permitindo coletas perfeitas. Observando esses estudos, a utilização de um monitoramento inteligente pode ser viável também em outras áreas de atuação.

2.2 Internet das coisas (IoT)

De acordo com LEITE *et al* (2017) “O conceito de Internet das Coisas (IoT, do inglês *Interne of Things*) foi introduzido por Kelvin Ashton em 1999 como resultado de sua pesquisa para utilizar etiquetas eletrônicas RFID na cadeia de produção. ”. Graças à revolução que a “Indústria 4.0” causou, pode-se dizer que o termo *IoT* é a abrangência de tudo que pode se conectar à internet, ou seja, é a interação entre os dispositivos conectados à rede internet através do compartilhamento de dados.

3 | PROBLEMA

A ausência de um serviço em plataforma de tempo real conectada à internet que permita monitorar o consumo de água residencial representada por gráficos, paretos e valores absolutos dificulta na identificação de possíveis vazamentos ou desperdícios nas residências. O diagnóstico tardio contribui negativamente em ações preventivas, de manutenção e em efetividade nos resultados de campanhas de conscientização sobre o tema.

4 | METODOLOGIA

O experimento foi realizado por meio de um protótipo de um reservatório com controle de nível automatizado por um controlador WeMos D1R2, baseado no microcontrolador ESP32.

O nível do reservatório é controlado através controlador a partir da leitura do sensor ultrassônico modelo HC-SR04 e da transferência de água através de uma bomba de água

modelo RS385 2L/min de outro reservatório denominado “cisterna”.

Para assegurar o bombeamento de água da “cisterna” para o reservatório que terá seu nível controlado, utilizou-se na “cisterna” um sensor de nível genérico denominado Bóia Horizontal com a finalidade de garantir um nível de água mínimo para operação da bomba, evitando danificar seu funcionamento.

A obtenção da leitura do consumo é obtida pelo controlador através de um sensor de fluxo de água, modelo YF-S201, com capacidade de medição de 1 a 30 litros por minuto.

5 | PROCESSO DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

A estruturação para desenvolvimento do sistema de controle de nível do reservatório do sistema e para a obtenção da leitura do consumo de água são ilustrados pela **Figura 1**:

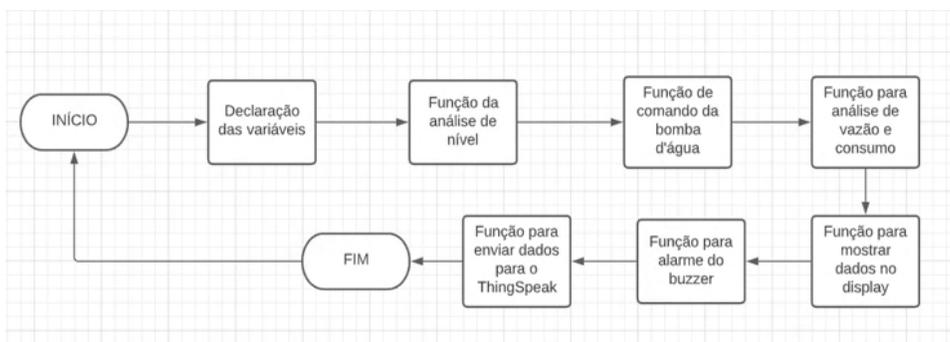


Figura 1 – Fluxograma principal do projeto.

Fonte: Próprio Autor, 2021.

Para conectar o sistema à nuvem (*ThingSpeak®*) para monitoramento em tempo real pela internet, destaca-se a função de envio de dados na **Figura 2**:

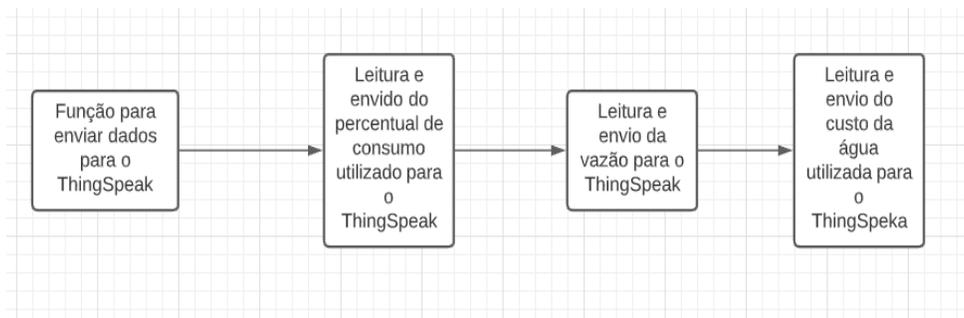


Figura 2 – Função de envio de dados para a nuvem.

Fonte: Próprio Autor, 2021.

6 | DIAGRAMA DE LIGAÇÕES DO SISTEMA

A **Figura 3** ilustra o diagrama de ligações do sistema:

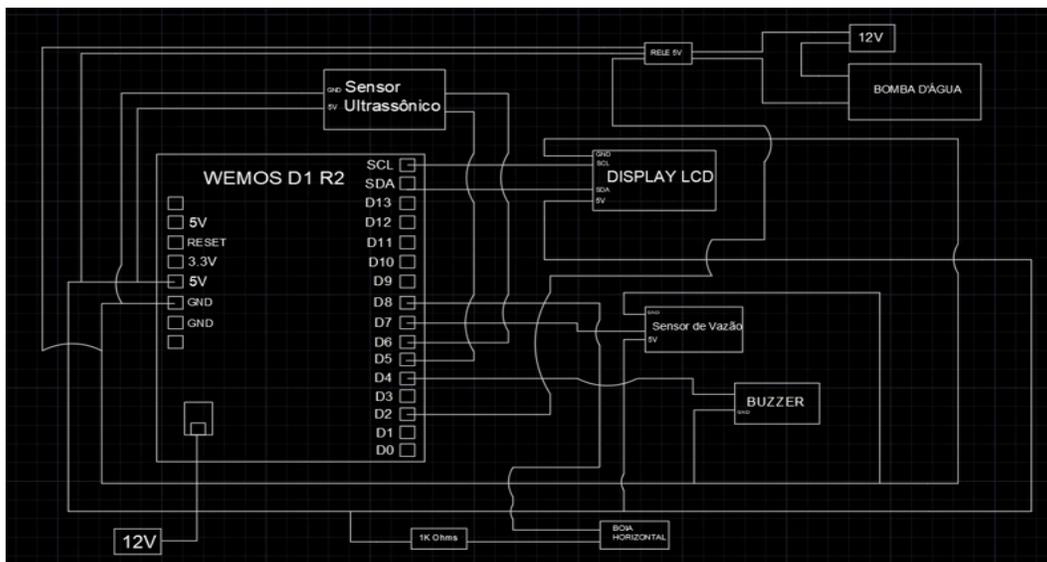


Figura 3 – Diagrama de ligações do sistema.

Fonte: Próprio Autor, 2021.

7 | RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na programação do microcontrolador, além do controle de nível e de bombeamento, foram adicionados o cálculo de vazão e de custo expresso em Reais (\$BRL) referente ao valor de consumo de água.

Segundo a SABESP (2021), o valor de tarifa para consumo classificado como “residencial/normal”, ou seja, de até até 10m³ é fixo de \$29 BRL que somando à tarifação de esgoto atinge \$58BRL. Considerando o exposto, os resultados obtidos e apresentados na Figura 4 expressam o cálculo de \$0,0058 BRL por litro de consumo.

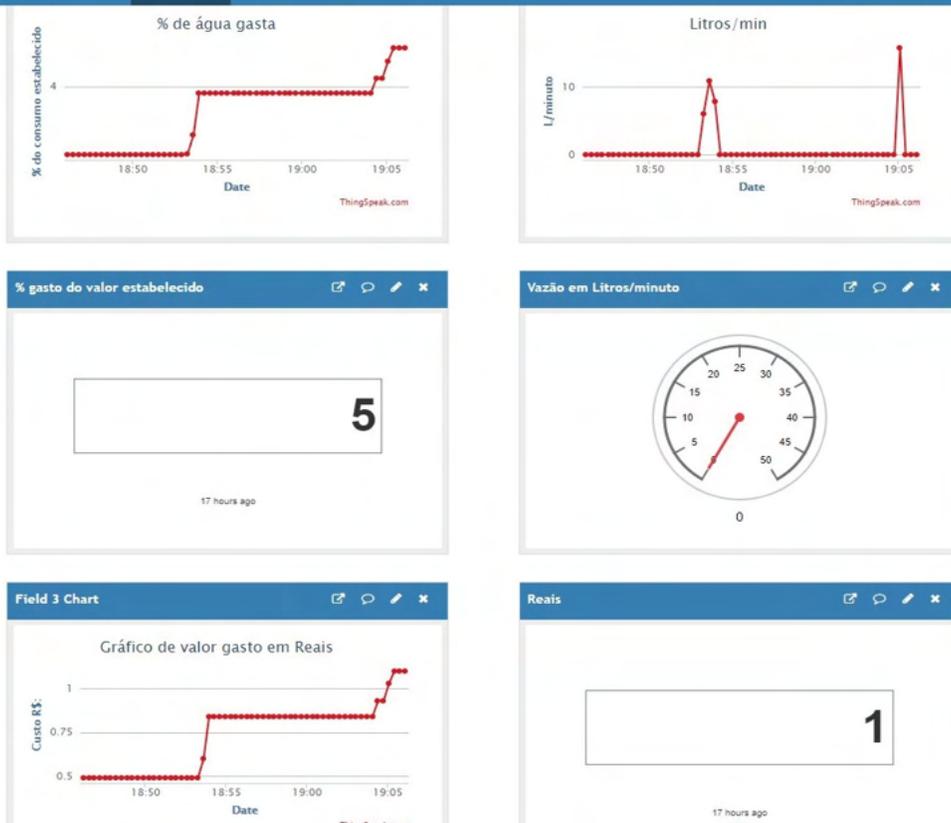


Figura 4 – Consumo de água e o custo publicados em nuvem ThingSpeak®.

Fonte: Próprio Autor, 2021.

8 | CONCLUSÃO

Os resultados obtidos com o protótipo e apresentados na Figura 4 estão alinhados e satisfatórios a o objetivo principal deste trabalho, de modo que, permitem a realização de um planejamento de consumo.

O planejamento de consumo de água auxilia na promoção do uso consumo consciente, contribui em evitar racionamento no fornecimento e por proporcionar a visualização em tempo real na nuvem, estabelecer critérios de consumo mais efetivos, planos de manutenção e por consequencia, redução de custos.

REFERÊNCIAS

CFA. **Desperdício de água ainda é alto no Brasil**. Disponível em: <<https://cfa.org.br/desperdicio-de-agua-ainda-e-alto-no-brasil/>>. Acesso em: 07/06/2021.

LEITE, J.R.E; MARTINS, Paulo.S; URSINI, Edson.L. **A internet das coisas (IoT) : Tecnologias e Aplicações**. Brazilian Technology Symposium, Limeira-SP, 2017. Disponível em: <<https://www.lcv.fee.unicamp.br/images/BTSym-17/Papers/76926.pdf>>. Acesso em: 17/05/2021.

SABESP. **Sabesp**. 2017. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/imprensa/noticias-detalle.aspx?secaid=66&id=7374>>. Acesso em: 29/09/2021.

SABESP. **Sabesp**. 2021. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/tabelas_tarif%C3%A1rias/Comunicado%201-21.pdf>. Acesso em: 03/11/2021.

VELASCO, CLARA. **Desperdício de água aumenta pelo terceiro ano seguido no Brasil; prejuízo chega a R\$ 12 bilhões, aponta estudo**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/2020/06/04/desperdicio-de-agua-aumenta-pelo-terceiro-ano-seguido-no-brasil-prejuizo-chega-a-r-12-bilhoes-aponta-estudo.ghtml>>. Acesso em: 07/06/2021.

CAPÍTULO 4

SISTEMA SUPERVISÓRIO E CONTROLE MIMO ATRAVÉS DE LÓGICA

Data de aceite: 01/02/2022

Márcio Mendonça

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Mecânica (PPGEM)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/5415046018018708>

Gilberto Mitsuo Suzuki Trancolin

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Mestrando Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Mecânica (PPGEM)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/3352701154826935>

Marta Rúbia Pereira dos Santos

ETEC - Jacinto Ferreira de Sá, Centro Paula
Souza
Departamento de Matemática
Ourinhos – SP
<http://lattes.cnpq.br/3003910168580444>

Carlos Alberto Paschoalino

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia
Elétrica
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/0419549172660666>

Marco Antônio Ferreira Finocchio

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia
Elétrica
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/8619727190271505>

Francisco de Assis Scannavino Junior

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia
Elétrica
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/4513330681918118>

Jose Augusto Fabri

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Acadêmico de Informática
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/4513330681918118>

Edson Hideki Koroishi

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia
Mecânica
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/9465293262026260>

André Luís Shiguemoto

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia
Elétrica
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/9243656534211182>

Celso Alves Corrêa

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia
Mecânica
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/8547137298279961>

Kazuyochi Ota Junior

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Mestrando Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Mecânica (PPGEM)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/3845751794448092>

RESUMO: Neste trabalho, é analisado, o controle de um sistema multivariável, um processo MIMO (*Multiple Input, and Multiple Output*) de fermentação alcoólica não linear com Fuzzy não mínima. O controle é feito com controladores clássicos, Proporcional, Integrativo e Derivativo (PID) associado a um sistema supervisorio baseado em Sistemas Fuzzy. O sistema Fuzzy, a priori, é um passador de *set-points* aos controladores PID, porém também agrega funções de proteção, como por exemplo, caso a biomassa esteja com valor zero ou muito próximo; O controlador *Fuzzy* altera a campanha para evitar ou amenizar o problema de paralisar a reação química na cuba. Arquiteturas de controle baseadas em sistemas *Fuzzy* serão apresentadas, e comparadas em desempenho com controle clássico em campanhas diferentes. Um breve resumo sobre teoria *Fuzzy* será apresentado. E finalmente, resultados de simulações e conclusões e futuros trabalhos encerram o artigo.

PALAVRAS-CHAVE: Sistemas Supervisorios. Controle de um Sistema Multivariável. Processo de Fermentação Alcoólica. Controle Clássico. Controle Fuzzy-PID.

ABSTRACT: In this work, the control of a multivariable system, MIMO process (Multiple Input, and Multiple Output) of non-minimal linear fermentation with Fuzzy is considered. The control is done with classical controllers, Proportional, Integrative and Derivative (PID) associated with a supervisory system based on Fuzzy Systems. The Fuzzy system, a priori, is a past of set-points added to the PID controllers, but also protection functions, for example, if the biomass has a value of zero or very close; The Fuzzy controller changes the campaign to avoid or alleviate the problem of stopping the chemical reaction in the vat. Control architectures in systems based on Fuzzy systems, models and tests in classic performance in different campaigns. A brief summary of the Fuzzy theory will be presented. And finally, simulation results o and future works completed.

KEYWORDS: Supervisory Systems. Control of a Multivariable System. Alcoholic Fermentation Process. Classic Control. Fuzzy-PID Control.

1 | INTRODUÇÃO

A lógica Fuzzy é a lógica baseada na teoria dos conjuntos Fuzzy. Ela difere dos sistemas lógicos tradicionais em suas características e seus detalhes, a rigor a lógica clássica é uma generalização devido a capacidade de modelar somente zeros e uns, estados limites das funções de pertinência da lógica Fuzzy. De outro modo, nessa lógica, o raciocínio exato corresponde a um caso limite do raciocínio aproximado, sendo interpretado como um processo de composição de relações nebulosas. (GOMIDE, PEDRIKS, 2006).

Seres humanos são capazes de lidar com processos bastante complexos, baseados

em informações imprecisas e/ou aproximadas. A estratégia adotada é também de natureza imprecisa e geralmente possível de ser expressa em termos linguísticos. (PASSINO; YOURKOVICH, 1997).

Este trabalho aborda o desenvolvimento de um sistema supervisorio com algumas funções de proteção para um processo de fermentação alcoólica, utilizando Sistemas *Fuzzy*. A arquitetura clássica de controle supervisorio pode ser vista na literatura, como por exemplo, o trabalho de Passino e Yourkovich (1997).

No processo em estudo, o controle é multivariável, no qual, controladores PID (Proporcional Integral e Derivativo) determinam a abertura e fechamento das válvulas *Fin* (Válvula de Entrada) e *Fout* (Válvula de Saída), a primeira é responsável pelo fluxo de substrato inserido no tanque e a segunda pelo fluxo de produto fermentado retirado da cuba. Vale ressaltar que: a modelagem do sistema e os controladores clássicos são similares do trabalho de Mendonça (2011).

Essa pesquisa desenvolve um sistema supervisorio para o processo de fermentação alcoólica, com duas arquiteturas de controle diferentes quanto à utilização da lógica *Fuzzy* simultaneamente com controle PID. Estas arquiteturas estão descritas a seguir: na primeira arquitetura um controlador *Fuzzy* passa os *set-points* para os controladores PID; na segunda um controlador *Fuzzy* passa os *set-points* para os controladores PID quando o sistema está em condições de alarmes, e um segundo controlador *Fuzzy* assume a posição com o sistema operando em condições normais.

Existem sistemas supervisorios comerciais, como, por exemplo, Elipse que implementa uma lógica clássica própria. A lógica *Fuzzy* pode fornecer uma solução eficiente para esse problema, pelos quais controladores supervisorios multivariáveis *Fuzzy* são projetados com base na experiência (conhecimento heurístico) dos operadores e/ou especialistas, e não se utilizar modelos matemáticos complexos.

A metodologia empregada no desenvolvimento do trabalho é de simular o processo de fermentação alcoólica, através das equações diferenciais que descrevem o comportamento dinâmico do processo. As simulações são feitas no *software* MATLAB, utilizando o método de Runge-Kutta de 4ª ordem para a resolução das equações.

Este trabalho está dividido da seguinte forma.

Na segunda seção é feita uma revisão bibliográfica de trabalhos que utilizam Sistemas *Fuzzy* em controle e supervisão de processos.

A terceira seção apresenta uma breve introdução de sistemas *Fuzzy* e suas principais vantagens e desvantagens. A quarta seção descreve e modela o sistema de fermentação alcoólico

A quinta seção apresenta o desenvolvimento do sistema supervisorio para o processo de fermentação alcoólica, e, em seguida compara os resultados obtidos com o controle clássico PID.

E, a sexta seção apresenta resultados e comportamentos dinâmicos das arquiteturas

de controle propostas. Finalmente a última seção Fuzzy à conclusão e sugestões para trabalhos futuros.

TRABALHOS CORRELATOS COM SISTEMAS FUZZY

No trabalho de Fernandes (2005) é sugerido um modelo de supervisão utilizando lógica *Fuzzy* para um sistema de geração de energia híbrido, este modelo é composto por um grupo gerador diesel, um gerador eólico e um banco de baterias. O objetivo é fazer o gerador diesel trabalhar o menos possível para economizar combustível; o banco de baterias atua quando o gerador eólico não consegue suprir a demanda de energia por um curto intervalo de tempo, onde não é viável utilizar o gerador diesel, conseguindo uma eficiência maior no uso do gerador eólico.

Yamakawa (2007) propõe um sistema de controle *Fuzzy* para banco de capacitores automático, aplicado nos alimentadores de distribuição de energia elétrica com o intuito de minimizar o número de chaveamento do banco de capacitores sem alterar os níveis de tensão do alimentador, bem como para melhorar o desempenho do equipamento, resultando em uma maior correção dos reativos.

O artigo do Yesil e colaboradores (2011) apresenta um FCM (*Fuzzy Cognitive Maps*) para a sintonia dos parâmetros de controladores PI aplicado a um sistema não linear. Os controladores PI, para sistemas deste tipo, não conseguem resultados satisfatórios o suficiente, por causa de diferentes propriedades estáticas e dinâmicas, porém esse trabalho mostrou uma solução eficiente para esse problema com o ajuste online dos parâmetros do controlador PI para cada ponto de operação do sistema, através de um FCM.

No trabalho Mendonça (MENDONÇA, 2011) uma Rede Cognitiva Dinâmica, do inglês *Dynamic Cognitive Networks*, apresenta uma evolução dos *Fuzzy Cognitive Maps* para controle e sistema supervisor do mesmo processo, fermentador alcoólico, similar ao utilizado nessa pesquisa.

O trabalho Wang e colaboradores (Wang, *et al*, 2012) utiliza um controlador *Fuzzy*-PID para elevadores. Com o objetivo de reduzir o grande consumo de energia, este trabalho apresenta um novo sistema de controle que pode transformar a energia que vem do motor para trabalhar no estado gerador à rede elétrica. Esse sistema de controle é necessário porque o controle PI convencional não pode funcionar de forma eficiente no controle da variável tempo e de objetos não lineares.

A lógica *Fuzzy* foi proposta pelo professor de ciências da computação Lotfi A. Zadeh em meados da década de 60 (ZADEH, 1992). O modelo de controle *Fuzzy* Mamdani, utilizado nesse trabalho, foi criado por Ebrahim Mamdani em 1975, para controlar a caldeira de uma máquina a vapor; através de um conjunto de regras baseada em variáveis linguísticas, regras que foram construídas por meio do conhecimento de operadores (PASSINO; YOURKOVIC, 1997).

De um modo geral, um sistema de controle *Fuzzy* clássico, como utilizado nesse trabalho, pode ser desenvolvido com o conhecimento de um especialista do processo, por meio de um conjunto de regras, nas quais as condições são dadas a partir de um conjunto de termos linguísticos associados às variáveis de entrada e saída do processo. (GOMIDE; PEDRYCZ, 2006).

Não é escopo desse trabalho apresentar funcionamentos da lógica *Fuzzy*. Limita-se a somente à uma breve introdução e algumas das vantagens e desvantagens dessa técnica.

Vantagens de se utilizar lógica *Fuzzy*:

- A lógica *Fuzzy* é conceitualmente fácil de entender;
- A lógica *Fuzzy* é uma abordagem mais intuitiva, sem a complexidade de longo alcance;
- A lógica *Fuzzy* é flexível;
- A lógica *Fuzzy* é tolerante com dados imprecisos;
- A lógica *Fuzzy* pode modelar funções não lineares de complexidade arbitrária.
- Pode-se desenvolver um sistema *Fuzzy* para combinar com qualquer conjunto de dados de entrada e saída. Através de técnicas adaptativas (Alisson, 2014), como por exemplo, *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems* (ANFIS);
- A lógica *Fuzzy* pode ser construída em cima da experiência de especialistas;
- Em contraste direto com Redes Neurais Artificiais, que utilizam dados históricos para treinamento, a lógica *Fuzzy* permite contar com a experiência de pessoas que já entendem o sistema;
- A lógica *Fuzzy* pode ser usada em conjunto com técnicas de controle convencionais (caso dessa pesquisa);
- A linguagem natural, que é usado por pessoas comuns em uma base diária. Nesse contexto, as frases escritas na forma de termos linguísticos são eficientes por facilitar a abstração de forma semelhante ao raciocínio humano.

Porém, a lógica ou sistemas *Fuzzy* não são eficientes para todos os problemas em ciências de um modo geral. Se uma solução mais simples já existe, esta é recomendada. Entretanto é uma ferramenta sugerida para lidar com rapidez e eficiência problemas com imprecisão e não linearidade (KASABOV, 1998). Outra desvantagem não só da Lógica *Fuzzy*, mas também de sistemas computacionais inteligentes de um modo geral, não se garante que o resultado final seja ótimo, porém é possível se obter soluções em situações onde não se conhece ou somente parcialmente os modelos matemáticos de um sistema, por exemplo (MENDONÇA, 2011).

PROCESSO FERMENTAÇÃO ALCÓOLICO

O processo de fermentação alcoólica utilizado neste artigo estudado inicialmente por Maher (1995), como podemos observar na figura 1 possui quatro variáveis de estado: as concentrações de substrato (**S**), de biomassa (**C**), de produto (**P**) e o volume (**V**) do tanque onde ocorre a fermentação. As concentrações são dadas em gramas/litro (g/l), e o volume em litros (l). A figura 1 também apresenta as válvulas F_{in} e F_{out} onde, a primeira é responsável pelo fluxo de substrato inserido no tanque e a segunda pelo fluxo de produto fermentado retirado da cuba.

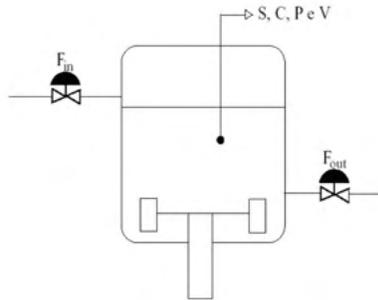


Figura 1- Processo de Fermentação Alcoólica.

Este processo apresenta uma forte interação entre suas variáveis, o que resulta em não linearidade. A análise da curva de resposta ao degrau, na figura 2, mostra um comportamento de Fuzzy não mínima e tempo de acomodação (MENDONÇA, 2011). Além disso, por medida de segurança, o volume do reservatório não deve exceder 3,5 l nem ficar abaixo de 1,5 l, e para garantir a fermentação, a concentração de biomassa não deve superar 8 g/l, do mesmo modo a concentração de substrato não pode ficar abaixo de 0,5 g/l, porque com valores muito próximos a zero da biomassa a reação química se extingue.

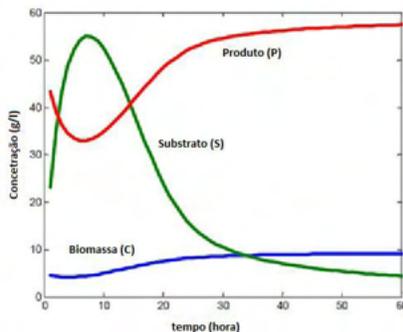


Figura 2 - Comportamento Dinâmico das Variáveis de Estado do Processo de Fermentação Alcoólica.

As equações diferenciais que descrevem o comportamento dinâmico do processo são dadas de (1) a (4).

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{1}{Y_c/s} \mu C + \frac{F_{in}}{V} S_a - \frac{F_{out}}{V} S \quad (1)$$

$$\frac{dC}{dt} = \mu C - \frac{F_{out}}{V} S \quad (2)$$

$$\frac{dP}{dt} = -\frac{Y_p/s}{Y_c/s} \mu C - \frac{F_{out}}{V} P \quad (3)$$

$$\frac{dV}{dt} = F_{in} - F_{out} \quad (4)$$

Onde:

S_a → concentração de substrato da alimentação;

Y_c/s → constante de conversão da biomassa;

Y_p/s → constante de conversão do produto;

μ → função de crescimento da biomassa, dada pela equação (5).

$$\mu = \mu_0 \frac{S}{K_s + S} \left(1 - \frac{P}{P_m}\right) \quad (5)$$

μ_0 → máxima taxa de crescimento;

K_s → constante de Michaelis-Menton;

P_m → coeficiente de inibição do produto durante a reação.

SISTEMA DE CONTROLE E SUPERVISÓRIO FUZZY

Como já citado, essa pesquisa desenvolve duas formas de aplicação de controle *Fuzzy* juntamente com controladores PID, para simulação do processo, análise e comparação de resultados é utilizado duas campanhas de fermentação distintas, de tal modo que as três arquiteturas de controle são testadas nessas duas campanhas, mostradas nas tabelas 1 e 2.

| CAMPANHA 01 | |
|-------------------|--|
| Tempo até (horas) | Concentração de produto desejado (g/l) |
| 60 | 40 |
| 120 | 45 |
| 150 | 35 |
| 200 | 40 |
| 350 | 45 |

Tabela 1: Campanha 1.

| CAMPANHA 02 | |
|--------------------|--|
| Tempo até (horas) | Concentração de produto desejado (g/l) |
| 60 | 40 |
| 120 | 15 |
| 180 | 35 |
| 240 | 45 |
| 350 | 20 |

Tabela 2: Campanha 2.

Nas duas campanhas citadas, os mesmos *star-tap* mostrados utilizam os valores das constantes utilizadas para a evolução das equações diferenciais, e podem ser vistos na tabela 3, já os valores iniciais das variáveis S, C, P e V são mostrados na tabela 4.

A Primeira Arquitetura de Controle: Nesta arquitetura de controle supervisorio apenas um controlador *Fuzzy* passa os *set-points* aos controladores PID, com o intuito de melhorar o processo de fermentação alcoólica, e alcançar funções de proteção para o S, C e V. No diagrama de bloco da figura 3 podemos observar o princípio do funcionamento desta arquitetura de controle supervisorio, onde o processo é controlado pelos controladores PID e o sistema *Fuzzy* atua em nível supervisorio passando os *set-points* aos controladores clássicos.

| CONSTANTES | |
|-------------------|---------|
| S_a | 100 g/l |
| P_m | 100 |
| K_s | 10 |
| μ_0 | 0,31 |
| Y_p/s | 0,07 |
| Y_c/s | 0,44 |

Tabela 3: Valores iniciais das constantes.

| VARIÁVEIS DO PROCESSO | |
|------------------------------|---------|
| S (Substrato) | 4,5 g/l |
| C (Biomassa) | 5 g/l |
| P (Produto) | 50 g/l |
| V (Volume) | 2 l |

Tabela 4: Variáveis do processo.

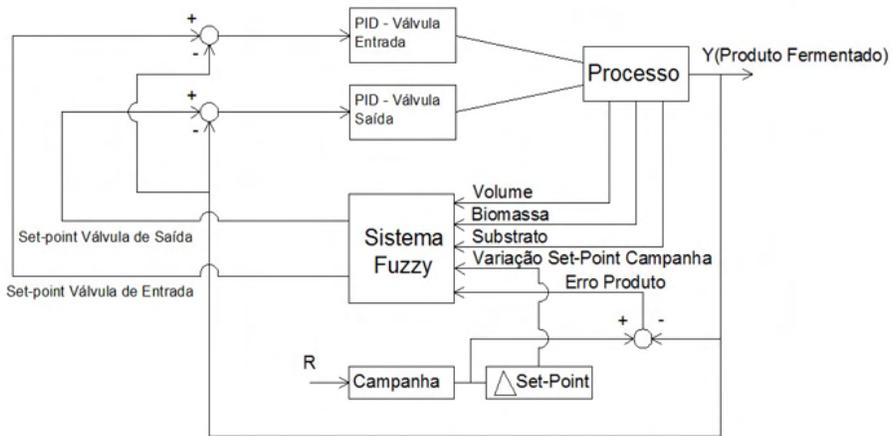


Figura 3 - Arquitetura I de Controle Supervisorio com um Sistema Fuzzy.

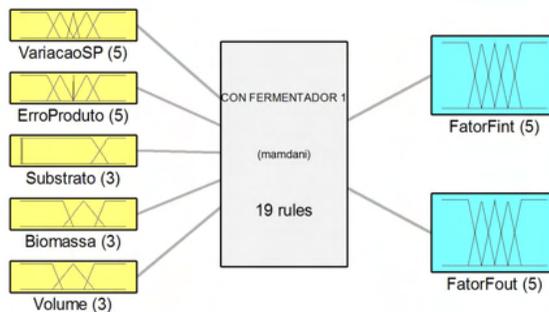


Figura 4 - Estrutura do controlador I (5x2).

Na figura 4 é apresentada a estrutura do primeiro controlador Fuzzy, nota-se com cinco entradas e duas saídas. Para a entrada foi levado em consideração à variação do ponto de operação desejado (variação da concentração do produto fermentado, ou *set-point* do processo), o erro do ponto de operação além das concentrações de biomassa e substrato, e por último o volume do tanque. Enquanto as saídas – Fator *Fint* e Fator

Fout – são fatores de multiplicação que controlam os valores dos *set-points* efetivamente aplicados aos controladores PID, que por sua Fuzzy controlam a abertura e fechamento das válvulas *Fint* e *Fout*. A tabela 5 descreve a heurística de desenvolvimento utilizada de forma resumida. Já a tabela 6 mostra algumas restrições de operação do processo de acordo com os trabalhos de (MENDONÇA, 2011).

| RELAÇÕES DE CONTROLE DO PROCESSO |
|--|
| A concentração de produto no reator, variável controlada do processo, é afetada por variações no <i>set-point</i> do PID que controla a válvula de entrada. |
| A concentração de produto no reator, variável controlada do processo, é afetada por variações no <i>set-point</i> do PID que controla a válvula de saída. |
| O valor do <i>set-point</i> desejado no processo, que caracteriza o ponto de operação da reação, determina o valor de <i>set-point</i> efetivamente aplicado ao PID, que controla a válvula de entrada. |
| O valor do <i>set-point</i> desejado no processo, que caracteriza o ponto de operação da reação, determina o valor de <i>set-point</i> efetivamente aplicado ao PID, que controla a válvula de saída. |
| A variação de <i>set-point</i> desejado (mudança de ponto de operação) afeta o valor do <i>set-point</i> aplicado à válvula de entrada. |
| A variação de <i>set-point</i> desejado (mudança de ponto de operação) afeta o valor do <i>set-point</i> aplicado à válvula de saída. |
| O volume do tanque é afetado pelo valor do <i>set-point</i> da válvula <i>Fin e Fout</i> . |
| As concentrações de substrato e biomassa são afetadas diretamente pela abertura e fechamento da válvula de entrada, uma Fuzzy que essa válvula é responsável pelo fluxo de biomassa e substrato que entra na cuba. |
| As concentrações de substrato e biomassa não são afetadas pela abertura e fechamento da válvula de saída, sabendo que a válvula de saída controla apenas o fluxo de produto fermentado que sai do tanque. |

Tabela 5: Descrição da observação processo.

| RESTRIÇÕES DE OPERAÇÃO DO PROCESSO |
|---|
| A quantidade de biomassa não deve superar uma concentração de 8 g/l. |
| O volume do reator por questões de segurança não pode exceder 3,5 litros nem ficar abaixo de 1,5 litros. |
| A quantidade de substrato não pode ficar abaixo de uma concentração mínima de 0,5 g/l. |
| Os valores de <i>set-points</i> para concentração de produto correspondem a uma lista de valores de concentração discreta no intervalo [10,50] g/l descrevendo os pontos de operação. |

Tabela 6: Restrições processo.

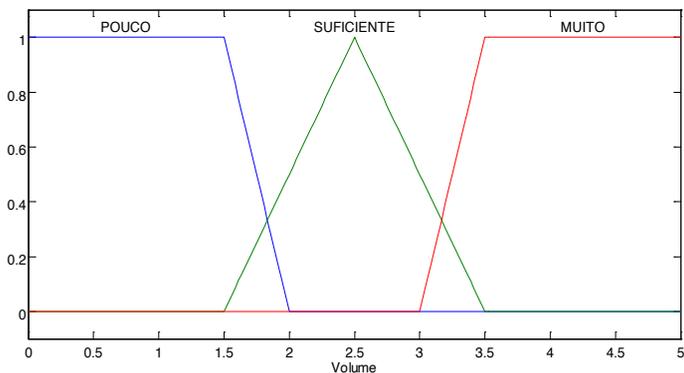


Figura 5 - Exemplo de funções de pertinência (funções de pertinência para o controle do volume).

A figura 5 mostra um exemplo de funções de pertinências que foram utilizadas na elaboração dos controladores *Fuzzy*, nota-se que as funções das extremidades POUCO e MUITO são do tipo trapezoidal já a função do meio SUFICIENTE é do tipo triangular, vale ressaltar que para a construção das demais funções, das outras variáveis foi utilizado este mesmo modelo exposto como exemplo. Uma *Fuzzy* que as funções do tipo trapezoidal e triangular são as mais fáceis de aproximar-se do ponto de referência desejado.

A segunda arquitetura de controle supervisorio, segue o mesmo princípio da primeira, apresentada, no entanto nota-se na figura 10 dois sistemas *Fuzzy*.

A ideia desta arquitetura é dividir o sistema *Fuzzy* em dois níveis de atuação, o primeiro nível é representado na figura 10 pelo bloco de controle *Fuzzy* da direita. Este controlador é exatamente o mesmo da primeira arquitetura (figura 3) de controle com as devidas configurações para a campanha 01 e 02.

O controlador *Fuzzy* do primeiro nível atua quando o processo de fermentação alcoólica se encontra em situações de alarmes, relacionados às restrições de operação do processo apresentados na tabela 6.

O segundo nível de atuação do sistema *Fuzzy* é simbolizado na figura 6 pelo bloco de controle da esquerda, suas características de projeto serão expostas de maneira subsequente.

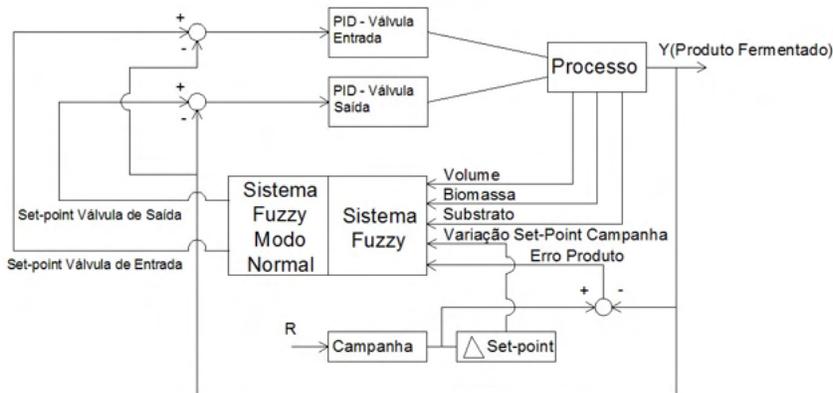


Figura 6 - Arquitetura II (dois controladores).

O segundo nível de supervisão entra em ação quando o processo não apresenta situações de alarmes nas concentrações de substrato, biomassa e no volume do tanque de fermentação.

A transição do primeiro nível de atuação do sistema *Fuzzy* para o segundo nível é feita através da lógica clássica se/então.

O controlador *Fuzzy* do segundo nível é exposto na figura 7, note-se que o sistema

é do tipo 2x2 e mantém as duas primeiras entradas e as mesmas saídas, do controlador da primeira arquitetura de controle. Estas variáveis também continuam com as mesmas funções de pertinência. Assim, o que diferencia este controlador são as regras e suas ponderações, além de desconsiderar o volume do tanque e as concentrações de substrato e biomassa.

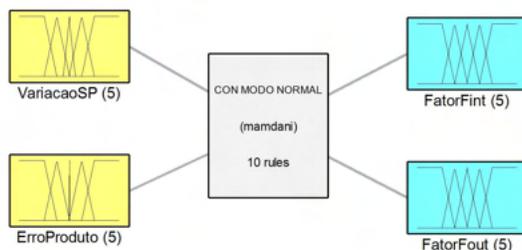


Figura 7 - Estrutura do controlador II (2x2).

A figura 8 mostra a ponderação das dez regras do controlador II, como esse controlador opera apenas em condições normais a ponderação das regras manteve-se robusta nas duas campanhas de fermentação.

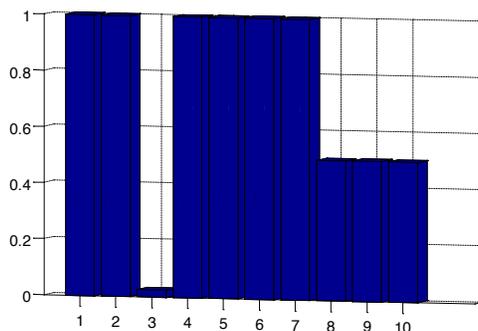


Figura 8 - Ponderação das Regras do Controlador 02 da Segunda Arquitetura de Controle Ajustada para as Campanhas 01 e 02.

Exemplo de umas das superfícies de controle do controlador II. Figuras 9 e 10.

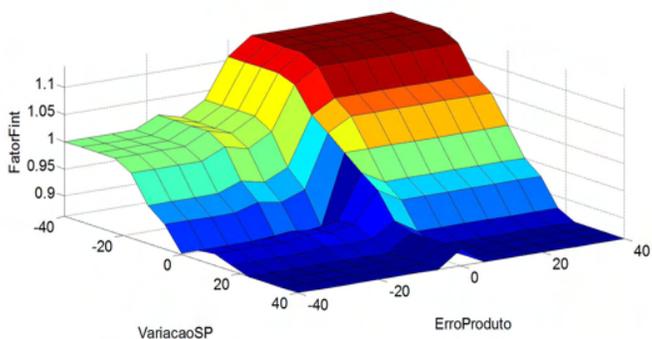


Figura 9 - Exemplo de superfície de controle, controlador II (Fin).

RESULTADOS DE SIMULAÇÃO

Para a comparação dos resultados foi utilizado como referência à somatória do erro (ITAE) na concentração do produto, substrato e biomassa, além da somatória das ultrapassagens dos valores determinados como limite para o volume, essa referência foi denominada como Erro Total.

As tabelas 7, 8, 9 e 10 mostram os resultados obtidos para as campanhas 01 e 02, nas duas arquiteturas de controle, respectivamente para as concentrações do produto, substrato e biomassa, por último o resultado do volume.

| Produto (g/l) | PID | Arquitetura 01 | Arquitetura 02 |
|--------------------------|---------------|----------------|----------------|
| Erro Total P Campanha 01 | 111,39 | 98,57 | 75,72 |
| Erro Total P Campanha 02 | 235,16 | 218,94 | 215,42 |

Tabela 7: Resultados de Simulação, para a Concentração do Produto Fermentado.

Observa-se na tabela 7, que as duas arquiteturas de controle supervisorio propostas no trabalho, apresentaram redução no erro acumulado, em relação ao controle PID, e que a arquitetura que apresentou melhor desempenho para variável controlada (Produto), foi a segunda com uma evolução de 32% na campanha 01 e 8,4% na campanha 02.

| Substrato (g/l) | PID | Arquitetura 01 | Arquitetura 02 |
|--------------------------|--------------|----------------|----------------|
| Erro Total S Campanha 01 | 10,79 | 0,29 | 0,28 |
| Erro Total S Campanha 02 | 0,41 | 0 | 0 |

Tabela 8: Resultados de Simulação, para a Concentração do Substrato.

Na tabela 8, observa-se que, na campanha 01 as arquiteturas 1 e 2 tiveram um bom desempenho para a função de proteção do Substrato. Já na campanha 02 as duas arquiteturas conseguiram anular o erro na proteção do Substrato. Na tabela 9 observa-se que, a variável Biomassa não apresentou problemas para o controle do processo em nenhuma das arquiteturas.

A tabela 10 mostra que, a arquitetura 01 teve o melhor resultado para a proteção do volume do tanque, conseguindo anular o erro na campanha 01 e reduzindo 70% na campanha 02.

| Biomassa (g/l) | PID | Arquitetura 01 | Arquitetura 02 |
|-------------------------|------------|-----------------------|-----------------------|
| Erro TotalC Campanha 01 | 0 | 0 | 0 |
| Erro TotalC Campanha 02 | 0 | 0 | 0 |

Tabela 9: Resultados de Simulação, para a Concentração de Biomassa.

| Produto (g/l) | PID | Arquitetura 01 | Arquitetura 02 |
|-------------------------|--------------|-----------------------|-----------------------|
| Erro TotalV Campanha 01 | 89,01 | 0 | 0,06 |
| Erro TotalV Campanha 02 | 13,96 | 4,10 | 4,25 |

Tabela 10: Resultados de Simulação para o volume do Tanque.

Nota-se que o erro acumulado foi melhor com a utilização dos controles *Fuzzy*-PID. Observa-se a dificuldade de ajuste nas duas arquiteturas citadas, mesmo que o desenvolvimento foi de forma gradativa, o ajuste das funções pertinência, das regras e dos seus pesos foram feitos observando o comportamento dinâmico do sistema e verificando desempenho, um processo repetitivo e exaustivo, considerando as dificuldades inerentes desse tipo de processo. A figura 11 mostra o comportamento dinâmico de todas as variáveis dos processos.

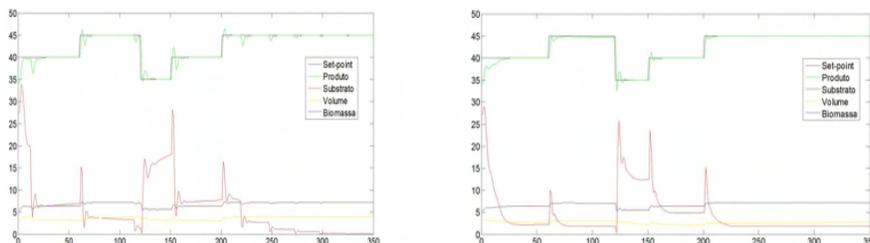


Figura 10 - Resposta dinâmica controladores PID (campanha 1).

A principal variável controlada (Produto) praticamente sobrepõe os valores de *set-points* das campanhas. A figura 12 mostra a dinâmica dos controladores na campanha 2.

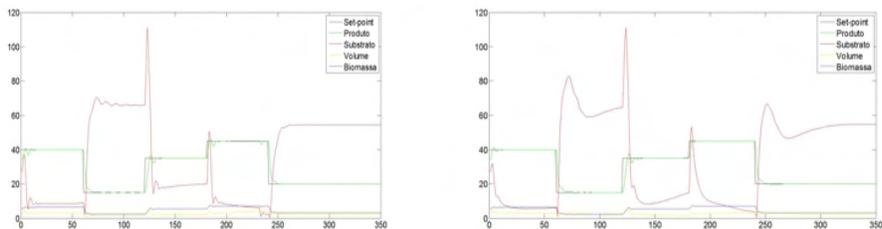


Figura 11 - Resposta dinâmica controladores PID (campanha 2).

CONCLUSÕES

Para sugerir a robustez do sistema proposto; ele foi aplicado em duas campanhas de fermentação diferentes, e comparadas com o controle clássico PID. Foram avaliados quatro fatores de desempenho, o erro acumulado das concentrações de produto, substrato, biomassa e a somatória das ultrapassagens dos valores limitados para o volume.

Como foi apresentado nos resultados quantitativos simulados, por meio de tabelas e das figuras, com comportamento dinâmico do processo, as três arquiteturas de controle supervisorío apresentaram um resultado satisfatório em relação ao controle clássico PID.

Outra vantagem do sistema proposto é a possibilidade de disparar alarme para condições adversas de operação, como realizado na arquitetura 02 e 03, podendo trocar de controlador *Fuzzy*, resultando em ganhos consideráveis para o sistema de fermentação alcoólica. Desse modo, podemos sugerir que o sistema supervisorío, ainda que inicial, e controlador *Fuzzy* pode ser viável para esse tipo de processo entre outros multivariáveis e não lineares. Trabalhos futuros poderão ser acrescentadas novas funcionalidades no sistema supervisorío e compará-lo com outras arquiteturas de controle, como por exemplo, Sistema de Inferência Neuro-*Fuzzy* Adaptativo (ANFIS).

REFERÊNCIAS

ALISSON M. S. **Sistemas Neuro-Fuzzy Evolutivos: Novos Algoritmos de Aprendizado e Aplicações**. (Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, 2014.

CORRÊA, Elton Carlos. **Sistema supervisorío utilizando controle Fuzzy-pid em um processo de fermentação alcoólica**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio-Procópio, 2015.

FERNANDES, R. T. **Supervisão de um sistema híbrido eólico/diesel usando lógica Fuzzy**. 2005. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2005.

GOMIDE, F. A. C.; PEDRYCZ, W. **An Introduction to Fuzzy Sets: Analysis and Design**. 2. ed. Massachusetts: Bradford, 2006.

KASABOV, N.K. **Foundations of Neural Networks, Fuzzy Systems, and Knowledge Engineering**. The MIT Press Cambridge, Massachusetts London, England.1998.

MAHER, M. **Modélisation élaboration estimation et de commander: application à um bioprocédé**. 1995. Tese - Université Paul Sabatier, LAAS/CNRS, Toulouse, 1995.

MENDONÇA, M. **Uma contribuição ao desenvolvimento de sistemas inteligentes utilizando redes cognitivas dinâmicas**. 2011. 177 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

PASSINO, M. K.; YOURKOVICH, S. **Fuzzy control**. Menlo Park: Addison-Wesley, 1997.

YAMAKAWA, E. K. **Sistema de controle nebuloso para bancos de capacitores automáticos aplicados em alimentadores de distribuição de energia elétrica**. 2007. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

WANG R.; LUO F.; HUANG X.; LI P., **New elevator energy feedback control system design based on Fuzzy PID controller**. *Power Engineering and Automation Conference (PEAM), IEEE*, Sept. 2012.

YESIL, E.; DODURKA F.; SAKALLI, A.; GUZAY C., OZTURK C. **Self-Tuning PI Controller via Fuzzy Cognitive Maps**. 2013. (AIAI) Artificial Intelligence Applications and Innovations, Springer, Ifip, September. 2013.

ZADEH, L. A. **An introduction to Fuzzy Logic Applications in Intelligent Systems**. Boston: Kluwer Academic Publisher, 1992.

CAPÍTULO 5

EMPILHADEIRA AUTOMÁTICA

Data de aceite: 01/02/2022

Camila Baleiro Okado Tamashiro

Edison Hernandes Belon

Gabriel Pucharelli Molina

Filipe Cortez

Joao Victor de Elmos da Silva

Joao Vitor da Silva Santana

Etec Philadelpho Gouvea Netto
São José do Rio Preto – SP

RESUMO: O projeto apresenta a proposta para o desenvolvimento de uma empilhadeira automática de baixo custo e de pequeno porte para automatizar pequenas tarefas de empresas que trabalham com produtos leves. Ela visa automatizar o processo de estocagem e armazenamento da área industrial, buscando viabilidade, velocidade, eficiência, precisão e o descarte da mão de obra, tornando-o assim atrativo às empresas. Em relação à estocagem, tornar o trabalho das empresas, antes feito manualmente, mais rápido e fácil, tendo em vista as diversas funções disponíveis no projeto. Através da programação todas as funções são automáticas, necessitando apenas de um comando no ponto de partida da máquina.

PALAVRAS-CHAVE: Robótica, Automatização, Segurança, Equipamento, Arduino.

ABSTRACT: The project presents the proposal

for the development of a low-cost, small-size forklift to automate small tasks for light-duty companies. It aims to automate the process of storage and storage of the industrial area, seeking viability, speed, efficiency, precision and the disposal of labor, making it attractive to companies. In relation to storage, make the work of companies, previously done manually, faster and easier, in view of the various functions available in the project. Through programming all functions are automatic, requiring only one command at the starting point of the machine.

KEYWORDS: Robotics, Education, Automation, Safety, Equipment, Arduino.

1 | INTRODUÇÃO

Tendo em vista a tendência de automação de processos no meio empresarial para a busca pela eficiência logística de estocagem, o presente trabalho visa apresentar uma proposta para o desenvolvimento de uma empilhadeira automática a partir de caminhos traçados. Este artigo encontra-se organizado da seguinte forma: a seção 2 apresenta os objetivos do trabalho. A seção 3 descreve o trabalho proposto. A metodologia de trabalho é apresentada na seção 4. Os resultados são apresentados na seção 5, e as conclusões são apresentadas na seção 6”.

2 | OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Automatizar rotinas de busca de produtos.

2.2 Objetivo específico

Automatizar rotinas de busca de produtos em empresas (comércio) de pequeno e médio porte.

3 | O TRABALHO PROPOSTO

O projeto viabiliza também a elaboração do projeto que seja construído com elementos de baixo custo e a empilhadeira seja controlada pelo microcontrolador arduino de forma que ela caminhe somente pela linha traçada no chão da empresa de forma que ela seja capaz de receber o pedido via sistema, sair de seu local, buscar o produto guardado, entregar ao balcão em uma área reservada e retornar para o seu local apropriado. Neste local ela receberá a carga elétrica para seu funcionamento e poderá sair e retornar diversas vezes. Com isso, diminui-se o custo com funcionários e tempo dispensado para buscar as mercadorias solicitadas pelos clientes. A partir da metodologia adotada, o objetivo deste projeto é automatizar rotinas de busca de produtos em empresas através do uso de uma empilhadeira elétrica de baixo custo.

4 | MATERIAIS E MÉTODOS

Como Metodologia, a proposta foi desenvolvida a partir do diagnóstico de estudos de casos de tempo médio consumido por empresas que possuem longos corredores em buscar os produtos para atender seus clientes. Após isso, foi realizada entrevistas com lojistas que possuem este layout de espaço físico e utilização de técnicas de pesquisa de levantamento. Na sequência, Seu desenvolvimento deu-se por meio práticos para a modelagem e desenho do projeto. A partir do levantamento de materiais necessários, o custo de investimento para o desenvolvimento é de R\$ 350,00 aproximadamente. Este valor engloba horas de trabalho dos profissionais envolvidos na implantação, os materiais necessários, bem como as despesas com alimentação, transporte e hospedagem (diárias) de toda a equipe envolvida. Os materiais sugeridos para a elaboração do projeto são: sensor ultrassônico, placa de arduino UNO, chapa de poliestireno, bateria compatível com o tempo necessário de uso, drivers, barras de ferro para a sustentação, dois motores de passo de 12V cada, duas rodas traseiras e duas rodas dianteiras.

5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O esboço do projeto e a proposta atendeu seus objetivos de desenvolvimento de forma clara e positiva identificado pelas pessoas entrevistadas em atendimento às suas necessidades comerciais.

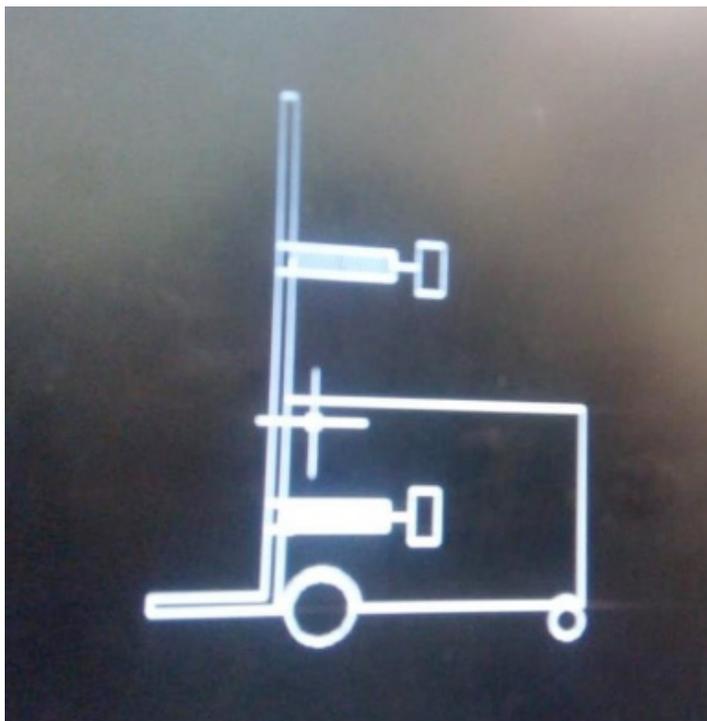


Figura 1: projeto da empilhadeira eletrônica.

Fonte: Dos próprios autores (2018).

6 | CONCLUSÕES

O protótipo atendeu o planejamento inicial, tendo seus objetivos gerais e específicos atendidos, sendo que, para projetos futuros, sugere-se o aperfeiçoamento da autonomia do tempo de bateria para permitir maiores distâncias percorridas.

REFERÊNCIAS

FIGUEIREDO, Nebia M. Almeida. Método e Metodologia da Pesquisa Científica, 2. Ed. São Caetano do Sul: Yendis Editora, 2007.

MATIAS – PEREIRA, José, Manual de Metodologia da Pesquisa Científica, São Paulo: Atlas, 2007.

ARDUINO, Site Oficial da placa Arduino, disponível em: <<http://playground.arduino.cc/Portugues/HomePage>> Acesso em 13 de junho de 2018.

BAÚ DA ELETRÔNICA, Arduino Pro Micro, disponível em: <<http://www.baudaeletronica.com.br/arduino-pro-micro-atmega32u4-5v.html>> Acesso em 13 de junho de 2018.

ELETRÔNICA DIDÁTICA, Protoboard, disponível em: <<http://www.eletronicadidatica.com.br/protoboard.html>> Acesso em 13 de junho de 2018.

BIO SOM, Sobre o aplicativo Hearing Guardian, disponível em: <<https://biosom.com.br/sobre-o-hearing-guardian>> Acesso em 14 de junho de 2018.

Playground Arduino, **Trabalhos com arduino**, disponível em <http://playground.arduino.cc/Portugues/HomePage> acesso em 15 de mai. De 2018 às 07h35min

Circuitar, **Tutoriais para programação de arduino**, disponível em <https://www.circuitar.com.br/tutoriais/programacao-para-arduino-primeiros-passos/> acesso em 29 de mai. De 2018 às 8h10min.

Coruja do arduino, **Tutoriais e vídeos para desenvolvimento de projetos com arduino**, disponível em http://corujadoarduino.blogspot.com.br/2016/01/projeto-arduino_12.html acesso em 05 de jun. de 2018 às 7h30min.

FIGUEIREDO, Nebia M. Almeida. **Método e Metodologia da Pesquisa Científica**, 2. Ed. São Caetano do Sul: Yendis Editora, 2007.

INTENSIVE RAINFALLS AND IONIZING RADIATION MEASUREMENTS IN FEBRUARY 2020 IN SÃO JOSÉ DOS CAMPOS BRAZIL REGION

Data de aceite: 01/02/2022

Inacio Malmonge Martin¹

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

ABSTRACT - In the month of February of the last 30 years, the region of São Jose dos Campos in the tropical part of Brazil has an average rainfall intensity of 151 mm. In terms of temperature, the minimum average was 17° C and the maximum average was 30° C. With a lot of cloud cover and frequent rains and little sunshine that month, the variation in ionizing radiation was monitored every month, in every minute. Two Geiger counters were used, one with a Russian tube and the other with a Chinese tube. A sodium iodide NaI (TI) scintillator was also used, coupled to a photomultiplier and associated electronics. All of these instruments are capable of measuring ionizing radiation between 200 keV and 10.0 MeV. It can be seen from the measurements made by the two Geiger and the scintillator that the detected radiation is related to the intensity of rainfall at the time of the observations.

KEYWORDS: Gamma radiation, rainfall, radon gas.

1 | INTRODUCTION

In the interface ground/air of the Earth's surface, ionizing radiation is mainly composed of radon gas, ground telluric radiation, primary

and secondary, cosmic ray radiation. However, it is difficult to separate over time the intensity of ionizing radiation emanating from each component as the energies overlap. Telluric radiation is given by ^{238}U , ^{235}U , ^{40}K and ^{232}Th that is constant for each region [1]. Radon gas from the disintegration of ^{238}U on the earth's crust to ^{226}Ra and ^{222}Rn arrives in the ^{214}Pb , ^{214}Po and ^{214}Bi isotopes, generating alpha and gamma radiation [2]. Primary cosmic radiation consists mainly of galactic and extragalactic protons and those from the Sun, with very high energy that interacts with the Earth's atmosphere producing Extensive Air Showers (EAS) [3]. The efficiency of this interaction is maximum when it occurs at altitudes between 13 and 17 km in the tropics, which form secondary cosmic rays with muonic, mesonic and neutronic components that reach the Earth's surface in the region [4]. These radiations cause health problems for civil aviation crew and passengers and are present at the beginning of the stratosphere called the Pfotzer maximum. However, this component contributes less to the concentration of radiation on the earth's surface. Another possible source of ionizing radiation in the Earth's lower atmosphere is produced by lightning strikes between earth-clouds, clouds-earth and clouds-clouds. X-rays, gamma rays, neutrons and beta particles are formed by the lightning cone [5]. Other sources of ionizing radiation are those produced in medical, dental and hospital clinics,

but these are mainly controlled in small areas. The objective of this work was to monitor low energy gamma rays and rainfall every minute in São Jose dos Campos, São Paulo, Brazil. The rains when intense and with short intervals of time causes a sudden increase in the intensity of the measured ionizing radiation, in that place [6]. This effect of the increase in ionizing radiation can be explained by the increase, with intense and rapid rains, in the greater presence of local radon gas.

2 | MATERIALS AND METHODS

In these measurements of local ionizing radiation in the energy range between 200 keV and 10 MeV, the three instruments described below were used:

2.1 Geiger-China counter

Among the various ionizing radiation counters that have been developed and optimized throughout history, the Geiger-Muller counter is undoubtedly the most well-known and used today. Thus, this was the most obvious choice for the development of the experiment. Due to the accessible cost, the Geiger-China counter was chosen and, for pedagogical purposes, this counter is as accurate as other more developed ones, as demonstrated by Silva et al. (2017),[7].

The Geiger-China counter reads in CPM (Counts Per Minute) and passes the information to the Arduino system, which in turn turns it into a table of points to which the WebLab user has access. The meter makes no distinction between the type of ionizing radiation, that is, the values shown are the sum of all ionizing radiation in the location, including environmental ionizing radiation (integrated radiation).

The Geiger-China tube (Figure 1) is made up of transparent glass whose measures are 8 cm long and 1 cm in diameter. The difficulty of using this meter is that the gas inserted in your tube detects visible light as well. Therefore, in order to perform good measurements of ionizing radiation, the tube must be covered to reduce the interference of visible light in the experiments.

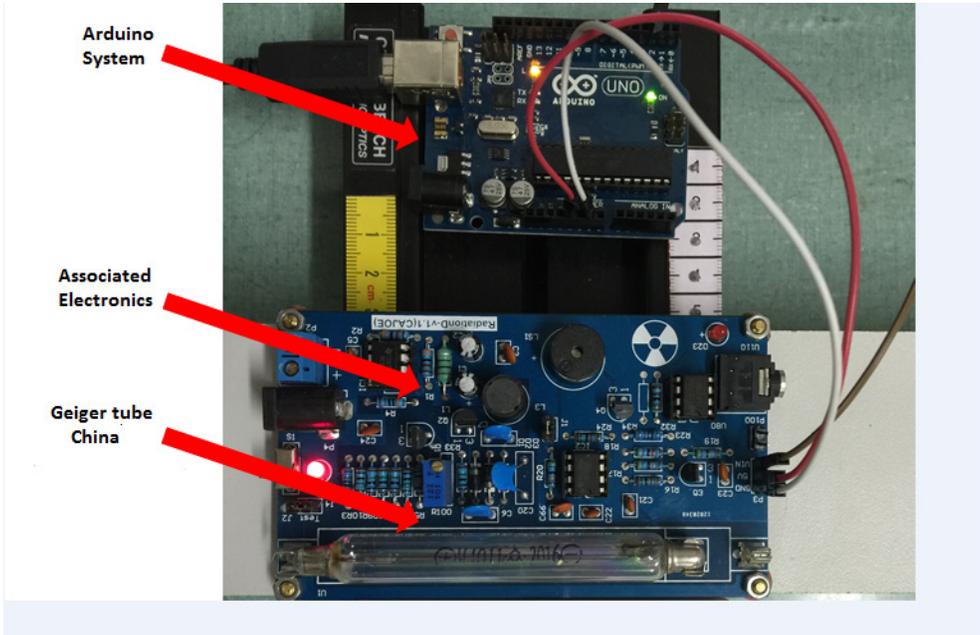


Fig. 1 - Arduino system, associated electronics and Geiger tube – China, [7].

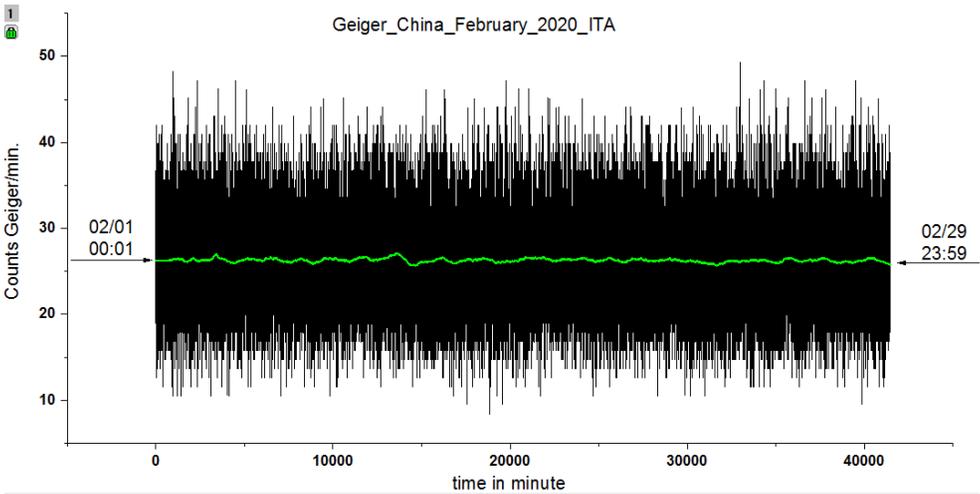


Fig. 2 Measurements of ionizing radiation from 200 keV to 10 MeV using Geiger-China. Green line showing the one day smoothed curve for February, 2020.

2.2 Russian Geiger counter

Measurements obtained with Geiger-Russian is better in order to expose and discuss with students how environmental ionizing radiation are influenced by some parameters such as rain, altitude and others, some experiments were organized using Geiger-Russian as

the counter. The Geiger-Russian tube (Figure 3) is made of (aluminum/ceramic) material whose measurement is 20 cm long and 2 cm in diameter. As the material that lines the tube is possibly opaque to ultraviolet radiation and its size is approximately twice that of Geiger-China, consequently greater precision in its measurements is obtained.

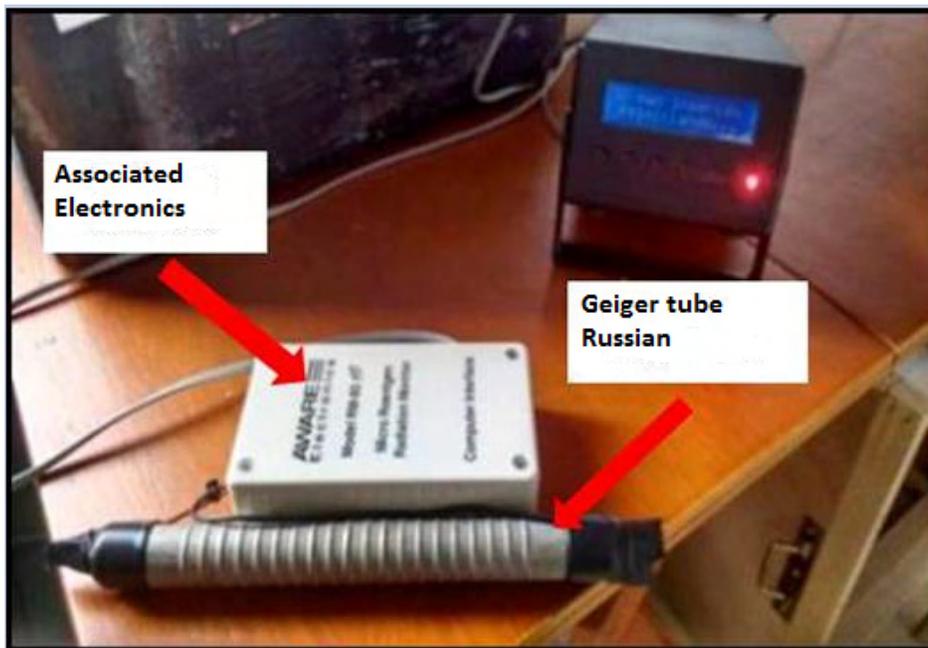


Fig. 3 - Geiger-Russian counter (SILVA et al., 2017).

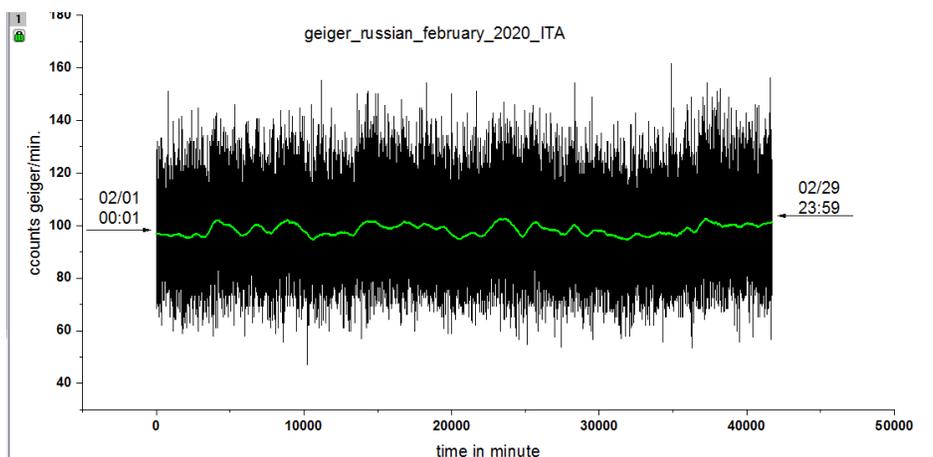


Fig. 4 - Measurements of ionizing radiation from 200 keV to 10 MeV using Russian tube Geiger. Green line showing the one day smoothed curve for February 2020.

2.3 Sodium Iodide Scintillator

Variation of environmental ionizing radiation as a function of precipitation this work discusses how the interaction of environmental ionizing radiation is influenced by ambient temperature, and, on rainy days, with radon gas. In order to identify the influence of rain in the detection of environmental ionizing radiation, it was necessary to use a more accurate detector called the Gamma detector (NaI(Tl)) Sodium Iodide Scintillator see Figure 5.



Fig. 5 - High precision Gamma Detector. Sodium Iodide crystal [NaI(Tl)]doped with Thallium.

Monitoring of ionizing radiation, varying with rain, was carried out at the ITA (Figure 6) located in São José dos Campos, Brazil tropical region. The Gamma detector is in a room with an air-conditioned environment (20° C) so that temperature fluctuations do not affect the data of the experiment.

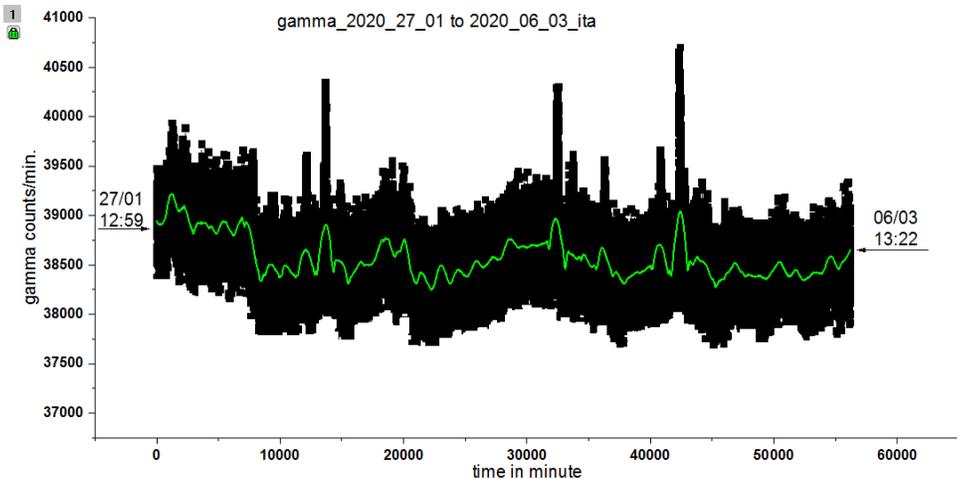


Fig. 6 - Counting's per minute of gamma rays radiation in the interval of 200 keV to 10 MeV, from 27/01 to 06/03 in 2020. The green line correspond to one day smoothed curve.

It can be seen in these February 2020 gamma radiation measurements that 3 blocks centered on 15000, 35000 and 45000 minutes after start, showed an increase in radiation intensity.

Figure 7 below shows the measurements of the intensity of rainfall at the same site every minute, making a total of **287.5 mm** in February 2020. The average rainfall intensity for February in the last 30 years was 151 mm. In February 2020, the intensity of rainfall for the place practically doubled. It is observed that in 15000 and 35000 the rains are very intense reaching the time of 45000 minutes. This fact of correlation (rainfall-gamma) is visible from a qualitative point of view, as shown in Figure 6 and Figure 7 above. In this month of February 2020, Figure 7 shows 4 important rain blocks periods. In the same period, Figure 6 shows 4 distinct blocks of the intensity of gamma radiation measured at same local. This fact are considered very important because after an accurate calibration of the gamma radiation and rain intensity detectors with time, it is possible to monitor rains from inside covered areas with greater facilities. So with this low-cost, easy-to-operate experimental system, any group will be able to monitor the rain intensity of their home, school and even small towns using a simple gamma radiation detector in this energy range.

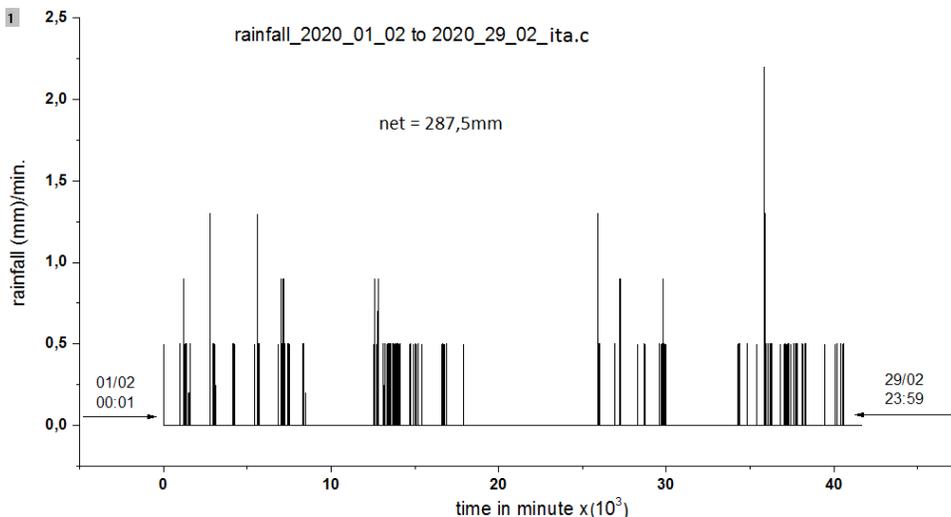


Fig. 7 – Rainfall intensity at each minute in the month of February 2020.

3 | CONCLUSION

In February 2020, the variation in rainfall intensity and environmental ionizing radiation in the city of São José dos Campos, a tropical region of Brazil, was monitored. February 2020 was chosen for this study because the total rainfall intensity in that month was twice the average of the last 30 years. Therefore, the comparison between the spectrum of radiation and rainfall over time with a minimum interval of one minute shows a positive correlation between rain and ionizing radiation. It is said that during periods of rain there is a washing of radon gas close to the Earth's surface and an possible increase in ionizing radiation at the site overcome With the surface dry for several days and an intense external rain coming in, there are always peaks of ionizing radiation well above normal, thus showing the presence of radon gas in the region With respect to the environmental radiation monitoring measures carried out in this work through Geiger, it was noted that only the Geiger with Russian tube was more sensitive to radiation variation as a function of time. However, the Geiger Chinese tube only measures the average level of the site, which is $0.25 \mu\text{S}_v / \text{h}$ radiation dose.

ACKNOWLEDGMENT

Thanks to CNPq (National Counsel of Technological and Scientific Development) and CAPES (Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel) by the Fellowship Grant Support to the group's researchers and the ITA Division of Fundamental Sciences for supporting this research. Thanks also to INCT-FNA-ITA for supporting this research at ITA.

REFERENCES

- [1] Bui-van, N. A.; Martin, I. M.; Turtelli, Jr. A. **Measurements of natural radioactivity from natural, industrial and atmospheric depths**. *Ciência e Cultura. Suplemento*. 1998, 40(7),407.
- [2] Fujinami, N. **Study of radon progeny distribution and radiation dose rate in the atmosphere**. *Japanese J Health Phys*. 2009,44(1), 89-94. Accessed in:<https://doi.org/10.5453/jhps.44.89>
- [3] Grieder, P. K. F. **Extensive air showers: high energy phenomena and astrophysical aspects**, Springer: Verlag Berlin Heidelberg; 2010.[4] [4] [4]
- [4] Malyshevsky, V.S. and Fomin, G.V. **Electromagnetic radiation in the atmosphere generated by excess negative charge in a nuclear electromagnetic cascade**. *Russ Phys J*. 2017;59(9):1367-1372. Accessed in:<https://doi.org/10.1007/s11182-017-0918-9>
- [5] JAYANTHI, U. B., Inacio M. Martin et al. **Ground gamma radiation associated with light and rain precipitation**. In: Acharya S, Gupta S, Jagadeesan P, Jain A, Karthikeyan S, Morris S, et al. editors. *Proceedings of the 29th International Cosmic Ray Conference*; 2005 Aug 3-10, Pune (India). 2005, (1), 177-180.
- [6] Martin IM, Gomes MP, Ferro MAS, Pinto MLA, Antônio FC. Measurements of X and gamma radiation at ground level and their correlation with atmospheric electric discharges and rainfall in São José dos Campos, SP, Brazil. *World Environment*. 2013;3(4):138-141. USA DOI: 10.5923/j.env.20130304.03
- [7] SILVA, M. C. et. al., **Ionizing Radiation Measurements using low cost Instruments for teaching in college or high school in Brazil**. *Phys Educ*. 2017, 52(6), 064004. Accessed in:<https://doi.org/10.1088/1361-6552/aa8420>
- Ravisankar, R. et al. **Measurement of natural radioactivity in building materials of Namakkal, Tamilnadu, India using gamma-ray spectrometry**. *Applied Radiation and Isotopes*. 2012, 70(4), 699-704. Accessed in:<https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2011.12.001>
- [7] Boardman, B. J. **Wilmington**: Aware Electronic Corp. [Accessed in 2017 Jul. 3]. Accessed in: www.aw-el.com
- [9] Valdir Guimarães – Radiação – Detectores – Geiger – NaI – Fontes, USP FNC 377 – Classroom Notes - https://www.researchgate.net/profile/Valdir_Guimaraes2 accessed in January 2020.
- [10] Gamma rays detectors from AMPTEK – www.amptek.com accessed in January 2020.
- [11] Martin IM, Gomes MP, Ferro MAS, Pinto MLA, Antônio FC. Measurements of X and gamma radiation at ground level and their correlation with atmospheric electric discharges and rainfall in São José dos Campos, SP, Brazil. *World Environment*. 2013;3(4):138-141. USA DOI: 10.5923/j.env.20130304.03.

ANÁLISE DE FALHA DE QUEBRA DE MANCAL SNH517 EM FERRO FUNDIDO CINZENTO EN GJL-200 (EN 1561) EM REGIME DE TRABALHO

Data de aceite: 01/02/2022

Cristofer Vila Nova Fontes

Villares Metals S.A., R. Alfredo Dumont Villares
Sumaré – SP, Brasil

Marcelo Bergamini de Carvalho

Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba
Pindamonhangaba-SP, Brasil

João Mauricio Godoy

Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba
Pindamonhangaba-SP, Brasil

Sérgio Roberto Montoro

Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba
Pindamonhangaba-SP, Brasil

Amir Rivaroli Junior

Anhanguera Educacional Participações S.A
Pindamonhangaba-SP, Brasil

RESUMO – Neste trabalho foi estudado a análise de falha de quebra de um mancal, fabricado em ferro fundido cinzento, conforme norma EN - GJL – 200 (EN 1561) montado em um conjunto de um recirculador de ar quente, utilizado para homogeneização de temperatura de um forno elétrico de tratamento térmico. No estudo foram levantadas as evidências que levaram a ocorrência da falha que levou a quebra em serviço. Foram utilizadas ferramentas de análise de vibração, guia de diagnóstico de falhas em elementos rotativos, ensaios de laboratório para se verificar a microestrutura do material e dados operacionais. Após análise e estudo desses

dados foi possível identificar as causas que levaram a quebra do mancal. Concluiu-se que a folga existente entre a base e a tampa oposta do mancal que quebrou estava excessiva devido a parafusos soltos ocasionando desbalanceamento e desalinhamento do conjunto. Ocorreu também falha de lubrificação que agravou mais ainda a condição de operação.

PALAVRAS-CHAVE: análise de vibração, ferro fundido cinzento, mancal, recirculador.

ABSTRACT: In this work, the analysis of failure of a bearing, made of gray cast iron, according to EN - GJL - 200 (EN 1561) was studied, mounted on a set of a hot air recirculator, used for temperature homogenization of an oven. electrical heat treatment. In the study, the evidences that led to the occurrence of the failure that led to the breakdown in service were raised. Vibration analysis tools, fault diagnosis guide in rotating elements, laboratory tests were used to verify the microstructure of the material and operational data. After analyzing and studying these data, it was possible to identify the causes that led to the bearing break. It was concluded that the gap between the base and the opposite cover of the bearing that broke was excessive due to loose screws causing unbalance and misalignment of the set. Lubrication failure also occurred which further worsened the operating condition.

KEYWORDS: Vibration analysis, gray cast iron, bearing, recirculator.

INTRODUÇÃO

Elementos de máquinas falham por

causas diversas e relativamente conhecidas, porém, a busca da longevidade dos componentes sempre foi procurada pelos projetistas, construtores e manutentores. Diante disso, uma das principais falhas que ocorrem nesses componentes é a fratura. Conforme (Ormonde; Pinezi; Mollo, 2014), existe uma constante busca das indústrias em reduzir o tempo de parada provocado pelas quebras em equipamentos e paradas em seu processo produtivo. Procura-se melhorar as estruturas e componentes mecânicos, fazendo com que cada vez mais esses materiais sofram esforços maiores e melhoria contínua. Isso faz com que a cada dia sejam desenvolvidas novas técnicas para prever possíveis falhas e evitar paradas indesejáveis.

Mesmo assim, ainda hoje ocorrem falhas em equipamentos que levam a prejuízos de toda ordem, para os quais são necessários estudos específicos de componentes mecânicos e suas atuações no conjunto do equipamento, necessitando a realização de análise de falhas para identificar as causas e evitar futuras reincidências. Segundo (Piccoli, 2007), a excentricidade é uma das causas comum de falhas devido a vibrações em máquinas rotativas.

Neste trabalho foram analisadas as causas que levaram a quebra do mancal integrante de um conjunto de recirculador de ar quente de um forno elétrico de tratamento térmico. O estudo visou mostrar de maneira simples e objetiva, por meio de ensaios de laboratório, dados de análise de vibração e guia de diagnóstico de falha, a hipótese mais coerente que levou a ocorrer esta falha.

METODOLOGIA

O trabalho de análise de quebra de mancal foi realizado em uma empresa siderúrgica do Vale do Paraíba, no setor de beneficiamento de peças fundidas. Os recirculadores de ar de fornos elétricos de tratamento térmico são equipamentos importantes, pois atinjida a temperatura programada no forno, são ligados os recirculadores, (que ficam nas extremidades), para realizarem a circulação do ar quente, equalizando sua temperatura em todos os pontos da peça tratada, para que haja uma homogeneidade no tratamento. A figura 1 demonstra o esquema de um sistema de transmissão do mancal com a ventoinha de recirculação e a figura 2 demonstra o eixo e os mancais do conjunto do recirculador.

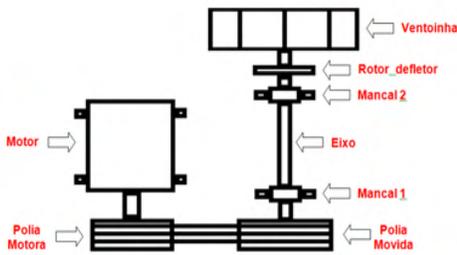


Figura 1 – Sistema de transmissão do mancal.

Fonte: O autor.



Figura 2 – Eixo e mancais do conjunto.

Fonte: O autor.

A análise de falha foi realizada em decorrência de quebra do mancal SNH 517, em ferro fundido, durante seu regime de trabalho. Conforme vistos nas figuras 1 e 2, este mancal é parte integrante, de do conjunto recirculação de ar utilizado em fornos elétricos de tratamento térmico. Foram realizadas análises metalográficas de uma amostra do ponto onde ocorreu a fratura no mancal para verificar o tipo de fratura ocorrida e condição física do mancal após a quebra. Foi verificado também através da metodologia da análise de vibração o seu espectro, gráfico de tendência e frequência de falhas de rolamentos da última análise em seu conjunto, para verificar o embasamento na relação entre a quebra e o nível de vibração que havia no equipamento, e para se fazer um paralelo entre as constantes vibrações e a quebra do mancal.

O mancal utilizado nestes equipamentos é do tipo SNH 17, fabricado em ferro fundido cinzento EN GJL-200 (EN1561), utilizados em pares para sustentação de um eixo, que gira a uma rotação determinada de acordo com o seu tipo de aplicação, e esse momento girante faz com que o mancal fosse submetido a esforços repetitivos em cada ciclo, em todas as direções, variando em direções mais específicas dependendo do tipo de carga utilizada. As figuras 3 e 4 mostram respectivamente um mancal novo, idêntico ao que ocorreu a falha, mostrando as duas partes internas do mancal bipartido (alojamento de rolamentos, retentores e anéis espaçadores), em sequência o mancal fechado com as duas partes posicionadas para fixação.



Figura 3 – Face interna do mancal.

Fonte: O autor.



Figura 4 – Mancal fechado com os parafusos fixados.

Fonte: O autor.

a) Comparativo de condições funcionais

Após a fratura foram comparados a parte inferior do mancal, onde ocorreu a fratura com outro mancal novo em condições ideais de trabalho, para se poder compreender o real motivo da fratura.

b) Dados de análise de vibração antes da quebra

Foram realizadas medições do espectro de velocidade anterior a quebra do mancal, foram encontrados desbalanceamentos e folgas do conjunto, demonstrando estado de saturação, com folgas nos mancais, sendo perceptível ao aproximar-se do conjunto em operação.

c) Análise metalográfica do mancal quebrado

Foram realizados ensaios de micrografia, dureza e composição química no mancal para se verificar se estavam dentro das especificações e atendiam as características informadas pelo fabricante.

RESULTADOS

a) Resultados das condições funcionais.

Foram realizadas as análises da base inferior de um mancal novo e da base inferior do mancal que sofreu a quebra, podemos notar que a quebra ocorreu a partir de uma possível trinca (figura 6) e que na sequência, partiu de forma brusca, fazendo com que os dois parafusos de fixação da parte superior do mancal na inferior fossem cisalhados, partindo o mancal na parte central inferior. Observando a figura 7 podemos verificar o aspecto brilhoso do ponto onde ocorreu a quebra do mancal, o que indica uma possível ruptura brusca. As figuras 5 a 7, mostram a base inferior do mancal novo, base inferior do mancal fraturado e o detalhe da face rompida.



Figura 5 – Mancal novo.

Fonte: O autor.



Figura 6 – Base mancal fraturado.

Fonte: O autor.



Figura 7 – Detalhe da face rompida

Fonte: O autor.

b) Resultados de análise de vibração antes da quebra.

Em medições realizadas antes da quebra foi encontrado desbalanceamento do conjunto com valor de 17,5 mm/s, e folga com harmônicos de até 10xRPM, demonstrando estado de saturação do conjunto, com folgas nos mancais, sendo perceptível ao aproximar-se do conjunto em operação. Na figura 8 é mostrado a medição na posição axial (3AA) evidenciando desalinhamento angular do conjunto entre polias do eixo do motor e do eixo do ventilador também indicado por 1 X RPM. Na figura 9, com a medição realizada no ponto 3(HE3), mostra o valor de aceleração de 32,97 gE, caracterizado pelo “descolamento de carpete”, causado diretamente por falta de lubrificação.

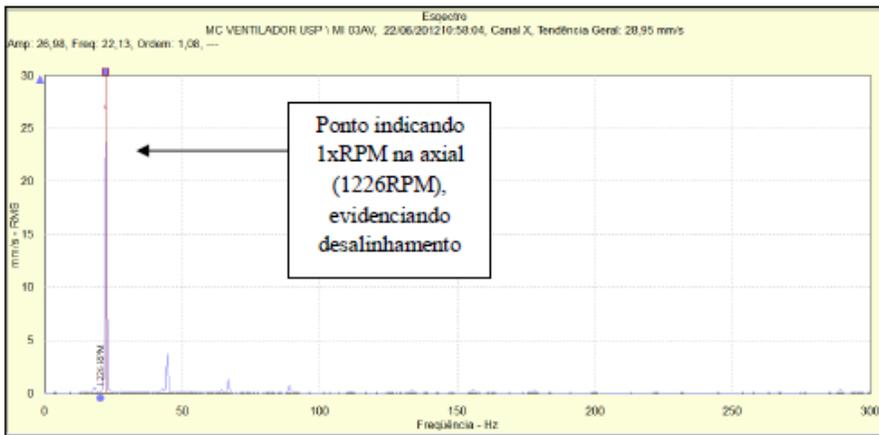


Figura 8 - Espectro de velocidade em mm/s posição axial do mancal analisado.

Fonte: O autor.

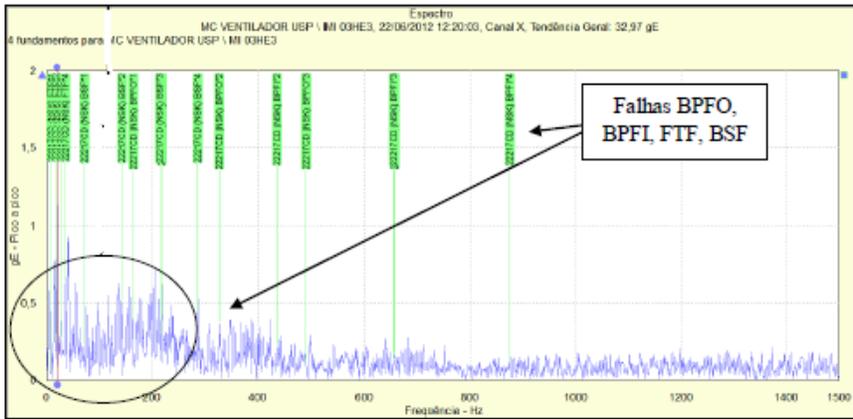


Figura 9 - Espectro de aceleração do mancal analisado.

Fonte: O autor.

c) Resultados de análise microestrutural, composição química e dureza

A figura 10 mostra a microestrutura da parte onde ocorreu a fratura frágil do mancal, aumentada 500X, indicando a região composta de grafita lamelar grosseira, em matriz composta por perlita lamelar, predominando na amostra. Para a análise metalográfica foi utilizado o reagente químico Nital 3%, composição 3 mL de ácido nítrico concentrado (HN03) e 97 mL de álcool.

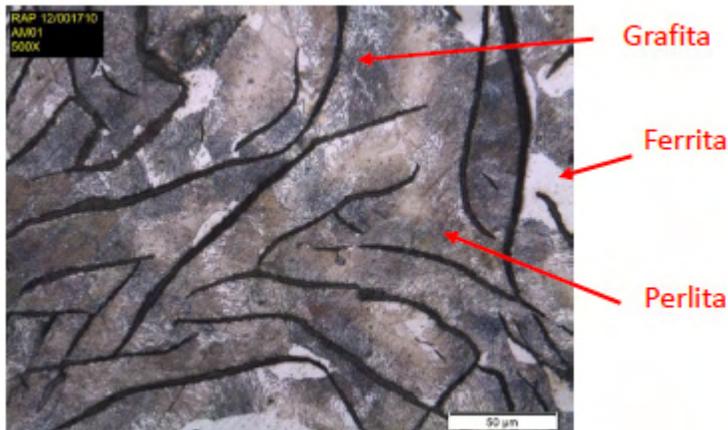


Figura 10 – Micrografia do ponto de fratura.

Fonte: O autor.

Realizado ensaio de dureza HB, segundo norma ISO 6508-1, onde foram encontrados os valores de 138 HRB, na parte do mancal analisada. Em comparação com a norma, este se encontra fora da dureza mínima exigida pela DIN EN 1561 (170 a 229 HRB), constatando

que o material estava com dureza inferior a normatizada. Realizado também ensaio de análise química no mancal, com os mesmos objetivos de comparação já descritos, e foram verificados a seguinte composição conforme tabela 1.

| Elementos químicos | C | Si | Mn | P | S | Cr | Ni | Dureza |
|----------------------------------|------|------|------|-------|-------|------|------|--------|
| Percentual encontrado | 3,75 | 2,86 | 0,55 | 0,107 | 0,025 | 0,0 | 0,04 | 138 HB |
| Norma EN-GL-200 (DIN EM 1561) | 3,00 | 1,90 | 0,60 | 0,15 | 0,15 | 0,25 | 3,00 | 170 |
| | a | a | a | Máx. | Máx. | a | a | a |
| | 3,60 | 2,40 | 0,90 | | | 0,40 | 3,60 | 229 HB |

Tabela 1- Composição Química.

Fonte: o autor.

d) Falhas mecânicas encontradas após a quebra

As figuras 11 e 16, mostram a condição do mancal onde ocorreu a quebra, logo após sua ocorrência. Nota-se que a maior parte de seus roletes já apresentavam problemas, não se encontravam no rolamento, fazendo com que sua pista externa ficasse torcida. A figura 14 mostra o mancal oposto ao da quebra, com uma folga de aproximadamente 4mm entre a parte superior e inferior do mancal. Percebe-se na figura 16 que o mancal já havia iniciado o princípio de fadiga pelas colorações apresentadas na fratura. Há também uma folga de aproximadamente 1mm entre a base do mancal e a base de fixação, causada devido ao parafuso de fixação estar solto.



Figura 11 - Mancal dianteiro depois de parada.

Fonte: O autor.



Figura 12 – Vista frontal do rolamento danificado.

Fonte: O autor.



Figura 13 - Vista geral do recirculador.

Fonte: O autor.



Figura 14 – Folga na tampa do mancal.

Fonte: O autor.



Figura 15 – Parte traseira com base improvisada.

Fonte: O autor.



Figura 16 – Vista frontal do ponto de rompimento.

Fonte: O autor.

DISCUSSÃO

Com base nos dados analisados, foi possível determinar que diversos fatores influenciaram diretamente ou indiretamente para quebra do mancal estudado. Observando as análises das figuras 6 e 7, podemos verificar o aspecto do mancal após a ocorrência da quebra, onde foi possível notar a aparência cristalina da maior parte da área fraturada, e no seu canto inferior direito, com uma coloração escura na trinca, determinando o início da fratura do mancal, indicando como uma das causas a fadiga do conjunto.

Somando os dados dos dois gráficos de vibração (figuras 8 e 9) observamos a situação crítica em que se encontrava o mancal durante regime de trabalho, dando indícios de uma possível falha operacional a qualquer momento, havendo a necessidade de uma intervenção imediata, porém não foi possível fazer a intervenção de imediato devido ao forno estar em ciclo de tratamento térmico.

Acrescentado- se a análise pode-se notar outro ponto importante, mas pouco

observado em avaliações em geral, a base do motor que aciona o conjunto do recirculador estava com parafuso de fixação espanado, não dando aperto neste ponto, o que causa torção no motor e desalinhamento da correia de transmissão (desalinhamento angular), ajudando no aumento da vibração do conjunto influenciando na quebra do componente.

CONCLUSÃO

Podemos concluir após as análises realizadas do mancal fraturado do recirculador do forno de tratamento térmico que a quebra não foi um acidente ou fato casual, ocorreram vários erros que foram detectados, que somados levaram a ocorrer a falha. A causa principal da quebra, foi a vibração do conjunto, causada em parte pelo desbalanceamento e falta de aperto de parafusos de fixação, somados a uma manutenção ineficiente.

As análises metalográfica, química e de dureza, também foram relevantes e mostraram uma certa influência, de uma maneira menos direta, na quebra do mancal, principalmente pelo aumento do carbono e silício, e com a evidência de lamelas de grafita grosseira na microestrutura, evidenciando uma maior fragilidade.

Também não podemos deixar de destacar a falta de manutenção ocorrida no equipamento, que fez com que vários pontos críticos passassem despercebidos, agravando a condição de operação do recirculador.

REFERÊNCIAS

Almeida M., T. e Góz R., D., S., 2000, “Análise de Vibrações II - Rolamentos e Engrenagens”, Fundação de Pesquisa e Assessoramento a Indústria, Itajuba-MG, Brasil, pp. 102-106.

ASM HANDBOOK, Vol. 09 Metallography and Microstructures, ASM International The Materials Information Company, 2004.

COLPAERT, H. Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns. 4ªed. São Paulo: Edgard Blucher, 2008.

Ormonde J.P., Pinezi V. R., Mollo M.N., ‘Monitoramento de Vibrações em Mancais com Acelerômetro’, Revista Engenho, Vol. 9, Unianchieta, 2014

Piccoli, H. C., “Análise e diagnóstico de vibrações”, unidade 7, FURG (Universidade Federal do Rio Grande), 2007.

Reis, R. A., Lacerda A. L. M., Lamim Filho, P., C. M., Brito, J. N2010, “Estudo da decomposição de sinal por Wavelet para diagnosticar defeitos em rolamentos”, 9º SIMMEC, Universidade Federal de São João del Rei, São João del Rei, MG, Brasil.

PULSE TRANSIT TIME DETECTS CHANGES IN BLOOD PRESSURE IN RESPONSE TO GALVANIC VESTIBULAR STIMULATION AND POSTURE

Data de aceite: 01/02/2022

Data de submissão: 15/03/2022

Adriana Pliego

Universidad Autónoma del Estado de México
Toluca, Estado de México
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Puebla, Puebla
<https://orcid.org/0000-0001-7435-7414>

Rosario Vega

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Puebla, Puebla
<https://orcid.org/0000-0001-7532-2483>

Daniel Enrique Fernández García

Universidad Autónoma del Estado de México
Toluca, Estado de México

Claudia Ivette Ledesma Ramírez

Universidad Autónoma del Estado de México
Toluca, Estado de México

Enrique Soto

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Puebla, Puebla
<https://orcid.org/0000-0003-2428-7416>

ABSTRACT: The interaction of the vestibular organs with the cardiovascular system is a relevant research field with clinical applications that contribute to the understanding of cardiovascular modulation due to movement and posture. The current noninvasive measurement of blood pressure (BP) consists of an inflatable cuff that is unsuitable to perform movement tasks. However, Pulse-Transit Time (PTT), an indirect method that

estimates BP from electrocardiographic (ECG) and photoplethysmographic (PPG) recordings, may detect BP variations during dynamic experiments. Galvanic vestibular stimulation (GVS) is considered an equivalent to mechanical stimulation with movement of the head. Research with GVS has been done involving static and dynamic tasks. Our study aims to determine if PTT is suitable for GVS experiments to detect BP modulation. PTT was obtained for 16 healthy subjects during GVS while seated and standing. PTT increased during the stimulation period in both positions. However, the increase was statistically significant only for subjects standing. These findings follow previous GVS studies that monitor BP invasively in animal models. As we expected, an increase in PTT during GVS was observed. Additionally, the increase was slightly different for subjects seated and standing. Overall, results indicate that PTT is an effective method to estimate transient BP changes during GVS.

KEYWORDS: Galvanic Vestibular Stimulation, blood pressure, cardiovascular system, pulse transit time.

1 | INTRODUCTION

Home vital signs recording is a research area that has driven the development of non-invasive portable medical technologies (MAJUMDER, 2017). Heart rate (HR), pulse, oxygenation, respiratory rate, temperature, and blood pressure measured by non-expert users has been especially important during the current COVID-19 pandemic (SUN, 2020). Particularly,

blood pressure (BP) is measured with two main approaches: (1) using an inflatable cuff or (2) combining methods that estimate cardiovascular resistance with changes in blood volume from the photoplethysmography (PPG). With the inflatable cuff method, the medical device calculates a discrete measurement for the systolic and diastolic pressure in mmHg estimated as the cuff remains inflated. However, this method's error could be as large as 10% (MURRAY, 2001). The PPG measurement of BP studies cardiac events that can be inferred from pulse recordings, related to beat-to-beat changes in peripheral blood volume and vascular resistance. The dicrotic notch of the pulse signal marks the end of the heart's systole and the beginning of the diastole (Figure 1); hypertension is associated with the disappearance of the dicrotic notch (VON WOWERN, 2015). To emphasize this morphological feature of the pulse signal, various mathematical strategies have been developed (HE, 2014; LI, 2018; SAWATARI, 2020).

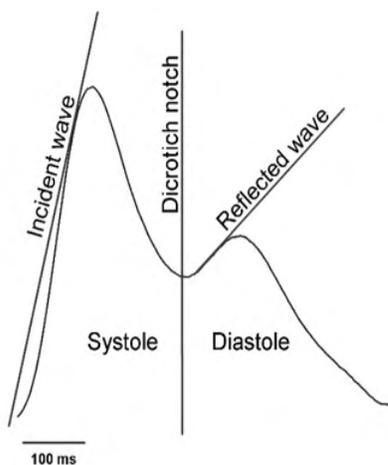


Figure 1. Morphological features of the pulse signal. The incident wave is formed by the containment of blood volume ejected in the ventricular contraction (systole) by the capillary walls. Dicrotic node, cardiac valves close, separates systole from diastole. The containment of blood forms the reflected wave during the diastole.

It is evident that, if BP measurement is performed during a movement task, the bracelet (cuff) method would not be feasible to use. However, PPG in combination with the electrocardiographic (ECG) recording has shown to be effective and accurate to indirectly estimate BP. Pulse transit time (PTT) is the delay between the R peak of the ECG, which occurs during ventricular depolarization, and the maximum amplitude of the PPG signal. Some authors use the delay between the R peak and the pulse signal derivative to stress the high frequency transitions (YOON, 2009). Computational models that study the incident and reflected waves of the pulse signal identified that, if the PTT increases, there is a distension of the vascular wall, associated with a BP decrease. On the contrary, the vascular

wall is more rigid if the PTT decreases, so systolic BP increases (SHIN, 2017). Several research groups have worked with the PTT to achieve an acceptable approximation of BP using mathematical adjustments representing mechanic vascular characteristic (HE, 2014; LI, 2018; SAWATARI, 2020). For instance, the photoplethysmographic intensity ratio (PIR) performs a systolic, diastolic, and mean BP approximation from the initial and final amplitude of the pulse signal (SHARIFI, 2019). Figure 2 shows ECG signal and PPG first derivative. The solid circles show the two points in time used to calculate the delay between ventricular contraction and hemodynamic activity. Given the current characteristics of portable devices, PTT is the most promising method to estimate beat-to-beat BP even during tasks that involve movement.

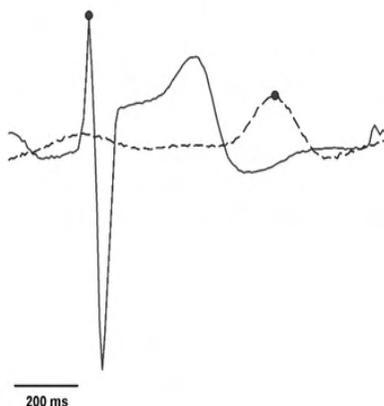


Figure 2. The electrocardiograph and first derivative of pulse signals. PTT is calculated from the difference in time of the points marked with a solid circle. ECG, solid line. PPG, dashed line.

Galvanic Vestibular Stimulation (GVS) activates the vestibular system non-invasively without involving other sensory input (GENSBERGER, 2016). GVS is used to study the influence of vestibular input during various static and dynamic tasks, such as quiet stance in Romberg's test (PLIEGO, 2019) and walking (HANNAN, 2021). Additionally, GVS has been used to study the cardiovascular response to vestibular stimulation in animal models and human beings. Animal models showed that HR and BP decrease during sinusoidal low-frequency GVS (0.025-0.5 Hz). These studies acquired physiological signals invasively in anesthetized animals (COHEN, 2011). In human subjects, a HR decrease, and HR variability increase was observed with GVS, even after a postural shift from sitting to standing, without a clear result on BP changes (PLIEGO, 2021). For these, it is necessary to use a BP measurement method, sensitive to beat-to-beat cardiovascular changes, able to be used in experiments that involve movement tasks in combination with electrical vestibular

stimulation. Previous evidence suggest that PTT should increase (BP decreases) with GVS and return to a baseline after stimulation. Given the importance of beat-to-beat resolution on cardiovascular changes due to vestibular activation, PTT could be considered a reliable alternative to BP measurement, not possible with the inflatable cuff method.

2 | METHODS

A. Experimental procedure

Sixteen healthy human volunteers participated, age 20 ± 2 years, 7 women and 9 men, with no previous history of neurological, cardiovascular, or vestibular disorders. Volunteers signed informed consent expressing their will to collaborate according to good practices for human experimentation, the Helsinki Declaration and to the Mexican normative NOM-012-SSA3-2012. The Research Ethics Committee of the Autonomous University of the State of Mexico (UAEMex) approved the protocol on November 25th, 2018. Experimental procedure was performed in the Instrumentation Laboratory of the School of Medicine of the Autonomous University of the State of Mexico. Two surface electrodes of 3 cm diameter were placed over the subjects' skull, one over the right mastoid process and the other in the middle distance between the mastoid and the nasion. The current intensity was fixed to the subject's tolerance (1.5 ± 0.6 mA). ECG lead DII was recorded with EL254 surface electrodes and the ECG100C BIOPAC module with a low-pass filter of 150 Hz and x1000 amplification. PPG signal was recorded with TSD124 transductor and OXY100C BIOPAC module. Both signals were digitalized with MP150 BIOPAC at 200 Hz. Each experimental test consisted of 30 s without stimulation (control), 30 s with GVS (GVS) and 60 s post-GVS (PS), total recording was of 120 s. To provoke an intentional cardiovascular response in the subjects, they were recorded first seated (120 s) and then standing (120 s). A reference BP measurement was obtained with an automatic Omron® system, before and after the experiment, with each subject.

B. Signal processing

Detrend function was used on ECG and PPG signals. Recordings of 120 s were divided in three segments: Control, GVS and PS. Fifteen seconds were extracted from each segment to obtain PTT values. Normalization was performed from the maximum delay for each recording. All signal processing was performed using MATLAB®.

C. Statistical analysis

For statistical comparison of the three experimental periods (Control, GVS and PS), we used the non-parametric Friedman test (data failed Shapiro-Wilk test). *Post-hoc* comparison was performed with Tukey's method. Significance was set to $p < 0.05$. For all statistical test we used Sigma Plot 11.0®

3 | RESULTS

A median increase of the PTT (Seated NS: mean = 0.3804 ms, median = 0.3544 ms, SD = 0.1089 ms; GVS: mean = 0.3892 ms, median = 0.3565 ms, SD = 0.0810 ms; PS: mean = 0.3961 ms, median = 0.3561 ms, SD = 0.1113 ms; Standing NS: mean = 0.3446 ms, median = 0.3471 ms, SD = 0.0244 ms; GVS: mean = 0.3441 ms, median = 0.3490 ms, SD = 0.0381 ms; PS: mean = 0.3439 ms, median = 0.3475 ms, SD = 0.0331 ms) value was observed in subjects seated and standing. Figure 3 show the temporal increment of PTT during GVS compared to control and in post-GVS, for all 16 subjects. The statistical analysis showed that the PTT increment is statistically significant only for subjects standing ($p = 0.022$). Paired comparison of PTT increase showed statistical significance between control and GVS periods ($p < 0.05$). The result is consistent with systolic BP values (mean \pm standard deviation) measured with the Omron® system before (Systolic: 114 ± 4 mm Hg, Diastolic: 68 ± 8 mm Hg) and after (Systolic 111 ± 8 mmHg, Diastolic: 71 ± 7 mmHg) the experiment.

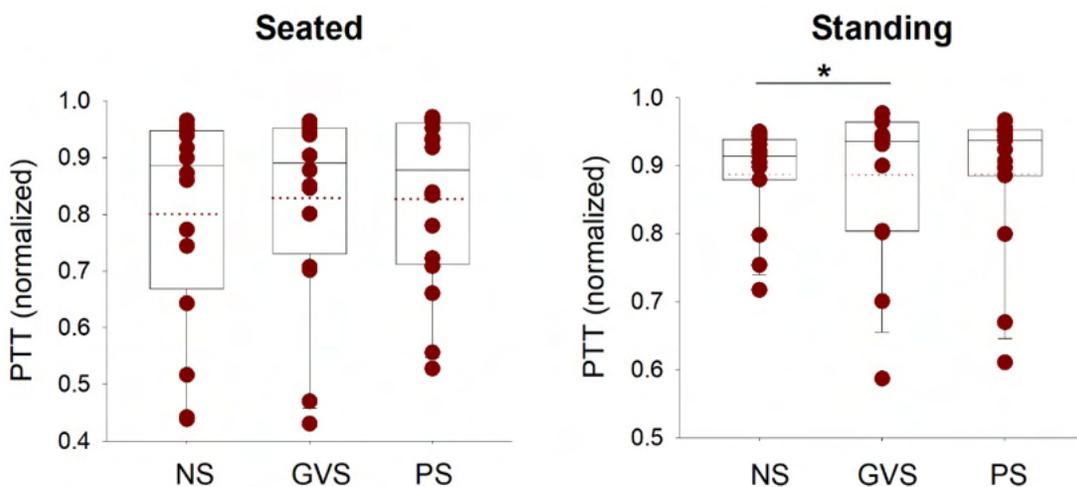


Figure 3. PTT normalized values of 16 human subjects seated (left) and standing (right) on NS, GVS and PS. Dotted line: mean value, solid line: median, Q1-25%, Q3-50%, whiskers 5% and 95 % of sample.

4 | DISCUSSION

The use of GVS to study cardiovascular modulation to vestibular input is a developing research area with a wide number of clinical applications. Modulation of the cardiovascular function must follow head and body movement to maintain an adequate vital organs irrigation. Vasovagal syndrome, for instance, is not an uncommon condition involving a late response of HR changes to posture (RAPHAN, 2021). We could not find

a study that combines GVS with PTT to estimate BP and cardiovascular modulation. Previous research that combines beat-to-beat BP measurement and vestibular stimulation (movement) used a Finapres™ or Portapres™ system. These devices calculate BP from information of the volume changes in the PPG signal and an inflatable small bracelet placed in the index fingertip. The Portapres™ was used to evaluate cardiovascular performance during a movement task in 13 astronauts, before and after staying six months in space, and in 19 healthy subjects that remained supine with 6° tilt for 70 days in a tilting table test (MULAVARA, 2018). The cost of a Portapres™ system is over 25,000 USD, so in addition to technical difficulties for performing movement tasks, budget restrictions sum to developing new alternative methods to estimate BP. Our research aimed to determine if PTT is sensitive enough to detect transient cardiovascular changes provoked by GVS or a postural maneuver. Effectively, PTT increased in most subjects (decreased in one) during GVS. Our results represent the first experimental procedure, to our knowledge, that analyzes BP modulation with PTT to GVS and a postural change. PTT increment was moderate in seated subjects but more pronounced (statistically significant) on standing subjects. The different response between seated and standing subjects suggest a more susceptible (prepared) state of the cardiovascular system when standing (TANAKA, 1996). A more pronounced significant decrease of HR and HRV was also observed on a previous study with subjects standing compared to seated. The coupling of cardiovascular variables may also be studied using PTT with offline processing.

Our results indicate that it is possible to evaluate transient changes that occur to the vascular system with GVS and postural change with PTT. In the future, different strategies should be implemented to convert PTT into BP measurement in mmHg, helpful to monitor subject's general status in the lab and at home.

5 | CONCLUSIONS

Consistent with previous results obtained with animal models through invasive methods, PTT during GVS increased in subjects seated and standing. Therefore, as the experimental protocol will not be affected by technical difficulties from the physiological signal acquisition, it is relevant to include PTT estimation on vital signs recordings using GVS and postural changes.

REFERENCES

COHEN, B. et al. Sinusoidal galvanic vestibular stimulation (sGVS) induces a vasovagal response in the rat, **Exp Brain Res**. 210(1):45-55, 2011. DOI: 10.1007/s00221-011-2604-4.

GENSBERGER, K.D. et al. Galvanic Vestibular Stimulation: Cellular Substrates and Response Patterns of Neurons in the Vestibulo-Ocular Network, **J Neurosci**. 36(35):9097-110, 2016. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.4239-15.2016.

- HANNAN K.B. et al. Vestibular attenuation to random-waveform galvanic vestibular stimulation during standing and treadmill walking, **Sci Rep.** 11(1):8127, 2021. DOI:10.1038/s41598-021-87485-4
- HE, X. et al. Secondary peak detection of PPG signal for continuous cuffless arterial blood pressure measurement, **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, vol. 63, no 6, p. 1431-1439, 2014. DOI: 10.1109/TIM.2014.2299524
- LI, J. Q. et al. Design of a Continuous Blood Pressure Measurement System Based on Pulse Wave and ECG Signals. **IEEE journal of translational engineering in health and medicine** vol. 6 1900114, 2018. DOI:10.1109/JTEHM.2017.2788885
- MAJUMDER, S. et al. Wearable Sensors for Remote Health Monitoring, **Sensors (Basel)**, 17(1):130, 2017. DOI:10.3390/s17010130
- MULAVARA A. P. et al. Physiological and Functional Alterations after Spaceflight and Bed Rest, **Med Sci Sports Exerc.** 50(9):1961-1980, 2018. DOI: 10.1249/MSS.0000000000001615.
- MURRAY, A. In praise of mercury sphygmomanometers. Appropriate sphygmomanometer should be selected, **BMJ**, 322(7296):1248-1249, 2001. PMID: 11388187
- PLIEGO A. et al. Center of pressure periodic displacement with alternate current unilateral vestibular stimulation, **Latin American Conference on Biomedical Engineering** pp. 970-974, 2019. DOI: 10.1007/978-3-030-30648-9_126
- PLIEGO, A. et al. A transient decrease in heart rate with unilateral and bilateral galvanic vestibular stimulation in healthy humans. **Eur. J. Neurosci** 54:4670-4681, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/ejn.15338>
- RAPHAN, T. et al. Predicting Vasovagal Responses: A Model-Based and Machine Learning Approach. **Front Neurol.** 10; 12:631409, 2021. DOI: 10.3389/fneur.2021.631409.
- SAWATARI, Y. et al. Blood pressure estimation system using human body communication-based electrocardiograph and photoplethysmography. **HEALTHC TECHNOL LETT.** 7(4):98-102, 2020. DOI:10.1049/htl.2019.0105
- SHARIFI, I. et al. A novel dynamical approach in continuous cuffless blood pressure estimation based on ECG and PPG signals,” **Artif. Intell. Med.** 97: 143-151, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2018.12.005>
- SHIN H. “Feasibility study for the non-invasive blood pressure estimation based on PPG morphology: normotensive subject study,” **BioMed Eng OnLine** 16, 10, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12938-016-0302-y>
- SUN, S. et al. Using Smartphones and Wearable Devices to Monitor Behavioral Changes During COVID-19, **J Med Internet Res**, 22(9):e19992, 2020. DOI:10.2196/19992
- TANAKA, H. Cardiac output and blood pressure during active and passive standing, **Clin Physiol.** 16(2):157-70, 1996. DOI: 10.1111/j.1475-097x.1996.tb00565.x.
- VON WOWEREN, E. et al. Digital Photoplethysmography for Assessment of Arterial Stiffness: Repeatability and Comparison with Applanation Tonometry, **PLoS One**, 20;10(8): e0135659, 2015. DOI: 10.1371/journal.pone.0135659.
- YOON, Y. et al. Non-constrained blood pressure monitoring using ECG and PPG for personal healthcare, **J. Med. Sys.** 33.4: 261-266, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10916-008-9186-0>.

EVIDENCIA INICIAL DE LAS ACCIONES DE ADAPTACIÓN DE EMPRESAS COLOMBIANAS A LA PANDEMIA CAUSADA POR EL SARS-COV2

Data de aceite: 01/02/2022

Lucas Adolfo Giraldo-Ríos

Docente Ocasional Escuela Superior de Guerra, Docente Ocasional Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Jenny Marcela Sanchez-Torres

Profesora Titular, Departamento de Sistemas e Industrial
Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Diana Marcela Cardona Román

Investigador Grupo Griego, Universidad Nacional de Colombia, Colombia

RESUMEN: Este artículo explora las acciones de empresas colombianas de diversos tamaños y sectores para hacer frente a la pandemia causada por el virus SARS-CoV2. Estas acciones fueron identificadas a través de una encuesta realizada entre los meses de septiembre y octubre de 2020 a empresas que utilizan la gestión de tecnología e innovación como una de sus prácticas más relevantes para ser competitivas. Se destaca que la inmensa mayoría de las empresas que participaron del estudio emprendieron actividades en aras de garantizar la supervivencia de ellas y de adaptarse a las nuevas circunstancias. Varias de esas actividades estuvieron dirigidas a la protección de sus empleados, otras a garantizar la salud financiera y otras al lanzamiento de nuevos productos asociados a la pandemia o a la reconfiguración de su modelo de negocio, estas últimas acciones estuvieron soportadas

por procesos de digitalización. Este estudio permite tener un panorama sobre la forma cómo actuaron las empresas en momentos de alta incertidumbre y crisis lo que facilita el establecimiento de áreas en las que se debe profundizar su estudio. También indica aquellas áreas que se han de profundizar en una era de creciente digitalización. La principal limitación del estudio se pudo evidenciar la complejidad de lograr la respuesta masiva en el tiempo de pandemia.

PALABRAS CLAVE: SARS-CoV2 - Covid 19, respuesta crisis, acciones empresariales, gestión tecnológica.

ABSTRACT: This article explores the actions of Colombian companies of different sizes and sectors to face the pandemic caused by the SARS-CoV2 virus. These actions were identified through a survey carried out between the months of September and October 2020 to companies that use technology and innovation management as one of their most relevant practices to be competitive. It is noteworthy that the vast majority of companies that participated in the study undertook activities in order to guarantee their survival and adapt to new circumstances. Several of these activities were aimed at the protection of its employees, others at guaranteeing financial health and others at the launch of new products associated with the pandemic or at the reconfiguration of its business model, these last actions were supported by digitalization processes. This study provides an overview of the way in which companies operate in times of high uncertainty and crisis, which facilitates the

establishment of areas in which their study must be deepened. It also indicates those areas that have to be deepened in an era of increasing digitalization. The main limitation of the study could be highlighted the complexity of achieving the massive response in the time of a pandemic.

KEYWORDS: SARS-CoV2 - Covid 19, crisis response, business actions, technological management.

1 | INTRODUCCIÓN

El año 2020 comenzó con el rumor que había aparecido un virus (el SARS-CoV2), altamente infeccioso en China; Virus que se fue expandiendo a lo largo de los diferentes países, convirtiéndose en una pandemia a partir de marzo.

Específicamente, en Colombia, a partir del 25 de marzo de 2020, se decretó la emergencia sanitaria¹, la cual se define como un estado de excepción en el que el Presidente de la República puede expedir normas mediante un decreto legislativo, sin necesidad de ser tramitadas por el Congreso de la República. El estado de emergencia se decretó inicialmente por tres meses, pero se ha ido extendiendo hasta el día de hoy.

Dentro de estas medidas están la destinación de recursos para garantizar el fortalecimiento del sistema de salud, la protección con subsidios para los más vulnerables, la devolución del IVA a los hogares, los alivios financieros para personas, micro, pequeñas y medianas empresas y la protección al empleo. Adicionalmente, se decretó un periodo de confinamiento, uno de los más largos del mundo, pues duró desde el inicio de la emergencia sanitaria hasta el 1 de septiembre de 2020, con restricciones severas para la industria, el comercio y el sector servicios. A partir de septiembre se ha dado apertura escalonada de sectores económicos y cierres parciales dependiendo del comportamiento del contagio del virus.

Este panorama dio origen a esta investigación, como una forma de contribuir al conocimiento de las formas de adaptación de las empresas en Colombia frente a la coyuntura generada por la pandemia ocasionada por el SARS-CoV2. También es importante resaltar que esta investigación hace parte de la iniciativa del Comité Técnico del Premio Nacional de Tecnología e Innovación de México y de la Asociación Latino-Iberoamericana de Gestión Tecnológica y de la Innovación (ALTEC) para entender el fenómeno en países como Argentina, Brasil, Costa Rica, Perú, Chile, México y Colombia.

Por lo anterior, el objetivo de este artículo es presentar los resultados de la encuesta desarrollada a empresas colombianas para establecer las acciones y las formas de adaptación frente a la coyuntura generada por la pandemia ocasionada por el SARS-CoV2. El artículo inicia con esta sección introductoria, después de describir la metodología, se presentan los principales hallazgos. Finalmente, se presentan las conclusiones.

¹ Las normas expedidas solo pueden ser relacionadas con la emergencia que vive el país y por ninguna razón podrán modificar la Constitución Política ni afectar los derechos fundamentales de las personas.

2 | MÉTODO

Para la recolección de la información se diseñó un formulario en Google-Forms, con base en el cuestionario de encuesta realizado previamente por los grupos de trabajo de Argentina, Brasil, Costa Rica, México y Perú, el cual tenía una duración aproximada de 12 minutos.

La estructura del cuestionario de encuesta permite indagar tanto sobre la percepción de las empresas frente al riesgo que ocasiona la pandemia, como por las acciones que estas han tomado en las diferentes funciones de la gestión tecnológica, durante la pandemia.

La encuesta estuvo disponible en línea entre septiembre y octubre de 2020. Pese a los esfuerzos de difusión, la encuesta recolectó un total de 125 registros que al depurarse terminaron siendo válidos 100 registros.

3 | RESULTADOS

La encuesta permitió establecer un panorama sobre las diversas acciones que las empresas enfrentaron en términos de gestión de tecnología para enfrentar la pandemia. Un 84% de las empresas que participaron de la encuesta se relacionan con el sector servicios y el 16% con el sector industrial. Con base en la normatividad colombiana, según el tamaño de las empresas participantes, el 43% se considera como Gran Empresa, el 23% como una empresa mediana, 20% una pequeña empresa y 14% microempresa. Si bien el 37% de las empresas corresponde al sector de tecnología, se observó un amplio espectro de actividades económicas. El 45,4% de las empresas tiene presencia en Colombia, un 30,6% tiene presencia en varios países de América Latina y el 9,3% tiene presencia en dos o más continentes, tal como se presenta en la Figura 1.

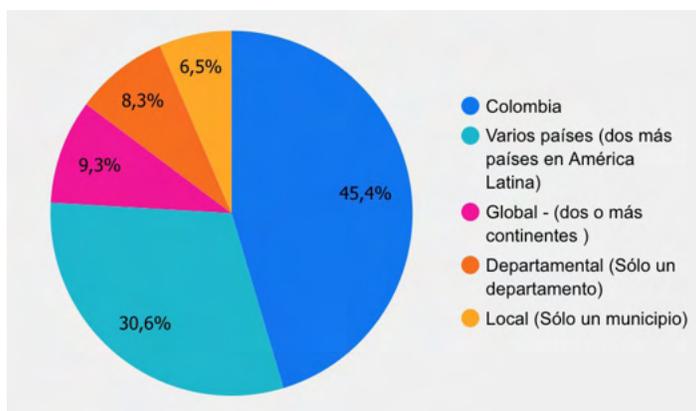


Figura 1. Presencia geográfica de las empresas encuestadas.

Fuente: elaboración propia, (2020).

Un 52% de las empresas consideró que el riesgo de la pandemia frente a la subsistencia de la empresa es medio. Sin embargo, llama la atención que no puede establecerse una tendencia hacia al optimismo o al pesimismo, como quiera que un 22% consideró que el riesgo es alto y otro 23% consideró que el riesgo es bajo; un 3% consideró que el riesgo es nulo. Los tres principales riesgos que implica la epidemia por COVID 19, de acuerdo con las respuestas de las empresas son la disminución de la demanda; seguido de la pérdida de la posición competitiva; y, la pérdida de la sostenibilidad productiva.

Por lo señalado es consecuente que el 95% de las empresas tomó medidas para hacerle frente a la pandemia. En ese sentido, el 89,5% expresó que había generado un plan de acción para los siguientes meses del año 2020 y 2021, el cual estuvo bajo el liderazgo en el 67,3% de las empresas de la alta dirección. El 22,8% de las organizaciones optó por conformar un equipo de profesionales interno, especialmente, dedicados a esta labor.

Los objetivos de los planes de acción fueron varios, como se observa en la Figura 2 y el predominante fue el de protección de los trabajadores con el 27,1% de las respuestas, seguido por la sobrevivencia financiera del negocio según el 19,3%. Los otros objetivos estuvieron relacionados con la adecuación de nuevas realidades laborales y con el aprovechamiento de las oportunidades generadas por la pandemia.

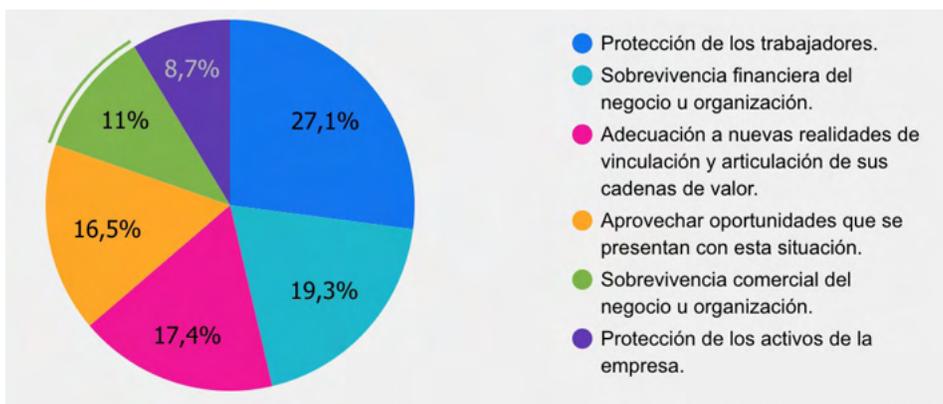


Figura 2. Objetivos de los planes de acción.

Fuente: elaboración propia, (2020).

Las acciones más frecuentes para no interrumpir sus actuaciones y actividades en términos de la elaboración de sus productos y servicios fueron permitir a los trabajadores realizar sus actividades desde casa; monitorear la salud de los trabajadores al entrar a trabajar; proporcionar información de salud; formular los protocolos de bioseguridad y proporcionar a los trabajadores equipo de protección personal como máscaras – desinfectante, entre otros.

Se observó que en relación con las acciones que las empresas pusieron en marcha

en sus actividades de comercialización para hacer frente a la situación generada por la pandemia, estas buscaron la continuidad de su operación, esto se evidencia en el hecho que las acciones más frecuentes acciones tuvieron que ver con proporcionar información de salud a clientes y/o proveedores y/o personal, proporcionar a los trabajadores equipo de protección personal como tapabocas – desinfectante, permitir horarios flexibles de trabajo y limpiar más frecuentemente el lugar de trabajo, e identificar nuevos mercados o nuevos productos.

En relación con la gestión financiera, las cinco acciones más frecuentes que las empresas pusieron en marcha fueron agilizar la cobranza, disminuir la actividad de la organización, cancelar capacitaciones, restringir o cancelar viajes y cerrar parcialmente una sección de la organización.

Las acciones más frecuentes emprendidas por las organizaciones sobre la ejecución de los proyectos internos de I+D+i, como se observa en la Figura 3, fueron ajustar el cronograma de los proyectos en curso, redireccionar el enfoque de los proyectos que estaban realizándose en la empresa, lanzar nuevos productos vinculados a las necesidades sociales y/o de salud en la pandemia, aumentar la cantidad de proyectos que estaban realizándose en la organización. Se destaca que sólo 12 empresas mencionaron la reducción de los proyectos.

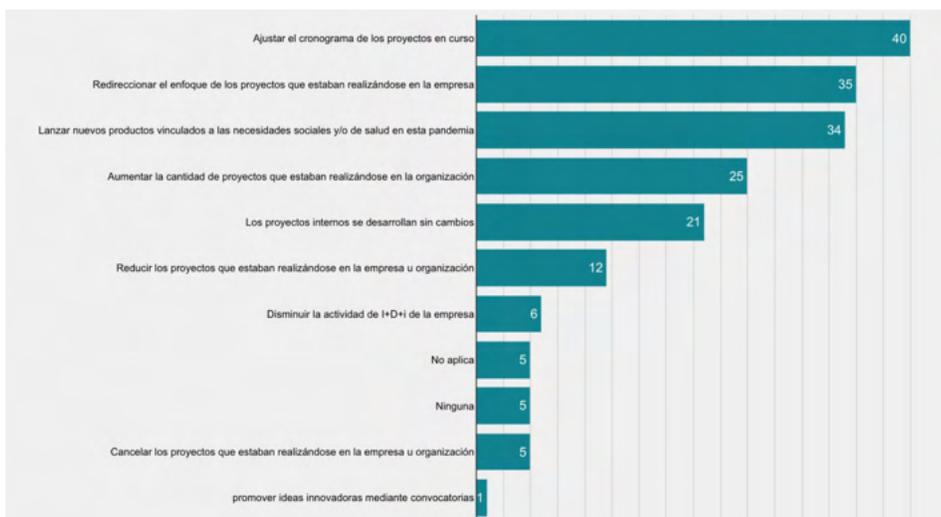


Figura 3. Acciones frente a la ejecución de proyectos de I+d+i.

Fuente: elaboración propia, (2020).

En relación con proteger la propiedad intelectual se encontró que un 70% de las empresas implementaron alguna acción. Así, las acciones más frecuentes fueron la firma de contratos de confidencialidad, la adquisición de plataformas de comunicación segura para las reuniones de trabajo, y la instalación de sistemas de protección informática de las

redes. Tan sólo dos organizaciones señalaron que no era necesario tomar acciones pues ya estaban implementadas.

En cuanto a los nuevos proyectos en los cuales las empresas se involucraron, derivados de los impactos de la pandemia, como se observa en la Figura 4, como era de esperarse, estuvieron relacionados con la digitalización y el ajuste o cambio de su modelo de negocio. Por lo que se destaca que en general, las empresas expresaron su alto grado de satisfacción con la disponibilidad, seguridad de los recursos informáticos con los que cuentan. No obstante lo anterior, al indagar sobre el grado de profundidad de los cambios en temas de digitalización de las organizaciones en diversas áreas, se observa que las empresas contaban con sistemas de apoyo a la gestión administrativa pues la percepción de cambio en esas áreas es poco; sin embargo, la percepción de cambio en términos de digitalización es alto para las actividades de producción de los bienes y servicios, el relacionamiento con el cliente, y las de marketing.

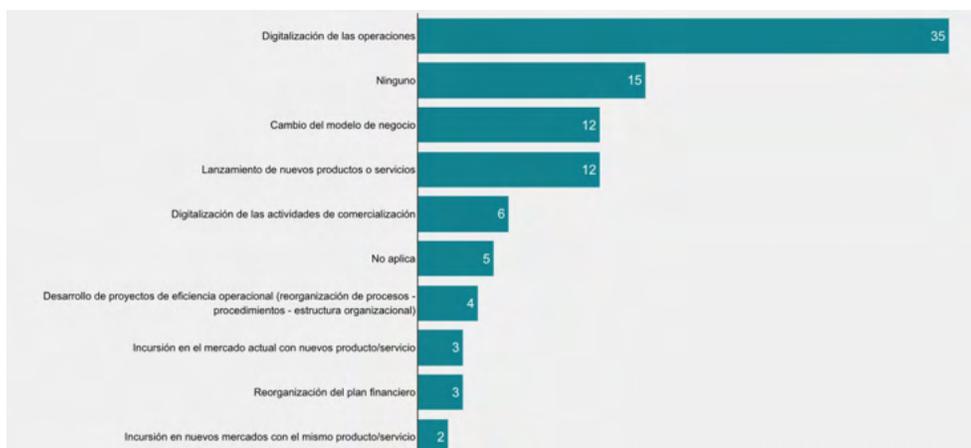


Figura 4. Nuevos proyectos derivados de los impactos de la pandemia.

Fuente: elaboración propia, (2020).

4 | CONCLUSIONES

La encuesta señala que las empresas colombianas buscaron la forma de continuar y sobrellevar la situación, adaptándose a las nuevas circunstancias. El hecho de que la mitad de las empresas consideraron como medio el riesgo de la pandemia frente a su supervivencia, puede leerse lógico dado el alto grado de incertidumbre que la pandemia ha generado.

Incertidumbre que puede llegar a dificultar el diseño de estrategias claras. No obstante lo anterior, se destaca que el 90% de las empresas diseñó un plan de acción, bajo el liderazgo de la alta dirección, tal vez por ello las medidas para sobrellevar la gestión

financiera o la gestión de los proyectos de I+D+i fueron de sentido común frente a una situación de crisis.

En términos de propiedad intelectual se observa la necesidad de continuar con las acciones de concientización de la importancia de este aspecto desde varios actores del Sistema Nacional de Innovación, como quiera que es preocupante que sólo dos organizaciones señalaron que no era necesario tomar acciones pues ya estaban implementadas.

En relación con los nuevos proyectos, como era de esperarse, estuvieron relacionados con la digitalización y el ajuste o cambio de su modelo de negocio. El hecho de que la percepción de cambio en términos de digitalización de los sistemas de apoyo a la gestión administrativa fue poco y a la vez que para las áreas de producción de los bienes y servicios, el relacionamiento con el cliente, y las de marketing fuera alto contrasta con los datos de Confecámaras, (2020) que indican que más del 95% de las empresas colombianas son microempresas, pero no se reporta suficiente evidencia de que estas usen las TIC como un activo estratégico.

Que un 77% de las empresas se apoyaron en la virtualidad y el trabajo remoto para detener o minimizar el impacto en sus ingresos a partir de la ejecución de sus actividades o sus operaciones. Lo anterior concuerda con, de un lado, el propósito de sus planes de acción, y de otro, con las recomendaciones internacionales de responsabilidad social empresarial de mantener el empleo e ingreso de los trabajadores (Cepal, 2020). Finalmente, si bien la encuesta realizada no se puede generalizar para todas las empresas y sectores, la misma sí ofrece un panorama de la realidad y la posición de las empresas con respecto a las acciones realizadas para afrontar la pandemia.

REFERENCIAS

Cepal. (2020). *Informe Especial COVID-19 No 4: las empresas frente a la COVID-19: emergencia y reactivación*. Retrieved from https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45734/4/S2000438_es.pdf.

Confecámaras. (2020). *Encuesta de las Cámaras de Comercio sobre el Impacto de la Covid-19 en las empresas colombianas*. 35. Retrieved from http://www.confecamaras.org.co/phocadownload/2020/Encuesta_Cámaras_de_Comercio_consolidada.pdf.

AVALIAÇÃO DO CONFORTO HUMANO DE PISOS MISTOS (AÇO-CONCRETO) SUBMETIDOS A CARGAS DINÂMICAS RÍTMICAS

Data de aceite: 01/02/2022

Data de submissão: 28/02/2022

Elisângela Arêas Richter dos Santos

Universidade do Estado do Rio de Janeiro
(UERJ)
Rio de Janeiro/RJ
<http://lattes.cnpq.br/2687197198246017>

Karina Macedo Carvalho

Universidade Estácio de Sá (UNESA)
Rio de Janeiro/RJ
<http://lattes.cnpq.br/8864137247599342>

Miguel Henrique de Oliveira Costa

Universidade Estácio de Sá (UNESA)
Rio de Janeiro/RJ
<http://lattes.cnpq.br/5458765513072880>

José Guilherme Santos da Silva

Universidade do Estado do Rio de Janeiro
(UERJ)
Rio de Janeiro/RJ
<http://lattes.cnpq.br/4422797300106230>

RESUMO: Nos últimos anos, vários pesquisadores têm relatado um número crescente de problemas estruturais associados às vibrações excessivas de pisos em edifícios de estrutura mista devido a atividades humanas rítmicas. Nesse sentido, a representação de atividades humanas não é tarefa fácil. Para tanto, foram utilizadas formulações matemáticas para representar o carregamento dinâmico (modelos de “força dura”); e, também, considerando-se o emprego

de modelos biodinâmicos associados a sistemas do tipo “massa-mola-amortecedor”, com um grau de liberdade (S1GL), objetivando representar o comportamento dinâmico das pessoas. Assim sendo, este trabalho de pesquisa objetiva o estudo de um piso misto (aço-concreto), com dimensões 10 m x 10 m ($A = 100 \text{ m}^2$), submetido a cargas dinâmicas oriundas de vinte indivíduos praticando atividade aeróbica sobre a estrutura. Por conseguinte, foi realizado o estudo da resposta dinâmica do piso com base nos valores dos deslocamentos, acelerações de pico (a_p), RMS ($a_{w,rms}$) e valores de doses de vibração (VDV), comparando os resultados obtidos entre os modelos matemáticos tradicionais de “força dura” e biodinâmico, objetivando avaliar o conforto humano da estrutura. A modelagem numérica foi desenvolvida com base no uso do programa de elementos finitos ANSYS (2012). Os resultados alcançados ao longo desta investigação apontam discrepâncias quanto aos limites de projeto recomendados, resultando em desconforto humano.

PALAVRAS-CHAVE: Pisos mistos de edificações / Ações humanas rítmicas / Análise de conforto humano.

HUMAN COMFORT ASSESSMENT OF STEEL-CONCRETE COMPOSITE FLOORS SUBJECTED TO RHYTHMIC ACTIVITIES

ABSTRACT: In recent years, several researchers have reported a number of structural problems associated with excessive floor vibrations in steel-concrete composite buildings due to

rhythmic human activities. In this sense, the representation of human activities is not an easy task. This way, mathematical formulations were used to represent the dynamic loading (“only force” models); and considering the use of biodynamic models associated with “mass-spring-damper” systems, with one degree of freedom (S1GL), aiming to represent the dynamic behaviour of people. Therefore, this research work aims to study a steel-concrete composite floor (steel-concrete) with dimensions of 10 m x 10 m ($A = 100 \text{ m}^2$) subjected to dynamic loads related to twenty individuals practicing aerobics on the floor. Therefore, a study of the floor dynamic response was carried out based on the values of displacements, peak accelerations (a_p), RMS ($a_{w,rms}$) and values of vibration doses (VDV), comparing the obtained results calculated based on the use of “only force” and biodynamic models, aiming to evaluate the human comfort of the structure. The numerical modelling was developed based on the use of the finite element program ANSYS (2012). The results achieved throughout this investigation point out to discrepancies regarding the recommended design limits, resulting in human discomfort.

KEYWORDS: Steel-concrete composite floors of buildings / Rhythmic human actions / Human comfort analysis.

1 | INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, muitos dos problemas associados à vibração excessiva de estruturas têm ocorrido em espaços destinados à atividade humana rítmica, especialmente na cidade do Rio de Janeiro (CAMPISTA, 2019; GASPAS, 2016). Este fato pode estar relacionado a diversos fatores, como o impacto dos avanços tecnológicos (materiais mais leves e resistentes) e a adaptação de estruturas originalmente projetadas para outros fins. Como resultado desses avanços tecnológicos temos estruturas mais esbeltas, flexíveis e com baixo amortecimento estrutural, que geram nesses sistemas frequências naturais menores.

A utilização de pisos mistos (aço-concreto) para a prática de atividades humanas rítmicas (ginástica aeróbica) tais como academias e ginásios esportivos, consiste em um problema complexo. Assim sendo, este tipo de situação ocorre devido estas atividades apresentarem as frequências dos harmônicos relativamente próximos das frequências naturais da maioria dos pisos de edifícios com grandes vãos (4 a 8 Hz).

Desta maneira, esta combinação propicia a ocorrência do fenômeno de ressonância, ocorrendo, portanto, a amplificação das vibrações e causando mal-estar e desconforto aos usuários (CAMPISTA, 2019; GASPAS, 2016). Ademais, os seres humanos apresentam grande sensibilidade às vibrações na faixa de frequência mencionada (BACHMANN et al., 1995; MURRAY et al., 2003; SMITH et al., 2009, GASPAS, 2013). Destaca-se, ainda, que estes sistemas atendem aos estados limites de utilização (ELU), no entanto devem ser investigados quanto aos estados limites de serviço (ELS), com o objetivo de assegurar os critérios de conforto dos usuários e de vibrações excessivas.

Considerando-se a relevância do problema em questão, neste estudo as ações

dinâmicas humanas são consideradas com base no emprego dos seguintes modelos de carregamento: modelos tradicionais de “força dura” (AISC, 2016; SCI, 2009; FAISCA, 2003) e os modelos biodinâmicos, desenvolvidos no trabalho de pesquisa de CAMPISTA (2019), que consideram as características dinâmicas de cada indivíduo.

Assim sendo, este trabalho de pesquisa objetiva o estudo do comportamento dinâmico de um piso misto (aço-concreto), com dimensões de 10 m x 10 m ($A = 100 \text{ m}^2$), submetido a cargas dinâmicas oriundas de vinte indivíduos praticando atividade aeróbica sobre a estrutura. Deste modo, os valores máximos da resposta estrutural dinâmica da estrutura (deslocamentos e acelerações), foram avaliados e comparados com os limites recomendados para o estudo do conforto humano. Após a análise dos resultados obtidos nesta investigação, foi observado que os limites de projeto não são obedecidos em determinadas situações de projeto, e a estrutura pode vir a apresentar níveis de vibração excessiva e desconforto humano.

2 | METODOLOGIA DE ANÁLISE

2.1 Modelagem das atividades humanas rítmicas

Considerando-se os impactos das ações humanas rítmicas sobre pisos de edifícios, foram utilizados três modelos matemáticos tradicionais de “força dura”: AISC (2016), SCI (2009) e FAISCA (2003). Assim sendo, o modelo matemático presente no guia AISC (2016) representa os harmônicos da excitação, ao longo do tempo, considerando a frequência do passo dos indivíduos, conforme a Equação (1). Onde $F(t)$ representa a força dinâmica em (N); Q é o peso do indivíduo em (N); α_i é o coeficiente dinâmico; i é o número do harmônico; f_{step} é a frequência de passo em (Hz) e t é o tempo em (s).

$$F(t) = P\alpha_i \cos(2\pi if_{\text{step}}t) \quad (1)$$

Com referência ao guia SCI (2009), leva-se em consideração a diferença de fase adotada para os três primeiros harmônicos, considerando-se os saltos regulares realizados pela multidão foi tomada como sendo $p/6$, $-p/6$ e $p/2$ (ELLIS e JI, 2004 apud SCI, 2009), respectivamente. Além disso, a base desse modelo foi inspirada pela série de Fourier definida com base no número de indivíduos e nas características da estrutura. Conforme apresentado na Equação (2), onde $F(t)$ representa a força dinâmica em (N); G é o peso da pessoa em (N); n é o número de Fourier prazo; n é o número das pessoas; $r_{n,n}$ é o coeficiente de Fourier induzido por n pessoas; f_n é a diferença de fase; f_p é a frequência de carga e t é o tempo em (s).

$$F(t) = G \left\{ 1 + \sum_{n=1}^{\infty} r_{n,i} \sin(2n\pi f_p t + \phi_n) \right\} \quad (2)$$

O terceiro modelo de carregamento utilizado trata da formulação associada às ações dinâmicas rítmicas induzidas por ginástica aeróbica e saltos à vontade. Para tal, a função Hanning, muito utilizada em processamentos de sinais, foi proposta por FAISCA (2003) para descrever matematicamente esses carregamentos. Esta modelagem é respaldada por parâmetros experimentais também realizados por FAISCA (2003). O carregamento foi aplicado diretamente sobre as lajes de concreto. Conforme apresentado na Equação (3), onde o $F(t)$ é a força dinâmica em (N); CD é o coeficiente de atraso; K_p é o coeficiente de impacto; T_c é o período de contato da atividade em (s); T é o período de atividade em (s) e t é o tempo em (s).

$$F(t) = CD \left\{ K_p P \left[0,5 - 0,5 \cos \left(\frac{2\pi}{T_c} t \right) \right] \right\} \quad \text{Para } t \leq T_c$$

$$F(t) = 0 \quad \text{Para } T_c \leq t \leq T \quad (3)$$

Objetivando-se representar as ações dinâmicas humanas considerando-se o caráter individual de cada pessoa, de maneira mais realista, o modelo matemático biodinâmico proposto por CAMPISTA (2019) foi utilizado e os resultados produzidos pela adoção deste modelo serão comparados com aqueles fornecidos pelos modelos tradicionais de carregamento (“força dura”).

O modelo desenvolvido por CAMPISTA (2019) envolve o uso de um sistema biodinâmico do tipo “massa-mola-amortecedor” com um grau de liberdade (S1GL), com o objetivo de representar de maneira mais realista as ações humanas sobre pisos, pois considera as características dinâmicas (massa; amortecimento e rigidez) de cada indivíduo. Este modelo matemático foi desenvolvido através da combinação de uma série extensa de testes experimentais e a resolução de um problema clássico de otimização, com base no uso de Algoritmos Genéticos (AG), via emprego do software MATLAB (2017). O modelo biodinâmico proposto por CAMPISTA (2019) é ilustrado de acordo com a Figura 1.

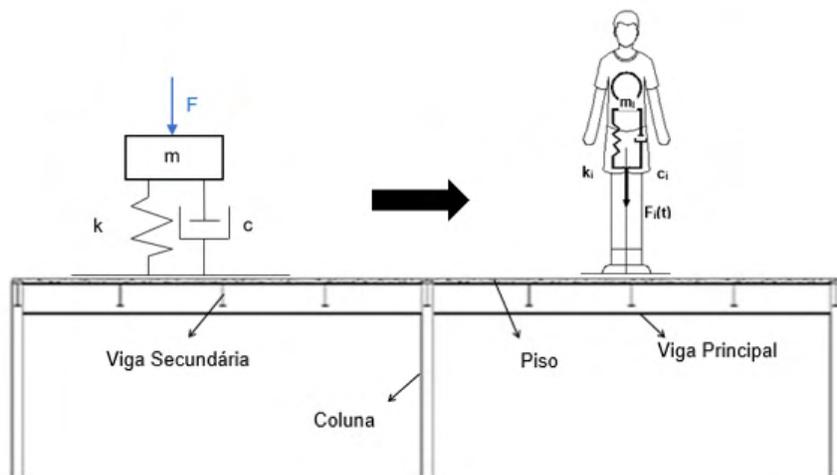


Figura 1 - Representação do modelo matemático biodinâmico (CAMPISTA, 2019).

$$F_i(t) = k_i x_i(t) + c_i v_i(t) + m_i a_i(t) \quad (4)$$

$$k_i = 4\rho^2 f_i^2 m_i \quad (5)$$

$$c_i = 4\rho m_i \xi f_i \quad (6)$$

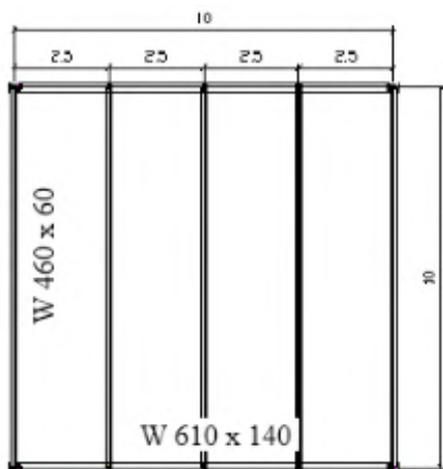
Onde $F_i(t)$ é a força dinâmica produzida pelo indivíduo em (N); k_i é a rigidez em (N/m); m_i é a massa em (kg); c_i é o amortecimento em (N.s/m); $x_i(t)$ é o deslocamento em (m); $v_i(t)$ é a velocidade em (m/s); $a_i(t)$ é a aceleração em (m/s²); f_i é a frequência em (Hz), t é o tempo em (s), e ξ é o coeficiente de amortecimento, considerado igual a 0,25 nesta investigação (DOUGILL, 2008). Estes parâmetros foram determinados para cada indivíduo, conforme proposto no modelo matemático desenvolvido por CAMPISTA (2019).

3 I MODELO ESTRUTURAL E MODELO EM ELEMENTOS FINITOS

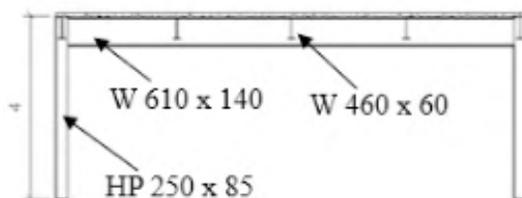
Neste trabalho investiga-se a resposta dinâmica de um piso misto (aço-concreto) composto por uma laje de concreto armado e com vigas e pilares formados por perfis de aço. A laje possui dimensões de 10 m x 10 m ($A = 100 \text{ m}^2$). O espaçamento entre as vigas secundárias é igual a 2,5 m com pilares de 4 m de altura. A visualização da vista superior do piso misto e da seção transversal do painel, respectivamente, está ilustrados na Figura 2.

Os perfis metálicos utilizados são compostos por vigas principais W 610 x 140 e W 460 x 60, enquanto os pilares são perfis HP 250 x 85. Estes perfis possuem tensão de escoamento de 345 MPa, módulo de elasticidade (E) de 205 GPa e massa específica de 7.850 kg/m³. A laje possui espessura de 10 cm, resistência característica à compressão (f_{ck}) de 30 MPa, módulo de elasticidade secante (E_{cs}) de 34 GPa e massa específica de

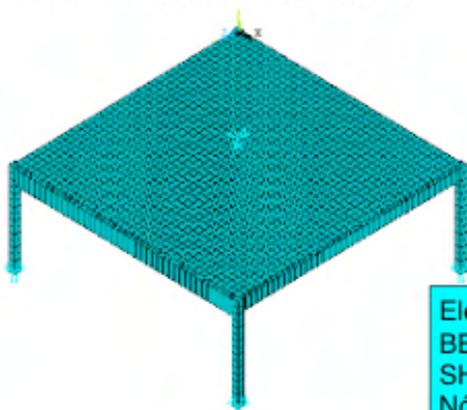
2500 kg/m³. O coeficiente de Poisson (ν) para o aço é 0,3 e para o concreto é de 0,2.



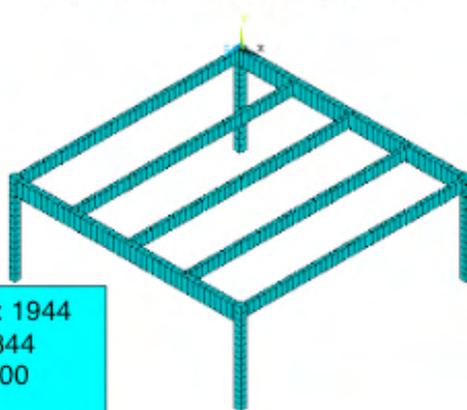
(a) Vista superior do piso misto.



(b) Seção transversal genérica.



(c) Modelo em elementos finitos.



(d) Colunas e vigas de aço.

Elementos: 1944
BEAM44: 344
SHELL: 1600
Nós: 1745
GL: 10458

Figura 2 - Modelo estrutural e modelo em elementos finitos (dimensões em metros).

No desenvolvimento do modelo numérico (Figura 2), foram empregadas técnicas usuais de discretização, via Método dos Elementos Finitos (MEF), por meio do uso do programa ANSYS (2012). Os elementos definidos para representar as colunas e vigas são do tipo pórticos espaciais (BEAM44); e para representar a laje de concreto armado foram utilizados elementos de casca (SHELL63). No que diz respeito à modelagem dos indivíduos foram utilizados elementos de mola-amortecedor (COMBIN14) associados aos elementos de massa (MASS21), para a simulação de um sistema com um grau de liberdade (S1GL: sistema massa-mola-amortecedor), representativo das pessoas.

4 | ANÁLISE ESTRUTURAL DINÂMICA

Ao longo da análise dinâmica, considerou-se um caso real de projeto para o piso em estudo. Sobre as lajes da estrutura, foram dispostos vinte indivíduos praticando atividade aeróbica em um piso de academia (Figura 3), com taxa de distribuição igual a 0,25 pessoas/m² (BACHMANN et al., 1995). Além disso, considera-se que o peso de cada indivíduo é igual a 800N e o coeficiente de amortecimento estrutural é igual a $\xi = 1\%$ ($\xi = 0,01$), de acordo com recomendações da norma ISO 10137 (2007). A resposta dinâmica do modelo estrutural foi obtida no nó localizado no centro da laje (seção A), como mostrado na Figura 4.

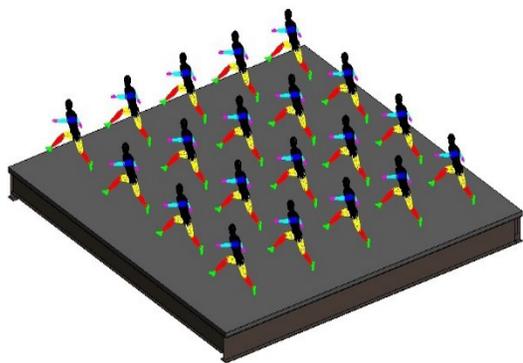


Figura 3 - Atividade aeróbica.

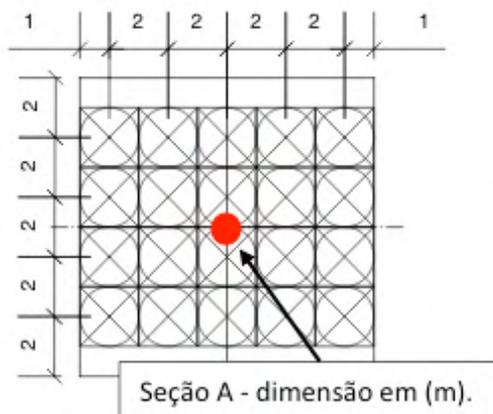


Figura 4 - Posição das pessoas.

5 | FREQUÊNCIAS NATURAIS E MODOS DE VIBRAÇÃO

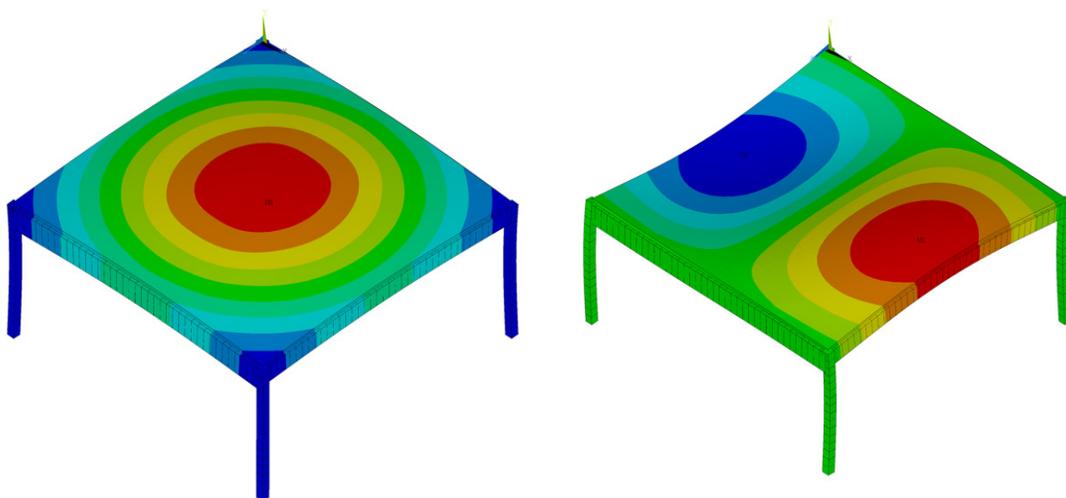
As frequências naturais e os modos de vibração do piso misto (aço-concreto) investigado foram determinados via análise modal, com base no programa ANSYS (2012). Os autovalores (frequências naturais) encontram-se descritos na Tabela 1, enquanto os dois primeiros modos são mostrados na Figura 5.

Com base nos resultados apresentados na Tabela 1, observa-se que a frequência fundamental do piso ($f_{01}=6,60$ Hz) encontra-se na faixa de frequência da atividade aeróbica. Em outras palavras, o terceiro harmônico da frequência de excitação (entre 5,66 e 8,57 Hz) pode igualar-se a frequência fundamental do piso e, portanto, conduzir a um estado de ressonância (BACHMANN et. al., 1995).

| Frequência (Hz) | Massa modal (kg) | Rigidez modal (N/m) | Amortecimento modal (N.s/m) | Período natural (s) |
|-----------------|------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------|
|-----------------|------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------|

| | | | | | |
|-----|-------|-----------|----------------------|------------|------|
| f01 | 6,60 | 1.0510,13 | 1,81x10 ⁷ | 20.189,06 | 0,15 |
| f02 | 10,28 | 8.655,93 | 3,61x10 ⁷ | 39.254,51 | 0,10 |
| f03 | 13,37 | 5.282,54 | 3,73x10 ⁷ | 40.185,49 | 0,07 |
| f04 | 14,18 | 8.180,63 | 6,49x10 ⁷ | 69.861,82 | 0,07 |
| f05 | 19,87 | 4.313,58 | 6,72x10 ⁷ | 71.982,67 | 0,05 |
| f06 | 22,93 | 6.580,37 | 1,37x10 ⁸ | 146.083,59 | 0,04 |

Tabela 1 - Características modais da estrutura.



(a) 1° Modo (flexão da laje): $f_{01} = 6,60\text{Hz}$.

(b) 2° Modo (flexão da laje): $f_{02} = 10,28\text{ Hz}$.

Figura 5 - Modos de vibração do piso.

6 | ANÁLISE DO CONFORTO HUMANO

Inicialmente, cabe ressaltar que após o cálculo das frequências naturais e modos de vibração do piso em estudo, e tendo em mente o projeto final da estrutura, todos os casos investigados (ginástica aeróbica: 20 pessoas) foram sintonizados com uma frequência de excitação igual 2,20 Hz ($f = 2,20\text{ Hz}$), de tal modo que o terceiro harmônico da atividade rítmica estivesse em ressonância com o modo de vibração fundamental do piso ($f_{01} = 6,60\text{ Hz}$). O tempo total de análise numérica, no qual a atividade aeróbica foi realizada pelas pessoas, foi considerado igual a 10 s, suficiente para que a fase permanente da resposta da estrutura (deslocamentos e acelerações) fosse alcançada.

6.1 Análise dos deslocamentos translacionais verticais

O nível de vibração excessiva e de conforto humano do piso misto (aço-concreto) em investigação foi avaliado por meio da análise dos valores dos deslocamentos translacionais

verticais máximos, de acordo com as diretrizes da ABNT (NBR 8800, 2008), e a partir do estudo dos valores das acelerações máximas.

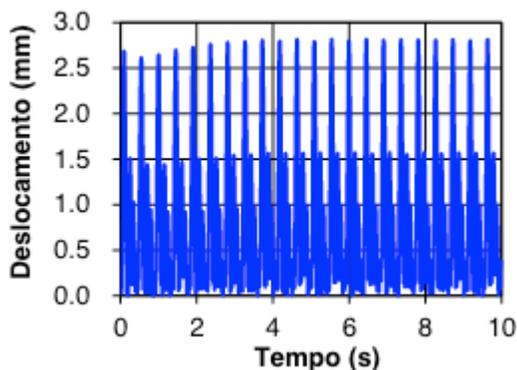
Deste modo, inicialmente, com base nos valores dos deslocamentos translacionais verticais máximos obtidos mediante o emprego dos modelos de carregamento dinâmico, representativos das pessoas praticando ginástica aeróbica sobre o piso, cabe ressaltar que o sistema não apresenta riscos quanto ao estado limite de vibração excessiva (Tabela 2).

| AISC (2016) | SCI (2009) | FAISCA (2003) | Biodinâmico (CAMPISTA, 2019) |
|--------------------------------------|------------|---------------|------------------------------|
| 2,81 mm | 3,13 mm | 2,08 mm | 0,50 mm |
| Valor Limite [NBR 8800 (2008)]: 5 mm | | | |

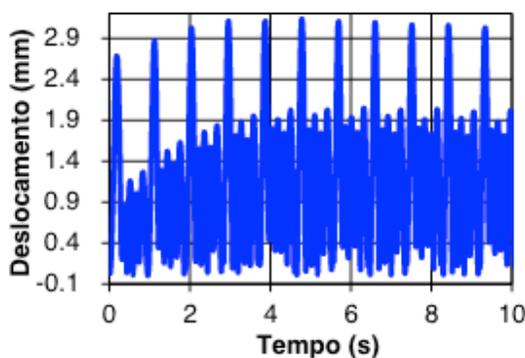
Tabela 2 - Deslocamentos translacionais verticais máximos [Seção estrutural A (Figura 4)].

Assim sendo, a partir dos gráficos representativos dos deslocamentos translacionais verticais no domínio do tempo, apresentados na Figura 6, pode-se verificar o comportamento estrutural do modelo quando submetido ao carregamento dinâmico imposto (vinte pessoas: ginástica aeróbica). Desta forma, é possível verificar, em termos quantitativos, que os valores de pico dos deslocamentos verticais (Figura 6) não ultrapassam o valor limite de 5 mm recomendado pela NBR 8800 (2008).

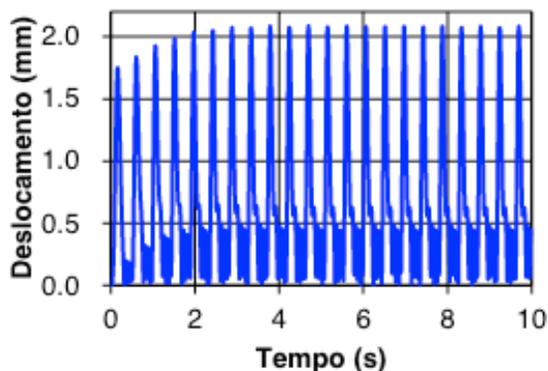
Considerando-se, agora, a resposta da estrutura no domínio da frequência (Figura 7), verifica-se que as maiores amplitudes associadas aos deslocamentos verticais ocorrem na faixa do terceiro harmônico, sendo possível verificar que as funções de carregamento do AISC (2003) e do SCI (2009) apresentaram valores com maior transferência de energia, de acordo com o gráfico da Figura 7.



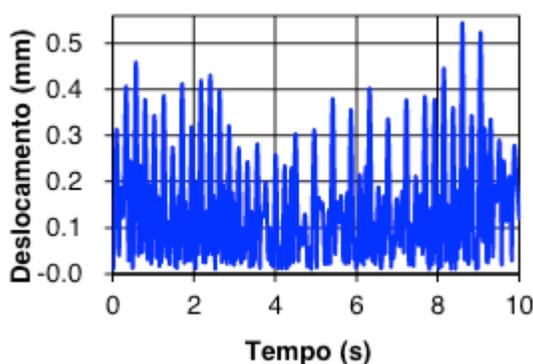
a) Modelo AISC (2016).



b) Modelo SCI (2009).



c) Modelo FAISCA (2003).



d) Modelo Biodinâmico (CAMPISTA, 2019).

Figura 6 - Resposta dinâmica: deslocamentos no domínio do tempo.

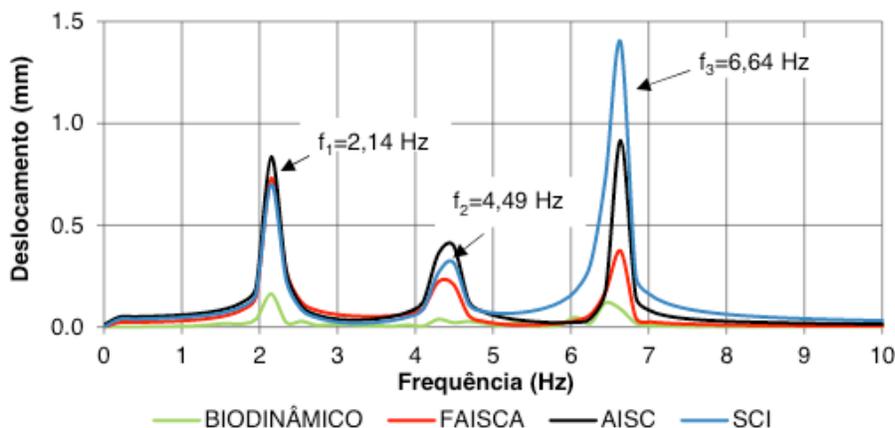


Figura 7 - Resposta dinâmica: deslocamentos no domínio da frequência.

6.2 Análise das acelerações (valores de pico; RMS e VDV)

No que tange ao critério de análise do conforto humano, é importante ressaltar, que ainda não há consenso, dentre os autores, no que diz respeito aos critérios de aceitação (valores limites) para atividades humanas rítmicas (SMITH et al., 2009). Inúmeros pesquisadores (BACHMANN et al., 1995; MURRAY et al., 2003; ELLIS e LITTLER, 2004; SMITH et al., 2009; SETAREH, 2012) têm estabelecido limites de conforto em função dos métodos de avaliação das acelerações.

Deste modo, as acelerações foram calculadas mediante a utilização de modelos de carregamento dinâmico, representativos dos indivíduos praticando ginástica aeróbica sobre o piso misto (aço-concreto), e avaliadas com base nas acelerações de pico, a_p , acelerações filtradas RMS, $a_{w,rms}$, e valores de dose de vibração, VDV. A Tabela 3 apresenta os valores

limites RMS ($a_{w,rms}$) e VDV. O limite recomendado para as acelerações de pico (a_p) é igual a $0,5 \text{ m/s}^2$ (5%g), associado a atividades aeróbicas (AISC, 2016). Em seguida, a Tabela 4 apresenta os resultados referentes à resposta dinâmica do piso misto (aço-concreto) investigado.

| SCI (2009) | Ellis e Littler (2004) | Setareh (2012) | Reação das pessoas |
|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|
| $a_{w,rms}$ (m/s^2) | VDV ($\text{m/s}^{1,75}$) | VDV ($\text{m/s}^{1,75}$) | |
| < 0,35 | < 0,66 | < 0,50 | Limite aceitável |
| 0,35 - 1,27 | 0,66 - 2,38 | 0,50 - 3,50 | Perturbador |
| 1,27 - 2,47 | 2,38 - 4,64 | 3,50 - 6,90 | Inaceitável |
| > 2,47 | > 4,64 | > 6,90 | pânico |

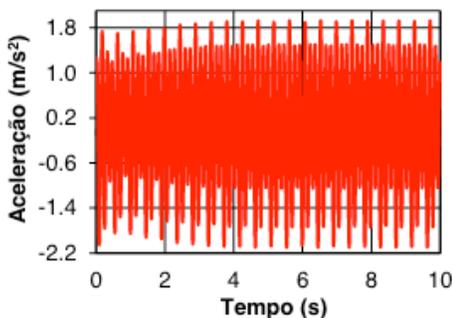
Valor limite para a aceleração de pico: $a_p = 0,5 \text{ m/s}^2$ (AISC, 2016).

Tabela 3 - Critérios de conforto humano para atividades humanas rítmicas.

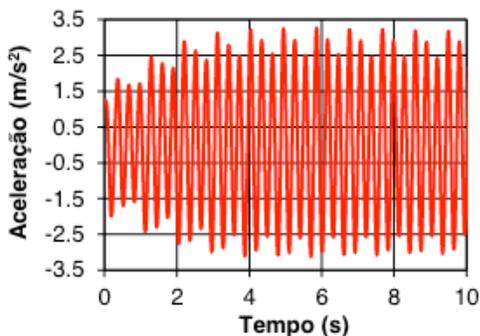
| Modelos | Valores da resposta ($\xi = 1\%$) | | | |
|---------------|-------------------------------------|-------|-------------|-----------------------------|
| | Reação | a_p | $a_{w,rms}$ | VDV ($\text{m/s}^{1,75}$) |
| AISC (2003) | Perturbador | 1,92 | 1,21 | 2,40 |
| SCI (2009) | Inaceitável | 3,25 | 2,05 | 4,06 |
| FAISCA (2003) | Perturbador | 1,02 | 0,64 | 1,27 |
| BIODINÂMICO | Perturbador / Aceitável | 0,53 | 0,33 | 0,66 |

Tabela 4 - Resposta estrutural dinâmica do piso misto (aço-concreto).

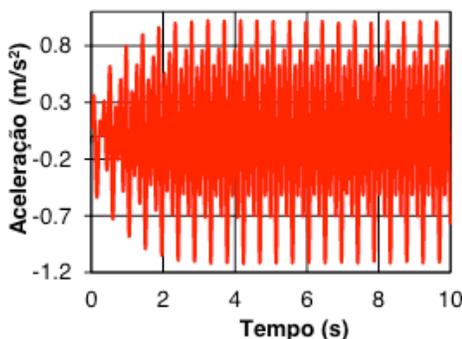
Considerando-se os resultados apresentados na Tabela 4, verifica-se que os modelos de carregamento produzem valores de resposta (acelerações) que basicamente violam os critérios de conforto humano (Tabela 3) para o piso em análise, de acordo com os parâmetros avaliados (acelerações de pico, a_p ; acelerações filtradas RMS, $a_{w,rms}$, e valores de dose de vibração, VDV), exceto para o critério de avaliação das acelerações RMS, as quais se encontram em um nível aceitável quando o modelo biodinâmico (CAMPISTA, 2019) é considerado na investigação. Em seguida, a Figura 8 apresenta a resposta estrutural dinâmica do piso misto investigado no domínio do tempo. Desta forma, é possível verificar, em termos quantitativos, que os valores de pico das acelerações (Figura 8) ultrapassam, por exemplo, o valor limite de $0,5 \text{ m/s}^2$ recomendado pelo AISC (2016).



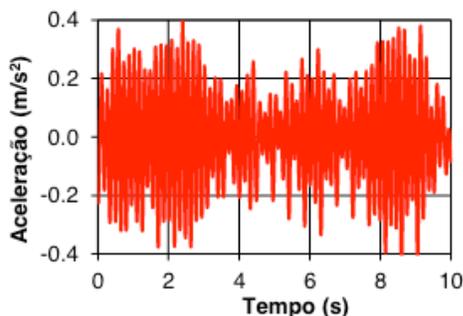
a) Modelo AISC (2016).



b) Modelo SCI (2009).



c) Modelo FAISCA (2003).



d) Modelo Biodinâmico (CAMPISTA, 2019).

Figura 8 - Resposta dinâmica: aceleração no domínio do tempo.

Convém ressaltar que as resposta estrutural dinâmica referente às acelerações máximas da estrutura no domínio da frequência apresenta comportamento qualitativo bastante similar aquele investigado para os deslocamentos translacionais verticais. Em resumo, observando-se a Figura 9, verifica-se que as maiores amplitudes associadas aos deslocamentos translacionais verticais ocorrem na faixa do terceiro harmônico ($f = 6,60$ Hz), sendo possível verificar que a função de carregamento dinâmico proposta pelo SCI (2009) resulta no valor com maior taxa de transferência de energia da resposta dinâmica do piso.

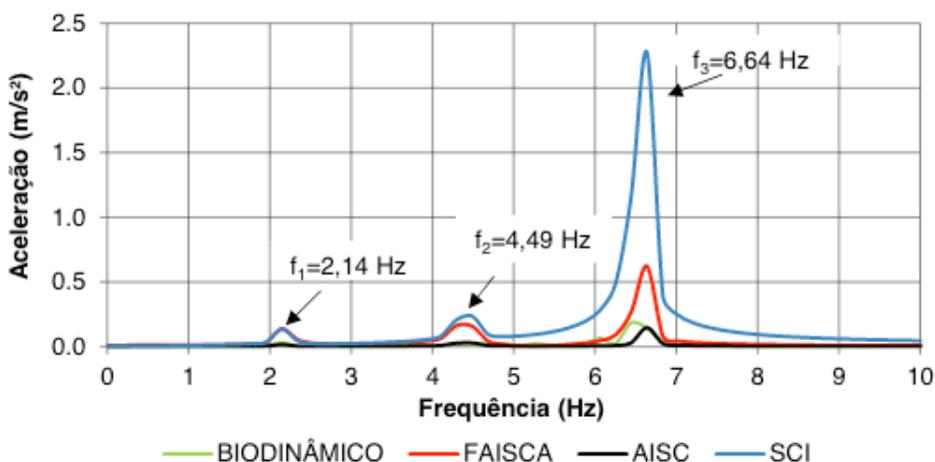


Figura 9 - Resposta dinâmica no domínio da frequência.

71 CONCLUSÕES

A análise de conforto humano dos usuários sobre os pisos mistos (aço-concreto), quando submetido a atividades rítmicas (ginástica aeróbica), tem sido cada vez mais necessária ao longo dos anos, devido ao aumento no número de problemas construtivos relacionados às vibrações excessivas. Portanto, este trabalho de pesquisa analisou a resposta dinâmica de um piso misto típico de academia, com dimensões de 10 m x 10 m ($A = 100 \text{ m}^2$), quando submetido a cargas dinâmicas geradas por vinte pessoas praticando ginástica aeróbica.

Inicialmente, foi determinada a frequência fundamental da estrutura ($f_{01} = 6,60 \text{ Hz}$) via análise modal. Cabe ressaltar que esta frequência encontra-se dentro da faixa para atividades aeróbicas, podendo conduzir a estrutura ao estado de ressonância. Após o que, objetivando de avaliar as vibrações do piso foram utilizados os modelos de carregamento propostos pelo AISC (2016), SCI (2009), FAISCA (2003) e biodinâmico (CAMPISTA, 2019) para análise dos deslocamentos translacionais verticais, acelerações de pico, a_p , acelerações RMS, $a_{w,rms}$, e valores de dose de vibração, VDV. Em seguida, os resultados obtidos da análise dinâmica (vibração forçada) foram confrontados com os valores limites estabelecidos em normas e recomendações de projeto.

Observando-se a resposta estrutural dinâmica do piso misto, em termos dos valores dos deslocamentos e acelerações no domínio da frequência, o sistema estrutural apresentou um quadro de ressonância em função da proximidade entre a frequência do terceiro harmônico da excitação (ginástica aeróbica), e frequência natural associada ao modo de vibração fundamental do piso em estudo (6,60 Hz).

Assim sendo, ao longo das análises, foi constatado que o modelo de carregamento dinâmico que produziu os maiores impactos sobre a resposta dinâmica do piso foi aquele

proposto pelo SCI (2009). Nesta situação, a análise de vibração forçada indicou os valores máximos de $3,25 \text{ m/s}^2$ para as acelerações de pico (a_p), $2,05 \text{ m/s}^2$ para as acelerações RMS ($a_{w,rms}$) e $4,06 \text{ m/s}^{1,75}$ para os valores de dose de vibração (VDV).

Por outro lado, foi observado com clareza que o modelo de carregamento biodinâmico proposto por CAMPISTA (2019), produz respostas dinâmicas menos elevadas, pelo fato de que considera a ação dinâmica de maneira mais realista, levando em conta possíveis defasagens de movimento, além das características dinâmicas distintas de cada indivíduo, especialmente no que tange ao amortecimento das pessoas. Assim sendo, os valores máximos da resposta do piso, com base no uso do modelo biodinâmico, foram os seguintes: $0,53 \text{ m/s}^2$; $0,33 \text{ m/s}^2$ e $0,66 \text{ m/s}^{1,75}$ para as acelerações de pico (a_p), RMS ($a_{w,rms}$) e valores de dose de vibração (VDV), respectivamente.

Finalmente, de acordo com a análise da resposta dinâmica do piso investigado, destaca-se que os valores dos deslocamentos translacionais verticais máximos determinados foram inferiores ao limite de 5 mm conforme sugere a ABNT NBR 8800 (2008), satisfazendo o critério inicial de estado limite utilização (ELU). Por outro lado, devido ressonância entre a frequência de excitação (ginástica aeróbica) e a frequência natural da estrutura (modo fundamental), além, evidentemente, da baixa inércia do sistema estrutural, foi verificada a ocorrência de problemas relacionados a vibrações excessivas e desconforto humano, em determinadas situações de projeto, para os usuários do piso.

REFERÊNCIAS

ANSYS. Swanson Analysis Systems Inc. (2009), Theory Reference (R. 12.1).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto: Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014. 238p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008. 237 p.

BACHMANN et al. **Vibration problems in structures - practical guidelines**, Basel (Switzerland):Institut für Baustatik und Konstruktion, Birkhäuser; 1995.

CAMPISTA, F. F. **Análise de vibrações e estudo de conforto humano sobre pisos mistos (aço-concreto) submetidos a ações humanas rítmicas**, 117f. Dissertação de mestrado, PGECIV, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2015.

CAMPISTA, F. F. **Modelagem de sistemas biodinâmicos para avaliação do comportamento estrutural dinâmico de pisos mistos (aço-concreto) de edifícios submetidos a atividades humanas rítmicas**, 245f. Tese de Doutorado, PGECIV, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2019.

DOUGILL, J.W. et al. Joint Working Group IStructE / DCLG / DCMS. **Dynamic performance requirements for permanent grandstands: recommendations for management design and assessment**. The Institution of Structural Engineers. ISBN: 978-1-906335-12-0, London, UK, 2008.

ELLIS, B.R, LITTLER J.D. Response of cantilever grandstands to crowd loads. Part I: Serviceability evaluation, Structures and Buildings, 157(4): 235-241, 2004.

FAISCA, R. G. Caracterização de Cargas Dinâmicas Geradas por Atividades Humanas, 230f. Tese de Doutorado - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, BRASIL, 2003.

GASPAR, C.M.R. **Análise dinâmica e controle de vibrações de pisos de edificações submetidos a atividades humanas rítmicas**, 151f. Dissertação de mestrado, PGE CIV, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2013.

INTERNACIONAL STANDARD ORGANIZATION, ISO 10137. **Bases for design of structures. Serviceability of buildings and walkways against vibrations**, 2007.

MATLAB. Versão R2017a. MathWorks, 2017.

MURRAY, T.M., ALLEN, D.E., UNGAR, E.E., DAVIS, D.B. **Vibrations of Steel-Framed Structural Systems Due to Human Activity**, 2nd Ed., Design Guide 11, AISC, Chicago, IL, 2016.

RICHTER, E.A. **Análise Dinâmica de Edificações Mistas (Aço-concreto) de Múltiplos Andares Submetidos a Atividades Rítmicas**, 139 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Estácio de Sá (UNESA), Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2019.

SETAREH, M. **Evaluation and assessment of vibrations owing to human activity**. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Structures and Buildings, 165 (SB5): pp. 219-23, 2012.

SMITH A.L., HICKS S.J, DEVINE P.J. **Design of floors for vibrations: A new approach**. The Steel Construction Institute (SCI). SCI Publication P354, Silwood Park, Ascot, Berkshire SL5 7QN, 2009.

CAPÍTULO 11

PANORAMA DAS POLÍTICAS DE PARCERIAS PÚBLICO-PRIVADAS (PPP'S) EM AEROPORTOS BRASILEIROS

Data de aceite: 01/02/2022

Data de submissão: 04/03/2022

Débora Comin Dal Pozzo

Universidade de Passo Fundo
Passo Fundo - Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/9594876801609196>

Caroline Miola

Universidade de Passo Fundo
Passo Fundo - Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/9144277458647101>

Humberto Anselmo da Silva Fayal

Universidade de Passo Fundo
Passo Fundo - Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/7043072490360593>

PALAVRAS-CHAVE: Aeroporto; Concessões; Parcerias Público-Privadas; PPP's; Setor aeroportuário.

AOVERVIEW OF PUBLIC-PRIVATE PARTNERSHIP POLICIES (PPP'S) IN BRAZILIAN AIRPORTS

ABSTRACT: This article aims to present an overview of public-private partnerships (PPP's) in the Brazilian airport sector, taking into account the evolution of demand for this modal, which makes it attractive to the business sector, resulting in greater investments in services. and in airport infrastructure. The possible risks of concessions in a possible crisis will also be presented, which would reduce the number of landing and take-off operations at Brazilian aerodromes and consequently would result in losses to the private sector, a fact that would make such a partnership less attractive to entrepreneurs, bringing users the risk of discontinuity of the public service.

KEYWORDS: Airport; concessions; Public-Private Partnerships; PPPs; Airport sector.

1 | INTRODUÇÃO

A parceria público-privada (PPP) pode ser definida como um contrato de longo prazo, entre uma empresa privada e uma entidade do governo, a fim de fornecer um bem ou serviço público, sendo que a parte privada assume o risco significativo e responsabilidade de gestão (Navalersuph; Charoenngam, 2021). Na PPP, a implantação da infraestrutura necessária

RESUMO: O presente artigo tem o objetivo de apresentar um panorama relativo às parcerias público privadas (PPP's) no setor aeroportuário brasileiro, levando em consideração a evolução da demanda do referido modal, que o torna atrativo para o setor empresarial, resultando maiores investimentos em serviços e em infraestrutura aeroportuária. Serão apresentados também os possíveis riscos das concessões em uma possível crise, o que diminuiria o número de operações de pouso e decolagem em aeródromos brasileiros e consequentemente resultaria em prejuízos ao setor privado, fato que tornaria tal parceria menos atrativa aos empresários, trazendo aos usuários o risco de descontinuidade do serviço público.

para a prestação do serviço contratado pela administração dependerá de iniciativas de financiamento do setor privado e a remuneração do particular será fixada com base em padrões de performance e será devida somente quando o serviço estiver à disposição do Estado ou dos usuários. Através dos olhos dos usuários públicos, serviços com melhor relação custo benefício pode ser derivado da expertise do setor privado e do preço subsidiado pelo governo (Navalersuph; Charoenngam, 2021).

Fazendo uma análise histórica em relação aos projetos de PPP que foram implementados em todo o mundo, alguns foram bem-sucedidos, enquanto sua maioria resultou em falhas que podem ser relacionadas à fraca capacidade de estruturar as parcerias, falta de legislação que possibilite as PPP's e procedimentos não transparentes (Navalersuph; Charoenngam, 2021). Neste viés, o setor aéreo é um importante componente da matriz de movimentação de cargas e passageiros. De tal forma, que a infraestrutura aeroportuária é fator atrativo para os mais diversos investimentos em uma determinada região. Cumpre ressaltar que, a dinâmica deste setor atrai investimentos para os modais que estão no seu entorno, a exemplo dos modais rodoviário e ferroviário. Assim, as PPP's surgem como uma alternativa para o incremento de investimentos no promissor setor da aviação.

Seguindo tendência global, o Estado brasileiro vem buscando parcerias com o setor privado para desenvolver sua infraestrutura aeroportuária e, para tanto, tem alterado o modelo de gestão dos aeroportos brasileiros. A gestão aeroportuária estatal e monopolista tem dado lugar à gestão privada delegada mediante concessão, mantendo o Estado a titularidade dos bens e serviços afetos a essa exploração. Diante da contextualização, o presente artigo de revisão tem como objetivo trazer conhecimento sobre as políticas público-privadas em aeroportos brasileiros, alguns exemplos, suas vantagens e desvantagens e perspectivas futuras.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

Neste artigo, serão revisados aspectos sobre as políticas público-privadas no mundo e no Brasil, tendo em ênfase a utilização dessa política no setor aeroportuário. Desse modo, será realizada uma análise desde sua aplicação, exemplos, um panorama do que está sendo feito no Brasil e as perspectivas futuras. Empiricamente, optou-se por uma metodologia de revisão sistemática da literatura.

No estudo, primeiro foram localizados artigos relevantes com base no objetivo proposto. Limitaram-se pesquisas a artigos de periódicos revisados por pares publicados em inglês e a literatura cinza, como relatórios de pesquisa, livros e algumas notícias de jornais que contivessem informações relevantes para as discussões abordadas.

As bases de dados Scopus, Google Scholar e Science Direct foram utilizadas

para a pesquisa bibliográfica. A pesquisa inicial por palavras-chave incluiu as sequências de pesquisa “public private partnership”, “PPP’s” com a adição de “airports”, bem como “perspectives” e “Brasil”.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

As PPP’s são cada vez mais utilizadas para fins de governança da sustentabilidade internacionalmente (Glasbergen, 2011a). Essa parceria implica em uma colaboração voluntária ou acordada entre pelo menos um ator estatal e um ator não estatal (Bjarstig; Sandstrom, 2017) as PPP’s devem ser um compromisso formalizado de longo prazo ou, no mínimo, um compromisso mútuo para realizar uma colaboração em que as contribuições dos parceiros se complementam de uma forma que lhes permita atingir seus objetivos de forma mais eficiente (Bjarstig; Sandstrom, 2017). Além disso, avaliações empíricas mostram que as PPP’s podem assumir diferentes finalidades, que vão desde servir uma função reguladora, desempenhando um papel metodológico, de apoio e fiscalização, até funcionar como um centro de conhecimento e comunicação (Bjarstig; Sandstrom, 2017).

As parcerias público-privadas percorreram um longo caminho desde que foram concebidas, alguns traçam sua origem em 1438, quando uma concessão foi atribuída a um nobre francês Luis de Bernam para cobrar as taxas de mercadorias transportadas no Reno, ou até mesmo em 1600, quando a coroa britânica permitiu que a empresa das Índias Orientais explorasse o leste e o que encontrasse lá em troca de uma parte fixa (Garg; Garg, 2017).

Na década de 1980, a Grã-Bretanha foi pioneira na implementação da denominada PPP, conceito amplo que consistente na experimentação de novas maneiras de envolver a participação do setor privado no planejamento, desenho, construção, financiamento, operação, e manutenção de infraestruturas públicas, “reciclando” modos de associação já exercitados no passado sob a forma de concessão, (Azeituno, 2020). Posteriormente, na década de 1990, houve uma profusão de PPP em diversos setores e países como Portugal, Holanda, Irlanda, África do Sul e Canadá.

Na União Europeia, intensificou-se a adoção de parcerias com variadas configurações, tendo como característica comum o envolvimento do setor privado na concretização de projetos de infraestrutura complexos e duradouros que os Estados membros optaram por não executar diretamente. A limitação de recursos orçamentários para realizar os necessários e vultosos investimentos e o aproveitamento da experiência e capacidade do setor privado na condução desses projetos foram os motivos mais invocados. Acrescenta-se, ainda, o propósito dos governos em escapar, implícita ou explicitamente, às restrições orçamentárias e de endividamento público impostas pelos tratados e normas regulamentadoras na União Europeia (UE), existindo um consenso de que as PPP permitem aos governos dessa comunidade não apenas trazer dinheiro de

uma perspectiva orçamentária, mas também adiar gastos que o governo teria de fazer (Azeituno, 2020).

No caso do Reino Unido, foi estabelecido um acordo de PPP. Em 2009, foram alienados 46% do capital do Sistema Nacional de Tráfego Aéreo para o Airline Group, parceiro escolhido, e 5% para os colaboradores, criando uma empresa mista (pública e privada) (Cruz; Marques, 2011). O governo grego conseguiu construir um aeroporto através de uma concessão de longo prazo, principalmente à custa de investidores privados (e utilizadores do aeroporto), e em Portugal a privatização da ANA vai permitir a construção do novo aeroporto de Lisboa (Cruz; Marques, 2011).

As PPP's estão sendo aplicadas em todo o mundo nos setores de transportes, saúde, educação, commodities urbanas, reciclagem, tratamento de água, prisões, entre outros. Um estudo realizado por Vertakova e Plotnikov (2014) abordou a distribuição das parcerias público-privadas em países com diferentes níveis de desenvolvimento socioeconômico, conforme a Figura 1.

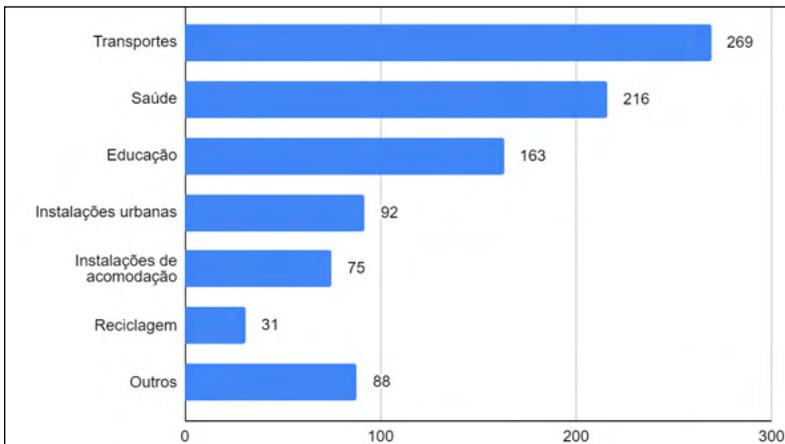


Figura 1. Distribuição de projetos de PPP em países com diferentes níveis de desenvolvimento econômico.

Além disso, nos últimos anos, o modelo PPP tem sido amplamente aplicado em projetos de construção de infraestrutura na China (Ye; Tiong, 2000). Este modelo, atraiu capital social para resolver o problema de insuficiência de fundos de forma eficaz para os campos de serviços públicos e acelerou o ritmo de desenvolvimento dos setores de serviços públicos e infraestrutura (Ye; Tiong, 2000).

As PPP's desempenham um papel importante em qualquer investimento que necessite de alto capital inicial, no caso da Tailândia, essa abordagem de investimento foi utilizada para um projeto ferroviário de alta velocidade que conecta três aeroportos, o Aeroporto Internacional de Suvarnabhumi, o Aeroporto Internacional Don Mueang e o Aeroporto Internacional de U-Tapao (Sresakoolchai; Kaewunruen, 2020). No estudo

realizado por Sresakoolchai e Kaewunruen, 2020 foram identificados 12 benefícios e 14 riscos na adoção das PPP's para a conexão dos aeroportos, por isso, segundo os autores a prática pode ser considerada como uma abordagem superior para investir em megaprojetos de infraestrutura porque o governo pode economizar o orçamento para investir em outras áreas e o setor privado tem participação em projetos que normalmente não teria em uma situação normal.

Nas rodovias indianas de Yamuna Expressway e Kundli Maneschar Palwa (KMP) é um exemplo em que a PPP sofreu um atraso na entrega, isso porque a empresa privada enfrentou sérios problemas na aquisição de terras já que os agricultores se negaram a desistir de suas terras agrícolas para a colonização urbana por uma agência privada (Garg; Garg, 2017). Ademais, a Índia, visando a modernização da infraestrutura rodoviária possui um dos maiores programas de parcerias público privadas. Dos projetos de PPP's indianos, 26 foram cancelados, 10 já foram concluídos, 91 estão em construção e 321 estão em fase operacional (Garg; Garg, 2017). Dentre os mais de 400 projetos de PPP's na economia indiana, poucos podem ser elogiados como histórias de sucesso e o conceito é visto como um fracasso (Garg; Garg, 2017).

Por outro lado, segundo um estudo de Sambrani (2014), o governo da Índia está liderando o processo de promoção de projetos de PPP na Índia para criar uma história de sucesso. Uma dessas histórias de sucesso é o Greenfield Bangalore International Airports Limited, onde o modelo PPP foi usado com sucesso para desenvolver um aeroporto de classe mundial. Em suma, podemos dizer que o sucesso do projeto dependerá, finalmente, de conseguir que os diversos stakeholders se mobilizem para ele, o que requer um alto nível de consciência e um verdadeiro esforço de consenso.

Dentre os casos de sucesso e insucesso faz-se necessário um olhar sobre as vantagens e desvantagens do processo. Em um estudo realizado por Bjarstig e Sandstrom (2017) autoridades foram entrevistadas e revelaram suas razões para estabelecer as parcerias público-privadas, dentre elas: obter legitimidade, para alcançar uma gestão e desenvolvimento sustentáveis, para ter acesso a consultoria especializada ou contribuições sobre processos políticos e para chegar a um consenso sobre certas questões ou tópicos. Além disso, através de outros estudos conforme Campos (2011), obtiveram-se algumas vantagens e desvantagens como as apresentadas no Quadro 1

| Vantagens | Desvantagens |
|---|--|
| Dinamização do investimento em infraestruturas; | Preparação deficiente de concursos, por vezes sem assegurar as aprovações ambientais e urbanísticas exigidas (gerando encargos adicionais não previstos); |
| Facilitação do investimento num quadro de restrição orçamental; | Processos de concurso estruturados com pouca racionalidade, com exigências prévias complexas para a elaboração de propostas, nem sempre relevantes e remissão de muitos aspectos para o contrato de concessão, de minuta desconhecida, nem previamente definida; |

| | |
|---|---|
| Gestão empresarial dos serviços públicos; | Carência de competências técnicas dos parceiros públicos que intervêm na negociação, ficando dependentes do apoio de consultoria externa; |
| Transferência de parte dos riscos do investimento para o setor privado; | Falhas no estabelecimento das cláusulas contratuais, em particular em relação à reposição do equilíbrio financeiro, podendo implicar riscos financeiros gravosos para o Estado e a multiplicação de decisões unilaterais pela concedente; |
| Soluções técnicas adotadas bem-sucedidas; | Decisões de investimento público dependentes do mercado financeiro e da banca, que avaliza ou não estes contratos. |
| Indução de reformas no setor público pelos resultados alcançados pelas PPP; | |
| Consolidação do mercado financeiro; | |
| Melhorias na qualidade, eficácia e eficiência do serviço prestado em relação àqueles que eram monopolizados pelo setor público. | |

Quadro 1. Vantagens e desvantagens da aplicação das políticas público-privadas.

As PPP's enfrentam desafios únicos que são fundamentalmente semelhantes aos que as alianças estratégicas enfrentam, ao invés de se preocupar excessivamente com esses desafios, eles devem ser vistos como fundamentais e fontes de dados (Garg; Garg, 2017). O foco da gestão deve ser abordar os requisitos exclusivos que emergem das diferenças de objetivos.

3.1 Panorama das PPP's em aeroportos brasileiros

No Brasil há referência de projetos de PPP desde a época do imperador Pedro II, quando este implantou a maior parte das redes ferroviárias brasileiras no século XIX, através de subsídio com a não cobrança da chamada cláusula do ouro, (Campos, 2011). Os primeiros passos das PPP's para sua efetiva aplicação, deram início a partir da publicação da Lei nº 11.079/04, a qual institui normas gerais para licitação e contratação no âmbito da administração pública. Antes disso, segundo Campos (2011), foram lançados grandes debates acerca dos fatores históricos que levaram a necessidade de se criar um mecanismo capaz de suprir a crescente procura por serviços de infraestrutura frente à escassez de recursos da administração pública.

Conforme Azeituno (2020), o Estado brasileiro (União) tem sido titular das infraestruturas aeroportuárias destinadas ao público desde suas origens. Durante muito tempo, sua exploração fora feita mediante descentralização técnico-administrativa atribuída à Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (Infraero), empresa pública vinculada à União e criada por lei especificamente para tal fim. Segundo Azeituno 2020, essa opção refletiu o contexto econômico da época, onde o Estado investia “em infraestrutura e em áreas onde o capital necessário era muito grande, o retorno muito baixo, ou o período de maturação muito longo” e que, por essas razões, “não atraíam o capital privado nacional e/

ou estrangeiro”.

A cadeia de valor do transporte aéreo pode ser dividida em vários segmentos, como empresas de assistência em escala, varejistas, empresas de catering, operadoras de estacionamento, manutenção de aviões, limpeza e segurança em áreas terminais, entre outros (Ashford et al., 1997). Algumas dessas atividades são internalizadas pelo gerente do aeroporto ou pela empresa aérea, como o manejo em terra. Em alguns casos, empresas específicas foram criadas pelo aeroporto / companhia aérea para desenvolver atividades de assistência em escala. Hoje em dia, a maioria dos operadores de assistência em escala são administrados de forma privada após serem vendidos pelas companhias aéreas, sob uma estratégia de foco em seu core business (Machado et al., 2019).

Até o fim da década de 1980, a regulação do transporte aéreo no Brasil tinha caráter protecionista, não existia concorrência plena entre as empresas aéreas e o preço das passagens era tabelado. A partir da década de 1990, iniciou-se a implantação de medidas para promoção de competição no setor. Essas medidas foram reforçadas em 2001, com a liberalização do preço das passagens aéreas, e em 2005, com a criação de uma agência regulatória específica – a Agência Nacional de Aviação Civil - Anac (Machado et al., 2019). As mudanças promovidas aliaram-se ao desenvolvimento econômico do país. O crescimento do produto interno bruto (PIB) e a ascensão social das camadas de baixa renda geraram novos consumidores para o mercado de aviação civil. Houve um crescimento elevado do número de passageiros e, ao mesmo tempo, uma grande redução do preço das passagens aéreas, conforme as Figuras 3.

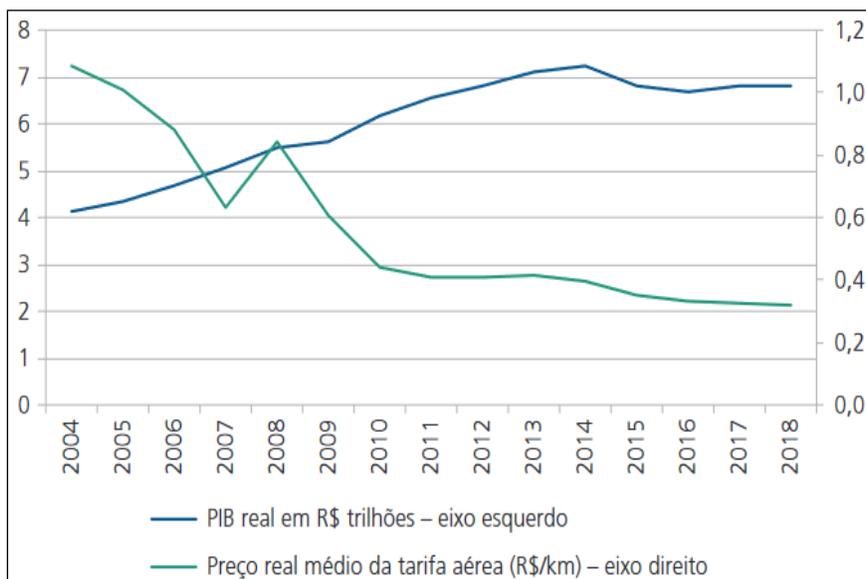


Figura 3. Produto interno bruto real brasileiro e valor da tarifa aérea.

Segundo McKinsey & Company (2010), a infraestrutura aeroportuária era majoritariamente operada pelo poder público (federal e estadual), com destaque para a Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (Infraero) – estatal federal que operava 67 aeroportos. A Infraero vinha enfrentando desafios na execução de obras, frustrando recorrentemente os investimentos planejados. Como consequência, constatou-se a existência de grande déficit de infraestrutura aeroportuária. Treze dos vinte principais aeroportos no Brasil estavam com restrições operacionais em função da capacidade de pátio de aeronaves e/ou de terminal de passageiros.

O baixo índice histórico de investimentos fez com que a infraestrutura aeroportuária brasileira apresentasse deficiências, comprometendo o desenvolvimento econômico do país. A partir do direito de sediar a Copa do Mundo de 2014 e as Olimpíadas de 2016, fez-se necessário aumentar a grade de investimentos no setor de aeroportos a fim de solucionar os problemas da sua defasada estrutura (Gomide; Cruzeiro, 2019). Segundo Campos Neto (2016), os investimentos públicos nos aeroportos brasileiros saltaram de R\$ 350 milhões/ano para R \$1,2 bilhão/ano.

Foram realizadas no Brasil, até o ano de 2019, cinco rodadas de leilão de concessão de infraestrutura aeroportuária, resumidas no Quadro 2, esses contratos de concessão envolvem a construção, ampliação, modernização e exploração econômica de 22 aeroportos de titularidade da União, (Azeituno, 2020).

| | |
|------------------|---|
| 1ª rodada (2011) | Aeroporto Internacionall de Natal (SBSG) |
| | |
| 2ª rodada (2012) | Aeroporto Internacional Juscelino Kubitscheck (SBBR) |
| | Aeroporto Internacional de Viracopos (SBKP) |
| | Aeroporto Internacional André Franco Montoro (SBGR) |
| | |
| 3ª rodada (2014) | Aeroporto Internacional do Galeão - Antônio Carlos Jobim (SGBL) |
| | Aeroporto Internacional Tancredo Neves - CONFINS (SBCF) |
| | |
| 4ª rodada (2017) | Aeroporto Internacional Deputado Luiz Eduardo Magalhães (SBSV) |
| | Aeroporto Internacional Salgado Filho (SBPA) |
| | Aeroporto Internacional Hercílio Luz (SBFL) |
| | Aeroporto Internacional Pinto Martins (SBFZ) |
| | |

| | |
|------------------|---|
| 5ª rodada (2019) | Aeroporto Internacional do Recife/Guararapes - Gilberto-Freyre (SBRF) |
| | Aeroporto de Maceió - Zumbi dos Palmares (SBMO) |
| | Aeroporto Presidente Castro Pinto - João Pessoa (SBJP) |
| | Aeroporto Presidente João Suassuna - Campina Grande (SBKG) |
| | Aeroporto Juazeiro do Norte - Orlando Bezerra de Menezes (SBJU) |
| | Aeroporto de Santa Maria - Aracaju (SBAR) |
| | Aeroporto Marechal Rondon - Cuiabá (SBCY) |
| | Aeroporto Presidente João Batista Figueiredo - Sinop (SWSI) |
| | Aeroporto Osvaldo Marques Dias - Alta Floresta (SBAT) |
| | Aeroporto Maestro Marinho Franco - Rondonópolis (SBRD) |
| | Aeroporto de Vitória - Eurico de Aguiar Salles (SBVT) |
| | Aeroporto de Macaé (SBME) |

Quadro 2 - Concessões de infraestrutura aeroportuária.

O desafio de realizar vultosos investimentos de curto e médio prazos, somado às restrições fiscais do poder público e à possibilidade de ganho de eficiência com o setor privado, motivou o processo de concessão dos aeroportos (Machado et al. 2019). A primeira concessão federal de aeroportos ocorreu em 2011, com a concessão de um novo aeroporto para atender à cidade de Natal (RN), o Aeroporto de São Gonçalo do Amarante.

Essa ação foi considerada um piloto, cujo objetivo foi testar o modelo antes de expandi-lo. Em seguida, os aeroportos de maior relevância e em situação mais crítica de saturação passaram a ser licitados. Em 2012, foram leiloados Guarulhos (SP), Viracopos (Campinas – SP) e Brasília (DF) e, em 2014, Galeão (Rio de Janeiro – RJ) e Confins (Belo Horizonte – MG). Em 2017, realizou-se a primeira licitação no âmbito do Programa de Parcerias de Investimentos (PPI), que concedeu os aeroportos de Florianópolis (SC), Fortaleza (CE), Porto Alegre (RS) e Salvador (BA).

Em 2019, na denominada Quinta Rodada, foram licitados 12 aeroportos agrupados em três blocos: (i) Nordeste, com seis aeroportos – Recife (PE), Maceió (AL), João Pessoa (PB), Aracaju (SE), Campina Grande (PB) e Juazeiro do Norte (CE) –; (ii) Centro-Oeste, com quatro aeroportos – Cuiabá, Sinop, Rondonópolis e Alta Floresta, todos em Mato Grosso; e (iii) Sudeste, com dois aeroportos – Macaé (RJ) e Vitória (ES). Utilizou-se o princípio de alocação de subsídios cruzados dentro dos blocos, de forma a conceder à iniciativa privada aeroportos menores e menos rentáveis conjuntamente com aeroportos de maior movimentação, os aeroportos-âncoras (ANAC, 2017).

O Aeroporto de Natal, que foi o primeiro a ser concedido à iniciativa privada, recebeu R\$ 440 milhões logo após o início da concessão em janeiro de 2012 sendo que R\$ 329 milhões foram oriundos do BNDES, a capacidade anual do aeroporto é de 6,2 milhões de passageiros (Gomide; Cruzeiro, 2019). O aeroporto de Guarulhos recebeu uma melhoria

de 36 milhões de passageiros/ano em 2012 para mais de 50 milhões de passageiros/ano em 2017, a expectativa é que até 2032 ele alcance a marca de 60 milhões de passageiros anuais, foram recebidos investimentos de R\$ 5,4 bilhões pela GRU Airport e R\$ 3,48 bilhões pelo BNDES (Gomide; Cruzeiro, 2019).

A expectativa futura, exposta no Plano Aeroviário Nacional (PAN) 2018-2038 (BRASIL, 2018), elaborado pela Secretaria Nacional de Aviação Civil (SAC), é de que o setor cresça, em média, cerca de 4,6% ao ano nos próximos vinte anos. Isso implica dizer que dobrará de tamanho em 2033, causando, mais uma vez, pressão sobre a infraestrutura. Em consonância, o governo atual manifesta interesse em continuar com as concessões, tendo até iniciado um processo de consulta pública relacionado à próxima rodada (sexta), com 22 aeroportos separados por blocos. Uma sétima rodada seria realizada na sequência, de forma a concluir a concessão de todos os aeroportos da Infraero. O resultado inicial das rodadas de licitação realizadas foi bastante vantajoso em relação ao ágio sobre a variável de leilão e de melhoria do nível de serviço dos aeroportos – o índice de satisfação geral de passageiros saltou de 3,85, em 2013, para 4,35, em 2018, conforme Ministério da Infraestrutura (Machado, 2019).

O Brasil está transformando para melhor a sua infraestrutura aeroportuária. Uma parceria público-privada (PPP) está em fase de estruturação para qualificar oito aeroportos do Amazonas (Parintins, Carauari, Coari, Eirunepé, São Gabriel da Cachoeira, Barcelos, Lábrea e Maués), que devem receber R\$ 380 milhões em investimentos a partir de 2022. O modelo será o de concessão patrocinada, prevendo a ampliação, manutenção e exploração dos aeroportos, por gestor privado, com objetivo de melhorar a infraestrutura e a prestação dos serviços. O modelo de PPP deve ser replicado também para outros estados do Norte.

4 | CONCLUSÃO

A falta de recursos para investimentos em setores da infraestrutura, faz com que os mesmos fiquem defasados. Nesse contexto, as parcerias público-privadas surgem como uma alternativa a essa problemática. Vários exemplos da iniciativa são vistos pelo mundo, tanto com reflexos negativos quanto positivos. Os reflexos negativos não devem ser vistos como um ponto ruim, mas como uma fonte de dados para melhoria e sucesso da parceria. No Brasil, a realização da Copa do Mundo de 2014 e das Olimpíadas de 2016 fez com que houvesse iniciativas público-privadas para melhoria do setor aeroportuário brasileiro. A participação do setor privado no desenvolvimento e gestão de aeroportos está crescendo e parece que continuará a crescer em breve.

Embora argumentos relacionados à eficiência possam ser usados, o principal motivo do uso de PPP é a maneira fácil e rápida de obter grandes quantias e / ou evitar gastos públicos com desenvolvimento de infraestrutura. É necessário mais trabalho para o desenvolvimento de parcerias de sucesso. Neste ponto, é muito difícil avaliar os benefícios

dos acordos de PPP no desenvolvimento do aeroporto. Existem poucas informações sobre o papel de cada parceiro (público e privado) no projeto e sobre a partilha de riscos. Este é um fator chave para o sucesso dos projetos de PPP.

REFERÊNCIAS

ANAC – AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Edital das concessões dos aeroportos Galeão e Confins**. Anexo 21, Parágrafo 3.5.1. [Brasília], 2014. Disponível em: http://www2.anac.gov.br/Concessoes/galeao_confins/. Acesso em: 30 ago. 2021.

Ashford et al., 1997 N. Ashford, H. Stanton, C. Moore. *Airport Operations*, McGraw Hill, Nova York (1997)

Azeituno, Nadja Adriano de Santana. *Concessões de Infraestrutura aeroportuária no Brasil: Estudo Qualitativo do risco e equilíbrio econômico – financeiro*. VOLUME 1, **Dissertação** no âmbito do curso de Mestrado em Administração Público-Privada, 2020.

Bjarstig, Therese; Sandstrom, Camilla. Public-private partnerships in a Swedish rural context - A policy tool for the authorities to achieve sustainable rural development? **Journal Of Rural Studies**, [S.L.], v. 49, p. 58-68, jan. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jrurstud.2016.11.009>.

Campos, Adriano João Cravo. *As PPP e os Processos Tradicionais de Contratação Pura: Vantagens e Desvantagens*. **Dissertação de Mestrado** em Tecnologia e Gestão das Construções, 2011.

Campos Neto, C. A. D. S. **Reflexões sobre investimentos em infraestrutura de transportes no Brasil, 2016**. Disponível em: <<http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/7317>>. Acesso em: 07 de jul. de 2021.

Cruz, Carlos Oliveira; Marques, Rui Cunha. Contribution to the study of PPP arrangements in airport development, management and operation. **Transport Policy**, [S.L.], v. 18, n. 2, p. 392-400, mar. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tranpol.2010.12.001>.

Garg, Swapnil; Garg, Sachin. Rethinking Public-private Partnerships: an unbundling approach. **Transportation Research Procedia**, [S.L.], v. 25, p. 3789-3807, 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.241>.

Glasbergen, Pieter. Understanding partnerships for sustainable development analytically: the ladder of partnership activity as a methodological tool. **Environmental Policy and Governance**, [S.L.], v. 21, n. 1, p. 1-13, 22 ago. 2010. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/eet.545>.

Gomide, Alexandre de Ávila; Cruzeiro, Felipe Moreira. *Financiamento das parcerias público-privadas no setor de infraestrutura aeroportuária: Brasil e Reino Unido*. 2019. 84 f. **Dissertação** (Mestrado) - Curso de Mestrado Profissional em Administração Pública, Escola de Administração de Brasília, Brasília, 2019.

Machado, B. V., Ingouville, M., Damasceno, T. M., Salles, D. C., & Albuquerque, C. T. (2019). A evolução recente do modelo de concessão aeroportuária sob a ótica da financiabilidade. *BNDES*, v. 25, n. 50, 7-65. Acesso em 02 de julho de 2021, disponível em <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/19101>

Navalersuph, Nanpaphathr; Charoenngam, Chotchai. Governance of Public-private partnerships in transportation infrastructure projects based on Thailand's experiences. **Case Studies on Transport Policy**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 1-1, jun. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cstp.2021.06.008>.

Sambrani, Vinod N.. PPP from Asia and African Perspective towards Infrastructure Development: a case study of greenfield Bangalore international airport, India. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, [S.L.], v. 157, p. 285-295, nov. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.11.031>.

Sresakoolchai, Jessada; Kaewunruen, Sakdirat. Comparative studies into public private partnership and traditional investment approaches on the high-speed rail project linking 3 airports in Thailand. **Transportation Research Interdisciplinary Perspectives**, [S.L.], v. 5, p. 100116, maio 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trip.2020.100116>.

Vertakova, Julia; Plotnikov, Vladimir. Public-private Partnerships and the Specifics of their Implementation in Vocational Education. **Procedia Economics and Finance**, [S.L.], v. 16, p. 24-33, 2014. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s2212-5671\(14\)00770-9](http://dx.doi.org/10.1016/s2212-5671(14)00770-9).

Ye, S.; Tiong, R. Government support and risk-return tradeoff in China's BOT power projects. **Eng. Constr. Archit. Manag.**2000,7, 412–422

ENCERRAMENTO DE ATIVIDADE INDUSTRIAL: DIRETRIZES PARA DESENVOLVIMENTO DE PLANOS DE DESATIVAÇÃO

Data de aceite: 01/02/2022

Data de submissão: 21/03/2022

Loiva Zukovski

Marlene Guevara dos Santos

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul
(UERGS)

Bento Gonçalves - RS

<http://lattes.cnpq.br/7768216647070894>

<http://lattes.cnpq.br/1219826627963848>

RESUMO: Para proteger a população do abandono de terrenos e áreas industriais contaminadas que possam causar sérios danos futuros, há legislações específicas que estabelecem a obrigatoriedade de comunicação aos órgãos competentes sobre o encerramento das atividades de empreendimentos industriais, devendo-se, assim, fazer um Plano de Desativação de Atividades (PDA). Com o intuito de elucidar o processo de construção de um PDA, este trabalho apresenta a revisão da legislação e das normas aplicáveis para a elaboração do plano. Também, com base nas informações estudadas, foi desenvolvido um roteiro que agrega as questões indicadas nas diferentes normas e legislações, podendo o mesmo servir como guia para o desenvolvimento de planos de desativação de atividades.

PALAVRAS-CHAVE: Desativação de atividades. Áreas contaminadas. Normas.

CLOSING OF INDUSTRIAL ACTIVITY: GUIDELINES FOR DEVELOPING DECOMMISSIONING PLANS

ABSTRACT: To protect the population from the abandonment of contaminated land and industrial areas that may cause serious future damage, there are specific laws that establish the requirement for communication to the competent agencies about the closure of activities of industrial enterprises, and thus must make a Activity Decommissioning Plan (ADP). In order to elucidate the process of constructing a ADP, this work presents a review of the legislation and applicable norms for the elaboration of a ADP, with the objective of serving as a guide for those who need to perform this task.

KEYWORDS: Deactivation of activities. Contaminated areas. Standards.

1 | INTRODUÇÃO

Após longos anos de descuido com o ambiente e poluição, surge o conceito de desenvolvimento sustentável, que tem sido pensado para que se possa equilibrar as demandas produtivas, sociais e ambientais. Estes são os pilares deste modelo de desenvolvimento que deve se adequar ao anseio de que no longo prazo haja compatibilidade entre a humanidade, os recursos por ela consumidos e o efeito de suas atividades sobre o meio ambiente (FREITAS e MARQUES, 2019).

Pode-se observar que as legislações vêm sendo elaboradas e aprimoradas conforme

necessidades da sociedade e, também, conforme aprimoramentos de tecnologias. Observa-se uma grande preocupação de que a atual sociedade viva de forma sustentável e com qualidade e que as próximas gerações também possam viver desta forma.

Notadamente, as áreas mais contaminadas ao redor do mundo estão relacionadas a indústrias ou empreendimentos comerciais que produzem, armazenam ou descartam substâncias nocivas para o meio ambiente. Há, então, necessidade de estruturar medidas preventivas e ações corretivas para tratar essas áreas e, desta forma, torná-las mais seguras para toda a vida terrestre (MEJÍA *et al.*, 2014).

Área contaminada é aquela em que há comprovadamente poluição causada pela disposição inadequada de resíduos que foram depositados, acumulados, armazenados, enterrados ou infiltrados nos processos industriais ou de desativação de processos produtivos. Essas ações resultam em situações de risco ao meio ambiente e à saúde das pessoas expostas, principalmente se essas áreas forem reutilizadas sem medidas prévias de remediação ou confinamento do passivo ambiental. Para que não ocorram esses problemas, há legislações específicas que estabelecem a obrigatoriedade de comunicação aos órgãos competentes sobre o encerramento das atividades e que buscam evitar a ocorrência de áreas órfãs, que são aquelas em que não é possível identificar os responsáveis pelos danos ambientais (HABERMANN e GOUVEIA, 2014). A indústria também deve elaborar um Plano de Desativação para que o órgão ambiental emita um termo de encerramento de atividade. Desta forma, faz-se necessário o conhecimento técnico das demandas para elaborar este plano.

Diante do exposto, este trabalho teve como premissa a revisão da legislação e das normas aplicáveis para a elaboração de um Plano de Desativação para encerramento de atividades industriais (PDA). Também, teve a proposição de fazer um Roteiro para a elaboração de um PDA.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

Para a elaboração do trabalho, foi realizada uma revisão bibliográfica e, também, uma pesquisa documental acerca da legislação e normas referentes à desativação de atividades. Foram feitas pesquisas em sites como o Portal de Periódicos da CAPES, ABNT Catálogo, Google, Google Scholar, Scielo, Academia.edu, legislações federais e estaduais, utilizando-se palavras-chave como “desativação de atividades, encerramento de atividades, área contaminadas, desenvolvimento sustentável, plano de desativação”.

Foi realizada uma análise discursiva sobre a legislação ambiental e os conteúdos a respeito de Plano de Desativação. Também, foi organizado um Roteiro para a elaboração de um PDA a partir das informações da literatura e das normas aplicáveis.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Legislações aplicáveis

Lidar com os passivos ambientais gerados pela vasta oferta de bens e serviços tem sido um dos grandes desafios da sociedade moderna. Ocorreram muitas desativações e abandonos de instalações industriais e, também, disposições inadequadas de resíduos, causando consequências adversas ao meio ambiente e à saúde humana, sendo que esses impactos precisam ser mitigados. Assim, a partir dos anos 1970, os governos dos países desenvolvidos passaram a estabelecer políticas envolvendo a proteção ao meio ambiente, através de multas e taxas para atividades econômicas com potencial de degradação do meio ambiente. Este processo foi seguido, mesmo que tardiamente, pelos países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil. Estes países iniciaram as ações estipulando políticas e regulações de proteção, preservação, conservação e recuperação do meio ambiente (TEIXEIRA, MOTTA, MORAES; 2016).

Em virtude dessas questões, para que haja maior responsabilização dos geradores em relação aos seus resíduos e para evitar que ocorram problemas ambientais futuros, foram estabelecidas legislações ambientais no Brasil, como a Lei Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 (BRASIL, 1981), que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. Em 1988, foi promulgada a Constituição Federal (BRASIL, 1988), sendo que o Artigo 225 aborda a proteção ao meio ambiente.

A Resolução CONAMA Nº 420, de 28 de dezembro de 2009 (CONAMA, 2009), delibera sobre os critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.

A Resolução CONSEMA nº 372, de 22 de fevereiro de 2018 (ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2018), dispõe sobre os empreendimentos e atividades passíveis de licenciamento ambiental no Estado do Rio Grande do Sul.

Normalmente, são as legislações estaduais que trazem as diretrizes para essa operação. No entanto, nem todos os estados brasileiros têm essas legislações específicas. Em vista disso, serão citadas algumas legislações encontradas, que servem de base para este trabalho.

No Art. 20 do Decreto Nº 59.263, de 5 de junho de 2013 (ESTADO DE SÃO PAULO, 2013) está definido que o órgão responsável pelo planejamento e gestão do processo de identificação de áreas contaminadas é a CETESB. No Parágrafo único, são elencados os itens que devem ser estabelecidos no procedimento técnico a ser empregado para a identificação dessas áreas. Na Seção IV, Art. 4º, Inciso V, está elencado o Plano de Desativação do Empreendimento como um instrumento para proteção da qualidade do solo e para o gerenciamento de áreas contaminadas.

3.2 Etapas do processo de encerramento de atividades industriais

Para a elaboração do Plano de Desativação da Atividade (PDA), estão disponíveis normas que orientam os procedimentos para o encerramento. A ABNT publicou em dezembro de 2020 a NBR 16901 (ABNT, 2020). Esta norma estabelece o procedimento para a elaboração de planos de desativação total ou parcial de empreendimentos com potencial de contaminação do solo e/ou de águas subterrâneas, de acordo com a legislação vigente.

A norma descreve que a situação ambiental deve ser caracterizada por meio de avaliação preliminar, conforme a NBR 15515-1 (ABNT, 2007). Essa avaliação é feita pela realização de um diagnóstico inicial, mediante coleta de dados existentes e realização de inspeção de reconhecimento da área. Deve-se fazer um levantamento quanto aos resíduos sólidos e identificar se houve líquidos percolados, se houve tratamento dos mesmos e se havia impermeabilização no local.

Se houver suspeita de contaminação, deve ser realizada a etapa de investigação confirmatória, conforme os requisitos da NBR 15515-2 (ABNT, 2011). Esta investigação deve ser feita por sondagem de reconhecimento, avaliação de passivo ambiental em solo e água subterrânea, através de amostragens em poços de monitoramento de águas subterrâneas granulados.

No Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas da CETESB (CETESB, 2001), são detalhados os instrumentos para investigação confirmatória de contaminação no local (métodos de *Screening* -rastreamento, reconhecimento, varredura). São utilizadas basicamente dois tipos de técnicas: os métodos químicos/geoquímicos e os métodos geofísicos.

Se for confirmada a existência de contaminação, uma investigação detalhada deve ser realizada conforme a NBR 15515-3 (ABNT, 2013a), para que se delimite a extensão vertical e horizontal da contaminação por meio de técnicas aceitas pelos órgãos responsáveis. Na investigação detalhada deve constar: a caracterização do entorno, com a descrição do uso e ocupação do solo e localização dos recursos hídricos; a caracterização geológica, contendo a identificação e a descrição do solo e elaboração dos perfis das sondagens executadas; a caracterização hidrogeológica, com o entendimento da dinâmica dos fluxos subterrâneos e do comportamento dos contaminantes, através de poços de monitoramento; o mapeamento da contaminação, contemplando a delimitação das plumas de fase livre e dissolvida e da zona de fase retida, assim como as concentrações de substâncias químicas no interior da zona contaminada; o prognósticos da evolução da pluma com estimativa de evolução espacial desta ao longo do tempo.

Depois de realizada a investigação detalhada, deve ser feita a avaliação de risco à saúde humana, conforme a NBR 16209 (ABNT, 2013b). Este processo é realizado nas seguintes etapas: coleta, avaliação e validação de dados, avaliação de exposição, análise de toxicidade e caracterização de risco. Simultaneamente à análise de risco à saúde humana,

deve ser elaborado o modelo conceitual no gerenciamento de áreas contaminadas, conforme procedimentos da NBR 16210 (ABNT, 2013c). Deve conter, no mínimo: determinação dos limites da área objeto de estudo e resumo das informações históricas de uso e ocupação; determinação das fontes de contaminação; identificação e ocorrência das substâncias químicas de interesse; avaliação da possibilidade de mobilização de substâncias naturais em função da interação destas com o contaminante; caracterização do meio físico; vias de transporte dos contaminantes; identificação e caracterização dos receptores e bens a proteger.

Se houver necessidade, deve ser feito um plano de intervenção para a área, conforme NBR 16784-1 (ABNT, 2020). As medidas de intervenção deste plano devem ser definidas em função da natureza dos contaminantes, das características do meio, dos cenários de exposição, do nível de risco existente, das metas para reabilitação, do uso pretendido para o local, da proteção dos bens a proteger e da sustentabilidade a elas associadas. Se houver necessidade, medidas emergências devem ser previstas. As etapas de desenvolvimento do plano a serem seguidas são: definição dos objetivos; definição das medidas de intervenção e seleção das técnicas a serem adotadas; desenvolvimento do modelo conceitual de intervenção; análises das incertezas e limitações do plano de intervenção.

A CETESB é citada, por Moraes, Teixeira e Maximiliano (2014), como sendo a pioneira neste tema no Brasil, colaborando sistematicamente para a definição de procedimentos técnicos, diretrizes, normas e padrões utilizados neste processo.

O processo de identificação objetiva reconhecer as áreas contaminadas, determinar sua localização e características e avaliar os riscos a elas associados, possibilitando a decisão sobre a necessidade de adoção de medidas de intervenção. Este processo é constituído por seis etapas: identificação de áreas com potencial de contaminação; priorização de áreas com potencial de contaminação; avaliação preliminar; investigação confirmatória; investigação detalhada e avaliação de risco.

O processo de reabilitação possibilita selecionar e executar, quando necessárias, as medidas de intervenção, visando reabilitar a área para o uso declarado. É constituído por três etapas: elaboração do plano de intervenção; execução do plano de intervenção e monitoramento para encerramento.

A CETESB, também, disponibiliza o Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas (CETESB, 2021) onde elenca as informações gerais a serem seguidas neste processo, como cadastro de áreas contaminadas e reabilitadas, identificação de áreas com potencial de contaminação, avaliações preliminar, confirmatória e detalhada, avaliação de risco, elaboração e execução do plano de intervenção e demais itens necessários.

Em alguns casos, há necessidade de se fazer a remediação da área.

O Decreto nº 59.263, de 05 de junho de 2013 (ESTADO DE SÃO PAULO, 2013) menciona que as medidas de remediação são um conjunto de técnicas aplicadas em áreas

contaminadas, divididas em técnicas de tratamento, que são as destinadas à remoção ou redução da massa de contaminantes, e as técnicas de contenção e isolamento, que são as destinadas a prevenir a migração dos contaminantes.

Recentemente, foi publicada pela FEPAM, a Diretriz Técnica N° 003/2021, em 05 de fevereiro de 2021 (ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2021), que se aplica a licenciamento ambiental de áreas suspeitas, com potencial de contaminação ou contaminadas ou de áreas degradadas pela disposição irregular de resíduos sólidos, que deverão ser objeto de estudos de avaliação de passivos ambientais, ações de intervenção e/ou monitoramento. A Diretriz define as etapas a serem seguidas pelo gerenciamento ambiental das áreas referidas. É uma legislação que dá um norte para todos os licenciamentos em áreas degradadas ou com possível degradação, pois não havia uma legislação que tratasse desse assunto no Estado.

Após a constatação da contaminação de solos e águas, devem ser tomadas ações necessárias para a recuperação ambiental. A remediação de áreas contaminadas exige metodologias específicas. Segundo Moraes, Teixeira e Maximiano (2014), as técnicas podem ser definidas de acordo com o processo de tratamento, que pode ser biológico, físico-químico, por solidificação/estabilização ou térmico. Também, podem ser classificadas segundo o local de sua aplicação, que pode ser de três formas: na área onde ocorre a contaminação (*on site*), sem a remoção física do meio contaminado (*in situ*); na área onde ocorre a contaminação (*on site*), com a remoção física do meio contaminado (*ex situ*); fora da área onde ocorre a contaminação (*off site*).

A remediação implica intervenção direta com o intuito de conter, isolar, remover ou reduzir as concentrações dos contaminantes presentes. Diversas tecnologias para a remediação têm sido aplicadas em áreas contaminadas. Podem ser citadas, entre as que envolvem processos físicos e químicos, a lavagem de solo, extração de vapores, bombeamento e tratamento de águas subterrâneas, injeção de ar na zona saturada (*Air Sparging*), tratamento térmico, oxidação química, contenção e barreiras passivas e reativas. Também têm se destacado, devido ao menor custo e interferência mínima nas áreas contaminadas, as técnicas que removem o contaminante por meio de processos biológicos, podendo ser citadas a atenuação natural, biorremediação e fitorremediação (LIMA *et al.*, 2017). A técnica a ser utilizada na remediação depende do estágio ou fase em que se encontra a contaminação. Devem ser verificados os estudos realizados em casos anteriores.

3.3 Plano de desativação de atividade industrial

Após a verificação da legislação, das normas e das etapas de avaliação da situação ambiental, deve ser feito o plano de desativação.

Na NBR 16901 (ABNT, 2020) são descritos os itens mínimos que o plano de

desativação deve conter: caracterização da área; levantamento de produtos e materiais, equipamentos e estruturas com potencial de contaminação do solo e/ou de águas subterrâneas; inventário de resíduos; plano de gerenciamento de resíduos sólidos; verificação das estruturas com suspeita ou indícios de contaminação; especificação técnica dos equipamentos e instalações; destinação dos equipamentos e materiais. No Anexo A, são elencados os produtos e materiais com potencial de contaminação do solo e/ou de águas subterrâneas, como mercúrio, chumbo, bifenilas policloradas (PCBs), amianto, cromo e outros.

Os materiais e produtos identificados devem estar descritos em um plano de gerenciamento de resíduos durante o processo de desativação. Deve constar o acondicionamento, armazenamento, transporte e destinação final, devendo ser atendida a legislação vigente. Devem ser observados os documentos como licenças de operação dos receptores dos resíduos, alvarás de funcionamento, certificados de destinação final emitidos pelos receptores dos resíduos e demais documentos que se fizerem necessários. Também, deve ser apresentada uma planta do empreendimento onde encontram-se armazenados cada um dos produtos e um futuro destino final para os mesmos.

Devem ser verificadas as estruturas (pisos, paredes, etc.) antes da demolição de forma a se verificar a suspeita ou indício de contaminação. Deve ser observado onde é perceptível a existência de manchas ou alteração de coloração, corrosão ou odor. Caso haja necessidade, deve ser elaborado um plano de amostragem das estruturas para classificação conforme a NBR 10004 (ABNT, 2004).

Os equipamentos e instalações a serem desativados devem estar elencados e devem ser delineados procedimentos detalhados para a desativação e/ou descontaminação, com etapa a serem adotadas, como a limpeza e descontaminação, desmonte, manipulação, armazenamento, transporte e destinação final adequada. Devem ser adotados os procedimentos ambientalmente seguros, com procedimentos de saúde e segurança ocupacional adequados.

Para a demolição, deve ser feito um plano de demolição com plantas de localização da edificação e estrutura a ser demolida, plantas detalhadas das estruturas, procedimentos e sequência de demolição. Deve ser feito um plano de gerenciamento de resíduos sólidos da construção civil para os resíduos gerados neste processo.

O Art. 57º do Decreto Nº 59.263, de 5 de junho de 2013 (ESTADO DE SÃO PAULO, 2013) salienta os itens que o Plano de Desativação do Empreendimento deve conter.

O Serviço Municipal de Saneamento Ambiental de Santo André - SEMASA (2018, documento eletrônico), apresenta um roteiro com conteúdo mínimo para um Plano de Desativação da Atividade (PDA). Também, deve apresentar as medidas de controle, mitigação ou correção de ocasionais riscos, impactos ou passivos ambientais. O PDA deve apresentar, no mínimo: introdução, identificação do empreendedor, identificação do responsável técnico pela elaboração do PDA, caracterização da atividade, caracterização

da situação atual, procedimentos a serem adotados para desativação da atividade, equipe técnica, conclusão, referências bibliográficas e alguns documentos a serem solicitados pelo órgão ambiental.

Após a efetivação da desativação, a NBR 16901 (ABNT, 2020), elenca os itens mínimos que deve conter o relatório de execução do plano de desativação: introdução e objetivos, caracterização da situação ambiental atual, plano de desativação com a descrição da área de estudo, levantamento de produtos e materiais, inventário de resíduos e o seu gerenciamento, identificação de contaminação nas estruturas, destino final de equipamentos e materiais, plano de demolição e ART do responsável técnico.

O roteiro da SEMASA (2018, documento eletrônico), designa que o empreendimento deve apresentar o RDA após a execução da desativação, o qual deverá apresentar evidências objetivas do cumprimento do que foi proposto no PDA, comprovando a desativação adequada nos termos da legislação. O PDA deve estar acompanhado da ART do profissional responsável pela elaboração do mesmo. Após a entrega do RDA, o órgão ambiental emitirá o Termo de Desativação da Atividade (TDA).

A Portaria FEPAM Nº 116, de 09 de novembro de 2015 (ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2015), institui o procedimento para o órgão ambiental atestar a inexistência de passivo ambiental que representa risco ao ambiente ou à saúde da população, quando ocorre o encerramento de determinado empreendimento ou atividade, através do Termo de Encerramento – TE. Este termo é emitido após a constatação do resgate das obrigações ambientais do empreendimento por parte do empreendedor.

O Art. 4º da desta Portaria, elenca os documentos que devem ser apresentados. No inciso III é solicitado o Relatório de Encerramento das atividades, que deve estar acompanhado de laudo técnico e ART (Anotação de Responsabilidade Técnica), que comprove a recuperação da área, a inexistência de passivo ambiental e cumprimento das obrigações ambientais.

Com base em todas as informações estudadas, elaborou-se um roteiro que agrega todas as questões indicadas nas diferentes normas e legislações, podendo o mesmo servir como guia para o desenvolvimento de planos de desativação de atividades.

3.4 Roteiro para plano de desativação de atividade (PDA)

O PDA deve apresentar, no mínimo:

1) Introdução e Objetivos

Fazer uma descrição do que se trata o plano e quais são os objetivos do mesmo.

2) Identificação do empreendedor e da atividade

3) Identificação do responsável técnico pela elaboração do PDA e equipe técnica

4) Caracterização da área

Localização; descrição do empreendimento com planta do arranjo físico atual

e histórico da área; vizinhança; descrição dos processos produtivos com planta com a localização dos equipamentos, estruturas subterrâneas, utilidades; planta topográfica do empreendimento em escala; características geológicas; registro fotográfico e outros itens necessários), conforme a ABNT NBR 16901.

5) Caracterização da situação ambiental:

- a) Realizar Avaliação Preliminar conforme ABNT NBR 15.515-1
- b) Realizar a Investigação Confirmatória, segundo a ABNT NBR 15.515-2, se houver suspeita de contaminação nos casos em que tenham sido identificados indícios ou suspeitas de contaminação
- c) Realizar a Investigação Detalhada, conforme a ABNT NBR 15.515-3, se confirmada a existência de contaminação para que se delimite a extensão vertical e horizontal da contaminação por meio de técnicas aceitas pelos órgãos responsáveis
- d) Realizar a Avaliação de Risco, conforme a ABNT NBR 16.209
- e) Fazer um modelo conceitual de gerenciamento de áreas contaminadas, segundo a ABNT NBR 16.210
- f) Se houver necessidade, deve ser feito um plano de intervenção para a área, conforme ABNT NBR 16784-1

Observações:

Verificar a Resolução 420 (CONAMA, 2009).

No RS, verificar a Diretriz Técnica da FEPAM Nº 003/2021.

Nos outros estados, verificar se há legislação específica. Se não houver, utilizar as anteriores como referência.

Devem ser delineados procedimentos detalhados para a desativação e/ou descontaminação, com etapas a serem adotadas, como a limpeza e descontaminação, desmonte, manipulação, armazenamento, transporte e destinação final adequada. Devem ser adotados os procedimentos ambientalmente seguros, com procedimentos de saúde e segurança ocupacional adequados.

6) Os procedimentos a serem adotados para desativação da atividade devem ser descritos, conforme a ABNT NBR 16901, de forma a conter, no mínimo:

- a) Inventário de produtos e materiais
 - Listar todos os produtos com potencial de contaminação.

Verificar o Anexo A da ABNT NBR 16901.

Incluir as Fichas de Informação de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ);

- Especificação técnica dos equipamentos e estruturas com potencial de contaminação do solo e/ou de águas subterrâneas;
- Destinação dos equipamentos e materiais.

- b) Inventário de resíduos e o seu gerenciamento

- Informações sobre os procedimentos que serão adotados para o manuseio, armazenamento, transporte e destinação dos produtos químicos, matérias-primas e resíduos perigosos
- Plano de gerenciamento de resíduos sólidos presentes na área de desativação
- c) Identificação das estruturas com suspeita ou indícios de contaminação,
- d) plano de demolição

Para a demolição, deve ser feito um plano de demolição com plantas de localização da edificação e estrutura a ser demolida, plantas detalhadas das estruturas, procedimentos e sequência de demolição.

- e) Plano de gerenciamento de resíduos sólidos da construção civil (PGRSCC)

Deve ser feito um PGRSCC para os resíduos provenientes de eventuais demolições, conforme sua classificação, e sua destinação. Informações acerca dos procedimentos a serem adotados quando identificado passivo ambiental e propostas de medidas para sua mitigação, controle e/ou gerenciamento;

- 7) Apresentação do Cronograma de Desativação da Atividade, inclusive contendo a previsão da apresentação do Relatório de Desativação da Atividade (RDA).
- 8) Conclusão
- 9) Referências bibliográficas
- 10) ART (Anotação de Responsabilidade Técnica) do (s) responsável (eis) técnico (s).
- 11) Outros documentos que podem ser solicitados pelo órgão ambiental.

Depois de executados todos os passos do PDA, deve-se elaborar um Relatório Técnico (RDA), conforme apresentado a seguir.

3.5 Relatório de desativação de atividade (RDA)

O RDA deve conter:

- 1) Introdução e Objetivo

Fazer uma descrição do que se trata o relatório e quais são os objetivos do mesmo.

- 2) Relatório técnico

O Relatório Técnico deve comprovar a recuperação da área, a inexistência de passivo ambiental e cumprimento das obrigações ambientais.

Este relatório deverá apresentar evidências objetivas do cumprimento do que foi proposto no PDA, comprovando a desativação adequada nos termos da legislação, elencando os resíduos, o seu destino e, também, os comprovantes do destino, tais como: registros fotográficos; certificados de movimentação de resíduos; certificado de coleta de óleo, se for o caso; controle de transporte de resíduos; notas fiscais de matérias-primas e de transporte de resíduos; cópia da Licença Ambiental do local de destinação dos resíduos;

determinação da pluma de contaminação; relatórios sobre gerenciamento de áreas contaminadas e de remediação; outros documentos necessários.

3) ART do profissional responsável pela elaboração do Relatório

Após a entrega do RDA, o órgão ambiental emitirá o Termo de Desativação da Atividade (TDA).

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Plano de Desativação deve ter como objetivos caracterizar a atividade, os aspectos, impactos e os potenciais efetivos riscos, apontando os procedimentos a serem adotados na desativação. Também, deve apresentar as medidas de controle, mitigação ou correção de ocasionais riscos, impactos ou passivos ambientais.

Percebe-se que o tema sobre áreas contaminadas é muito amplo e que na maioria dos estados brasileiros ainda não há uma preocupação maior em verificar essas áreas e instituir legislações adequadas para a minimização e recuperação das mesmas. Os planos de desativação são uma forma de se prevenir que áreas contaminadas sejam deixadas para as gerações futuras.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004**: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15515-1**: Passivo ambiental em solo e água subterrânea. Parte 1: Avaliação preliminar. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15515-2**: Passivo ambiental em solo e água subterrânea. Parte 2: Investigação confirmatória. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15515-3**: Avaliação do passivo ambiental em solo e água subterrânea. Parte 3: Investigação detalhada. Rio de Janeiro: ABNT, 2013a.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16209**: Avaliação de risco a saúde humana para fins de gerenciamento de áreas contaminadas. Rio de Janeiro: ABNT, 2013b.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16210**: Modelo conceitual no gerenciamento de áreas contaminadas - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2013c.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 16784-1**: Reabilitação de áreas contaminadas - Plano de intervenção. Parte 1: Procedimentos de elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ABNT - Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR 16901**: Gerenciamento de áreas contaminadas – Plano de desativação de empreendimentos com potencial de contaminação - Procedimento. Rio de Janeiro, 2020.

BRASIL. **Constituição (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 23 mar. 2021.

BRASIL. **Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 23 mar. 2021.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/areascontaminadas/documentacao/manual-de-gerenciamento-de-areas-contaminadas/informacoes-gerais/>. Acesso em: 05 abr. 2021.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas/CETESB, GTZ**. 2ª ed., São Paulo: CETESB, 2001. Disponível em: <http://200.144.0.248/DOWNLOAD/CERTIFICADOS/AC2019/Manual%20Cetesb%20Completo.pdf>. Acesso em: 18 maio 2021.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009**. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Diário Oficial da União, Brasília, nº 249, 30 dez. 2009. p. 81-84.

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Diretriz Técnica FEPAM Nº 003/2021**, de 05 de fevereiro de 2021. Licenciamento ambiental de áreas suspeitas, com potencial de contaminação ou contaminadas ou de áreas degradadas pela disposição irregular de resíduos sólidos. Disponível em: http://www.fepam.rs.gov.br/CENTRAL/DIRETRIZES/diretriz_areas%20contaminadas.pdf. Acesso em: 04 abr. 2021.

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Portaria FEPAM Nº 116**, de 09 de novembro de 2015. Estabelece o procedimento administrativo para a emissão do termo de encerramento - TE. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/legislacao/arq/Portaria116-2015.pdf>. Acesso em: 04 maio 2021.

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Resolução CONSEMA Nº 372**, de 22 de fevereiro de 2018. Dispõe sobre os empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, passíveis de licenciamento ambiental no Estado do Rio Grande do Sul, destacando os de impacto de âmbito local para o exercício da competência municipal no licenciamento ambiental. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201909/17101650-372-2018-atividades-licenciaveis-compilada.pdf>. Acesso em: 04 maio 2021.

ESTADO DE SÃO PAULO. **Decreto Nº 59.263**, de 5 de junho de 2013. Regulamenta a Lei nº 13.577, de 8 de julho de 2009, que dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, e dá providências correlatas. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2013/decreto-59263-05.06.2013.html>. Acesso em: 04 maio 2021.

FREITAS, N. M. da S.; MARQUES, C. A. **Sustentabilidade e CTS: o necessário diálogo na/para a educação em Ciência em tempos de crise ambiental**. Educar em Revista, Curitiba, v. 35, n. 77, p. 265-282, 2019.

HABERMANN, M. GOUVEIA, N. **Requalificação urbana em áreas contaminadas na cidade de São Paulo**. Estudos Avançados, V. 28 (82), p. 129-137, 2014.

LIMA, S. D.; OLIVEIRA, A. F.; GOLIN, R.; CAIXETA, D. S.; LIMA, Z. M.; MORAIS, E. B. **Gerenciamento de áreas contaminadas por postos de combustíveis em Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.** Revista Ambiente & Água, v. 12, n. 2, p. 299-315, 2017.

MEJÍA, P. V. L.; ANDREOLI, F. de N.; ANDREOLI, C.; SERRAT, B. M. **Metodologia Para Seleção de Técnicas de Fitorremediação em Áreas Contaminadas.** *Brazilian Journal of Environmental Sciences*, n. 31, p. 97-104, 2014.

MORAES, S. L.; TEIXEIRA, C. E.; MAXIMIANO, A. M. S. **Guia de elaboração de planos de intervenção para o gerenciamento de áreas contaminadas.** IPT e BNDES, São Paulo, 2014.

Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/277871261_Guia_de_elaboracao_de_planos_de_intervencao_para_o_gerenciamento_de_areas_contaminadas. Acesso em: 13 maio 2021.

SEMASA – Serviço Municipal de Saneamento Ambiental de Santo André. **Roteiro para elaboração do Plano de Desativação de Atividade.** Disponível em: http://www.semasa.sp.gov.br/meio_ambiente/licenciamento-ambiental/formularios/. Acesso em: 28 abr. 2021.

TEIXEIRA, C. E.; MOTTA, F. G.; MORAES, S. L. **Panorama GAC (livro eletrônico): mapeamento da cadeia de gerenciamento de áreas contaminadas.** São Paulo: IPT, 1. Ed., 2016. Disponível em: http://www.ipt.br/noticias_interna.php?id_noticia=1225. Acesso em: 10 jun. 2021.

USO DE INDICADORES SOCIOAMBIENTAIS PARA ANÁLISE DOS IMPACTOS DO USO PÚBLICO NO PARQUE NACIONAL DO PAU BRASIL, PORTO SEGURO - BA

Data de aceite: 01/02/2022

Data de submissão: 08/03/2022

Bianca Rocha Martins

Universidade do Estado de Santa Catarina
(UDESC)
Lages - SC
<http://lattes.cnpq.br/0680980765446971>

Michele Barros de Deus Chuquel da Silva

Universidade do Estado de Santa Catarina
(UDESC)
Lages - SC
<http://lattes.cnpq.br/8556198056915055>

Gabriela Narezi

Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB)
Porto Seguro - BA
<http://lattes.cnpq.br/1603781651177935>

Valter Antonio Becegato

Universidade do Estado de Santa Catarina
(UDESC)
Lages - SC
<http://lattes.cnpq.br/3196823526572670>

RESUMO: O uso público em Unidades de Conservação (UCs), por meio da visitação, apresenta-se como um importante mecanismo para a sensibilização dos visitantes à preservação destas áreas. Contudo, é necessário um planejamento das ações e monitoramento buscando minimizar, controlar ou eliminar os possíveis impactos negativos, quer seja ambiental, social e econômico, causados pela visitação. Este traba-

lho buscou aplicar uma metodologia de análise capaz de mensurar os impactos do uso público no Parque Nacional do Pau Brasil (PNPB) a partir de indicadores socioambientais, buscando subsidiar tomadas de decisão para o planejamento das ações desta atividade, com enfoque na conservação da biodiversidade. A pesquisa baseou-se em revisões bibliográficas, consultas a documentos oficiais, coleta de relatos orais, coletas de dados e verificações em campo. Para a análise dos impactos da visitação, considerou-se o uso das etapas do roteiro metodológico do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). A seleção dos indicadores ambientais foi realizada a partir da lista disponibilizada pelo roteiro metodológico do ICMBio e o Manual de Monitoramento e Gestão dos Impactos da Visitação em Unidades de Conservação da *World Wide Fund for Nature* (WWF) Brasil. Os indicadores ambientais foram aplicados nas duas principais trilhas da UC, chamadas Ibirapitanga e das Bromélias no decorrer do ano de 2017. A aplicação do roteiro metodológico proposto, possibilitou gerar dados de controle que contribuirão para a análise e mensuração dos futuros impactos do uso público na UC.

PALAVRAS-CHAVE: Unidades de conservação; Impactos da visitação; Conservação da biodiversidade.

USE OF SOCIO-ENVIRONMENTAL INDICATORS FOR ANALYSIS OF THE IMPACTS OF PUBLIC USE IN THE PAU BRASIL NATIONAL PARK - PORTO SEGURO - BA

ABSTRACT: The public use in Conservation Uni-

ts (CUs), through visitation, is an important mechanism for sensitizing visitors to the preservation of these areas. However, it is necessary to plan actions and monitor seeking to minimize, control or eliminate possible negative impacts, whether environmental, social and economic, caused by visitation. This work sought to apply an analysis methodology capable of measuring the impacts of public use in the Pau Brasil National Park (PNPB) from socio-environmental indicators, seeking to support decision-making for the planning of actions of this activity, focusing on biodiversity conservation. The research was based on bibliographic reviews, consultations with official documents, collection of oral reports, data collection and field checks. For the analysis of the impacts of the visitation, we considered the use of the stages of the methodological script of the Chico Mendes Institute for Biodiversity Conservation (ICM-Bio). The selection of environmental indicators was made from the list provided by the methodological script of ICMBio and the Manual of Monitoring and Management of the Impacts of Visitation in Conservation Units (UC) of the World Wide Fund for Nature (WWF) Brazil. The environmental indicators were applied in the two main tracks of the UC, called Ibirapitanga and Bromelias during the year of 2017. The application of the proposed methodological script made it possible to generate control data that will contribute to the analysis and measurement of future impacts of public use in the UC.

KEYWORDS: Conservation Units; Impacts of visitation; Biodiversity Conservation.

1 | INTRODUÇÃO

As áreas naturais protegidas são uma importante estratégia para a defesa da biodiversidade frente a atual crise (COETZEE; GASTON; CHOWN, 2014; GRAY et al., 2016; WATSON et al., 2014). No Brasil as áreas naturais protegidas englobam as Unidades de Conservação (UCs), que de acordo com o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), referem-se aos espaços territoriais definidos e seus recursos ambientais relevantes, instituídos pelo poder público, com o objetivo de conservação dos mesmos (BRASIL, 2000).

As UCs dividem-se em dois grupos: proteção integral, que visa a proteção da natureza, sendo permitido apenas o uso indireto dos recursos naturais como pesquisas científicas, educação ambiental e turismo ecológico; e uso sustentável, que são as áreas onde há a conservação da natureza, e permite o uso sustentável dos recursos naturais, desde que ocorra um manejo que assegure os processos ecológicos e a continuidade destes recursos (BRASIL, 2000).

O Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), criado em 18 de agosto de 2007 pela lei 11.516 e vinculado ao Ministério do Meio Ambiente (MMA), é responsável por executar as ações do SNUC, podendo propor, implantar, gerir, proteger, fiscalizar e monitorar as UCs instituídas pela união (BRASIL, 2007).

O uso público, conforme definição de Rodrigues (2009), refere-se a indicação do uso das UCs pelo público, por meio da visitação e do turismo, independentemente de sua motivação, quer seja contemplação, recreação, esporte, educação e interpretação

ambiental, observação de aves, ou do segmento do turismo em questão (ecoturismo e turismo de aventura). Segundo dados do ICMBio, o número de visitas ultrapassou a margem de 15 milhões em 2019 nas UCs do país, um aumento de 20,4% comparado ao ano precedente (ICMBio, 2020).

Desta forma, o uso público em UCs, por meio da visitação, apresenta-se como um importante mecanismo para a sensibilização dos visitantes em relação à preservação destas áreas, além de contribuir com o sentimento de pertencimento dos mesmos em relação ao local, sendo considerado também um elemento potencial ao desenvolvimento regional. Contudo, é necessário um planejamento das ações e monitoramento buscando minimizar, controlar ou eliminar os possíveis impactos negativos, quer seja ambiental, social e econômico, causados pela visitação (SCHLEICHER, 2018).

De modo geral, os impactos negativos relacionados ao uso público referem-se ao acúmulo de resíduos no percurso das trilhas e adjacências das mesmas, nas montanhas, rios e áreas alagadas; coleta e danificação da vegetação (quebras de galhos e inscrição em árvores); erosão; falta de drenagem; ruídos e impactos sobre a fauna (MALDONADO-ORÉ; CUSTODIO, 2020; RUSCHMANN, 1992; SANTOS et al., 2020). Em relação aos impactos sociais, estes estão relacionados à experiência da visitação, decorrentes da percepção e o perfil dos visitantes (SLABBERT; DU PREEZ, 2021; *WORLD WIDE FUND FOR NATURE*, 2011).

Faz-se necessário o estabelecimento de estratégias para reduzir de forma significativa os impactos negativos do uso público nas UCs, devido a ocorrência de alta concentração de biodiversidade nessas áreas, além de ser o habitat de diversas espécies em extinção (CONCEIÇÃO et al., 2022). O uso de indicadores é considerado um elemento chave para o levantamento de dados de controle para futuros planejamentos e monitoramentos (ICMBio, 2011; SILVA; GHILARDI-LOPES, 2012).

Diante deste contexto, o presente artigo buscou aplicar uma metodologia de análise capaz de mensurar os impactos do uso público no Parque Nacional do Pau Brasil (PNPB) a partir de indicadores socioambientais, buscando subsidiar tomadas de decisão para o planejamento das ações desta atividade, com enfoque na conservação da biodiversidade.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O PNPB é uma UC de Proteção Integral que foi criado em 20 de abril de 1999 pelo decreto federal s/n desta data (ICMBio, 2016a). O PNPB possui 19.027,22 ha, com sua Zona de Amortecimento de 75.165,84 ha, localizando-se no município de Porto Seguro, estado da Bahia, entre as coordenadas 16°24' e 16°35' latitude sul e 39°07 e 39°22' longitude oeste (ICMBio, 2016a).

O PNPB está inserido no Corredor Central da Mata Atlântica, sendo considerada uma área estratégica para a conservação, por possuir alta biodiversidade e conter espécies endêmicas no local (CORDEIRO, 2003). A flora do parque apresenta 788 indivíduos pertencentes a 254 espécies (ou morfoespécies) distribuídas em 51 famílias botânicas, sendo 71 endêmicas, 5 raras e 19 ameaçadas de extinção. Destas destaca-se o Pau Brasil (*Paubrasilia echinata*), como espécie bandeira do parque, considerada uma árvore de madeira valiosa, com extração de corante (ICMBio, 2016a). Com relação a fauna são 202 espécies de aves, 36 espécies de mamíferos, 20 espécies de répteis, 51 espécies de anfíbios e 16 espécies de peixes. Nele encontram-se aves como o Gavião-real (*Harpia harpyja*) (ICMBio, 2016a).

Em 28 de outubro de 2016, o PNPB passou a receber visitantes, sendo que anteriormente era possível somente a realização de pesquisas e visitas técnicas mediante autorização prévia da gestão (BRASIL, 2016). Em 2019 iniciou-se às atividades da empresa concessionária Hope Recursos Humanos S/A que atua em parceria com a UC nos serviços de cobrança de ingressos, estacionamento de veículos, centro de visitantes, dentre outras atividades relacionadas à visitação.

De acordo com o projeto básico do PNPB em relação ao uso público, o conjunto de atrativos e estruturas de apoio para receber visitantes é composto por 3 mirantes (Sede, Pau Brasil e Maracanã), 6 trilhas (Ibirapitanga, das Bromélias, Vera Cruz, das Antas, da Mussununga e Patatiba) e a área da Jaqueira (ICMBio, 2016b). Há também um centro de visitantes, com uma exposição sobre a história do parque, das civilizações que fizeram parte da região, as comunidades do entorno do mesmo e a diversidade de espécies da fauna e flora (BRASIL, 2016).

2.2 Levantamento de dados

A pesquisa baseou-se em revisões bibliográficas, consultas aos documentos oficiais, notadamente o Plano de Manejo e o Plano de Uso Público do PNPB, coleta de relatos orais, coleta de dados e verificações de campo à partir de anotações e cadernetas de campo preenchidas no contexto do estágio desenvolvido no PNPB. O trabalho foi realizado com o auxílio de uma analista ambiental e outros funcionários da UC no ano de 2017. O objetivo das verificações em campo foi realizar um diagnóstico dos principais atrativos do PNPB, buscando gerar dados de controle, ou seja, de possibilitar o levantamento de dados que contribuam para a análise e mensuração dos futuros impactos do uso público na UC.

Para análise dos impactos da visitação, considerou-se o uso das etapas do Roteiro Metodológico para Manejo de Impactos da Visitação do ICMBio, que estabelece procedimentos norteadores para o aumento da qualidade da experiência dos visitantes e a proteção dos recursos naturais e culturais das UCs (ICMBio, 2011). O roteiro metodológico do ICMBio é composto de 5 etapas: organização e planejamento; priorização de atividades e lugares de visitação; estabelecimento do número balizador da visitação (NBV);

planejamento e monitoramento de indicadores; e avaliação e ações de manejo (ICMBio, 2011).

Este trabalho apresenta os resultados da etapa de planejamento e monitoramento de indicadores. Esta etapa consiste no acompanhamento de determinada situação e levantamento de dados visando estabelecer estratégias de ações para minimizar impactos ambientais e aperfeiçoar a qualidade da experiência do visitante (ICMBio, 2011). Para tanto, utilizou-se indicadores ambientais que visam mensurar variações na qualidade do ambiente. Tais indicadores contribuem para estimar os impactos da visitação nos recursos biológicos, físicos e culturais da unidade (ICMBio, 2011).

Para a seleção dos indicadores ambientais considerou-se a lista disponibilizada pelo roteiro metodológico do ICMBio e o Manual de Monitoramento e Gestão dos Impactos da Visitação em Unidades de Conservação da *World Wide Fund for Nature* (WWF) Brasil, que também serviu como base para a mensuração dos indicadores a partir da definição dos pontos de amostragem e censo.

O monitoramento por sistema de amostragem, baseou-se na adaptação de Marion (2004) em que os pontos são alocados a cada 100 m nas trilhas, considerando as mesmas com extensão acima de 1.000 m, sendo capaz de obter uma caracterização aproximada da realidade desta (WWF, 2011). Para as trilhas com menos de 1.000 m de extensão, o intervalo entre os pontos é menor, buscando um número aproximado de dez pontos de monitoramento por trilha (MARION, 2004; WWF, 2011). Destaca-se que o ponto final da trilha deverá sempre ser monitorado, mesmo que a distância entre os pontos da última seção seja diferente do intervalo escolhido (WWF, 2011).

Para a demarcação dos pontos no sistema de amostragem, utilizou-se estacas, cuja dimensão consistiu em 30 cm de comprimento e 5 cm de largura e profundidade respectivamente, conforme recomendação do manual da WWF. Já o monitoramento por censo, consiste na determinação da localização, dimensão e análise dos impactos em toda a trilha (WWF, 2011).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os Quadros 01 e 02 apresentam os indicadores ambientais e sociais selecionados, respectivamente, com os critérios de diagnósticos aplicáveis ao contexto do PNPB. Alguns dos indicadores selecionados foram modificados em relação à sua nomenclatura. Não foram coletados dados suficientes para a análise dos indicadores econômicos e os mesmos serão indicativos de pesquisas futuras.

| Indicadores Ambientais | Crítérios de diagnóstico | Indicadores Ambientais | Crítérios de diagnóstico |
|--------------------------------------|--|--|---------------------------------------|
| Acúmulo de lixo em áreas específicas | 1- Não há | Frequência de observação de fauna silvestre | 1- Não há |
| | 2- Acima do padrão estabelecido | | 2- Pouca frequência |
| | 3- Muito acima do padrão estabelecido | | 3- Muita frequência |
| Capacidade de drenagem | 1- Não há problema de drenagem | Total em metros lineares de percurso de trilha erodido | 1- Não há |
| | 2- Presença de declive | | 2- Acima do padrão estabelecido |
| | 3- Locais com Lama | | 3- Muito acima do padrão estabelecido |
| | 4- Formação de poças | Nº e comprimento de trilhas não oficiais | 1- Não há |
| | 5- Falta de sistema de drenagem | | 2 - Acima do padrão estabelecido |
| | 6- Erosão aparente | | 3- Muito acima do padrão estabelecido |
| Compactação do solo na trilha | 1 – Presença de Serrapilheira | Nº de atalhos nas trilhas | 1- Não há |
| | 2 – Arenoso | | 2 - Acima do padrão estabelecido |
| | 3 – Argiloso | | 3- Muito acima do padrão estabelecido |
| | 4 – Poças d'água | Nº de dejetos humanos, papel higiênico ou fraldas visíveis nos ou próximos dos atrativos | 1- Não há |
| | 5 – Presença de Erosão | | 2- Acima do padrão estabelecido |
| Danos à infraestrutura | 1- Não há | Nº de raízes expostas que excedem 5 centímetros de diâmetro, medida em 150 centímetros a partir do leito da trilha ao longo de 30 metros | 3- Muito acima do padrão estabelecido |
| | 2- Quantidade de estruturas pichadas | | 1- Não há |
| | 3- Quebra de estruturas | | 2- Acima do padrão estabelecido |
| | 4- Remoção de estruturas | | 3- Muito acima do padrão estabelecido |
| Danos aos recursos naturais | 1- Não há | Variação da largura da trilha | 1 - Não há |
| | 2- Quantidade de galhos quebrados nas árvores | | 2- Acima do padrão estabelecido |
| | 3 - Inscrições em árvores | | 3- Muito acima do padrão estabelecido |
| | 4- Plantas pisoteadas em áreas fora do leito da trilha | Vestígio de caça ou roubo de madeira | 1- Não há |
| | | | 2- Acima do padrão estabelecido |
| | | | 3- Muito acima do padrão estabelecido |

Quadro 01 - Indicadores ambientais selecionados para o PNPB.

Fonte: Modificado do Roteiro Metodológico para manejo de impactos da visitação (ICMBio, 2011) e do Manual de Monitoramento e Gestão dos Impactos da Visitação em Unidades de Conservação (WWF, 2011).

| Indicadores Sociais | Critérios de diagnóstico |
|--|---|
| Nº e tipo de reclamações dos visitantes | 1 - Não há |
| | 2- Abaixo do padrão estabelecido |
| | 3- Acima do padrão estabelecido |
| Nº de minutos de espera de um veículo para se chegar a um determinado atrativo | 1 - Não há minutos de espera |
| | 2 - Abaixo do padrão estabelecido |
| | 3 - Acima do padrão estabelecido |
| Nº de pessoas encontradas ao mesmo tempo em determinado equipamento do parque (mirante, trilha, etc) em horários de pico | 1 - Não há pessoas encontradas ao mesmo tempo |
| | 2- Abaixo do padrão estabelecido |
| | 3 - Acima do padrão estabelecido |
| Nível de satisfação do visitante em relação à experiência em determinado lugar da visitação | 1 - Péssimo |
| | 2 - Ruim |
| | 3 - Regular |
| | 4 - Bom |
| | 5 - Ótimo |
| Percepção do visitante sobre o impacto no ambiente de lugares específicos e percepção geral | 1 - Não percebeu nenhum impacto |
| | 2 - Árvores cortadas ou danificadas |
| | 3 - Atalhos e trilhas secundárias criadas pelos visitantes |
| | 4 - Atrativos com muitos visitantes |
| | 5 - Barulhos provocados por visitantes |
| | 6 - Dejetos (fezes, papel higiênico, fraldas) em locais inadequados |
| | 7 - Lixo/resíduos deixados pelos visitantes |
| | 8 - Nº excessivo de visitantes |
| | 9 - Trilhas mal mantidas e com erosão |
| Tempo de espera para entrar em um atrativo durante os dias de alta temporada | 1 - Não há espera |
| | 2 - Abaixo do padrão selecionado |
| | 3 - Acima do padrão selecionado |
| Nº de visitantes por ano que reclamam do barulho ocasionado por outros visitantes | 1 - Não reclamações |
| | 2 - Abaixo do padrão selecionado |
| | 3 - Acima do padrão selecionado |

Quadro 02 - Indicadores sociais selecionados para o PNPB.

Fonte: Modificado do Roteiro Metodológico para manejo de impactos da visitação (ICMBio, 2011) e do Manual de Monitoramento e Gestão dos Impactos da Visitação em Unidades de Conservação (WWF, 2011).

Os indicadores ambientais foram aplicados nas principais trilhas da UC chamadas Ibirapitanga, Patatiba e das Bromélias, visto que as mesmas são frequentemente visitadas. Neste trabalho serão apresentados os resultados das trilhas Ibirapitanga e das Bromélias.

3.1 Trilha Ibirapitanga

A trilha Ibirapitanga está localizada nas coordenadas 16°29'20.51"S e 39°13'2.79"O (ICMBio, 2016). A localidade mais próxima de seu ponto de início é a trilha das Bromélias, a 2,2 km. Esta trilha apresenta nível de dificuldade baixo para a realização da atividade

de caminhada. Sua nomenclatura Ibirapitanga é o nome indígena da espécie bandeira da UC, o Pau-brasil, sendo relevante para a história do país. Além disso, o Pau-brasil consta na lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção (BRASIL, 2008). Devido a sua importância, o Pau-brasil foi declarado árvore nacional pela Lei Federal 6.607 de 7 de dezembro de 1978, comemorado em 03 de maio (BRASIL, 1978). Nesta trilha é possível encontrar desde plântulas até indivíduos adultos de Pau-brasil, que segundo relatos de especialistas do Jardim Botânico do Rio de Janeiro, apresentam idade estimada entre quinhentos a oitocentos anos.

No que refere à mensuração dos indicadores ambientais, realizou-se uma visita de campo na trilha Ibirapitanga, cujos métodos de verificação utilizados foram censo e amostragem. Para a amostragem, não foram colocadas estacas ao longo da trilha e sim distante 20 m no início como ponto nº 01 e o ponto nº02 20 m ao final da trilha. Esta modificação da metodologia foi necessária, pois o início e o final da trilha são locais mais críticos da mesma, devido a presença de Pau-brasil na beira da estrada e da possibilidade de atalhos, assim como outros impactos que precisarão ser medidos por amostragem. Já no decorrer da trilha, por conter uma passarela para acesso dos visitantes e apresentar curto tamanho, os indicadores foram mensurados por censo, não sendo necessário o estabelecimento de estacas.

Desta forma foram selecionados indicadores aplicáveis à trilha Ibirapitanga e estes foram mensurados para obter os dados da atual situação da trilha. Considerou-se tais informações como a linha de base para o futuro monitoramento da mesma.

Após a análise dos indicadores, observou-se que ainda não há impactos em relação aos mesmos nessa trilha, visto que a visitação, na época, ainda ocorria com pouca frequência.

3.2 Trilha das Bromélias

A trilha das Bromélias está localizada nas coordenadas geográficas 16° 29 '10.01" S e 39°13'34.05" O (ICMBio, 2016). Possui 540 m de extensão e a localidade mais próxima do seu ponto de início é a trilha Vera Cruz, com distância de 1 km. Apresenta nível de dificuldade baixo e tempo necessário de 25 minutos para a realização da atividade de caminhada na trilha.

É importante ressaltar que a trilha apresenta como atrativos aos visitantes Bromélias gigantes (*Vriesea sp*), orquídeas da família (Orchidaceae), o ecossistema de mussununga significativamente preservado e conforme plano de manejo da UC indivíduos de pequiamarelo (*Terminalia sp*).

No que se refere à mensuração dos indicadores ambientais, realizou-se uma visita de campo na trilha das Bromélias. Para tanto, os métodos de verificação utilizados foram censo e amostragem. Para a amostragem, como a trilha apresenta 540 m de extensão, foi considerado um intervalo de 60 m entre cada ponto, sendo o ponto nº 01 o início da trilha.

Assim como a trilha Ibirapitanga, a trilha das Bromélias não apresentou impactos em relação aos indicadores analisados, visto que a visitação ainda ocorria com pouca frequência.

Houve a medição dos pontos selecionados pelo método de amostragem do indicador “variação da largura da trilha”. Considerou-se a necessidade de verificação deste indicador para servir como linha de base para as futuras coletas de dados e monitoramento. Para tanto, mediu-se somente a largura da trilha considerando o local marcado pelo pisoteio (WWF, 2011). A média da largura desta trilha nesta primeira análise foi de 80 cm.

O indicador número de raízes expostas que excedem 5 cm de diâmetro, medida em 150 cm a partir do leito da trilha ao longo de 60 m, a trilha das Bromélias apresentou no ponto 08 uma raiz com 18 cm. Entretanto, a mesma não está exposta devido à atividade de visitação, visto que esta ainda ocorria com pouca frequência. Pressupõe-se que esta raiz esteja exposta por ocorrência natural. Além disso, notou-se que do ponto 01 ao ponto 05 a trilha encontra-se nesse percurso na área de Mussununga. Trata-se de um terreno mais arenoso, e, portanto, mais sensível ao pisoteio dos visitantes. Assim, indica-se o monitoramento frequente deste trecho, especialmente em relação aos indicadores compactação do solo, capacidade de drenagem e total em metros lineares de percurso de trilha erodido.

Há trabalhos desenvolvidos no Brasil referente a análise e mensuração dos impactos causados pelo uso público em UCs. Entre eles o trabalho de Silva e Silva (2009) referente às estratégias de conservação de trilhas do Parque Nacional da Chapada dos Guimarães no Mato Grosso, com estabelecimento de indicadores de impactos e uso do método *Visitor Impact Management* (VIM). Cabe destacar também outros trabalhos nessa temática como o do Burgardt e Moreira (2018), De Paiva (2019) e Teixeira e Michelin (2017).

O uso de concessão de serviços em UCs, especialmente com foco no uso público, tem ocorrido no país como forma de viabilizar melhorias na gestão desta atividade. Assim, o governo federal justifica a necessidade do estabelecimento das parcerias público-privada a partir de problemas estruturais na gestão do uso público em UCs, tais como a ausência de verbas para a contratação de funcionários e manutenção de infraestrutura (OLMOS, MILANO, 2014).

Considera-se que existem inúmeros desafios que envolvem a formulação dos termos destas parcerias, buscando evitar que problemas futuros ocorram. Destacam-se, por exemplo, o fato de conciliar os interesses do órgão gestor da UC (qualidade dos serviços prestados aos visitantes, fluxo de recursos regular para a manutenção da unidade, segurança, além do mínimo impacto ambiental) com os objetivos do gestor privado (retorno financeiro adequado, segurança jurídica, contratos claros etc.) (ILHA, 2014; SCHLEICHER, 2018; SLABBERT; DU PREEZ, 2021).

Cabe destacar que após a mensuração dos indicadores em 2017, devido a mudança na gestão, processo de instalação da empresa concessionária, dentre outros fatores, não

houve o monitoramento dos indicadores ambientais nos anos seguintes. Além disso, por conta da pandemia da COVID-19 no Brasil e no mundo e a necessidade de isolamento social, ocorreu a interrupção das atividades de visitação. Todavia, a partir de 2022, existe a possibilidade de passeios dentro da UC com transporte interno e sob agendamento, respeitando as normas vigentes do Ministério da Saúde.

4 | CONCLUSÕES

A aplicação do roteiro metodológico proposto pelo ICMBio possibilitou gerar dados de controle, ou seja, o levantamento de dados que contribuirão para a análise e mensuração dos futuros impactos do uso público na UC.

O desenvolvimento de ações de comunicação e educação ambiental também são importantes estratégias na busca por minimizar conflitos e impactos, além de contribuir na informação e melhores condições à participação, a fim de atender as demandas locais. A UC dispõe do Projeto Político Pedagógico de Educação Ambiental, sendo prioritário a efetividade deste projeto no contexto do uso público.

REFERÊNCIAS

BRASIL. **Lei nº 6.607, de 7 de dezembro de 1978.** Declara o Pau-brasil árvore nacional, institui o Dia do Pau-brasil, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6607.htm. Acesso em 06 mar. 2022.

BRASIL. **Lei nº 11.516, de 28 de agosto de 2007.** Dispõe sobre a criação do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - Instituto Chico Mendes. Brasília: Casa Civil. 2007. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11516.htm. Acesso em: 07 mar. 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Instrução normativa nº 6, de 23 de setembro de 2008.** Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&force=1&legislacao=114465>. Acesso em: 07 mar. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Parque do Pau Brasil abre para visitação.** 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/noticia-acom-2016-10-1947>. Acesso em: 07 mar. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza:** Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000; Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002; Decreto nº 5.746, de 5 de abril de 2006. Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas: Decreto nº 5.758, de 13 de abril de 2006/Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA/SBF, 2011.

BURGARDT, S.; MOREIRA, J. C. **Análise dos impactos ambientais relacionados ao uso público na furna do buraco do padre, Parque Nacional dos Campos Gerais (PR).** Revista Brasileira de Espeleologia, v. 1, n. 9, p. 1-20, 2018. Disponível em: https://www.academia.edu/38463907/AN%C3%81LISE_DOS_IMPACTOS_AMBIENTAIS_RELACIONADOS_AO_USO_PUBLICO_NA_FURNA_DO_BURACO_DO_PADRE_PARQUE_NACIONAL_DOS_CAMPOS_GERAIS_PR. Acesso em: 07 mar. 2022.

COETZEE, B. W. T.; GASTON, K. J.; CHOWN, S. L. **Local scale comparisons of biodiversity as a test for global protected area ecological performance: a meta-analysis.** PloS One, v. 9, n. 8, p. e105824, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105824>. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0105824>. Acesso em: 25 nov. 2021.

CONCEIÇÃO, E. O. et al. **The impact of downsizing protected areas: How a misguided policy may enhance landscape fragmentation and biodiversity loss.** Land Use Policy, v. 112, p. 105835, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105835>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837721005585>. Acesso em: 06 mar. 2022.

CORDEIRO, P. H. C. **Padrões de distribuição geográfica da avifauna, com ênfase nas espécies endêmicas e ameaçadas, nos remanescentes de Mata Atlântica no sul da Bahia.** Corredor de biodiversidade da Mata Atlântica do sul da Bahia. In: Prado P.L., Landau E.C., Moura R.T., Pinto L.P.S., Fonseca G.A.B., Alger K.N. (orgs.) Corredor de Biodiversidade da Mata Atlântica do Sul da Bahia, Publicação em CD-ROM, Ilhéus: IESB/ CI/ CABS/UFMG/ UNICAMP, 2003. Disponível em: https://ibama.angelfire.com/analise_avifauna.pdf. Acesso em: 06 mar. 2022.

DE OMENA, M. T. R. N.; HANAZAKI, N. **How do Brazilian National Park managers evaluate the relationship between conservation and public use?** Environmental Science & Policy, v. 131, p. 1-9, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.01.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901122000156>. Acesso em: 04 mar.2022.

DE PAIVA, B. C. A. **Impactos ambientais em Unidades de Conservação: Parque Nacional de Anavilhanas na visão dos profissionais envolvidos com a visitação.** Revista Brasileira de Ecoturismo (RBEcotur), v. 12, n. 1, 2019. DOI: <https://doi.org/10.34024/rbecotur.2019.v12.6613>. Disponível em: Impactos ambientais em Unidades de Conservação: Parque Nacional de Anavilhanas na visão dos profissionais envolvidos com a visitação I Revista Brasileira de Ecoturismo (RBEcotur) (unifesp.br). Acesso em: 07 mar. 2022.

GRAY, C. L. et al. **Local biodiversity is higher inside than outside terrestrial protected areas worldwide.** Nature Communications, v. 7, n. 1, p. 1-7, 2016. DOI: 10.1038/ncomms12306. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/ncomms12306>. Acesso em: 01 dez. 2021.

ILHA, A. **Reflexões sobre as concessões em parques.** 2014. Disponível em: <http://www.oeco.org.br/colunas/colunistas-convidados/28673-reflexoes-sobre-as-concessoes-em-parques/>. Acesso em: 06 Mar. 2022.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Monitoramento da visitação em unidades de conservação federais:** Resultados de 2019 e breve panorama histórico. Brasília - DF, 2020. Disponível em:https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/comunicacao/publicacoes/monitoramento_visitacao_em_ucs_federais_resultados_2019_breve_panorama_historico.pdf. Acesso em: 05 mar. 2022.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Plano de manejo Parque Nacional do Pau Brasil.** 2016a. Disponível em: <https://biodiversitas.org.br/planos-de-manejo-parques-nacionais-descobrimto-e-pau-brasil/>. Acesso em: 07 mar. 2022.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Plano de uso público do parque nacional do pau brasil.** 2016b.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Roteiro metodológico para manejo de impactos da visitação com enfoque na experiência do visitante e na proteção dos recursos naturais e culturais**. 2011. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/comunicacao/roteiro_impacto.pdf. Acesso em: 05 abr. 2017.

MALDONADO-ORÉ, E. M.; CUSTODIO, M. **Visitor environmental impact on protected natural areas: An evaluation of the Huaytapallana Regional Conservation Area in Peru**. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, v. 31, p. 100298, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jort.2020.100298>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213078020300220?via%3Dihub>. Acesso em: 06 mar. 2022.

MARION, J.L. **Trail Monitoring Manual: Daniel Boone National Forest**. Patuxent Wildlife Research Center, Virginia / U.S., 2004.

OLMOS, F. MILANO, M. **Unidades de conservação e o setor privado: ideias para o próximo governo**. 2014. Disponível em: <http://www.oeco.org.br/colunas/colunistas-convidados/28544-unidades-de-conservacao-e-o-setor-privado-ideias-para-o-proximo-governo/>. Acesso em: 06 mar. 2022.

RODRIGUES, C. G. O. **O uso público nos parques nacionais: a relação entre as esferas pública e privada na apropriação da biodiversidade**. 2009. 358p. Tese (doutorado). Centro de Desenvolvimento Sustentável. Universidade de Brasília, Brasília, 2009. Disponível em: http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/3826/1/2009_CamilaGoncalvesdeOliveiraRodrigues.pdf. Acesso em 07 mar. 2022.

RUSCHMANN, D. V. D. M. **Impactos ambientais do turismo ecológico no Brasil**. 1992. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/rta/article/view/63069>. Acesso em: 07 mar. 2022.

SANTOS, A. A. et al. **Initial beach litter survey in a conservation unit (Santa Isabel Biological Reserve, Sergipe) from northeast Brazil**. *Marine Pollution Bulletin*, v. 153, p. 111015, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111015>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X20301338>. Acesso em: 05 mar. 2022.

SCHLEICHER, J. **The environmental and social impacts of protected areas and conservation concessions in South America**. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v. 32, p. 1-8, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.01.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877343517302142>. Acesso em: 06 mar. 2022.

SILVA, J. N.; GHILARDI-LOPES, N. P. **Indicators of the impacts of tourism on hard-bottom benthic communities of Ilha do Cardoso State Park (Cananéia) and Sonho Beach (Itanhaém), two southern coastal areas of São Paulo State (Brazil)**. *Ocean & Coastal Management*, v. 58, p. 1-8, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2011.12.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964569111002055>. Acesso em: 06 mar. 2022.

SILVA, N. M. D.; SILVA, A. M. D. **Estratégias de conservação de trilhas do Parque Nacional da Chapada Nacional dos Guimarães, Mato Grosso, Brasil**. 2009. Disponível em: http://orgprints.org/25291/1/Silva_Estrat%C3%A9gias.pdf. Acesso em: 06 mar. 2022.

SLABBERT, L.; DU PREEZ, E. A. **Where did all the visitor research go? A systematic review of application areas in national parks**. *Journal of Hospitality and Tourism Management*, v. 49, p. 12-24, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhtm.2021.08.015>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1447677021001364>. Acesso em: 06 mar. 2022.

TEIXEIRA, P. R.; MICHELIN, R. L. **Mapeamento dos indicadores de impacto ambiental e manejo na trilha do parque nacional do Viruá - roraima**. Revista Turismo - Visão e Ação, v. 19, n. 2, p. 270-291, 2017. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/2610/261056058004/movil/>. Acesso em: 07 mar. 2022.

WATSON, J. E. M. et al. **The performance and potential of protected areas**. Nature, v. 515, n. 7525, p. 67-73, 2014. DOI: 10.1038/nature13947. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nature13947>. Acesso em: 12 out. 2021.

WORLD WIDE FUND FOR NATURE. **Manual de Monitoramento e Gestão dos Impactos da Visitação em Unidades de Conservação**. 2011. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/?27544/Manual-de-Monitoramento-e-Gestao-dos-Impactos-da-Visitacao-em-Unidades-de-Conservacao>. Acesso em: 30 nov. 2016.

AVALIAÇÃO DE NÍVEL DE MATURIDADE DE CULTURA DE SEGURANÇA EM ORGANIZAÇÃO DO TERCEIRO SETOR

Data de aceite: 01/02/2022

Rodrigo Ferreira de Azevedo

Universidade Federal Fluminense – UFF
Barra do Garças – MT
<http://lattes.cnpq.br/6747585623945250>

Gilson Brito Alves de Lima

Universidade Federal Fluminense – UFF
Niteroi – RJ
<http://lattes.cnpq.br/2248567464602970>

Licínio Esmeraldo da Silva

Universidade Federal Fluminense – UFF
Niteroi – RJ
<http://lattes.cnpq.br/2696947986908706>

RESUMO: A cultura de segurança consiste em características atitudes em organizações e indivíduos que estabelecem, como prioridade as questões de segurança. Para a implementação e aprimoramento da cultura de segurança é necessário entender o seu funcionamento, uma das ferramentas existentes é avaliação do estágio de maturidade da cultura de segurança. O presente trabalho de pesquisa na área de Segurança do Trabalho, propõe a aplicação de técnica modelo para verificação de tipo de estágio de maturidade da Cultura de Segurança, visando a possibilidade elencar os fatores para implementação diante de suas necessidades para uma organização do terceiro setor. Dentre os objetivos é de aplicar técnica de verificação de estágio de maturidade, apresentando os resultados, para análise das necessidades da organização visando constatar o estágio de

maturidade da cultura de segurança em uma organização e seus associados, relativos ao terceiro setor. Como opção metodológica de pesquisa, adotou-se a abordagem exploratória, aplicada, desenvolvida preponderantemente por uma revisão sistemática da literatura e por pesquisa de campo. Como resultado, obteve-se a verificação do estágio da cultura de maturidade em organização do terceiro setor, sendo apresentada por meio, de elementos necessários para a implementação e aprimoramento da cultura de segurança.

PALAVRAS-CHAVE: Segurança, cultura, maturidade e organização.

ASSESSMENT OF SECURITY CULTURE MATURITY LEVEL IN THIRD SECTOR ORGANIZATION

ABSTRACT: Safety culture consists of characteristic attitudes in organizations and individuals that prioritize safety issues. For the implementation and improvement of the safety culture it is necessary to understand how it works, one of the existing tools is the assessment of the maturity stage of the safety culture. The present research work in the area of Work Safety proposes the application of a model technique to verify the type of maturity stage of the Safety Culture, aiming at the possibility of listing the factors for implementation in view of its needs for a third sector organization. Among the objectives is to apply a technique of verification of the stage of maturity, presenting the results, to analyze the needs of the organization in order to verify the stage of maturity of the safety culture in an organization and its associates, related to the

third sector. As a methodological option for research, an exploratory, applied approach was adopted, developed mainly through a systematic literature review and field research. As a result, the stage of maturity culture in a third sector organization was verified, being presented through the necessary elements for the implementation and improvement of the safety culture.

KEYWORDS: Security, culture, maturity, organizational.

1 | INTRODUÇÃO

Diante da extensa gama de atividades relacionadas as organizações do Terceiro Setor, verifica-se que para fins legais são equiparadas as empresas privadas, portanto possuindo a necessidade de adequar exigências legais em seu país de origem.

A abordagem integrada das questões de segurança do trabalho, ambiente e cultura representa na atualidade um grande desafio para melhorar os ambientes de trabalho e reduzir acidentes (GONÇALVES FILHO, ANDRADE E MARINHO, 2011).

Destaco a cultura de segurança, sendo a linha de atuação desta pesquisa. O termo cultura de segurança pode ser definido como: “o conjunto específico de normas, crenças, funções, atitudes e práticas dentro de uma organização, com o objetivo de minimizar a exposição dos empregados, clientes, fornecedores e do público em geral das condições consideradas perigosas ou que causem doenças” (WARSZAWSKA; KRASLAWSKI, 2016).

Para a implementação de cultura de segurança, faz-se necessário, entender o funcionamento de uma organização, verificando seus objetivos, metas e missão, bem como a visão da organização pelos usuários. Para então permitir a busca de elementos necessários por meio de indicadores que visem a implementação dessa Cultura.

A partir do estudo teórico dos principais elementos para a implementação de Cultura de Segurança, este trabalho objetiva a aplicação de técnica existente para avaliação do estágio de maturidade da cultura de segurança em uma organização do terceiro setor.

2 | REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Acidentes de Trabalho

Os Acidentes de Trabalho, são eventos antigos, sendo que recebeu importância após a Revolução Industrial, diante da necessidade de regulamentar as condições de trabalho, com o objetivo de prevenir as ocorrências de acidentes de trabalho e doenças ocupacionais. (MATTOS, 2011).

Segundo Mattos (2011) a lei em questão considera acidente somente nos casos de trabalhadores formais, excluindo trabalhadores informais, sem qualquer vínculo empregatício, os acidentes que geram dano material também não estão contemplados nessa definição, conhecidos também como acidente material.

Destaca-se que os trabalhadores voluntários do terceiro setor também estão

excluídos da definição em questão, portanto sendo necessário o aprofundamento dos elementos relativos ao acidente do trabalho para uma maior abrangência.

Segundo Vidal (1989) o acidente pode ser definido como: “o resultado de todo um processo de desestruturação na lógica do sistema de trabalho, que nessa ocasião, mostra suas insuficiências ao nível de projeto, de organização e *modus operandi*”. A definição abrange o acidente como um evento dentro de um processo de uma organização, sistematizando seus elementos e apresentando aspectos como planejamento e prevenção na construção de uma sistemática de trabalho.

A normativa ISO 45001 Sistema de Gestão de Segurança e Saúde do Trabalho, define acidente de trabalho como um incidente através de conceitos mais abrangentes sendo:

Incidente: ocorrência decorrente, ou no decorrer de um trabalho, que pode resultar em lesões e problemas de saúde.

Nota 1: um incidente em que ocorrem lesões e problemas de saúde algumas vezes é referido como um “acidente”.

Nota 2: um incidente em que não ocorrem lesões e problemas de saúde, mas há potencial de ocorrer, pode ser referido como “quase acidente”, “quase perda” e “ocorrência perigosa”.

Nota 3: embora possa haver um ou mais não conformidade relacionadas a um incidente também pode ocorrer onde não exista não conformidade.

Através da caracterização da citada normativa, observa-se aspectos relativos à necessidade de adoção de medidas de prevenção, gerenciamento de riscos, análises preliminar dos riscos e controle de conformidades, ampliando as perspectivas diante das ações que podem gerar acidentes em diversos aspectos e áreas de atuação.

2.2 Cultura

Para Guldenmund (2017) a cultura é algo invisível, para os profissionais de segurança, portanto, temos condição de perceber somente através de comportamentos. A cultura exerce sua influência através dos valores e atitudes pessoais de uma pessoa, que se traduzem em uma intenção ou mentalidade que pode ou não se materializar em um comportamento que está em harmonia com a cultura subjacente.

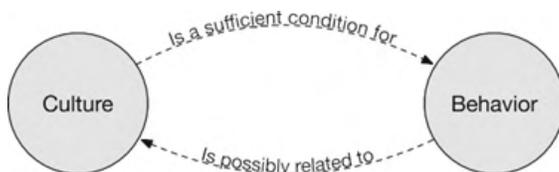


Figura 1 – Cultura e comportamento – Adpatado Guldenmund (2017).

De acordo com Guldenmund (2017), ao longo dessa cadeia, a influência da cultura pode diminuir gradualmente. Ou seja, uma pessoa pode endossar um valor cultural em maior

ou menor grau e também contextos situacionais podem provocar ou impor comportamentos contra culturais. Esta é basicamente a cadeia cultura-comportamento.

2.3 Cultura Organizacional

Schein (2009), interliga as definições presentes no termo cultura diretamente com o conceito de organização definindo como: “as filosofias, ideologias, valores, pressupostos, crenças, expectativas, atitudes e normas compartilhadas e consolidados conjuntamente por uma comunidade”, as definições dos elementos permite que verificar os pontos e elementos que diferenciam as organizações através de sua cultura.

Para Schein (1999) todas as organizações, independente de atividade ou área de negócio, possui internamente uma cultura que define seu ambiente organizacional e reflete nas relações sociais. A cultura de uma organização é formada através de um conjunto de fatores ordenados que através de seus elementos de ação, direcionam o comportamento e as atitudes dos membros, permitindo o desenvolvimento em direção aos objetivos da organização (SCHEIN,2009).

Diante da existência de diferentes definições para o termo cultura organizacional, o objetivo central é o entendimento do tema para buscar compreender a cultura vigente na organização, a partir do entendimento é possível fazer uma relação entre os valores e princípios existentes com a reestruturação das estratégias frente às mudanças (CAMPOS E DIAS, 2012).

2.4 Clima de Segurança

Os primeiros registros de citações e definição do termo clima de segurança, são atribuídas a Zohar (1980), através de uma proposta de estudo para determinar o clima de segurança em organizações sendo a primeira abordagem quantitativa que possibilitou a verificação de segurança em nível organizacional, com a participação direta dos trabalhadores.

Zohar (1980) definiu o termo como “um resumo das percepções molares que os funcionários compartilham sobre seus ambientes de trabalho”, para Petitta et al. (2017) essa percepção possui relação a políticas, procedimentos e práticas de segurança, presentes na organização ao qual se está inserido.

2.5 Cultura de Segurança

O primeiro registro do termo cultura de segurança, surgiu em 1988, através do relatório técnico expedido pela *International Nuclear Safety Advisory Group* – INSAG, na apresentação do relatório sobre o acidente na Usina Nuclear de *Chernobyl* na cidade de Pripat na região norte da Ucrânia ocorrido no ano 1986, contendo informações sobre os erros organizacionais e falhas operacionais que somadas possibilitaram a ocorrência do acidente nuclear de acordo com Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA,1991)

Após a definição pela INSAG, outros autores definiram o conceito do termo cultura

de segurança, através de suas pesquisas, conforme exposto na Tabela 1 com as definições dos seguintes autores:

| Autor | Definição | Ano |
|-------------------|--|------------|
| PIDGEON | O conjunto de crenças, normas, atitudes, papéis e práticas sociais e técnicas que estão preocupados em minimizar a exposição dos empregados, gerentes, clientes e membros do público a condições consideradas perigosas ou prejudiciais. | 1991 |
| LEE | A cultura de segurança de uma organização é o produto de valores, atitudes, percepções, competências e padrões de comportamento individuais e de grupo que determinam o compromisso e o estilo na gestão de saúde e segurança da organização. | 1996 |
| REASON | A cultura de segurança de uma organização é o produto dos valores, atitudes, percepção, competências e padrão de comportamento de indivíduos e grupos que determinam o comprometimento, o estilo e a proficiência do gerenciamento da segurança do trabalho da organização. Organizações com culturas de segurança positivas são caracterizadas pela comunicação fundada na confiança mútua, pela percepção compartilhada da importância da segurança e pela confiança na eficácia das medidas preventivas | 1997 |
| GLENDON E STANTON | Conjunto de crenças, valores e normas compartilhados pelos membros de uma organização que constituem os pressupostos básicos para a segurança do trabalho. | 2000 |
| COOPER | Resultado de interações dinâmicas entre percepção e atitudes, comportamentos e ações e estrutura da organização. | 2000 |
| RICHTER E KOCH | Experiências vividas pelos membros da organização e os significados e as interpretações destas experiências, expressos em parte de forma simbólica, que servem como guia para as ações dos empregados frente aos riscos, aos acidentes e à prevenção. | 2004 |
| OIT | É o respeito ao direito à segurança no ambiente de trabalho, devendo os governantes, os empregadores e os trabalhadores participarem ativamente na defesa deste direito e o princípio da prevenção deve ser acordado como mais alta prioridade. | 2004 |
| HOPINKS | Práticas coletivas com origem nos valores e pressupostos básicos. | 2005 |
| GRION E CURCUTO | A cultura de segurança geralmente se refere às suposições e valores subjacentes que orientam o comportamento nas organizações, em vez das percepções diretas dos indivíduos. | 2016 |

Tabela 1. Definições sobre cultura de segurança.

2.6 Maturidade de Segurança

O conceito de maturidade da cultura de segurança teve origem na década de 1980 no *Software Engineering Institute* (SEI) dos EUA, segundo Gonçalves (2011) para atender a uma necessidade do Governo federal americano buscando método para avaliar a capacidade das empresas contratadas para desenvolver sistemas de informática.

O modelo era proposto de cinco estágios de maturidade sendo inicial (*initial*),

repetível (*repeteable*), definido (*defined*), gerenciado (*managed*) e otimizável (*optimizing*) segundo (PAULK et al, 1993).

Anos após partindo do conceito de maturidade de segurança apresentado pelo SEI Fleming (2001), criou um modelo de maturidade da cultura de segurança, com o objetivo de ajudar as empresas de petróleo do Reino Unido a identificar a maturidade da sua cultura e quais seriam as ações necessárias para melhorá-la, com aspectos voltados para gerenciamento de projetos, recursos humanos e qualidade (GONÇALVES, 2011).

Hudson (2001), define que a cultura de segurança está presente nos últimos estágios da escada da cultura de segurança conforme definido, haja visto que os estágios pertencentes ao início sendo patológico e reativo, possuem apenas estruturas formais e superficiais. Assim como Westrum (1993), Hudson (2001) entende que a evolução para os estágios mais elevados ocorre através do desenvolvimento de aspectos como confiança, comunicação entre os setores de uma organização. A Figura 2 possibilita melhor entendimento do modelo apresentado:

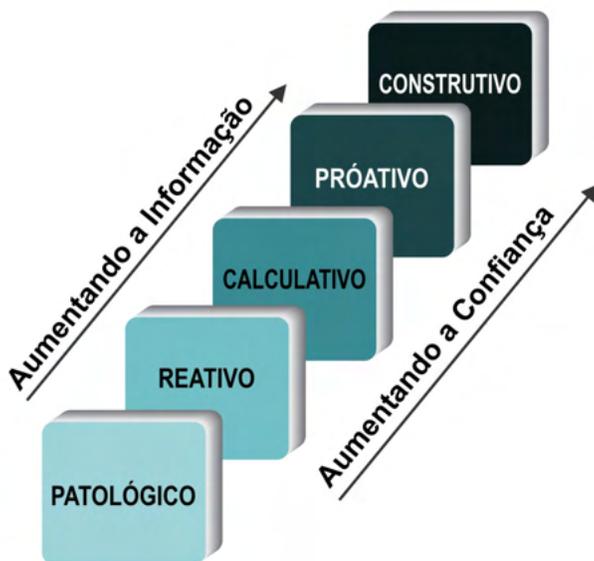


Figura 2 – Modelo de estágio de maturidade - Hudson (2001) – Elaboração do autor.

2.7 Indicadores Maturidade de Segurança

Para Gonçalves (2011) a cultura de segurança é avaliada e mensurada por meio de fatores que a caracterizam ou são indicativos de seu estágio de maturidade, não existindo fatores em comum, podendo ser variado de acordo com as características e atuação da organização. Portanto há o desenvolvimento de estudos que buscam avaliar e identificar os fatores que mais contribuem para a verificação e avaliação de uma cultura de segurança.

Os indicadores selecionados para o presente estudo, após sistemática pesquisa bibliográfica foram:

1. **Liderança:** presença das lideranças da estrutura organizacional nos aspectos relativos a segurança do trabalho, apoio na instituição, participação e exemplos.
2. **Comunicação:** estrutura para encaminhamento das informações, transmissor e receptor, entendimento e clareza das informações, absorção dos usuários, retorno das informações, atendimentos e esclarecimentos.
3. **Envolvimento:** envolvimento dos participantes na implantação, absorção das ações e atividades propostas, resultados aferidos.
4. **Aprendizagem:** capacitação dos usuários visando aprendizagem contínua.
5. **Melhoria da Segurança no Trabalho:** melhorias implementadas, análise das informações, soluções e proposta implementadas, visão dos colaboradores.

Portanto a aplicação de técnica de modelo para a avaliação do estágio da cultura de segurança, possibilitará apresentar a organização um recorte da situação atual da cultura de segurança para execução de ações para melhorias relacionadas a cultura de segurança.

METODOLOGIA

A pesquisa em questão foi realizada no contexto social de uma organização sem fins lucrativos pertencente ao Terceiro Setor, estando presente em 11 países com aproximadamente 220 unidades, sendo retirada uma amostragem para realização da avaliação.

Portanto diante das características desta pesquisa, foi utilizado para a realização da revisão sistemática o método de PRISMA, foram eleitos 15 artigos científicos e 5 Dissertações de Mestrado e 1 Tese Doutorado com abordagem ao tema requerido.

Diante do objetivo de aplicar a técnica de avaliação do estágio de maturidade da cultura de segurança da organização estudada, foi desenvolvido questionário utilizando o modelo da escada da cultura de segurança de acordo com os níveis apresentados, com base no modelo desenvolvido por Gonçalves (2011).

Diante da coleta foi possível obter 766 respondentes, para o formulário de Avaliação de Maturidade de Segurança no CEBUDV. O resultado apresentado pelos indicadores após testagem do coeficiente de alfa Cronbach's, indicam uma excelente consistência interna do questionário, diante confiabilidade dos respondentes obtendo o coeficiente de $\alpha=0,9793$ quanto a realidade retratada bem como a confiabilidade de amostragem.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização dos respondentes da pesquisa

Os respondentes foram classificados de acordo com a Tabela 2, no tocante ao gênero dos respondentes a maioria são do sexo masculino conforme 90,6% em contrapartida ao sexo feminino 9,4%. A faixa etária dos respondentes da pesquisa compreendeu em 32,7% possuem entre 41-50 anos, seguido de 27,6% 31 a 40 anos, 19,8% possuem entre 51 a 60 anos, os respondentes com mais de 60 anos de idade correspondem a 11,6%, portanto a grande maioria dos entrevistados possuem entre 30 a 60 anos de idade correspondendo a 80,1% da amostra.

| Gênero | | Idade | | Tempo na Instituição | |
|------------------|-------|---------------|--------|----------------------|-------|
| Masculino | 90,6% | <21 | 0,1% | 0-2 anos | 1% |
| Feminino | 9,4% | 21-30 | 8,2% | 2-5 anos | 7,8% |
| | | 31-40 | 27,6% | 5-10 anos | 14,1% |
| | | 41-50 | 32,7 % | 10-15 anos | 33,2% |
| | | 51-60 | 19,8% | > 20 anos | 43,9% |
| | | >60 | 11,6% | | |

Tabela 2: Dados Demográficos.

Fonte Autor.

Pela natureza de seus membros serem associados e os trabalhos desenvolvidos serem de caráter voluntário, os Núcleos e DAV, possuem Diretoria Local para desenvolvimento das atividades materiais, sendo que em expressiva maioria os Presidente e Vice-Presidentes das Diretorias são pessoas do Grau Hierárquico Mestre, portanto dos respondentes temos que 20,8% ocupam o cargo de Presidente de Núcleo, seguidos por 17,6% Vice-Presidente, portanto 38,4% dos respondentes ocupam cargo de liderança nas atividades das unidades da organização.

| Grau hierárquico | | Cargo Administrativo | |
|-----------------------|-------|--|-------|
| Mestre | 40,9% | Presidente de Núcleo | 20,8% |
| Conselheiro(a) | 22,8% | Vice-Presidente | 17,6% |
| Instrutivo (a) | 30,3% | Responsável das atividades em DAV | 0,9% |
| Sócio (a) | 6% | Monitor DPMA | 9% |
| | | Monitor de Segurança | 24,4% |
| | | Coordenador Regional de Segurança | 0,9% |
| | | Não ocupa cargo | 12,3% |
| | | Outros | 14,1% |

Tabela 3: Grau hierárquico e Cargo Administrativo.

Atualmente a organização UDV, possui 17 Regiões no Brasil, contemplando todos os estados brasileiros, bem como 2 Regiões Internacionais, sendo a 1ª Região da América do Norte e 1ª Região da Europa e Oceania, estando presente em 11 países pelo mundo.

No aspecto quantitativo a organização UDV, atualmente possui 1 Sede Geral, localizada na cidade de Brasília - DF, 208 Núcleos em diversos países e 20 Distribuição Autorizadas de Vegetal (DAV's) que são unidades administrativas que estão em desenvolvimento e formação. Portanto totalizando 229 unidades, a pesquisa em questão recebeu respostas de 216 unidades dessa organização, portanto 94,42%, das unidades administrativas responderam a avaliação de maturidade de segurança nas atividades.

3.2 Análise do Nível de Maturidade de Cultura Segurança

O levantamento de dados sobre a maturidade da cultura de segurança foi realizado através de questionário composto por 15 questões objetivas, sendo permitido uma única escolha da realidade ao qual o respondente está inserido ou mais se aproxima de sua realidade. Conforme descrito no referencial teórico, esse pesquisador selecionou diante dos estudos realizados 5 indicadores pertinentes ao objetivo do trabalho.

Os níveis de maturidade da cultura de segurança do presente trabalho foram classificados em 4: patológico, reativo, proativo e sustentável, conforme descrito por Gonçalves e Marinho (2011) e seus resultados encontram-se sintetizados nestes quatro estágios conforme descritos na Tabela 4:

| <i>Indicador</i> | Estágio de Maturidade | | | |
|--|------------------------------|----------------|-----------------|--------------------|
| | Patológico | Reativo | Proativo | Sustentável |
| Comunicação | 4,7% | 16,1% | 36,4% | 42,9% |
| Liderança | 1,8% | 8,7% | 16,3% | 73,1% |
| Envolvimento | 1% | 4,2% | 29,5% | 65,2% |
| Treinamento | 0,5% | 6,1% | 39,6% | 53,9% |
| Melhoria da Segurança no Trabalho | 1,2% | 5,7% | 46,7% | 46,4% |

Tabela 4: maturidade da cultura de segurança dos membros da organização CEBUDV (n=766).

Através das informações fica evidenciado que uma organização pode possuir diferentes estágios de maturidade para a sua cultura de segurança, pois conforme verificado todos os estágios de maturidade, foram compreendidos pelos 766 respondentes da pesquisa.

Através da utilização teste não-paramétrico, denominado Qui Quadrado realizou-se o comparativo das distribuições no tocante a verificação do grau de maturidade dos associados pertencentes a organização de com relação ao tempo de associado, sendo definido duas classes, de 0 a 10 anos e acima de 10 anos, os grupos foram separados de acordo com a Tabela 5.

| Indicadores x Tempo Associado | Patológico | Reativo | Proativo | Sustentável |
|--------------------------------------|-------------------|----------------|-----------------|--------------------|
| 0 a 10 anos | 58 | 205 | 986 | 1391 |
| >10 anos | 169 | 682 | 3136 | 4863 |

Tabela 5: Estágio de Maturidade – Tempo 0 a 10 anos X Maior que 10 anos.

Portanto, a testagem através da hipótese: tempo de experiência impactou o grau de maturidade? As hipóteses analisadas foram: Hip. nula (Ho) = não há impacto / Hip. alternativa (H1) = há indícios de impacto. Sendo que de acordo com a verificação não paramétrica obteve- $\chi^2=4,8421$; G.L.=3; p-valor = 0,1837. Dado que o p-valor foi maior do que 0,05 (5% de significância), conclui-se que o tempo de associado na instituição não impacta o grau de maturidade de seus associados, isto é, tomada a referência de 10 anos para o corte temporal, não há evidência de que o “tempo de associação à instituição” de um membro e o seu “nível de maturidade” sejam dependentes. Dito de outra forma: “não há evidência de que o nível de maturidade dependa do indivíduo ter mais ou menos de 10 anos na instituição”.

Conforme citado por Walsh Netto (2017) uma pessoa tem “grau espiritual”, quando além de demonstrar um certo nível de domínio dos ensinamentos religiosos da UDV, apresenta uma maneira de ser e de se portar compatível com o que é esperado no sentido ético de um sócio dessa religião, assim o Grau Mestre é considerado o maior nível hierárquico dentro da organização, diante da prática e conduta de seus associados.

Diante desta conjectura verificou-se o estágio de maturidade do grupo de respondentes pertencentes ao Quadro de Mestre da organização com relação ao Grupo de Não Mestres, afim de verificar seu o grau hierárquico pode impactar no estágio de maturidade para o grupo avaliado na organização, conforme descrito em Tabela 6.

| Indicadores x Grupo Mestres / Não Mestres | Patológico | Reativo | Proativo | Sustentável |
|--|-------------------|----------------|-----------------|--------------------|
| Mestres | 67 | 334 | 1675 | 2619 |
| Não Mestres | 160 | 553 | 2447 | 3635 |

Tabela 6: Estágio de Maturidade – Grupo Mestre x Grupo não Mestre.

Usando o teste Qui-quadrado para independência entre o Grupo Mestre e não Mestre, diante da questão, pertencer ao Grau Mestre impactou no grau de maturidade? As hipóteses analisadas foram: Hip. nula (Ho) = não há impacto / Hip. alternativa (H1) = há indícios de impacto diante da análise do conjunto de indicadores. Diante do resultados do Teste $\chi^2=18,624$; G.L.=3; p-valor = 0,0003. Dado que o p-valor foi menor do que 0,05 (5% de significância), conclui-se que o tempo de associado na instituição impacta o grau de maturidade de seus associados, isto é, tomado Grau de Mestre como referência, há

evidência de que o membro da associação ser Mestre mostra-se dependente do seu “nível de maturidade”. Dito de outra forma: “há evidência de que o nível de maturidade depende do indivíduo ter ou não o Grau de Mestre”.

Diante do aspecto da instituição, como um sistema organizacional, sendo seus associados parte desse sistema e contribuindo para o desenvolvimento organizacional bem como a formação da cultura de segurança pertencente a organização. Verificou-se o estágio de maturidade da cultura de segurança da organização, através da análise global dos respondentes diante dos questionamentos apresentados relativos aos indicadores analisados, permitindo a apresentação das informações. O Gráfico 1 resume a percepção da importância dos níveis de maturidade e ressalta a presença relativa de cada um na totalidade de expressões dos respondentes.

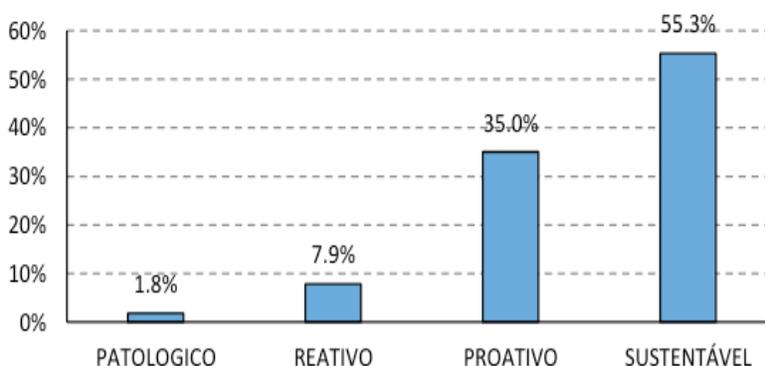


Gráfico 1: maturidade da cultura de segurança da organização UDV.

O resultado obtido através do modelo de técnica para aplicação de verificação de estágio de maturidade de segurança aponta que os membros que desenvolvem as atividades na organização avaliada em maioria pertencem aos estágios sustentável 55,3% e proativo 35%, sendo que 1,8% dos membros da instituição pertencem ao estágio de maturidade patológico e 7,9% reativo.

Conforme verificado o estágio sustentável representa a maior cobertura de seleção pelo respondentes, representando o estágio predominante de maturidade de cultura de segurança no Trabalho para a organização UDV. Para Gonçalves Filho (2013), o estágio sustentável demonstra uma confiança dos membros em relatar acidentes, estar acompanhando os líderes da organização, possuir envolvimento nas ações, buscar os treinamentos para aperfeiçoamento e propor melhorias na segurança no trabalho para o desenvolvimento das ações, visando a segurança no trabalho como uma das prioridades da organização e está constantemente tentando melhorar e encontrar as melhores formas de controlar os riscos, estando presente em todos os níveis e práticas da organização.

De acordo com as análises setorializadas realizadas nas regiões compreendidas pela

UDV pelo mundo, verificou-se as localidades onde possuem os mais elevados níveis de maturidade de cultura de Segurança, sendo conforme postulado em Tabela 7 e Gráfico 2:

| Região | Patológico | Reativo | Proativo | Sustentável |
|------------|------------|---------|----------|-------------|
| 3ª Região | 0,70% | 2,10% | 25,10% | 72,10% |
| 10ª Região | 0,00% | 3,30% | 34,40% | 62,30% |
| Sede Geral | 0,00% | 5,00% | 36,70% | 58,30% |
| 17ª Região | 0,60% | 5,60% | 35,60% | 58,30% |

Tabela 7 – Regiões maiores índices estágio de maturidade.

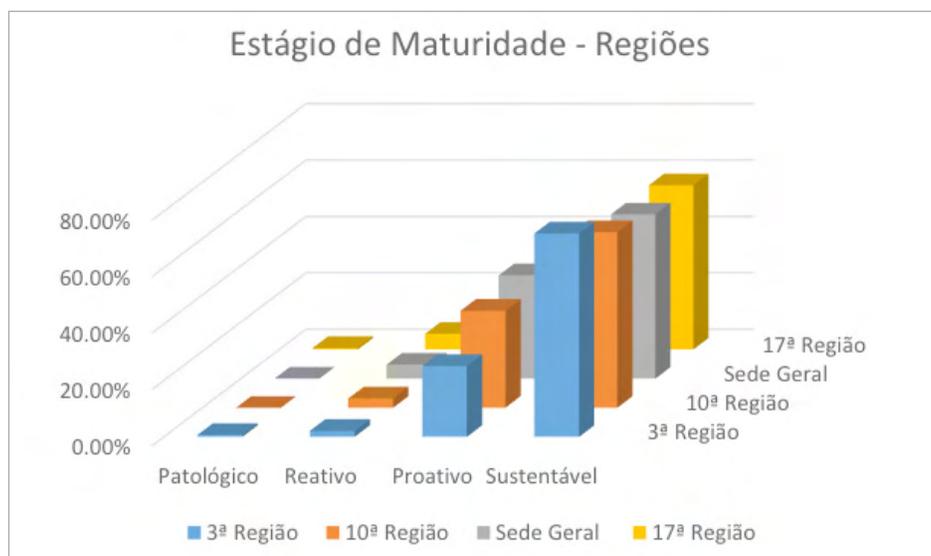


Gráfico 2: Regiões maiores índices estágio de maturidade.

As regiões com maiores níveis maturidade, estão presentes no Brasil sendo: a 3ª Região, presente no estado de São Paulo, 10ª Região compreendendo os estados de Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba e Natal. Posteriormente a Sede Geral conforme informado compreende a unidade sede da instituição situada na cidade de Brasília – Distrito Federal e a 17ª Região, compreendida pela Noroeste do estado do Acre. Portanto sendo possível verificar os melhores níveis de maturidade estarem presentes no Sudeste, Nordeste, Centro Oeste e Norte brasileiro, compreendendo uma extensa gama populacional e de membros desta instituição.

Destaca-se que a organização estudada tem por objetivo contribuir para o desenvolvimento espiritual do ser humano, para o aprimoramento de suas qualidades intelectuais e de suas virtudes morais, sendo um dos pilares o voluntariado, buscando desenvolver a cada dia a conscientização de seus membros, sendo assim a análise de

estágio de maturidade de segurança, permite adotar ações para a melhoria do nível de cultura, bem como verificar aspectos diante dos membros, regiões e graus presentes na organização avaliada.

CONCLUSÕES

A pesquisa em questão, visou alcançar como resultado final, a efetiva aplicação de Técnica de Nível de Maturidade em Cultura de Segurança na organização escolhida, sendo capaz de propiciar elementos de análise mensuráveis para alavancar a implementação de cultura de segurança, através da apresentação da avaliação através de proposta modelo.

A partir dos resultados é possível a elaboração de cenários e estudos, permitindo a tomadas de decisões com o objetivo de elevar a maturidade da cultura de segurança de acordo com sua natureza de atividades e especificidades da organização. O apoio de um sistema de gestão que permita o gerenciamento dos riscos e melhores condições para os usuários é fundamental para o desenvolvimento de uma cultura de segurança.

Resultando em um conjunto de informação, possibilitando a elaboração de cenários e estudos, permitindo a tomadas de decisões com o objetivo de elevar a maturidade da cultura de segurança de acordo com sua natureza de atividades nas regiões e unidades pesquisadas da organização, de forma interativa, objetiva e clara.

A pesquisa delimitou-se a o presente estudo da organização UDV, ao qual possui fim religioso, destaco que os próximos trabalhos, podem explorar a presente maturidade em outras organizações do terceiro setor, como cooperativas, fundações, Organizações de Sociedade Civil de Interesse Público (OSCIP), afim de verificar o comportamento dos membros, em caráter voluntário refletem os elementos verificados de estágio de maturidade e nível comportamental na pesquisa em questão.

REFERÊNCIAS

COOPER. Towards a model of safety culture. **Safety Science**, n.36, p.111-136, 2000.

FLEMING, M., 2001. **Safety culture maturity model**. **Sea Coast Technology** Report 2000/049, Health and Safety Executive, United Kingdom.

GLENDON, A.I.; STANTON, N. A. Perspectives on safety culture. **Safety Science**, n.34, p.193-214, 2000

GRINON, MA, CURCURUTO M., 2016. **Clima de segurança nas organizações**. *Annu. Rev. Org. Psychol. Org. Behav.* 3, 191–2012.

GONÇALVES FILHO, Anastácio Pinto; ANDRADE, José C. Silveira; MARINHO, Márcia M. de Oliveira. **Cultura e gestão da segurança no trabalho: uma proposta de modelo**. *Gest. Prod.*, São Carlos, v. 18, n.1, p. 205-220, 2011

GONÇALVES FILHO, Anastácio Pinto. **Cultura e gestão da segurança no trabalho em organizações industriais: uma proposta de modelo**. Tese de Doutorado do Programa de Pós Graduação em Engenharia Industrial – PEI, Faculdade Politécnica, Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2011

GONÇALVES Filho, Anastácio Pinto; ANDRADE, José Célio Silveira; MARINHO, Marcia ara de Oliveira. **Modelo para a gestão da cultura de segurança do trabalho em organizações industriais**. Produção, v. 23, n. 1, p. 178-188, jan./mar. São Paulo, 2013.

GULDENMUND, F.W., 2017. Are Safety Culture Assessments Really Necessary? **AHFE 2017**. International Conference on Safety Management and Human Factors, 2017

HOPKINS. **Safety, Culture and Risk: the organizational causes of disasters**. Sydney: CCH, 2005. 171p.

MATTOS, U; MÁSCULO,F; **Higiene e Segurança do Trabalho**. Rio de Janeiro. Elseiver, ABEPRO.2011

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO. **Safe work and safety culture**. The ILO report for world day for safety and health at work 2004.

PAULK, M.C. et al. **Capability maturity model for software**. Version 1.1. Pennsylvania: Software Engineering Institute, 1993.65 p

PIDGEON, N. **Safety culture and risk management in organizations**. Journal of CrossCultural Psychology, v. 22, n. 1, p. 129-140, 1991

REASON, J. **Managing the Risks of Organizational Accidents**. 1st Edition, Ashgate, 1997

RICHTER, A.; KOCH, C. Integration, differentiation and ambiguity in safety cultures. **Safety Science**, n.42, p.703-722, 2004.

SCHEIN. **Cultura organizacional e liderança**. São Paulo: Atlas, 2009. 413 p

VIDAL, M. C. **A evolução conceitual da noção de acidentes do trabalho: consequências metodológicas sobre o diagnóstico de segurança**. In: Cadernos da Engenharia de Produção, v. 13. São Carlos: DEP/UFSCar, 1989, pp. 1-29.

Zohar, D., 1980. **Clima de segurança nas organizações industriais: teórico e aplicado implicações**. J. Appl. Psychol. 65 (1), 96-102.

WESTRUM, R. A typology of organizational cultures. **Quality & Safety in Health Care**,n. 13, p.22-27, 2004.

THE EVOLUTION OF REGULATION OF THE AIR NAVIGATION ACTIVITY IN BRAZIL

Data de aceite: 01/02/2022

Marcus V. do Amaral Gurgel

Empresa Brasileira de Infraestrutura
Aeroportuaria - Infraero

Jefferson Luis Ferreira Martins

Empresa Brasileira de Infraestrutura
Aeroportuaria - Infraero

ABSTRACT: The objective of this work is to analyze the evolution of the regulation of air navigation activity in Brazil, identifying the main stages of regulation in the last years. Greater emphasis will be given to showing the need to make normative adjustments, to fill gaps and occasional conflicts with the improvement of the sector's governance structure, regarding the assignment of roles and responsibilities. The governance structure of the sector presents areas that can be improved. With regard to the regulation, execution and inspection of Brazilian airspace, it is identified here an opportunity for improvement in the attribution of responsibilities for aviation regulation in the Country, mainly to airspace control, since, currently, these three functions are carried out by the same governmental and military body, the Department of Airspace Control - DECEA. The identification of the benefit of the level of coordination between civil aviation regulators, focusing on airspace control, is a key issue in this work. With the elimination of the concentration of functions by the country's air navigation regulatory agency, the State can improve governance, assign roles and

responsibilities to the sector, manage incentives, coordinate operations and regulate the structure, resulting in improved performance economic-operational.

KEYWORDS: Regulation; governance structure; airspace control; coordination.

A EVOLUÇÃO DA REGULAÇÃO DA ATIVIDADE DE NAVEGAÇÃO AÉREA NO BRASIL

RESUMO: O objetivo deste trabalho é analisar a evolução da regulação da atividade de navegação aérea no Brasil, identificando as principais etapas da regulação nos últimos anos. Maior ênfase será dada à demonstração da necessidade de ajustes normativos, para preenchimento de lacunas e eventuais conflitos com o aprimoramento da estrutura de governança do setor, quanto à atribuição de papéis e responsabilidades. A estrutura de governança do setor apresenta áreas que podem ser aprimoradas. No que se refere à regulação, execução e fiscalização do espaço aéreo brasileiro, identifica-se aqui uma oportunidade de melhoria na atribuição de responsabilidades pela regulação da aviação no País, principalmente ao controle do espaço aéreo, uma vez que, atualmente, essas três funções são exercidas pelo mesmo órgão governamental e militar, o Departamento de Controle do Espaço Aéreo - DECEA. A identificação do benefício do nível de coordenação entre os reguladores da aviação civil, com foco no controle do espaço aéreo, é uma questão fundamental neste trabalho. Com a eliminação da concentração de funções pela agência reguladora da navegação

aérea do país, o Estado pode aprimorar a governança, atribuir funções e responsabilidades ao setor, gerenciar incentivos, coordenar as operações e regular a estrutura, resultando em melhor desempenho econômico-operacional.

PALAVRAS-CHAVE: Regulamento; estrutura de governança; controle do espaço aéreo; coordenação.

1 | INTRODUCTION

A few years after Alberto Santos Dumont's first and historic flight in Paris, 1906 a huge development in aviation was initiated, when planes began to cover increasingly larger distances, and long before World War II, well-known pioneers flew from continent to continent crossing oceans in heroic adventures.

At the beginning, planes took off from "airports" that were nothing more than areas like pastures and football fields or, with some luck, stretches of road [1].

Already free from the conflicts of the World War I, the 1920's benefited from the recent development of the aeronautical manufacturing for military purposes. The aeronautics' potential began to be explored as a subsidiary force for mail transportation, and progressively its air network was being consolidated and regulated. The mail airlines eventually expanded its services to fly passengers. The air transport got a new boost in the United States and Europe as it progressively incorporated passengers. In addition to the domestic services, international flights were multiplying. The last barriers to establishing a huge network all around the world were broken through by the crossing of the oceans. Many air transport companies were successfully created as a way of aiding governments. The credibility and reliability raised the demand. The companies grew up and the infrastructure was developed due to the organization of the service. In 1920, the Federal Inspection for Maritime and Fluvial Transportation was created in Brazil, hence, assignments towards navigation and the aviation industry that were still emerging at the time were piled up.

The first scheduled air transport companies were funded in 1927: VARIG and *Sindicato Condor* (later, *Cruzeiro do Sul*). In that year, the market was covered by many domestic and international networks. Since 1927, the French company *Latecore* began to make connections between Brazil and France. In 1929 Nyrba, later known as *Panair do Brasil*, began its operations [2].

The Brazilian civil aviation was strengthened in the 1940's. On April 22, 1932 the Department of Civil Aviation, a body of the former Ministry of Road and Public Works, was created by the president Getúlio Vargas.

Later, on January 20, 1941, the Ministry of Aeronautics was created, gathering naval aviation, military aviation, and civil aviation. The latter was detached from the Ministry of Road and Public Works. Other remarkable facts of this decade were the creation of two dozen air transport companies and the formation of a big fleet, the creation of hundreds of flying clubs devoted to training pilots and, during the war, the creation of a network of airports

with paved runways, also equipped for the instrument approach procedure. This boost was only possible by the 1940's when plenty of American airplanes were withdrawn from the war and put in market at low cost and in good financing conditions. This led to the emergence of countless airlines, almost all of them in operation, however, with very fragile financial structure. In this scenario, air transportation gained importance by promoting integration and development due to the country's large territory (which fostered continuity and similarity to the American process), precarious road transport and difficulty to access remote places of the territory, especially the north region of Brazil.

Aviation was consolidated worldwide and, even though a new level was achieved, and repercussions were felt, the 1940's were overshadowed by the next decade. The main countries in the globe introduced jet aircraft in air transportation. The 1950's were really revolutionary, and it solidly fostered civil aviation in terms of production, technology, safety and comfort. In Brazil, this crucial milestone was reached in 1959 when two Caravale aircrafts from VARIG were put into operation.

By the end of the 1980's, the Brazilian aviation kept itself as one of the top ten aviation services in the world in terms of production services, number of airports, number of pilots and air traffic control network. This prominent position in the global scenario began in the 1940's and was sustained over time, which led to the crystallization of its gains during the economic expansion in the 1970's [3]. Even today, Brazil continues to be the only developing country seen as an aeronautical power inside the International Civil Aviation Organization (ICAO). It occupies a place of privilege on its Board of Directors since its creation.

2 | ECONOMIC ELEMENTS IN REGULATION

2.1 Introduction

A specific and careful procedure is required in order to implement a regulation, or to overhaul an existing one. The regulation must be implemented as a planning process, covering the study stages, the establishment of goals, the creation of a range of intervention options, the evaluation and selection, as well as the organization of this implementation. "The Regulator's Decalogue" developed by the OECD [4] systematizes the stages of a regulatory conception. Such stages will be, then, described and analyzed.

Due to its importance to a country's development, one of the most relevant sectors regarding "regulation" is the infrastructure sector. Its features are specific technologies with scale and scope economies in the provision of basic services – natural monopoly; in addition to products consumed on large scale, often by captive consumers and that have great demand.

Several economic infrastructure activities are natural monopolies. Therefore, the government in most countries regulates the prices charged by the monopolies to protect

the consumer. Pressured by customers, on one hand, governments tend to regulate prices fixing them to supply cost. On the other hand, private investors become vulnerable to the governments' arbitrary actions once, as a matter of course, investments in infrastructure are very hard to recover. Hence, regulation is also a way to protect investors by inducing them to make investments at a reasonable cost.

Consequently, regulation can be perceived as necessary to protect both users and investors [5]. However, this has direct and indirect costs implied.

The implementation of regulation must be reconsidered: Should the need for regulation be replaced by competitive solutions whenever possible? However, for doing such thing, it is paramount to take into account the structure of the market that is being regulated; the access barriers; the number of competitors, both real and potential (vertical structure); and the vertical relations that affect the market power (vertical structure), according to the Systematization of the Regulatory Plan, Figure 1. Frequently, the institutional features of a country do not fit its regulation mark, which has unpredictable effects.

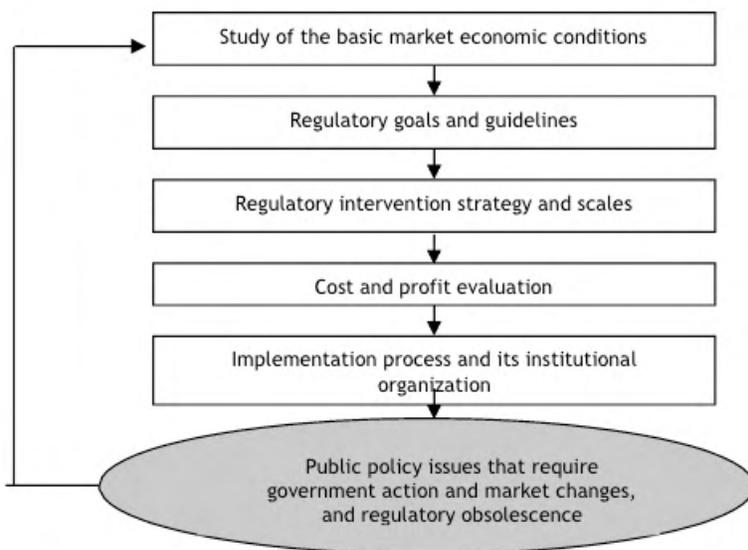


Figure 1 - Systematization of the Regulatory Plan.

2.2 Regulatory Plan Components

Regarding the implementation of a regulation, or the overhaul of an existing one, a specific and careful procedure must be done. Like a planning process, the regulatory conception, the study stages, the establishment of goals, the creation of a range of intervention options, its corresponding evaluation and selection, as well as the organization of its implementation are separate elements. According to [6], the Chart 1 below, inspired

by the “Regulator’s Decalogue” developed by the Organization for Economic Co-operation and Development – OECD, systematizes the stages of a regulatory formulation, which will be described and assessed henceforth. It is highlighted that in 2012 the OECD Council recommended 12 (twelve) Principles on Policy and Regulatory Governance, as a summary or guideline for governments that need to improve their design, application and review of the regulatory marks [7].

In fact, there are several market failures, and to detect them in each specific case, a careful analysis of basic consumption and production of goods and services conditions is required. The main reason for the existence of state intervention in economic activity is to understand if the activity is necessarily essential for the economic process, and for life and environmental quality. Therefore, one must verify if one is dealing, in fact, with an essential service, its relation with other products and sectors, whether there are substitute products, in addition to the circumstances the consumer faces in order to make rational decisions.

As the market structures of the sector and its related sectors are being analyzed, one must be aware of how the external factors generated by the sector affect other sectors, and on the contrary, how external factors generated by other sectors influence the industry that is being analyzed.

In conclusion, economic and political circumstances need to be examined once the market conditions and the investors’ interests will depend on it.

Deviate provisions in these fields tend to cause a decrease in investments and conflicts between companies, consumers and the regulator body.

THE REGULATOR’S DECALOGUE

According to the OECD Reference Checklist for Regulatory Decision-Making (OECD 1197), every project or regulatory overhaul must be set accordingly to the answers of the following questions:

1. Is the problem correctly defined?

The problem to be solved should be precisely stated, giving evidence of its nature and magnitude, and explaining why it has arisen (identifying the incentives of affected entities).

2. Is the government action justified?

Government intervention should be based on explicit evidence that government action is justified, given the nature of the problem, the likely benefits and costs of action (based on a realistic assessment of government effectiveness), and alternative mechanisms for addressing the problem.

3. Is regulation the best form of government action?

Regulators should carry out, early in the regulatory process, an informed comparison of a variety of regulatory and non-regulatory policy instruments, considering relevant issues such as costs, benefits, distributional effects and administrative requirements.

4. Is there a legal basis for regulation?

Regulatory processes should be structured so that all regulatory decisions rigorously respect the “rule of law”; that is, responsibility should be explicit for ensuring that all regulations are authorized by higher-level regulations and consistent with treaty obligations, and comply with relevant legal principles such as certainty, proportionality and applicable procedural requirements.

5. What is the appropriate level (or levels) of government for this action?

Regulators should choose the most appropriate level of government to take action, or if multiple levels are involved, should design effective systems of co-ordination between levels of government.

6. Do the benefits of regulation justify the costs?

Regulators should estimate the total expected costs and benefits of each regulatory proposal and of feasible alternatives, and should make the estimates available in accessible format to decision-makers. The costs of government action should be justified by its benefits before action is taken.

7. Is the distribution of effects across society transparent?

To the extent that distributive and equity values are affected by government intervention, regulators should make transparent the distribution of regulatory costs and benefits across social groups.

8. Is the regulation clear, consistent, comprehensible and accessible to users?

Regulators should assess whether rules will be understood by likely users, and to that end should take steps to ensure that the text and structure of rules are as clear as possible.

9. Have all interested parties had the opportunity to present their views?

Regulations should be developed in an open and transparent fashion, with appropriate procedures for effective and timely input from interested parties such as affected businesses and trade unions, other interest groups, or other levels of government.

10. How will compliance be achieved?

Regulators should assess the incentives and institutions through which the regulation will take effect, and should design responsive implementation strategies that make the best use of them.

Figure 1 – Regulator’s Decalogue [8].

2.2.1 Regulation Goals and Guidelines

As the theoretical bases for economic regulation are described, basic goals that serve as guideline to the regulatory design must be mentioned. Obviously, such goals need to be set upon each specific case of regulatory intervention, directly related to the failures detected after a careful study of the characteristics of the production circumstances in the analyzed market. One must seek to compensate or to stop the effects of competitive imperfection; to encourage productive efficiency, innovation and the necessary investments; to optimize specially the consumer’s well-being; to establish competitive behavior, as well as to meet social and economic general goals that were established [9].

The key element for the public service sector institutional structure is to meet the established general social and economic goals. In countries where these goals are responsibility of the public service’s legal entity, these services, as a principle, would be essential for guaranteeing citizenship rights. Therefore, “the best possible market configuration” must be ensured by the State, as well as provided by means of governmental entities or hiring private companies, in some scenarios by means of concessions – a currently and widely used apparatus for the operation of airports in Brazil.

Regulation should not only be goal-oriented, but it should also have minimum costs of development and application. Transaction costs between agents in the market, between society’s final interest, and the interest and specific actions of public and private entities – conflicts between entities and beneficiaries, as well as the risk of the regulation exploitation by specific groups - should be reduced as much as possible. These elements demand that the regulatory mechanism to have a satisfactory level of transparency [9].

2.2.2 Regulatory Intervention Strategies and Dimensions

Consequently, we have several categories of “remedies” as outlines of the activity that should be regulated: the definition of access conditions; types and amounts of services

set by the administrative power (quantity regulation); output conditions; price policy; performance and quality indicators; and other aspects related to regulation.

Once the goals are defined, options of regulatory actions in several segments and resources to be used must be evaluated. From entry and output restrictions to product and price specifications, equipment and several other parameters. These “regulatory remedies” are part of a regulatory tactic, which can be measured by how the Public Power will be able to guarantee the provision of goods or services under the regulation, as well as the choices of intervention.

2.2.3 Regulatory Propositions Assessment

Defined measures and strategies, aligned with goals determined by the regulation, must be subjected to an efficiency test. Usually, the regulation must be tested in its capacity to: increase productivity and allocation efficiency; innovation; power to prevent monopolies; development of a competitive environment, in addition to meeting the goals for social, industrial and regional policy.

Regulation must also be measured by its administrative costs for application and its outcomes, for it is known that the regulator and his regulatory policy are subjected to several risks. These risks are systematized in literature under the denomination of regulatory or governmental failures [10]; [11]. The Public Power is limited in its capability to control regulated sectors, and, in general, it has been placed in disadvantage regarding information about the sector’s economic reality in relation to the companies. Therefore, regulators are always at risk of misinterpreting pros and cons on how its measures can affect companies, consumers and society when making assessments. It’s important to mention that regulators must report not to society only, but also to the main political agents – spread among several agencies and administrative levels.

The regulatory action is established in a complex field of conflicting interests where representatives of the society’s general interests are pressured by several individual interests. It can result in several failures and bad outcomes.

2.2.4 Implementation Process

Therefore, we must expect influence and resistance actions derived from the involved sectors, aiming at exploiting regulation according to their interests.

It must be considered that companies subjected to regulation usually react to the imposed limitations. They take actions contrary to the regulation goals, such as the co-optation of sectors of the Public Power.

Regulatory measures have an efficiency lifespan; as its lifespan fades, it becomes necessary to overhaul the regulation.

New regulatory practices says that before signing new concession contracts, the

Public Power must be soundly structured. It must have agencies equipped with the necessary skills and having the human and material resources needed to fulfill their function [12].

Agencies need to be established focusing on fulfilling three main objectives: to protect consumers from the abuse of companies with great market power; support the investment process by protecting investors from arbitrary actions by the Government; and promote efficiency [13].

In order to meet these goals, the agency must perform several functions, such as [14]:

- To define the basis and criteria for permission to enter the market;
- To ensure compliance with regulatory specifications;
- To establish technical regulations on safety and technical procedures, as well as to monitor compliance;
- To monitor the revenue collection process, as well as the continuity and accessibility of services and its respective quality;
- To define the basis for tax calculation;
- To make the users' rights public;
- To organize public hearings;
- To regulate and to apply disciplinary procedures;
- To bring up relevant issues to the Judiciary System;
- To edit annual report and to suggest policy measures to the Executive Power when necessary.

Obviously, challenges will arise in order to accomplish these goals. Usually, on one hand, the establishment of taxes is a process full of political fuel; on the other hand, investors demand reliable profitability prospects to start investing; however, investment outcomes, long-term evolution of economic and political scenarios are unpredictable [14].

One very important point to be discussed is the regulation structure, in other words: whether every sector must have its own agency, or the regulation of several sectors should be done by one agency. This discussion has been highlighted in literature [5]. Furthermore [6], on one hand, a specialized agency would have better conditions to require specific knowledge about its sector; on the other hand, the agency would be too close to the regulated body and it could lead to a process of co-opting the agency. In its turn, a unified body tends to be politically strong when facing entities, they regulate, also when facing sectorial administrators, as long as the unified agency provides communication between its several sectors.

3 | THE BRAZILIAN SCENARIO

In Brazil, the Brazilian civil aviation has undergone numerous transformations since 1927, the year of the maiden flight of Brazil's first civil aviation company. From an incipient market in the 1920s, the country now had a Brazilian Scheduled Air Transport System, consisting of scheduled airlines, initially regulated and supervised by the Department of Civil Aviation – DAC, a Military Body and, later by the National Civil Aviation Agency - ANAC, founded in 2005. In airspace control, regulation was established later on, when the Air Routes Board – DR was founded, in 1942. If one goes back in time, it is observed that, in Brazil, aviation was divided into Army and Naval. At the same time, the communication between the Brazilian and the European authorities were already indicating the importance of an independent Air Force. This longstanding desire to unite these aviation branches added to events triggered by World War II were precisely the elements that led to a stride of immeasurable proportions in the history of the Armed Forces: the creation of the Ministry of Aeronautics on January 20, 1941, through Decree-Law 2,961/41, undertaking the mission of guaranteeing national security and promoting technological, economic and social development in Brazil. It derived from three distinct origins – the Army, the Navy and the Ministry of Road and Public Works –, hence, it would be up to the new Ministry to balance the simultaneous interests of National security, and economic, technological and social development that substantiated the airpower: the Air Force, the Civil Aviation, the Aeronautical Infrastructure and Industry, and the training of aeronautical professionals. During the Second World War in Europe, the geographical position of Brazil and the size of its territory soon became the focus of the United States of America. Brazil faced pressure from the U.S.A. so they could mainly occupy the Northeast of Brazil and install air bases that would allow flights to Africa and the East. Simultaneously, they intended to prevent the Axis countries from taking these routes. By mid-1941, these bases and air routes were already existing [2]. Brazil's aviation expanded due to the joint efforts between the two countries, by means of getting aircrafts, and the training and qualification of professionals. Still in October 1941, eight Boards were founded, including the Air Routes Board, being implemented as early as 1942. With the end of the war, one of the biggest tasks was to accommodate the air bases of the North-Americans, for the Brazilian troops were still very small, considering that, at that time, a large number of officers left the Brazilian Air Force - FAB to perform in other activities, mainly in the commercial aviation field. Aiming to address these flight protection deficiencies, the Ministry of Aeronautics has expanded its Flight Protection Services. Each Air Zone headquarter then had a Regional Flight Protection Service (SRPV), hence a huge system was developed, and the Air Routes Board was its central body. In the international field, at the end of World War II, the international community identified the need for the development of common norms, principles and standards to regulate the rapid growth of a mode of transportation that would revolutionize, in subsequent years, the way humans deal

with geographical distances and the speed of trade flows: the civil aviation. In this sense, standards would need to be established to ensure the safety and compatibility of operations between States [15].

Due to this growing in national and international civil aviation, on October 20, 1949, the International Air Navigation Studies Commission – CERNAL was founded, through Decree No. 27.353, with the purpose of dealing with matters related to the establishment and conduct of the Brazilian air policy in the international field.

Still regarding flight protection in the early 1950s, the Air Routes Board played a key role in the initial organization of the Brazilian airspace control. There was a large investment in the Amazon region and in aerospace science and technology. In the early 1960s, after detecting operational problems in flight protection equipment, the Air Routes Board had the first air traffic control radars, VHF Omnidirectional Range and Instrument Landing System (ILS) installed at the airports in order to eliminate the problems detected [16].

With greater integration in mind, the Air Routes Board was replaced with the Electronics and Flight Protection Board (DEPV) [16], with the purpose of directing, guiding, coordinating and controlling the specialized activities in electronics, communications, air traffic, navigation, meteorology, phototechnics and cartography. In this year, the Ministry of Aeronautics also approved the initial studies for the implementation of the Air Defense and Air Traffic Control System (SISDACTA). The integration of the Brazilian air traffic control and air defense services was then sealed. On October 5, 2001, DEPV was replaced with the creation of the Department of Airspace Control - DECEA. From then on, a plan was established with the creation of the Air Routes Board, in which air traffic was regulated “as far as possible”; then the DEPV was founded and nearly all the Brazilian airspace was regulated by means of phraseology, secured by the Search and Rescue Service – Salvaero; and finally a whole Flight Protection System was established when the DECEA was founded, to the “third degree” – which means not only information nor flight protection, but effective control with the entire Surveillance System in place, including in the Amazon, from where the entire Brazilian territory and surrounding areas are visible, either at sea or in the border zone, and integrated with the Brazilian airspace defense. There was a change in paradigm: from then on, the pilot would no longer be the one to inform his position. The air traffic controller was the one identifying where the aircraft is and what must be done for effective air traffic control over 22 million km². Over time and in such way, the Air Force Command established itself – through DECEA as a regulator, controller and provider of air navigation services in the country.

3.1 Governance

Over time, the Brazilian Air Force has taken the lead in matters relating to the national, and international, regulation of the Brazilian airspace. Throughout history, “landmarks” were instituted in order to regulate the activity in the country. It began when the Brazilian Air Code

was signed in 1938, considering it was necessary to provide the country with laws capable of efficiently regulating civil and commercial aviation and that the Brazilian laws should comply with the existing air law conventions and trends [17], and when the Air Routes Board was founded in 1942, in spite of the emphasis on primary dedication to services related to air routes and the National Air Mail – CAN. The Flight Protection Department was also internally founded, and it was responsible for, among its tasks, organizing and standardizing the services of interest to air traffic safety. On November 18, 1966, the Brazilian Air Code was amended by Decree-Law No. 32, which already referred to Air Law, Conventions and Treaties, in addition to reference to Aerodrome Protection Zones. In the item related to Air Traffic, there are references regarding the observations to the Code, Conventions and International Acts, as well as the regulations and instructions issued. In 1972, the Electronics and Flight Protection Board – DEPV was founded [18], and its Regulation was established by Decree No. 81.998, of 19.07.1978, in which, among its powers, it is responsible for the elaboration of norms, procedures, principles, criteria and programs relevant to Flight Protection. In addition, it coordinates and controls the fields of Electronics, Aeronautical Telecommunications, Research and Development, as well as it investigates violations of air traffic rules, which demonstrates the broadening of the spectrum of regulation of Air Navigation services.

In December 1986, the Brazilian Aeronautical Code [19] was founded to replace the Brazilian Air Code, in order to simplify the existing laws, as well as to be in compliance with the Federal Constitution of Brazil, in order to conform it to the needs resulting from the profound transformations air transportation, civil and commercial aviation and all services directly or indirectly linked to air navigation had been through. Air navigation is one of the most dynamic segments of the world we live in, as it has been systematically updated and improved.

From 2006 on, there was a rupture with country's economic situation. There was an exponential growth in aviation as a mode of transportation. Land was replaced with air transportation. Great part of the population that did not have access to air transportation, began to have it. Therefore, there was a gap between the airport installation and air navigation infrastructures and the repressed demand, resulting in the so-called “aerial blackout” (overbooking)¹. Thus, the recent growth has brought a series of challenges, even though Brazil has airport availability and domestic air network coverage that seem to be suitable, and the country is one of the few with relevant aviation industry. The airport infrastructure, largely provided by *Infraero*, the company that managed the airports responsible for, at the time, more than 95% of the civil air traffic, did not grow at the same pace as demand. The runway and courtyard system also had limitations, also leading to the management of airspace control, but to a lesser extent, as shown in figure 3.1 [20].

¹ Brazilian aviation crisis, which took place in 2006, leading to the collapse of the Civil Aviation System. It encompassed numerous flight delays and cancellations, until early 2007.

O crescimento acelerado trouxe para a infraestrutura aeroportuária desafios de capacidade já em 2009

Utilização na hora-pico para pista/pátio e no ano para TPS

- Com restrições hoje
- Necessidade de investimento até 2030
- Capacidade atual suficiente até 2030
- () Ano limite para saturação

| Estado | Aeroporto | Lado ar ¹ | | | Lado terra |
|--------|---------------|----------------------|-----------|--------------------|------------|
| | | Pista DECEA | Pista ITA | Pátio ² | TPS |
| SP | Guarulhos | ■ (2030) | ■ (2030) | ■ Saturado | ■ Saturado |
| | Congonhas | ■ Limitado | ■ (2014) | ■ Saturado | ■ Saturado |
| | Viracopos | ■ (2020) | ■ (2020) | ■ (2014) | ■ (2014) |
| RJ | Galeão | ■ | ■ | ■ | ■ (2030) |
| | Santos Dumont | ■ (2030) | ■ (2030) | ■ Saturado | ■ (2030) |
| BH | Confins | ■ | ■ | ■ (2020) | ■ Saturado |
| | Pampulha | ■ (2030) | | ■ (2014) | ■ (2014) |
| Demais | Brasília | ■ (2030) | ■ (2030) | ■ Saturado | ■ Saturado |
| | Porto Alegre | ■ (2030) | ■ (2030) | ■ (2030) | ■ Saturado |
| | Curitiba | ■ | ■ | ■ (2030) | ■ (2020) |
| | Recife | ■ (2030) | ■ | ■ (2030) | ■ (2020) |
| | Salvador | ■ (2020) | ■ (2030) | ■ Saturado | ■ (2014) |
| | Fortaleza | ■ | ■ | ■ (2030) | ■ Saturado |
| | Manaus | ■ | ■ | ■ (2020) | ■ (2030) |
| | Cuiabá | ■ (2030) | ■ | ■ Saturado | ■ Saturado |
| | Natal | ■ | ■ | ■ Saturado | ■ (2014) |
| | Florianópolis | ■ | ■ | ■ Saturado | ■ Saturado |
| | Vitória | ■ (2030) | ■ | ■ Saturado | ■ Saturado |
| | Belém | ■ | ■ | ■ (2014) | ■ (2030) |
| | Goiânia | ■ (2030) | ■ | ■ Saturado | ■ Saturado |

1 Considera mesmo nível de crescimento tanto para aviação geral quanto para aviação regular

2 Não considera equipamento para movimentação de passageiros (p.ex., ônibus, escada) que pode afetar o nível de serviço percebido pelo passageiro

FONTE: ITA; DECEA; análise da equipe

Figure 3.1 – Infrastructure Limitations [20].

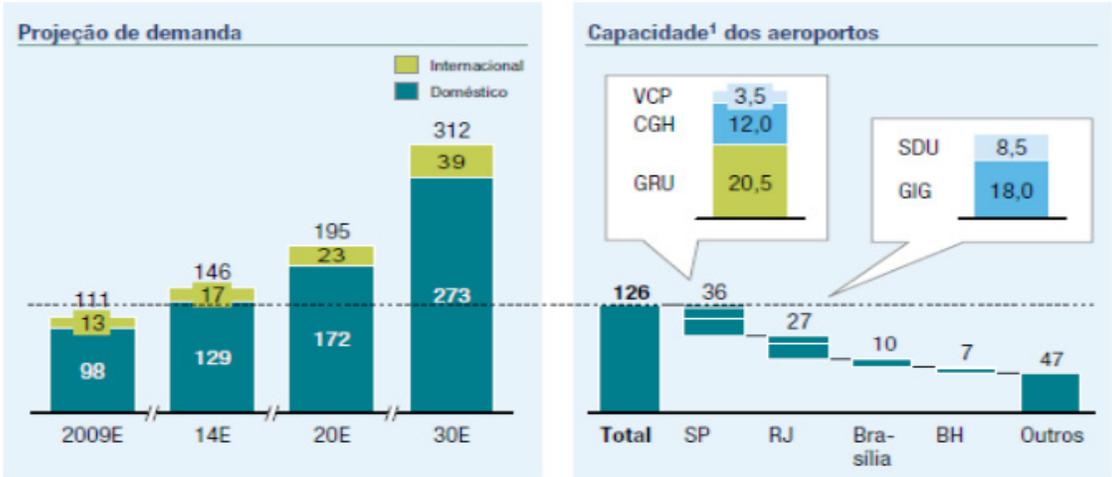
In the medium and long term (by 2030), given predicted growth, it will be needed investments to increase current capacity by 2.4 times (from 130 million to 310 million passengers per year, or the equivalent of nine Guarulhos airports). To limit the capacity means not only leaving passengers unattended, with adverse effects on the economy, but also regressing on many of the sector's recent achievements, such as increased competition, which has allowed the prices the passengers pay to fall and the use of air transportation to increase (figure 3.2). [20].

At the time, it was observed that, while the expansion of airport infrastructure emerged as the paramount and immediate need for action, at the same time there were other opportunities for action in the field, so that the country could reach its "full potential".

For instance, combining courtyard investments with improvements in air traffic control could, to some extent, reduce travel time, allowing for more straightforward routing, more efficient lift off and landing progressions, and shorter approach and landing circuits.

O Brasil precisa mais que dobrar a capacidade de seus principais aeroportos até 2030

Milhões PAX/ano



¹ Capacidade operacional dos aeroportos em 2009

FONTE: Infraero; ITA; análise da equipe

Figure 3.2 – Demand and Capacity Projection [20].

Reduced flight time means lower fuel consumption, lower operating costs and positive environmental impact. The technological evolution of avionics and satellite systems is highlighted, for Brazil can make use of them to enable such results. Regarding the attribution of roles and responsibilities, and the architecture (including hierarchy and the checks and balances system), it was observed that the governance structure of the industry presented points for improvement. For instance, it was not clear which entity was responsible for the long-term planning and coordination of the industry, including air transportation services, airport infrastructure and air traffic control, which was paramount given the massive interaction between these three components.

Regarding the pointed out necessity, the Brazilian Civil Aviation Secretariat - SAC was founded, through Provisional Measure No. 527 of March 18, 2011 and amended by Law No. 12,462 of August 4, 2011, which dealt with its powers in respect of coordinating and supervising actions focused on the strategic development of the civil aviation sector and the airport and aeronautical infrastructure in Brazil.

In fact, this need for coordination goes beyond the internal operations of the aviation industry: unlike Brazil, where the air navigation regulator is linked to the Ministry of Defense, almost all of the countries analyzed in [20] have regulators linked to the Ministry of Transport or Industry/Development, to facilitate integrated planning of the transport matrix.

With regard to the good practice of allocating regulatory, enforcement and monitoring

functions to separate agencies, an opportunity for further refinement in the assignment of responsibilities for the air navigation service has been identified, for these three roles are currently under the responsibility of the same agency, the DECEA (Department of Airspace Control). In spite of this, one must recognize that, during the intense development of air transportation in the country, much was due to the skilled management of the Brazilian Air Force, controlled by the Ministry of Aeronautics (1941) and, later, the Air Force Command (1999), by means of policies to promote operations that encompassed the training of pilots and other specialized professionals, in which the Department of Civil Aviation encouraged training schools and flying clubs; the construction of runways, especially in the Amazon region by the Amazon Airports Commission (COMARA); the immediate support for the community through the National Air Mail (1941); and the development of a strong and powerful knowledge base through the creation of the Aeronautics Institute of Technology (ITA: 1950) and other important institutes in the Department of Aerospace Science and Technology (DCTA) in São Jose dos Campos, which resulted in the emergence of several business initiatives focused on the Brazilian aviation industry, with EMBRAER as its main representative.

With regard to the assignment of roles and responsibilities, since the “aerial blackout” in 2006, there have been considerable advances and improvements in the industry’s governance with closer convergence and interaction between coordination and regulation aviation agencies (SAC/ANAC/DECEA), and emphasis on technical-operational regulation by the DECEA and subordinate bodies.

As examples of the advances, there is the implementation of more straightforward routes, minimizing the environmental impact; new air traffic circuits in the Sao Paulo and Macae Terminal Areas, the beginning of single runway operations at the Guarulhos airport and, subsequently, parallel operations; the “Brazilian SWIM” project; the coordination of the “A-CDM GRU Project”; the verification of departure and arrival procedures throughout the country; the supervision of the Quality Programs in Air Traffic Services; the strengthening of the Air Navigation Management Center - CGNA, focusing on collaborative management (coordination and decision of air traffic flow management measures); the verification of the Aerodrome Protection Zone Plans; etc.

Regarding economic regulation, there was the revision of Air Navigation Fees; the regulation of national air traffic services and the provision of economic policy advice to the government, including statistics and research; the involvement in the Technical Committee for Civil Air Navigation (CTNAV), recently implemented and added to the NATIONAL AIRPORT AUTHORITIES COMMISSION (CONAERO), in which SAC, ANAC, DECEA and *Infraero* take part.

4 | CONCLUSION

In the face of this scenario, it is observed today that the industry's governance structure still has points for improvement, bearing in mind that its governance structure is established almost entirely through Guidelines (DCA), Instructions (ICA), Government Decrees, Resolutions, among others. In a potentially competitive market, such as aviation, market monitoring conditions need to be established by means of constantly reviewing public policies, as a government project component, while at the same time meeting society's demands through public hearings, clarifications and regulatory impact analysis (RIA), broadly given to the population. For instance, the impact analysis process is divided into six stages in the United Kingdom: development, options, public consultation, final proposal, implementation and review.

Thus, considering that society is affected by government interventions, it should be given broad access to the regulatory process and actively participate in policy making. It is also paramount to clarify the criteria that underlie a given regulation, and to explain their expected effects and which groups will be most impacted by them.

Herewith, the application of an improvement policy of the regulatory system is accompanied, in most cases, by the adoption of the RIA, which is considered the main tool during this process [21].

Thus, it is possible to characterize the current scenario as the search for supporting tools in the improvement of the Brazilian regulatory system. These tools should allow for the improvement of regulatory choices by developing an appropriate system for the implementation and application of the RIA and of a public consultation methodology that ensures effective social participation in the regulatory process.

Regarding the regulation, execution and supervision of the Brazilian airspace, there is an opportunity for improvement in the assignment of responsibilities related to the regulation of air navigation in the country, for these three roles are currently under the responsibility of the same governmental and military agency, the Department of Airspace Control - DECEA. The gathering of these three practices in the same agency is not the best governance practice, for in the case of departments that are part of the same structure and under the same subordination, there is risk of interference and conflict in the execution of regulatory, supervisory and enforcement practices. A broader discussion about the existing air navigation regulatory model in the country is needed, especially regarding this gathering of practices. Currently, in the National Congress of Brazil, a Provisional Measure (MP) has been under discussion. It proposes the creation of a prospective civil air navigation company, linked to the Ministry of Defense, named *NAV Brasil Serviços de Navegação Aérea S.A.*, in order to decentralize the implementation of air navigation services, with exclusive focus on this operation. Hopefully, these practices will contribute for the transformation of the model into one considered ideal. A company solely acting as an

air navigation service provider would also meet ICAO's recommendation in its Manual on Air Navigation Services Economics (Doc 9161), item 2.14, which presents an autonomous government entity with the purpose of providing air navigation services. This option has provided the following advantages worldwide: it ensures that revenues generated through the use of air navigation resources are transparently reinvested in operating and developing the facilities; it ensures that the users of air navigation services contribute directly to the upkeep and development of the facilities that they use (user pays principle); it reduces the financing burden on governments; it encourages the growth of a business culture and the improvement of the quality of services; it enables access to private capital markets; and it establishes a clear separation of the State organization responsible for regulating the operations and the organization responsible for providing the services. In case it is inviable to create the *NAV Brasil company*, the Brazilian Airport Infrastructure Company - *Infraero* could replace it, provided that its governance model is compliant, for it already provides air navigation services with 61 (sixty-one) facilities in the country, however, it also manages airports according to its work history.

Hence, the following benefits can be achieved:

- a) Increased transparency through the publication of balance sheets with operating and financial indicators, Board of Directors representation and adoption of governance rules;
- b) Improved incentive management skills through the establishment of a positions and salaries system closer to the existing governance of the industry, training programs, easier application of resources allocated to the system and the clear definition of individual and collective goals;
- c) A separate structure, which provides greater importance to the practice, through the adoption of a presidency and board of directors dedicated uniquely to this role, with their own revenues, and responsible for generating results.

Thus, given that society is affected by government interventions, it should be given broad access to the regulatory process by actively participating in policy making. It is paramount to clarify the criteria that underlie a given regulation, and to explain their expected effects and which groups will be most impacted by them, and, consequently, to make it possible to improve regulatory decisions by determining social involvement, transparency, accountability, respect for due process of law, and economic thinking, weighing costs and benefits as the main elements of the policy-making process.

REFERENCES

1. Guimarães A. W. (2017). Las variables sociales que influyen en el mantenimiento del sistema de control aéreo a cargo de los militares, desde la creación del Ministerio de Defensa de Brasil, en 1999, hasta la actualidad. Tesis de Maestría. Universidad de la Defensa resol. m.c.e. n° 425/92. Facultad de la Defensa Maestría en Defensa Nacional. (23/5/2019).

2. Malagutti, Antonio Osler (2001) *Evolução da Aviação Civil, no Brasil*. Brasília, available at <http://www.camara.gov.br> (25/3/2019).
3. Da Silva, Adyr, *Aeroportos e Desenvolvimento*. Ed. Villa Rica (1991) (24/5/2019).
4. Reference Checklist for Regulatory Decision-making (OECD 1997).
5. GUIMARAES, Eduardo Augusto e SALGADO, Lucia Helena (2003) *A Regulação do Mercado de Aviação Civil no Brasil*. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (30/05/2019).
6. Aragão J. (*Revista dos Transportes Públicos*, v.94, pp.35-55, 2002) (31/5/2019).
7. OCDE, 2016. *El ABC de La Mejora Regulatoria Para Las Entidades Federativas y Los Municipios: Guía Practica para Funcionarios, Empresarios y Ciudadanos*. Available at <http://www.oecd.org> (01/6/2019).
8. GURGEL, Marcus Vinicius do Amaral; COSTA, Maria Dionni dos Santos. *A evolução da regulação do transporte aéreo regular brasileiro*. 2007. 110 f. Monografia (Especialização em Gestão da Aviação Civil)-Universidade de Brasília, Brasília, 2007 (15/4/2019).
9. Pinheiro, Lena Vania Ribeiro. *A Ciência da Informação entre sobra e luz: domínio epistemológico e campo interdisciplinar*. Rio de Janeiro, UFRJ/ECO, 1997. 280p. Tese (Doutorado em Comunicação e Cultura) (04/6/2019).
10. Estache, Antonio; Martimort, David. *Politics, transaction costs, and the design of regulatory institutions*. World Bank Governance Papers, Washington, DC, n. 2.073, Mar. 1999 (12/6/2019).
11. Guasch, José Luis and Hahn, Robert W., *The Costs and Benefits of Regulation: Implications for Developing Countries* (March 1997). World Bank Policy Research Working Paper No. 1773. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=615039> (12/6/2019).
12. Estache, A. e J. Carbajo. 1996. *Competing Private Airports-Lessons from Argentina*. Public Policy for the Private Sector Note 100. World Bank, Washington, D.C. (12/6/2019).
13. Smith, N. O.; Maclean, I.; Miller, F. A.; Carruthers, S. R., 1997. *Crops for industry and energy in Europe*. University of Reading, European Commission, Directorate General XII E-2, Agro-Industrial Research Unit. (12/06/2019).
14. Estache A. 2011. "Regulation and competition issues in infrastructure services: An overview", *Regulation and competition issues in infrastructure services - CEPR, London*. (12/6/2019).
15. DECEA – *A História do Controle do Espaço Aéreo* – Ed. Incaer, 2014, recuperado de issuu.com/aeroespaco/docs/historia_controle_2edicao. (08/6/2019).
16. DECEA, *História Geral da Aeronáutica Brasileira*, Ed. Incaer (14/6/2019).
17. Brasil, *Código Brasileiro do Ar*. Decreto-Lei nº 483 de 08 de junho de 1938 (12/6/2019).
18. Brasil, *Diretoria de Eletrônica e Proteção ao Voo – DEPV*. Decreto nº 70.627, de 25 de maio de 1972 (03/6/2019).
19. Brasil, *Código Brasileiro de Aeronáutica*. Lei N.º 7565, de 19 de dezembro de 1986 (12/6/2019).
20. BNDES. *Estudo do Setor de Transporte Aéreo do Brasil: Relatório Consolidado*. Rio de Janeiro: McKinsey & Company, 2010. Available at <http://www.bndes.gov.br> (10/4/2019).
21. IPEA. Salgado L. H. e Holperin M. M. *Análise de Impacto: ferramenta e processo de aperfeiçoamento da regulação*. Radar nº 08 – junho de 2010 (16/6/2019).

ESTUDO DE *BACKGROUND* GEOQUÍMICO AMBIENTAL EM ÁREA DE INFLUÊNCIA DIRETA (AID) DA MINERAÇÃO

Data de aceite: 01/02/2022

Data da submissão: 05/03/2022

Flávio de Moraes Vasconcelos

Hidrogeo Engenharia e Gestão de Projetos
Belo Horizonte – MG
<http://lattes.cnpq.br/1482366665858095>

Gabriel Melzer Aquino

Pilar de Goiás Desenvolvimento Mineral/
Equinox Gold
Pilar de Goiás – GO
<http://lattes.cnpq.br/1095845264103969>

Nathália Augusta Ferreira Sales Coutinho

Hidrogeo Engenharia e Gestão de Projetos
Belo Horizonte – MG
<http://lattes.cnpq.br/0842775933272753>

João Santiago Reis

Hidrogeo Engenharia e Gestão de Projetos
Belo Horizonte – MG
<http://lattes.cnpq.br/2587214189684250>

RESUMO: Os valores de *background* geoquímico ambiental (BG) de metais e de arsênio foram determinados segundo a norma ambiental nacional para gerenciamento de área contaminadas (CONAMA 420/2009) para amostras coletadas nos tipos predominantes de solo, água superficial e água subterrânea da área de influência direta (AID) da unidade de Pilar de Goiás/GO da Equinox Gold. A partir da coleta destas amostras em áreas de baixo impacto antrópico e representativas da geologia local foi

possível caracterizar que os elementos As, Cr, Cd e Ni estão acima do valor de investigação (VI) da norma vigente para o *Cambissolo Háplico* da Fm. Serra do Moinho. Os valores de BG de águas superficiais indicam uma boa qualidade da água, com a exceção do Mn que ficou acima do valor da norma (CONAMA 357/2005). Os valores de BG para água subterrânea indicaram todas as concentrações dos elementos analisados abaixo dos limites legais (CONAMA 396/2008), com a exceção do parâmetro Al.

PALAVRAS-CHAVE: *Background* geoquímico, Background do Solo, Pilar de Goiás-GO.

ENVIRONMENTAL GEOCHEMICAL BACKGROUND STUDY IN DIRECT INFLUENCE AREA (AID) OF MINING

ABSTRACT: The values of environmental geochemical background (BG) of metals and arsenic were determined according to the national environmental standard for management of contaminated areas (CONAMA 420/2009) for samples collected in the predominant types of soil, surface water and groundwater in the area of influence (AID) of the Pilar de Goiás / GO unit of Equinox Gold. From the collection of these samples in areas of low anthropic impact and representative of local geology, it was possible to characterize that the elements As, Cr, Cd and Ni are above the investigation value (VI) of the current standard for the Fm Cambisol. Serra do Moinho. The BG values of surface water indicate good water quality, with the exception of Mn which was above the standard value (CONAMA 357/2005). The BG values for groundwater indicated all concentrations of the elements

analyzed below the legal limits (CONAMA 396/2008), with the exception of the parameter Al.

KEYWORDS: Geochemical background; background of soil; Pilar de Goiás-GO.

1 | INTRODUÇÃO

A determinação de valores de *background* geoquímico de uma determinada área é um dos assuntos de maior interesse em estudos ambientais atualmente. Essa é uma medida importante para distinguir concentrações naturais de um determinado elemento químico ou composto proveniente das atividades antrópicas desenvolvidas no local de interesse. O estabelecimento de valores de *background* geoquímico para distinguir entre teores naturais de um elemento químico e a influência antrópica sobre estes teores constitui um dos temas mais importantes das ciências ambientais recentes (RODRIGUES & NALINI, 2009).

Existe uma relevância prática em definir as fronteiras entre concentrações de um constituinte químico, ocorrendo naturalmente em determinado meio, daquelas concentrações do mesmo constituinte presente no meio como resultado da atividade antrópica. Entretanto, teores de *background* não equivalem necessariamente a baixas concentrações do parâmetro investigado em determinada área ou região (MATSCHULLAT *et al.*, 2000), uma vez que concentrações naturalmente elevadas podem ser encontradas justamente em zonas de mineralização de jazidas geológicas expressivas e área e em valor econômico (ECHA, 2008).

A despeito das diferentes definições, conclui-se que concentrações de *background* constituem uma ferramenta muito importante dentro do contexto ambiental, ao agirem como valores de referência ao impacto provocado por determinado parâmetro químico de interesse, a partir de uma atividade antrópica específica, sendo assim utilizado esse termo dentro da resolução de gestão de áreas contaminadas (CONAMA, 2009).

Neste contexto o presente estudo visa investigar os valores de *background* geoquímico para os metais em solo, águas superficiais e subterrâneas na área da Mina de Pilar de Goiás.

A função de padrões e valores de *background* ou valores orientadores é promover um limite quantitativo no processo de avaliação e diagnóstico da qualidade dos recursos ambientais, como o solo e água subterrânea do presente trabalho, para subsidiar ações de prevenção e controle da poluição ou ações emergenciais, com vistas à proteção da saúde humana ou ambiental.

2 | METODOLOGIA

2.1 Solo

O empreendimento minerário da Equinox Gold localiza-se no município de Pilar de Goiás, no quadrante NW do Estado de Goiás. Saindo da cidade de Goiânia, o acesso se dá

pela BR-153 a uma distância aproximada de 263 km.

A primeira etapa dos trabalhos consistiu no levantamento e estudo de todas as informações pré-existentes sobre a área. Através da realização de revisão bibliográfica, reconhecimento de padrões em imagens de satélite, e consulta em mapas da base de dados do projeto RADAMBRASIL v. 25 – Folha SD.22 Goiás (MME, 1981) sobre os temas pedologia, geomorfologia, geologia e vegetação, foram identificadas as principais classes de solo e formações geológicas presentes, além da identificação das principais microbacias da região. Estas informações foram utilizadas como critério de amostragem de campo, para que o estudo seja representativo e atenda aos objetivos ao qual foi solicitado.

Na segunda etapa de trabalho, procedeu-se um caminhamento extensivo na área de forma a reconhecer os padrões de distribuição dos solos juntamente aos compartimentos da paisagem. As principais características intrínsecas dos solos utilizadas neste momento foram coloração, textura, presença de cascalho, profundidade dos solos, formação geológica ao qual pertencem, e fatores relativos aos estudos de análise de risco e background geoquímico, tais como posição em relação à drenagem e pilhas (coleta à montante e jusante), e possíveis teores naturais de metais.

A partir desse levantamento foram escolhidos 3 perfis de solos característicos da região e coletadas 3 amostras compostas para serem as referências de *background* geoquímico. Cada amostra foi composta por 11 sub-amostras segundo a metodologia definida.

Todos os solos foram descritos e coletados segundo critérios definidos em SANTOS *et al.* (2015), sendo todos horizontes dos perfis descritos e apenas o horizonte B diagnóstico coletado. Os parâmetros analisados nas amostras, a nomenclatura de horizontes, identificação dos solos obedeceu às definições do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018).

Os resultados das análises químicas da amostra de águas superficiais foram comparados com os valores estabelecidos pela Resolução do CONAMA 420/2009 (CONAMA, 2009).

Realizou-se a classificação dos solos, com base em atributos morfológicos, químicos e físicos, elaborando assim modelos de distribuição de solos que podem ser representados na forma de mapas ou inventários representativos de determinada região. No presente caso, as informações serão utilizadas na elaboração de valores de *background* para metais na área de influência direta do empreendimento.

Para identificação dos solos predominantes na região foram vistoriados e amostrados 32 pontos. Deste levantamento foi possível elaborar um esboço de mapa de solo pedológico para a região do entorno do empreendimento minerário.

2.2 Água superficial

A amostragem de água superficial foi realizada por laboratório acreditado na

ISO NBR 17.025. Foram coletadas 2 amostras de águas superficiais a montante do empreendimento. As amostras foram filtradas em campo com membrana de $0,45 \mu\text{m}$ para determinação dos metais dissolvidos. Os parâmetros temperatura, pH, oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica (CE), e potencial redox (Eh) foram medidos *in situ* com o equipamento multiparâmetro. Os resultados das análises químicas da amostra de águas superficiais foram comparados com os valores estabelecidos pela Resolução CONAMA 357 (CONAMA 2005) para águas superficiais e definirão os valores de *background* de água superficial para a região de Pilar de Goiás - GO.

2.3 Água subterrânea

A amostragem de água subterrânea ocorreu pelo método de baixa vazão (ABNT, 2010), e foi coletada 1 amostra de águas subterrânea de um poço à montante do empreendimento. Os parâmetros indicativos da qualidade da água que devem ser monitorados durante a purga são: temperatura, pH, condutividade elétrica, potencial de óxido redução (Eh) e oxigênio dissolvido (OD). Os resultados das análises químicas foram comparados com os valores estabelecidos pela Resolução CONAMA 396 (CONAMA, 2008) para águas subterrâneas e definirão os valores de *background* de água superficial para a região de Pilar de Goiás GO.

2.4 Determinação de valores de *background* geoquímico

A metodologia empregada nesse estudo é de identificação de áreas de baixo impacto antrópico em ambiente geológico representativo, seguida de coleta de amostras em pontos de interesse e tratamento estatístico dos resultados.

Para determinação do valor de referência de qualidade (VRQ) considerou-se os dados obtidos no tratamento estatístico, com base nos valores de mediana – Q2 (50%), quartil inferior – Q1 (25%) e quartil superior – Q3 (75%), assim como a determinação do percentil 90, conforme mencionado na Resolução CONAMA 420/09 (CONAMA, 2009). Desde modo, adotou-se o valor do percentil 75% como VRQ para a região da área de influência direta do empreendimento da Equinox Gold em Pilar de Goiás-GO.

Os valores de BG foram detectados por meio da amplitude interquartis, representada por AIQ, que é dada pela diferença entre Q3 e Q1, respectivamente, o primeiro e o terceiro quartis. Assim, usualmente pode ser considerado outlier superior todo dado superior a $(Q3+1,5AIQ)$ e, analogamente, outlier inferior todo valor menor que $(Q1-1,5AIQ)$.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Solos

Em termos mais locais é possível individualizar na área em estudo, os Greenstone Belts de Pilar e Guarinos, que são representados predominantemente por rochas vulcânicas básicas e metassedimentares.

Nesta faixa aurífera verifica-se a presença de corpos de Xistos carbonosos pertencentes à Formação Serra do Moinho, sotoposta à Clorita-granada-xistos e Gnaisses félsicos e superposta à Talco-sericita-xistos da mesma formação. A Serra do Moinho é descrita pelo CPRM como Clorita-sericita-quartzo xisto, xisto carbonoso, muscovita-quartzo xisto, clorita-biotita xisto, muscovita quartzito, biotita xisto feldspático, xisto magnesiano e anfibolítico, talco-clorita xisto e formação ferrífera (metachert).

Os dois solos principais da área de estudo estão diretamente associados aos dois grupos geológicos principais, que seriam: 1- Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico: associa-se às rochas mais recente do Proterozoico Gr. Araxá, localiza mais a SE da área de estudo e 2- Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico: associa-se às rochas mais antigas do Gr. Pilar de Goiás e correlacionados à sequência Vulcano-sedimentar arqueana de mesmo nome.

Foram descritos 3 perfis de solos característicos da região, e paralelamente coletadas 3 amostras compostas para análise química (Tabela 1).

| Ponto | Coordenadas UTM SIRGAS 2000 22L | | Elevação (m) | Profundidade (cm) | Amostras |
|-------|---------------------------------|---------|--------------|-------------------|----------|
| | mE | mS | | | |
| PBS1 | 651740 | 8365210 | 783 | 20-30+ | 11 |
| PBS2 | 656293 | 8363427 | 817 | 20-30+ | 11 |
| PBS3 | 649501 | 8369182 | 805 | 20-30+ | 11 |

Tabela 1: Estações de amostragem de solo para estudo de background geoquímico.

A Figura 1 apresenta dois perfis típicos das amostras de *background* selecionadas sendo uma em cambissolo escuro (PBS 1) localizado no Grupo Pilar de Goiás (Fm Serra do Moinho) e a outra em cambissolo claro localizado dentro do Grupo Araxá (PBS 2).

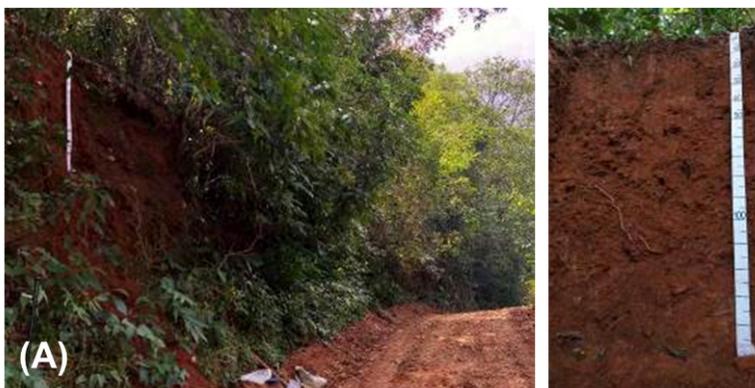




Figura 1: Perfis de solos descritos representativos de (A) PBS1 e (B) PBS2.

3.2 Água superficial

Para a referência de água superficiais foram coletadas 2 amostras a montante do empreendimento no Córrego do Amâncio e Rio Vermelho. A tabela a seguir apresenta os dados dos pontos amostrados para este estudo (Tabela 2).

| Ponto | Coordenadas UTM SIRGAS 2000 22L | | Elevação (m) |
|---------|---------------------------------|---------|--------------|
| | mE | mS | |
| ASBG 01 | 0649491 | 8368661 | 759 |
| ASBG 02 | 0651687 | 8366413 | 758 |

Tabela 2: Localização dos pontos de amostragem de águas superficiais para o estudo de *background*.

3.3 Água subterrânea

Para a referência de água subterrânea foi coletada 1 amostra (ASBG 01) um poço à montante do empreendimento. A tabela a seguir apresenta os dados do ponto amostrado para este estudo (Tabela 3).

| Ponto | Coordenadas UTM SIRGAS 2000 22L | | Elevação (m) |
|---------|---------------------------------|---------|--------------|
| | mE | mS | |
| ASBG 01 | 644937 | 8368654 | 763 |

Tabela 3: Localização dos pontos de amostragem de águas subterrânea para o estudo de *background*.

3.4 Classificação de solos

Os horizontes diagnosticados na área estão delineados a seguir:

Horizonte A moderado: Horizonte mineral que apresenta teores de carbono orgânico variáveis (0,6 a 6%), espessura e/ou cor que não satisfaçam aquelas requeridas para horizonte A chernozêmico ou proeminente, além de não satisfazer também os requisitos

para horizonte A antrópico, horizonte A fraco e horizonte hístico. É o tipo de horizonte A mais comum no território brasileiro, e na área de estudo.

Horizonte B incipiente (Bi): Trata-se de horizonte subsuperficial, subjacente ao A, Ap ou AB, que sofreu alteração química e física em grau não muito avançado, porém suficiente para o desenvolvimento de cor ou de estrutura, e no qual mais da metade do volume de todos os subhorizontes não deve consistir em estrutura da rocha original. Na área de estudo, foram identificadas duas variações do horizonte B incipiente (Bi) que caracterizam os Cambissolos da região: (1) Bi de solos derivados de litotipos do Grupo Araxá: cores amareladas (matiz 7,5 YR), e em menor quantidade ocorrência de cores bruno-avermelhadas (Perfil 5 – 2,5 YR 2,5/4); presença significativa de cascalho (> 50% de cascalho), e em menor proporção na classe cascalhenta (entre 15 e 50% de cascalho); e pouco profundos, com espessura média de 40 cm; (2) Bi de solos derivados de litotipos da Formação Serra do Moinho: cores vermelhas, com matiz 2,5 YR e croma sempre igual ou maior a 6; presença significativa de cascalho, com predominância da classe cascalhenta; e são mais profundos que os anteriores, com espessura média estimada em 78 cm.

Horizonte B textural (Bt): É um horizonte mineral subsuperficial onde houve incremento de argilas (fração <0,002mm), orientadas ou não, desde que não exclusivamente por descontinuidade litológica, resultante de acumulação ou concentração, absoluta ou relativa, decorrentes de processos de iluviação, e/ou formação in situ, e/ou herdado do material de origem, e/ou infiltração de argila com ou sem matéria orgânica, e/ou destruição de argila no horizonte A, e/ou perda de argila no horizonte A por erosão diferencial. O conteúdo de argila do horizonte B textural é maior que o do horizonte A e pode ou não ser maior que o do horizonte C. No presente estudo a variação de horizonte B textural encontrada corresponde à solos derivados de rochas da Formação Serra do Moinho, com cores avermelhadas (matiz 2,5 YR), cromas altos, e nem sempre apresentam gradiente textural, mas apresentam cerosidade como característica marcante.

Horizonte B latossólico (Bw): É um horizonte mineral subsuperficial, cujos constituintes evidenciam avançado estágio de intemperização, explícita pela alteração completa ou quase completa dos minerais primários menos resistentes ao intemperismo e/ou de minerais de argila 2:1, seguida de intensa dessilicificação, lixiviação de bases e concentração residual de sesquióxidos, argilas do tipo 1:1 e minerais primários resistentes ao intemperismo. Em geral, é constituído de quantidades variáveis de óxidos de ferro e alumínio, minerais de argila 1:1, e quartzo.

As classes de solo identificadas na área de influência direta do empreendimento estão sistematizadas na Tabela 4.

| UM | Descrição | Litologia associada | Área | |
|--------------|--|---------------------|----------|-------|
| | | | ha | % |
| CXbd1 | Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico, A moderado, textura média cascalhenta, relevo ondulado e forte ondulado | Grupo Araxá | 2.053.55 | 56.77 |
| CXbd2 | Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico, A moderado, textura média e argilosa cascalhenta, relevo ondulado e forte ondulado | Fm Serra do Moinho | 658.64 | 18.21 |
| CXbd3 | Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico, A moderado, textura média cascalhenta, relevo ondulado e forte ondulado | Fm Boqueirão | 63.54 | 1.76 |
| CXbd4 | Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico, A moderado, textura média cascalhenta, relevo ondulado | Fm Serra do Moinho | 57.38 | 1.59 |
| CXbe1 | Cambissolo Háplico Tb Eutrófico latossólico, A moderado, textura argilosa cascalhenta, relevo ondulado e forte ondulado | Fm Cedrolina | 595.66 | 16.47 |
| CXvd1 | Cambissolo Háplico Ta Distrófico típico, A moderado, textura média muito cascalhenta, relevo ondulado e forte ondulado | Complexo Moquém | 50.25 | 1.39 |
| PVd1 | Argissolo Vermelho Distrófico típico, A moderado, textura argilosa, relevo ondulado e suave ondulado | Fm Serra do Moinho | 84.62 | 2.34 |
| LVe1 | Latossolo Vermelho Eutrófico típico, A moderado, textura argilosa, relevo suave ondulado | Fm Cedrolina | 45.15 | 1.25 |
| LVA1 | Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, A moderado, textura média, relevo suave ondulado | Grupo Araxá | 8.49 | 0.23 |

Tabela 4: Unidades de mapeamento (UM) delimitadas na AID, e respectivas áreas e litologias associadas.

Essa descrição é importante pois ressalta as características morfológicas, químicas e físicas de cada classe, que se relacionam com fatores que devem ser levados em conta nos estudos de *background* geoquímico. As unidades de mapeamento (UM) foram definidas baseadas não apenas na taxonomia dos solos, mas levou em conta seu respectivo material de origem, que influencia diretamente nos seus atributos geoquímicos. A Figura 2 apresenta um mapa de distribuição dos solos na área da AID.

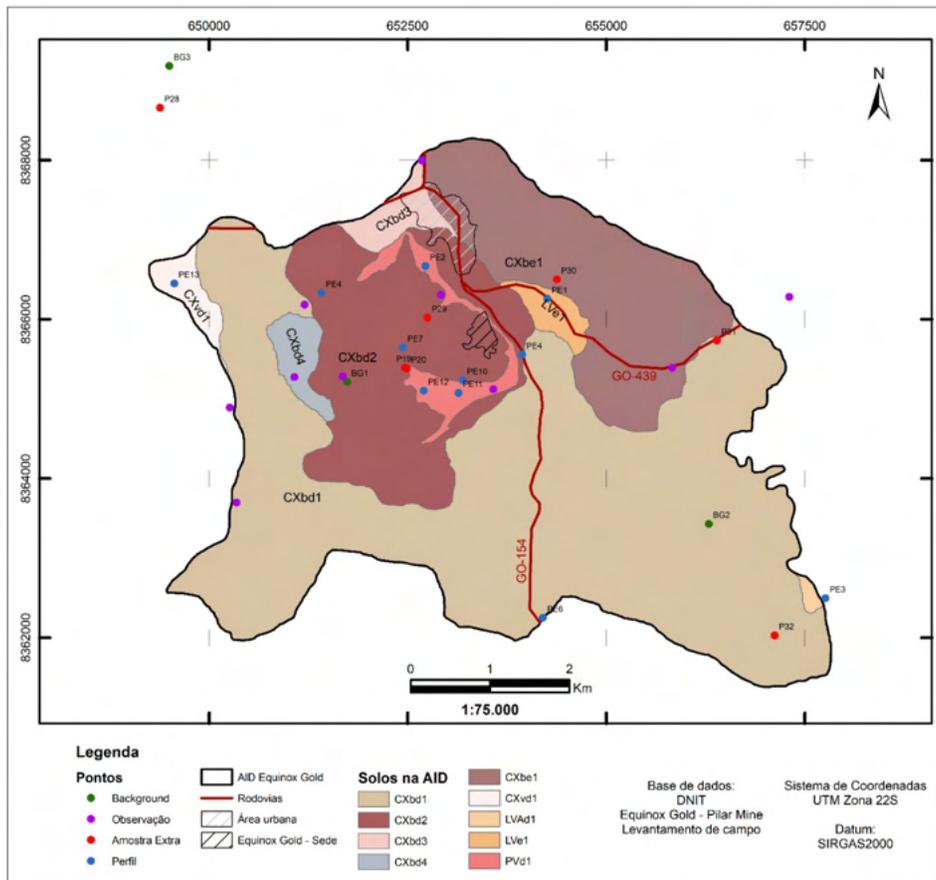


Figura 2: Mapa de solos característicos da região.

A composição textural dos solos analisados evidencia baixos teores de argila, com pouca amplitude de variação, sendo 10% a diferença entre os valores mínimo e máximo. Por outro lado, areia e silte apresentam maior variação entre os perfis.

Os solos provenientes de litologias com teores de ferro mais elevadas originaram solos com maiores teores de argila, o que é esperado pois assim que um átomo de ferro é liberado durante o intemperismo, na presença de oxigênio, tende a precipitar na forma de óxido ou oxi-hidróxido (hematita ou goethita), gerando argilominerais.

Litologias com relativamente menor teor de ferro geram argilominerais à partir da transformação (intemperismo) de feldspatos, micas, dentre outros minerais, que tendem a passar primeiro para a fração silte e posteriormente ao tamanho argila, sendo o tempo de formação de argilominerais silicatados relativamente mais demorado do que de óxidos de ferro. A Tabela 5 apresenta a composição textural média dos solos representativos da região.

| Ponto | Solo | Areia (%) | Silte (%) | Argila (%) | Classe textural |
|-------|-------|-----------|-----------|------------|-----------------------|
| PBS1 | CXbd2 | 34,07 | 34,66 | 31,27 | Franco-Argiloso |
| PBS2 | CXbd1 | 45,39 | 22,70 | 31,91 | Franco-Argilo-Arenoso |
| PBS3 | CXbd2 | 33,72 | 33,19 | 33,09 | Franco-Argiloso |

Tabela 5: Composição textural de solos representativos da região de interesse.

Macronutrientes

Para as amostras deste estudo, sobre as características do complexo sortivo dos solos, os parâmetros analisados foram interpretados segundo a 5ª Aproximação - Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (CFSEMG, 1999), que apresenta classes de interpretação baseadas no uso agrônômico dos solos. Os métodos laboratoriais de extração dos parâmetros seguem as diretrizes de Embrapa (EMBRAPA, 2017), assim como as amostras de solos analisadas nesse estudo.

Quanto aos nutrientes, capacidade de troca catiônica – CTC efetiva (t) e potencial (T), e pH, predominam valores baixos ou muito baixos. Em resumo, os solos da AID são ácidos, distróficos, apresentam baixa disponibilidade de nutrientes, baixa CTC, e baixos teores de MO. Essas características são esperadas, e comumente observadas em solos brasileiros, por suas condições climáticas tropicais que condicionam intenso intemperismo e lixiviação, além de ciclagem rápida de materiais orgânicos.

Quanto à constituição dos solos, os perfis que apresentam cores vermelhas e estrutura granular, indicam presença considerável de óxidos de ferro (hematita, goethita, maghemita, e possivelmente magnetita) e/ou óxidos de alumínio (gibbsita), fato confirmado pela digestão através do método USEPA 3050 (USEPA, 1998). Apesar do fato desse método atuar sobre todas as frações granulométricas presentes (areia, silte e argila), e não só na fração argila, essa inferência é possível porque a análise caracteriza a argila e as prováveis fontes de formação de novos argilominerais, que são formados à partir do intemperismo das frações areia e silte, quando constituídos de restos da rocha de origem e minerais primários (exceto quartzo).

3.5 Determinação de valores de background geoquímico

A tabela 6 apresenta os resultados de *background* geoquímico definidos para cada classe de solo característico da região. Em negrito encontram-se os valores que excederam os valores máximos permitidos da resolução de referência conama 420 (conama, 2009).

| Parâmetro | VP | VI | Valor de referência de qualidade | |
|------------|-----|-------|---|--|
| | | | Cambissolo háptico Tb distrófico latossólico da Fm. Serra do Moinho | Cambissolo háptico Tb distrófico típico do Gr. Araxá |
| Alumínio | - | - | 443,7 | 321,5 |
| Antimônio | 2 | 25 | 1,3 | 1,3 |
| Arsênio | 15 | 150 | 940,0 | 4,5 |
| Boro | - | - | 28,8 | 17,9 |
| Bário | 150 | 750 | 58,9 | 26,5 |
| Cálcio | - | - | 131,0 | 96,0 |
| Chumbo | 72 | 900 | 18,8 | 8,6 |
| Cobalto | 25 | 90 | 9,3 | 2,4 |
| Cobre | 60 | 600 | 78,3 | 32,8 |
| Cromo | 75 | 400 | 514,7 | 58,5 |
| Cádmio | 1,3 | 20 | 131,0 | 0,7 |
| Ferro | - | - | 381,5 | 265,2 |
| Magnésio | - | - | 687,0 | 99,3 |
| Manganês | - | - | 630,9 | 97,3 |
| Mercúrio | 0,5 | 70 | 0,5 | 0,5 |
| Molibdênio | 30 | 120 | 0,5 | 0,5 |
| Nitrato | - | - | 66,7 | 56,2 |
| Níquel | 30 | 130 | 170,3 | 8,5 |
| Prata | 2 | 100 | 1,0 | 1,0 |
| Selênio | 5 | - | 1,0 | 1,0 |
| Vanádio | - | 1.000 | 122,4 | 59,3 |
| Zinco | 300 | 2.000 | 149,4 | 124,1 |

Tabela 6: Resultados do VRQ (percentil 75 – Q3) para cada classe de solo. Un. mg/kg.

Para as substâncias e elementos Al, B, Ca, Fe, Mg, Mn, Nitrato e V não há valores estabelecidos na Resolução CONAMA 420 como valores orientadores de prevenção e investigação (CONAMA, 2009). Para os demais parâmetros, os valores de referência de qualidade (VRQ) determinados estatisticamente apresentaram valores abaixo dos valores de prevenção e investigação, com exceção do arsênio, cobre, cromo, cádmio e níquel (>VP) e arsênio, cromo, cádmio e níquel (>VI) no solo cambissolo háptico Tb distrófico latossólico da Fm. Serra do Moinho.

Dentro desse domínio de solo está a unidade operacional da Equinox Gold de Pilar de Goiás, portanto esses deverão ser os valores de referência de qualidade a serem considerados nessa operação industrial segundo apregoa a norma do CONAMA 420 (CONAMA, 2009).

Água superficial

Com base nos resultados obtidos para águas superficiais, observa-se que todos os elementos estão com a concentração máxima abaixo do valor orientado de referência da resolução CONAMA 357 (CONAMA 2005), com a exceção de elemento **manganês total** que apresentou concentração igual a **0,166 mg/L** no ponto ASBG 01. Portanto, esse seria uma referência atual de valor de *background* geoquímico para este parâmetro.

Os elementos de interesse para área de estudo, arsênio, ferro, cromo, níquel e cádmio não apresentaram valores de concentração acima dos valores preconizados na resolução CONAMA 357 (CONAMA 2005), contudo, o trabalho aqui apresentado reporta somente uma campanha. Valores de *background* geoquímico para água superficial geralmente se reportam em faixas de concentração devido a variações sazonais típicas de amostras dessa natureza. Para a confirmação da faixa de valores determinados neste estudo, os pontos devem ser monitorados nos períodos de chuva e estiagem para avaliar as variações dos parâmetros de acordo com a sazonalidade.

Água subterrânea

Com base nos resultados obtidos para as águas subterrâneas, observa-se que a concentração do elemento alumínio esteve ligeiramente acima dos limites estabelecidos pela Resolução do CONAMA 396 (CONAMA, 2008). Mas apresentam uma concentração natural da área de estudo.

4 | CONCLUSÃO

O estudo foi realizado conforme preconizado na resolução ambiental do CONAMA 420/09 para região de Pilar de Goiás, visando subsidiar estudos de investigação ambiental de risco à saúde humana e ecológica.

Solos

A amostragem de solo foi realizada em três diferentes estações de monitoramento para cada classe de solo predominante nesta área, que seriam: cambossolos da Fm Serra do Moinho e Gr. Araxá. Além disso também foram investigados os solos em geral na área do empreendimento, servindo de embasamento para este estudo. Com base na metodologia adotada para definição de *background* para solos, os valores de **arsênio, cobre, cromo, cádmio e níquel** apresentam valores acima do valor de prevenção (VP) e **arsênio, cromo, cádmio e níquel** acima do valor de investigação (VI) da norma vigente para o cambissolo háplico Tb distrófico latossólico da Fm. Serra do Moinho. Esses valores são concentrações de referência para futuros trabalhos de investigação ambiental e de avaliação de risco à saúde humana e ecológica.

Águas Superficiais

A amostragem de águas superficiais foi realizada no Córrego do Amâncio e Rio Vermelho a montante do empreendimento e os resultados indicam uma boa qualidade da água sendo que todas as concentrações dos elementos analisados estão abaixo dos limites legais da resolução nacional (CONAMA 2005), com a exceção do **manganês total (Mn)** que foi de **0,166 mg/L**, portanto este seria o valor de *background* geoquímico para este elemento.

Água subterrânea

A amostragem de água subterrânea foi realizada em um poço a montante do empreendimento e os resultados indicam uma boa qualidade da água sendo que todas as concentrações dos elementos analisados estão abaixo dos limites legais, com a exceção do parâmetro **Alumínio (Al)** que foi de **0,312 mg/L**, enquanto o VMP é de apenas 0,10 mg/L.

É recomendado que os pontos de *background* geoquímico de água superficial e subterrânea possam ser monitorados mais vezes até que uma série histórica de mais de 3 ciclos hidrológicos se complete. Recomenda-se campanhas semestrais que contemplem a estação chuvosa e seca.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 15.847**: Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento – Métodos de purga. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

CFSEMG – Comissão de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. ed. Lavras. 1999. 359 p.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 17 mar. 2005.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução 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. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 03 abr. 2008.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 420 de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 28 dez. 2009.

ECHA - European Chemicals Agency. **General Report**. 2008.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília, DF. 2017. 573 p.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF. 2018. 356 p.

MATSCHULLAT, J.; OTTENSTEIN, R.; REIMANN, C. Geochemical Background – Can we calculate it?. **Environmental Geology**, vol. 39, n. 9, p. 990-1000. 2000.

MME - Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. **Folha SD.22 Goiás: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra**. v. 25. Rio de Janeiro. 1981.

RODRIGUES, A.; NALINI, H. Valores de background geoquímico e suas implicações em estudos ambientais. **Rev. Escola de Minas**, Ouro Preto, vol. 62, n. 2. 2009.

SANTOS, R. D. *et al.* **Manual de Coleta e Solo no Campo**. Viçosa, MG: SBCS. 2015. 102 p.

USEPA – United States Environmental protection Agency. **Method 3050 B**. 1998. Disponível em: <<https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/epa-3050b.pdf>>. Acesso em: jul. 2020.

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE DRENAGEM ÁCIDA E LIXIVIAÇÃO DE METAIS EM PILHAS DE ESTÉRIL E BARRAGEM DE REJEITOS DE MINERAÇÃO

Data de aceite: 01/02/2022

Data da submissão: 05/03/2022

Nathália Augusta Ferreira Sales Coutinho

Hidrogeo Engenharia e Gestão de Projetos
Belo Horizonte – MG
<http://lattes.cnpq.br/0842775933272753>

Flávio de Moraes Vasconcelos

Hidrogeo Engenharia e Gestão de Projetos
Belo Horizonte – MG
<http://lattes.cnpq.br/1482366665858095>

Hairton Costa Ferreira

Hidrogeo Engenharia e Gestão de Projetos
Belo Horizonte – MG
<http://lattes.cnpq.br/1562023823984090>

Marcos Rogério Palma

Pilar de Goiás Desenvolvimento Mineral/
Equinox Gold
Pilar de Goiás – GO

Denner Dias Ribeiro

Pilar de Goiás Desenvolvimento Mineral/
Equinox Gold
Pilar de Goiás – GO

RESUMO: As pilhas de estéril e a barragem de rejeito são as principais fontes de potencial contaminação dos recursos hídricos em uma área de mineração. Para fins de gestão ambiental destas fontes de contaminação, foi realizado um trabalho de caracterização e avaliação do potencial de geração de drenagem ácida de rocha e lixiviação de metais dessas estruturas. Foram

coletadas 48 amostras das pilhas de estéril e 10 amostras do material depositado na barragem de rejeitos. As amostras foram analisadas segundo as metodologias MABA, NAG, SPLP e ABNT NBR 10.006:2004. Concluiu-se que apesar de apresentar sulfetos, devido a capacidade de neutralização da acidez da geologia local (presença de carbonatos), o potencial de geração de drenagem ácida é pouco provável, ou inexistente. Observou-se baixo potencial de solubilização de compostos inorgânicos, com a exceção para os seguintes parâmetros: alumínio, arsênio, cianeto, prata e sulfato.

PALAVRAS-CHAVE: Oxidação de Sulfetos; Drenagem Ácida de Mina; Lixiviação de Metais.

ASSESSMENT OF THE POTENTIAL FOR ACID DRAINAGE AND METAL LEECHING IN WASTE ROCK DUMPS AND TAILINGS DAM

ABSTRACT: Waste rock dumps and tailings dam are the main sources of potential contamination of water resources in a mining area. For the purposes of environmental management of these sources of contamination, work was carried out to characterize and assess the potential for generating acidic rock drainage and metal leaching from these structures. Forty-eight samples were collected from the waste rock dumps and 10 samples of the material deposited in the tailings dam. The samples were analyzed according to the MABA, NAG, SPLP and ABNT NBR 10.006: 2004 methodologies. It was concluded that despite presenting sulfides, due to the ability to neutralize the acidity of local geology

(presence of carbonates), the potential for generating acid mine drainage is unlikely, or non-existent. A low solubilization potential of inorganic compounds was observed, except of the following parameters: aluminum, arsenic, cyanide, silver, and sulfate.

KEYWORDS: Sulfide Oxidation; Acid Mine Drainage; Metal Leaching.

1 | INTRODUÇÃO

A drenagem ácida de mina (DAM) é formada pela oxidação natural de minerais de sulfeto quando expostos ao ar e a água. Ao mesmo tempo podem ocorrer reações na interface dos minerais que podem gerar alcalinidade em solução. Atividades que envolvem a escavação de rochas que possuem minerais sulfetados, como a mineração, aceleram o processo de oxidação desses sulfetos, pois tais atividades aumentam a exposição desses minerais ao intemperismo e a micro organismos (Figura 1).

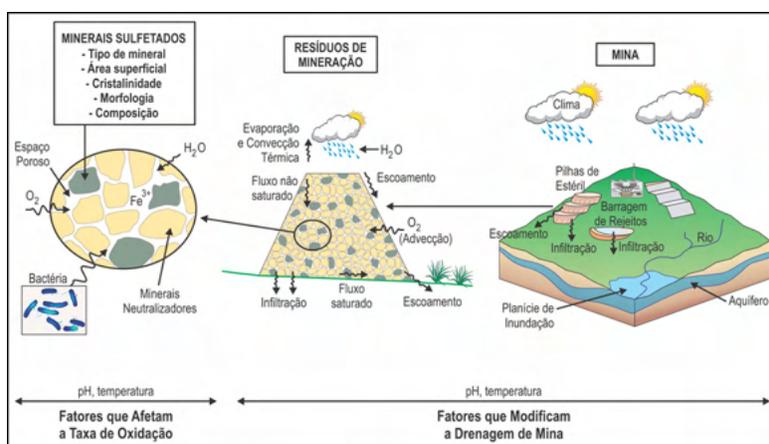


Figura 1: Fatores que afetam a geração de drenagem ácida em uma mineração (INAP, 2009).

A formação de drenagem ácida é difícil de ser estabilizada uma vez iniciada, pois trata-se de um processo que ocorre (e pode ser até mesmo acelerado) até que um dos reagentes (minerais de sulfeto, oxigênio, água) sejam esgotados ou não estejam mais disponíveis para a reação.

A adequada caracterização dos resíduos da mineração, a previsão da qualidade de drenagem e o manejo de resíduos de minas podem ser realizados, ou minimizados, na maioria dos casos, a formação de DAM. No entanto a prevenção deve começar na exploração mineral e continuar durante todo o ciclo de vida da mina. A indústria da mineração no mundo todo reconhece que o planejamento e gestão da DAM de forma contínua é imprescindível para a prevenção dos recursos hídricos locais.

A investigação da DAM acontece através de ensaios químicos laboratoriais que objetiva a caracterização do potencial de geração de ácido de uma amostra, sendo esse

método utilizado em uma primeira etapa do programa de determinação do potencial de DAM. Esse método define o balanço entre minerais potencialmente geradores de acidez e aqueles potencialmente consumidores de acidez.

A região de Pilar de Goiás é constituída por terrenos vulcano-sedimentares com baixo grau de metamorfismo sendo inserido do contexto de *greenstone belt* de idade arqueana. As unidades do *greenstone* estão divididas, da base ao topo, nas seguintes formações: Córrego Fundo, Cedrolina, Boqueirão e Serra do Moinho. Estas unidades consistem, respectivamente, em metakomatiitos, metabasaltos, rochas de origem química e rochas metassedimentares (BRIOGOLD EXPLORATION, 2017). Como a formação é carbonatada existe potencial de neutralização dentro das rochas encaixantes (lentes de calcixistos e mármore). A presença de carbonato de cálcio é reportada em todo o pacote de rochas e por vezes com mineralizações expressivas de calcita.

A mineralização de ouro é hospedada principalmente por clorita xisto e por quartzo clorita xisto intercalado. A alteração hidrotermal moderada a intensa é dada por veios de quartzo e sulfetação, com presença de pirita, pirrotita, arsenopirita e mais raramente calcopirita, galena e esfalerita. O ouro geralmente ocorre de graça em veias de quartzo ou nas bordas dos cristais de arsenopirita (BRIOGOLD EXPLORATION, 2017).

Neste contexto, o presente trabalho investigou o potencial de geração de drenagem ácida de rochas estéreis e rejeitos e lixiviação de metais, através de análises químicas nas amostras do empreendimento minerário da Equinox Gold em sua unidade de Pilar de Goiás.

2 | METODOLOGIA

2.1 Geologia regional e local

O empreendimento minerário da Equinox Gold localiza-se no município de Pilar de Goiás, no quadrante NW do Estado de Goiás. Saindo da cidade de Goiânia, o acesso se dá pela BR-153 a uma distância aproximada de 263 km.

Os principais componentes da unidade Pilar de Goiás são: 1 mina subterrânea, 3 depósitos de estéril, 1 área industrial, 1 barragem de rejeito, instalações administrativas, de apoio e infraestrutura.

As jazidas minerais às quais se associa o empreendimento estão compreendidas em um contexto geológico regional caracterizado pela ocorrência de um complexo arcabouço litológico e estrutural que ocorre de forma bem pronunciada marcando feições conhecidas como “Cinturões de Rocha” ou pelo termo “Greenstone Belts”, como se encontra na literatura específica mundial.

Foi realizada pesquisa bibliográfica da geologia regional e local da área a fim de ser possível correlacionar com as formações pedológicas locais.

2.2 Amostragem

O empreendimento mineral de Pilar de Goiás possui 3 pilhas de estéril denominadas Atalas, Pista e Grota, e uma barragem de rejeitos. Realizou-se a coleta de 48 amostras nas pilhas de estéril e 10 amostras na barragem de rejeitos para ensaios estáticos de potencial de drenagem ácida e lixiviação de metais, entre as amostras foram coletadas replicatas para o controle de qualidade, conforme Tabela 1.

| Local | Quantidade de amostras | QA/QC |
|----------------------|------------------------|-------|
| Pilha dos Atalas | 24 | 2 |
| Pilha da Pista | 12 | 1 |
| Pilha da Grota | 12 | 1 |
| Barragem de rejeitos | 10 | 1 |

Tabela 1: Amostragem nas pilhas de estéril e barragem de rejeitos.

Para realização da amostragem levou-se em consideração que as amostras coletadas devem medir o grau de representatividade das condições da área estudada. A distribuição e localização dos pontos de amostragem devem ser adequadas para fornecer a representatividade planejada.

Antes da realização da amostragem fez-se o reconhecimento da área para definição da malha de amostragem. Para retirada da amostra usou-se uma picareta e cavadeira manual, onde se realizou um furo inicial de aproximadamente 20 cm para retirada da superfície não representativa, e em seguida coletou-se o material abaixo dessa camada. As amostras foram peneiradas utilizando uma peneira de 2 mm, embaladas, identificadas e encaminhadas para o laboratório Campo em Paracatu/MG.

Todas as amostras das pilhas de estéril foram do tipo compostas (10 subamostras compõem uma amostra global), e na barragem de rejeitos foi do tipo pontual. Entre cada ponto de amostragem realizou-se a correta limpeza dos equipamentos, evitando contaminações cruzadas.

2.3 Ensaios estáticos de predição de drenagem ácida

O principal objetivo dos ensaios estáticos é a caracterização do potencial de geração de ácido de uma amostra, sendo esse método utilizado em uma primeira etapa do programa de determinação do potencial de DAM. Esse método define o balanço entre minerais potencialmente geradores de acidez e aqueles potencialmente consumidores de acidez. Os ensaios estáticos realizados em todas as amostras foram *Modified Acid Base Accounting* (MABA) - e *Net Acid Generation* (NAG).

O ensaio MABA comumente empregado na avaliação do potencial estático de geração de drenagem ácida, objetiva determinar o balanço entre a produção e o consumo

de ácido a partir de ensaios geoquímicos de determinada amostra. O teste consiste em coletar os seguintes parâmetros: Potencial de Neutralização (PN) e Potencial de Acidez (PA), expressos em kg CaCO₃/kg.

Para caracterizar uma amostra como potencialmente geradora de acidez, ou não geradora de acidez, são propostos uma série de critérios, a abordagem utilizada é do Guia de Drenagem Ácida (Gard Guide) (INAP, 2009):

- PN/PA < 1: Potencialmente Gerador de Acidez;
- 1 < PN/PA < 2: Potencial Incerto de Geração de Acidez;
- PN/PA > 2: Baixa Probabilidade de Gerar Acidez.

O teste NAG é a reação química de uma amostra com o catalisador peróxido de hidrogênio (H₂O₂), com o intuito de oxidar rapidamente os minerais sulfetados. As reações de potencial de neutralização e potencial de acidificação ocorrem simultaneamente resultando assim na quantidade de ácido gerado, por exemplo, um pH NAG inferior a 4,5 indica que a amostra está gerando ácido.

2.4 Ensaios cinéticos de solubilização e lixiviação de metais

Para a investigação do potencial de solubilização de metais das amostras da pilha de estéril e da barragem de rejeitos seguiu-se a metodologia ABNT NBR 10.006:2004 - Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos (ABNT, 2004a).

Para a investigação do potencial de lixiviação de metais seguiu-se a metodologia *Synthetic Precipitation Leaching Procedure* (SPLP) (USEPA, 1994).

Analisou-se 24 amostras das pilhas de estéril e 5 amostras do material da barragem de rejeitos nesta etapa.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Geologia regional e local

Na região central do Brasil, encontra-se a província Tocantins que é dividida entre três grupos principais de rochas: (i) Granitos Greenstones, que inclui os Greenstones de Pilar, Guarinos e Crixás; (ii) Rochas Máficas e Ultramáficas pertencentes aos complexos de Canabrava, Barro Alto e Niquelândia; (iii) Rochas da seqüência vulcano-sedimentar de Lucelândia, Coitezeiro e Palmeirópolis.

Os complexos gnáissicos da região (Pilar, Guarinos e Crixás) são geralmente compostos por Gnaisses tonalíticos, Biotita-granitos, Biotita-grandiorito e corpos pegmatíticos, além de feições intrusivas. Os Greenstone Belts são cobertos a Sul e a Norte por rochas sedimentares metamorfisadas de idade brasileira (Neoproterozóico) dos Grupos Araxá e Santa Teresina, respectivamente.

Em termos mais locais é possível individualizar na área em estudo, os Greenstone

Belts de Pilar e Guarinos, que são representados predominantemente por rochas vulcânicas básicas e metassedimentares. A feição estrutural mais notável das litologias do Greenstone relaciona-se à intensa deformação, em regime essencialmente dútil.

Nesta faixa aurífera verifica-se a presença de corpos de Xistos carbonosos pertencentes à Formação Serra do Moinho, sotoposta à Clorita-granada-xistos e Gnaisses félsicos e superposta à Talco-sericita-xistos da mesma formação. A Serra do Moinho é descrita pelo CPRM como Clorita-sericita-quartzo xisto, xisto carbonoso, muscovita-quartzo xisto, clorita-biotita xisto, muscovita quartzito, biotita xisto feldspático, xisto magnesiano e anfibolítico, talco-clorita xisto e formação ferrífera (metachert).

A paragênese mineralógica do depósito de Pilar pode ser identificada através da zona de alteração metamórfica proximal. Essa identificação do tipo de depósito é muito importante para ser possível constatar a mineralogia a ser esperada nessa jazida. Nesta classificação de depósito, o ouro ocorre associado aos sulfetos, comumente na arsenopirita, onde encontra-se nas bordas, incluso ou nas fraturas deste mineral. Pode-se apresentar também de forma livre em veios quartzo-carbonáticos com sulfetos.

Portanto, pode-se esperar que nesse depósito haverá capacidade de tamponamento da acidez gerada pelas pilhas de estéril, uma vez que a calcita também está presente nas rochas encaixantes e na zona mineralizada.

3.2 Amostragem

A Figura 3 apresenta a localização dos pontos de amostragem na pilha de estéril dos Atalas, a Figura 4 na pilha de estéril da Pista, a Figura 5 na pilha de estéril da Grota, e a Figura 6 a localização dos pontos na barragem de rejeitos.

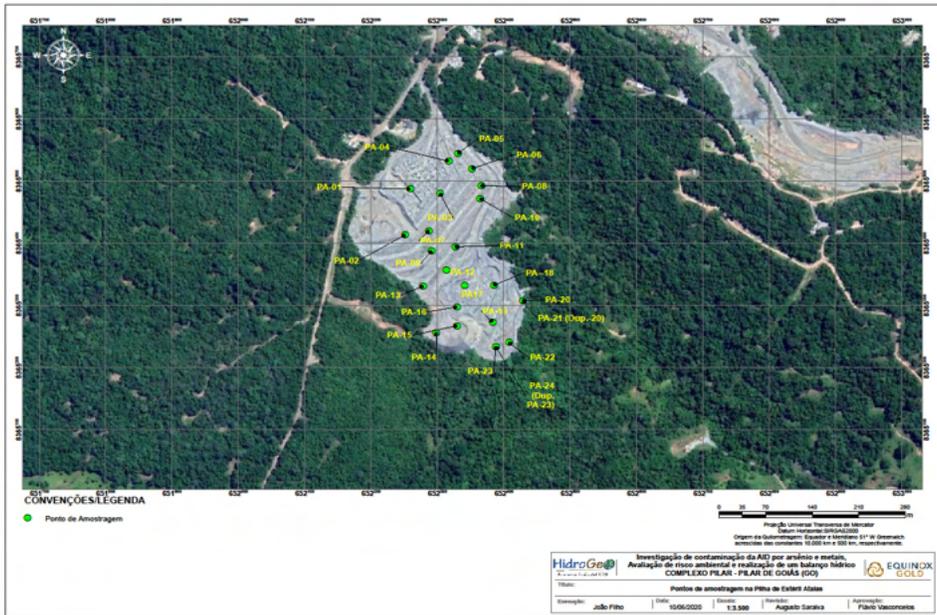


Figura 3: Localização dos pontos de amostragem na pilha de estéril dos Atalás.

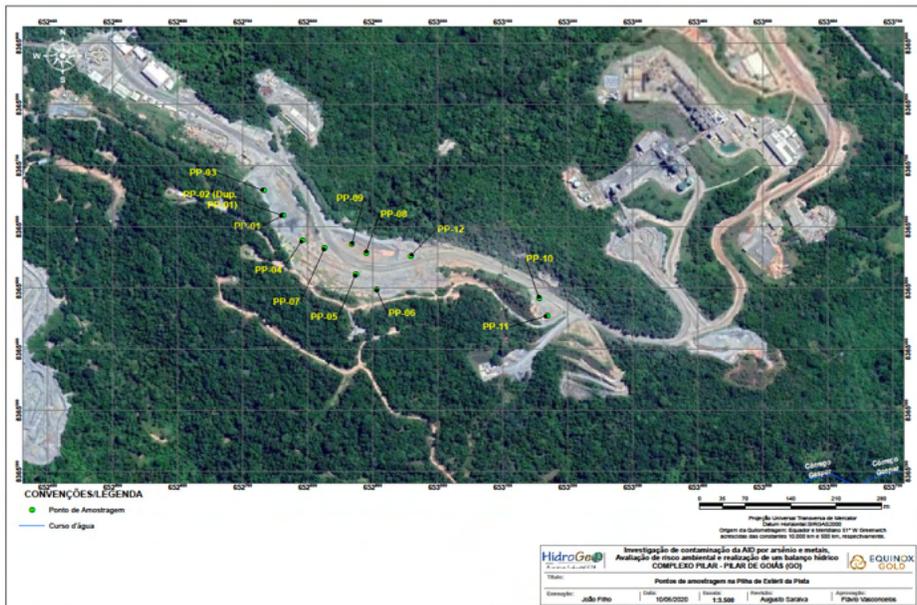


Figura 4: Localização dos pontos de amostragem na pilha de estéril da Pista.



Figura 5: Localização dos pontos de amostragem na pilha de estéril da Grota.

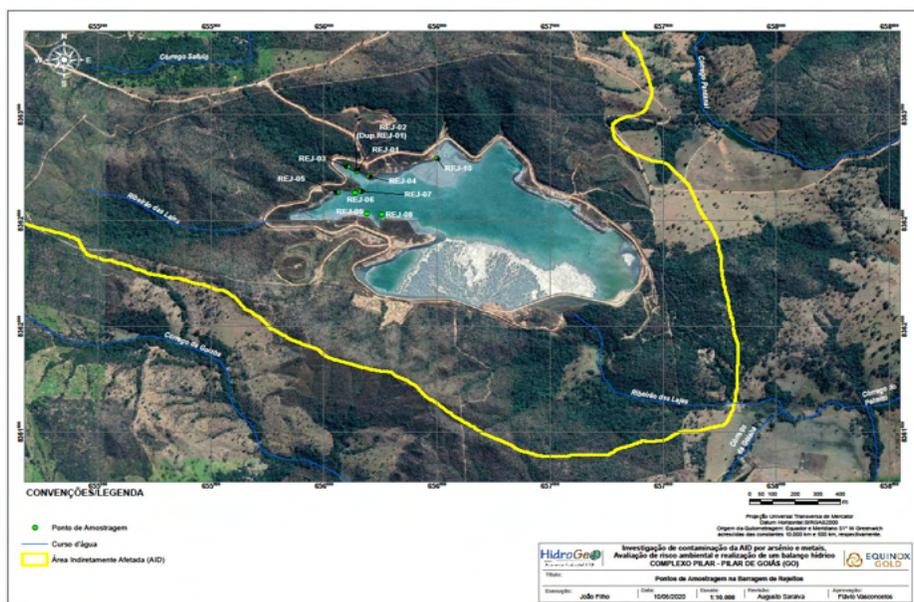


Figura 6: Localização dos pontos de amostragem na barragem de rejeitos.

3.3 Potencial de geração de drenagem ácida

Sulfato versus Enxofre Total

A relação entre Sulfato e Enxofre total demonstra o nível de oxidação das amostras caracterizadas. Ou seja, quando o sulfato for igual ao enxofre total, é indicado que a amostra se oxidou totalmente, já no caso em que o sulfato é igual a zero, este fato indica que 100% da amostra ainda está na forma de sulfeto.

Observa-se na Figura 7 que todas as amostras coletadas passaram por estágios de oxidação, apresentando assim uma oxidação parcial.

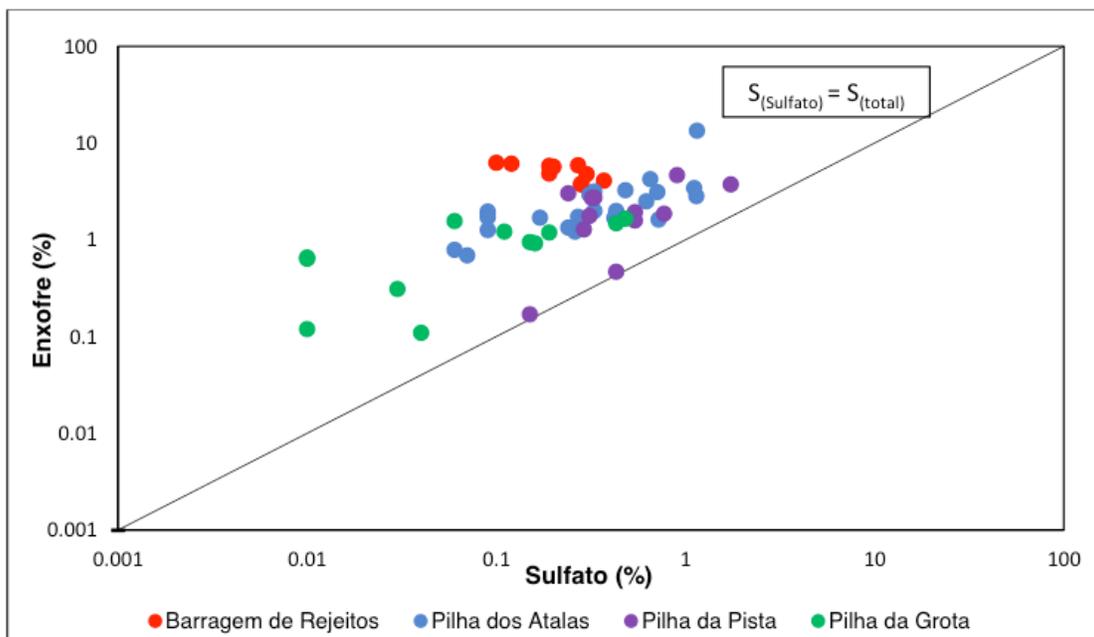


Figura 7: Gráfico de sulfato versus enxofre total.

Pode-se constatar que o processo de oxidação está em curso em todas as amostras coletadas nas pilhas de estéril e na barragem de rejeito. Lembrando que a barragem de rejeito é revestida em sua base por uma camada de polietileno de alta densidade (PEAD) e, portanto, é capaz de reter todos os sulfatos e metais dentro de sua estrutura.

Potencial de Neutralização (PN) e Potencial de Acidificação (PA)

A primeira avaliação pode ser aferida a partir da razão entre esses dois parâmetros. Observa-se que os resultados são semelhantes em todos os pontos no qual as amostras apresentam valores maiores que 4,0, Figura 8. Esses valores podem ser interpretados como de baixo potencial gerador de acidez, ou até mesmo inexistente.

O mesmo padrão de comportamento foi reportado nos últimos anos desde que esse projeto de mineração teve sua retomada de atividades. Os trabalhos desenvolvidos anteriormente apresentam o mesmo padrão de resultados (AECOM, 2012a; AECOM, 2012b; EGI, 2013a; EGI, 2013b). Portanto é possível concluir que o aprofundamento das atividades de lavra subterrânea não atingiu nenhum nível mais sulfetado e com maior potencial de geração de acidez.

Potencial de Neutralização (PN), Potencial de Acidificação (PA) e NAG pH

As amostras não apresentaram $\text{pH} < 4,5$. Dessa forma, todas as amostras submetidas a este teste podem ser classificadas como não geradora de acidez como apresentado na Figura 9.

Observa-se que mesmo após um ataque de uma solução oxidante o pH gerado ainda fica maior que 4,5 e em sua média por volta de 5,5 sugerindo um baixo potencial de geração de acidez a curto e médio prazo. Esse mesmo padrão também foi observado em estudos anteriores (AECOM, 2012a; EGI, 2013a).

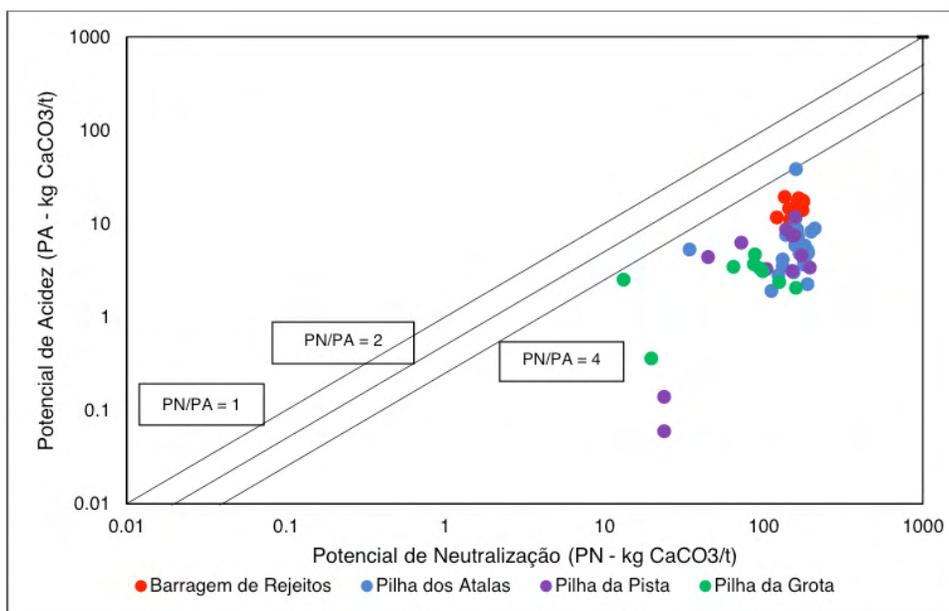


Figura 8: Gráfico da relação de potencial de neutralização (PN) versus potencial de acidificação (PA).

O mesmo padrão de comportamento foi reportado nos últimos anos desde que esse projeto de mineração teve sua retomada de atividades. Os trabalhos desenvolvidos anteriormente apresentam o mesmo padrão de resultados (AECOM, 2012a; AECOM, 2012b; EGI, 2013a; EGI, 2013b). Portanto é possível concluir que o aprofundamento das

atividades de lavra subterrânea não atingiu nenhum nível mais sulfetado e com maior potencial de geração de acidez.

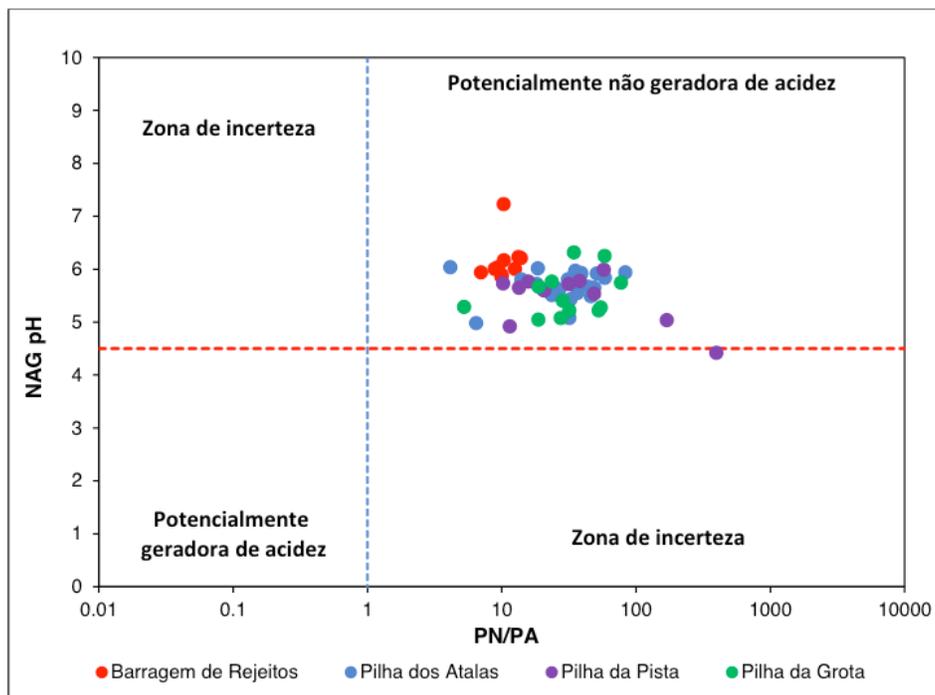


Figura 9: Gráfico da relação entre a razão PN/PA e pH do ensaio de NAG.

3.4 Potencial de solubilização e lixiviação de metais

Os resultados dos ensaios de solubilização foram comparados com os padrões para o ensaio apresentados no anexo G da norma ABNT 10.004 (ABNT, 2004b). Observa-se que os seguintes compostos químicos apresentaram potencial de solubilização: **alumínio, arsênio, cianeto, prata e sulfato**.

O cianeto total está associado ao processo de beneficiamento da amostra de rejeito e não à geologia local. Esse parâmetro somente aparece nas amostras coletadas na barragem de rejeito. Os parâmetros alumínio, arsênio, prata e sulfato são de origem da geologia local, a partir da mineralogia dos depósitos, o ouro está associado aos sulfetos (principalmente pirita (FeS), pirrotita (Fe_{1-x}S) e arsenopirita (FeAsS) e às vezes galena (PbS) e esfalerita (ZnS)). No caso da arsenopirita (FeAsS) se espera que ocorra a solubilização de arsênio. Em relação aos outros metais, espera-se que estes possam solubilizar devido à oxidação dos outros sulfetos. O alumínio está associado a silicatos presentes na mineralogia local (feldspatos e até óxidos de alumínio) e podem se solubilizar com a existência de acidez localizada intersticialmente entre grãos que possuem sulfetos.

Como mencionado anteriormente, o parâmetro cianeto total origina-se da etapa de extração do ouro, que é solubilizado em solução contendo cianeto nos tanques de lixiviação, e depois recuperado por carvão ativado (LOTTERMOSER, 2010). Os resíduos não aproveitáveis são direcionados à barragem de rejeito. Isso pode ser evidenciado uma vez que o parâmetro cianeto total apresenta valor acima do valor máximo permitido (VMP) somente na barragem de rejeito. Apesar do alto valor de cianeto total direcionado a barragem de rejeito, visando proteger o meio ambiente (principalmente solo e lençol freático), a estrutura de contenção é envelopada por geomembrana PEAD (polietileno de alta densidade). Esta geomembrana, especificamente, é resistente a meios agressivos como meios ácidos e atua principalmente como barreira impermeável com o intuito de controlar infiltrações, percolação ou fluxos de água.

A eficácia da geomembrana PEAD é evidenciada a partir dos resultados de água subterrânea. Visto que em condições geoquímicas, a água subterrânea, é um indicador de carga contaminante móvel, portanto, o material não oferece risco de contaminação ao lençol freático. Pode-se verificar que os valores da água subterrânea da barragem de rejeito estão abaixo de 0,07 mg/L (VMP – Valor Máximo Permitidos para cianeto conforme CONAMA N°396) (HIDROGEO ENGENHARIA E GESTÃO DE PROJETOS, 2020; CONAMA, 2008).

A norma utilizada para a lixiviação de metais (USEPA, 1994) não indica valores de referência técnica para avaliar os resultados de forma objetiva. Utiliza-se então a experiência profissional para definir os parâmetros que apresentaram potencial de lixiviação. Neste caso, os parâmetros que apresentaram um potencial de lixiviação por este ensaio foram: ferro total, manganês total e níquel total.

O parâmetro ferro total foi lixiviado de todas as amostras da barragem de rejeito, 59% das amostras da pilha de estéril Atalas, 42% das amostras da pilha de estéril da pista e uma amostra da pilha de estéril da Grota.

Com relação ao manganês total foi observado que duas amostras coletadas na barragem de rejeito, duas amostras da pilha de estéril Atalas, duas amostras da pilha de estéril da Pista e três amostras da pilha de estéril da Grota este parâmetro apresentou concentração mais elevada. Já com relação ao níquel total foi evidenciado somente em duas amostras da pilha de estéril da Pista que esse elemento ocorre em maior concentração.

Os dados de monitoramento ambiental deste empreendimento indicaram que um poço de monitoramento de água subterrânea localizado a jusante da pilha de estéril Atalas está solubilizando os metais lixiviados: ferro total, manganês total e níquel total. Isso pode ser evidenciado nos valores das análises de água subterrânea visto que esses metais citados se encontram acima do VMP (Valor Máximo Permitido) da norma CONAMA 396 (CONAMA, 2008). O valor de ferro total segundo a norma é de 0,1 mg/L, manganês total é de 0,1 mg/L e já o valor de níquel total é de 0,02 mg/L.

4 | CONCLUSÃO

Os resultados foram interpretados segundo metodologia internacional apresentada no Guia de Drenagem Ácida de Rocha (INAP, 2009) e concluem que apesar das amostras serem compostas por sulfetos, devido a capacidade de neutralização da acidez da geologia local (i.e., presença de carbonatos), o potencial de geração de drenagem ácida é pouco provável, ou inexistente.

O potencial de solubilização e lixiviação de metais e outros compostos inorgânicos aniônicos foram encontrados nos pontos selecionados de amostragem. Contudo, a barragem de rejeito é impermeabilizada com manta de PEAD que não apresenta nenhum potencial de contaminação do lençol freático local. Resultados de monitoramento de água subterrânea comprovam essa hipótese de que não está ocorrendo a solubilização de metais e cianeto para a água subterrânea local.

Em relação às pilhas de estéril, o potencial de solubilização e lixiviação de metais (Al, Ag, Fe, Mn, Ni e As) e de sulfato existe. Este fato é corroborado pelo monitoramento hídrico realizado em poços a jusante da pilha de estéril dos Atalas.

A partir desse estudo poderá se avaliar melhor os riscos ambientais associados a estas fontes de contaminação. Caso a pluma esteja dentro da área da operação e não exista captação do recurso hídrico subterrânea, fica caracterizado uma ausência de risco. Nesse caso o foco passará a ser o controle da fonte, que seria a cobertura das pilhas, que é um procedimento internacionalmente aceito e de comprovada eficácia, geralmente executado em planos de fechamento de mina.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 10004**: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004b.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 10006**: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004a.

AECOM. **Projeto Conceitual da PDE da Grota Pilar de Goiás (GO)**. 308-1870-0010-RT-001-R2. 2012a.

AECOM. **Estudo Geoquímico para Avaliação do Potencial de Contaminação na barragem de Rejeitos a ser implantada no projeto Pilar. Pilar de Goiás (GO)**. 305-1870-0009-RT-003. 2012b.

BRIOGOLD EXPLORATION. **Exploration Report**. 2017.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução 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. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 03 abr. 2008.

EGI. **Stage 1 Geochemical Review Report**. 2013a.

EGI. **Stage 2 Site Visit Report Geochemistry and Recommendations for Tailings Management Pilar Project.** 2013b.

HIDROGEO ENGENHARIA E GESTÃO DE PROJETOS. **Investigação da contaminação na AID por arsênio e metais.** HDG-20P005-RH-RT-001-00. 2020.

INAP - International Network for Acid Prevention. **Global Acid Rock Drainage Guide.** Skellefteå, Sweden. 2009.

LOTTERMOSEER, B. G. **Mine Wastes: Characterization, Treatment and Environmental Impacts.** 3 ed. Australia. 2010.

USEPA - United States Environmental Protection Agency. **Synthetic Precipitation Leaching Procedure.** 1994. 30p

ESTUDO DE TRATABILIDADE DA ÁGUA DA CAVA DA MINERAÇÃO RIACHO DOS MACHADOS PARA DESCARTE DO EFLUENTE

Data de aceite: 01/02/2022

Data da submissão: 05/03/2022

Flávio de Moraes Vasconcelos

Hidrogeo Engenharia e Gestão de Projetos
Belo Horizonte – MG
<http://lattes.cnpq.br/1482366665858095>

Nathália Augusta Ferreira Sales Coutinho

Hidrogeo Engenharia e Gestão de Projetos
Belo Horizonte – MG
<http://lattes.cnpq.br/0842775933272753>

Igo de Souza Tavares

Hidrogeo Engenharia e Gestão de Projetos
Belo Horizonte – MG

Ernesto Machado Coelho Filho

Equinox Gold – Mineração Riacho dos
Machados
Riacho dos Machados - MG

Luiz Lourenço Fregadolli

Equinox Gold – Mineração Riacho dos
Machados
Riacho dos Machados - MG

RESUMO: Devido ao grande volume pluviometria registrada no mês de março de 2021 na cava da Mineração Riacho dos Machados (MRDM), houve a interrupção das atividades de lavra mineral e foi necessário realizar um descarte emergencial da água acumulada na cava no Rio Piranga. Para que esta atividade ocorresse, o efluente em questão passou por testes de tratabilidade com o objetivo de adequação de alguns parâmetros tais como: pH e metais (Zn,

Mn e Ni), antes do seu descarte. O princípio de tratamento identificado como o mais eficaz foi o da adição de cal hidratada a 150 ppm a 10% (30 kg/h), 36 ppm PAC a 18% (40 L/h) e 1 ppm de polímero a 0,1% (200 g/h). Após a dosagem de reagentes, o efluente percorre um canal com brita calcária, na granulometria de 50 a 76 mm, de forma que os reagentes se misturem. Esse tipo de cenário é possível de ocorrer, em época de maior precipitação, em diversas atividades de extração de minério sulfetado e o presente trabalho apresenta os resultados deste tipo de tratamento ativo de efluente de mineração.

PALAVRAS-CHAVE: Tratabilidade de Efluentes, Descarte Emergencial, Mineração de ouro e DAM.

STUDY OF MINING WATER TREATABILITY FROM RIACHO DOS MACHADOS MINING FOR EFFLUENT DISPOSAL

ABSTRACT: Due to the large volume of rainfall recorded in Março de 2021 in open pit of the Mineração Riacho dos Machados (MRDM), mineral mining activities were interrupted, and it was necessary to carry out an emergency discharge of the water accumulated in the open pit into Piranga River. For this activity to occur, the effluent in question was submitted to a treatment test with the objective of compliance of some chemical parameters before disposal, such as: pH and metals (Zn, Mn and Ni). The treatment principle identified as the most effective was the addition of hydrated lime at 150 ppm at 10% (30 kg/h), 36 ppm PAC at 18% (40 L/h) and 1 ppm polymer at 0.1 % (200 g/h). After the dosage of

reagents, the effluent goes through a water drainage with a substrate of limestone, with a particle size of 50 to 76 mm, so the effluent can be mixed. This type of scenario is possible to occur, during raining season, in several sulphide ore mines and this work presents the results of this type of activity developed for mining effluent treatment before discharge.

KEYWORDS: Effluent Treatability, Emergency effluent discharge, Gold Mining and AMD.

1 | INTRODUÇÃO

O descarte da água da cava é feito normalmente na barragem de rejeito da Mineração Riacho dos Machados (MRDM). Entretanto, devido ao grande volume de água na cava ocasionado pelo intenso período chuvoso dos meses de fevereiro e março de 2021, necessitou-se de um descarte emergencial desta água no Rio Piranga. Para autorização deste descarte, é necessário que seja realizado um estudo ambiental antes do descarte de forma que efluente atenda a legislação local para o descarte em curso de água classe 2, conforme regulamenta Deliberação Normativa Estadual de Minas Gerais (DN COPAM/CERH 01/2008) (COPAM, 2008).

1.1 Área de estudo

A Mineração Riacho dos Machados está localizada na região norte do Estado de Minas Gerais, a aproximadamente 145 km da cidade de Montes Claros e a sudoeste do município de Riacho dos Machados.

1.2 Estudos de tratabilidade

A adequada caracterização da água da cava em termos de qualidade e vazão (m^3/h) assim como a área disponível para tratamento é de fundamental importância para a avaliação das possíveis técnicas de tratamento. A gestão do efluente a ser descartado deve se atentar a três aspectos técnicos necessário para a avaliação de sistemas de tratamento: qualidade do efluente, tempo das reações ocorrerem e a área disponível para a instalação de um sistema de tratamento de efluente.

2 | METODOLOGIA

2.1 Amostragem

Foram coletadas amostras de água em dois pontos da cava, sendo uma no lago da cava norte e outra no lago da cava sul visando a caracterização de parâmetros inorgânicos conforme o CONAMA 430 (CONAMA, 2011). As amostras foram coletadas no dia 16/03/2021 entre as 10 e 17 h, em uma profundidade 0,50 m utilizando o equipamento garrafa de van dorn. Foram coletados também 30 litros deste efluente para ensaios de tratabilidade por método ativo.

No local de amostragem foram realizados ensaios físico-químicos utilizando a sonda

multiparâmetro Hanna Modelo HI 98.194. As amostras foram coletadas em recipientes adequados e preservadas com reagentes específicos para cada análise a ser realizada. A preservação das amostras tem por objetivo retardar a ação biológica e a alteração dos compostos químicos; reduzir a volatilidade ou precipitação dos constituintes e os efeitos de adsorção; e/ou preservar organismos, evitando ou minimizando alterações morfológicas, fisiológicas e de densidades populacionais, em todas as etapas da amostragem (coleta, acondicionamento, transporte, armazenamento, até o momento do ensaio).

As amostras foram enviadas para os laboratórios, acondicionadas com gelo, dentro do prazo de análise dos parâmetros. Os laboratórios são acreditados pela Norma ABNT NBR ISO/IEC 17.025 (ABNT, 2017) para os parâmetros analisados.

2.2 Caracterização química do efluente bruto

Para a caracterização do efluente bruto, foi realizada a análise química, segundo a resolução CONAMA 430 (CONAMA, 2011), contemplando os seguintes parâmetros: pH; sulfato; metais totais e dissolvidos (arsênio, alumínio, bário, boro, cádmio, chumbo, cobre dissolvido, bromo, ferro, manganês, mercúrio, níquel, prata, selênio, zinco).

2.3 Estudo de tratabilidade de efluente pelo método ativo

A utilização da cal hidratada (Ca(OH)_2) para o tratamento de efluente de mineração é uma das técnicas mais empregadas. Cerca de 75% das operações de mineração que apresentam problemas com a acidez e a solubilização de metais utilizam esse tipo de reagente para aumentar a alcalinidade do efluente e conseqüentemente causar a precipitação de metais (INAP, 2009).

Os testes de tratabilidade determinaram a quantidade de reagente utilizada no tratamento do efluente e o volume de lodo gerado. Para este caso, estima-se cerca de 3% de lodo a ser gerado neste tratamento. A cal hidratada é normalmente adquirida na forma de pó a granel. A cal pode ser adicionada como uma dispersão controlada de pó na água ou como uma pasta de cal. A cal hidratada é particularmente útil e econômica em situações de grande fluxo e alta acidez, onde uma planta de tratamento de cal com um misturador / aerador é construída para ajudar a dispensar e misturar o produto químico com a água (INAP, 2009).

O tratamento ativo do efluente tem como objetivos (i) a redução de sólidos totais dissolvidos e (ii) redução das concentrações de metais, em especial níquel e manganês. A Figura 1 representa o esquema de tratamento utilizado em laboratório para os ensaios de tratabilidade.

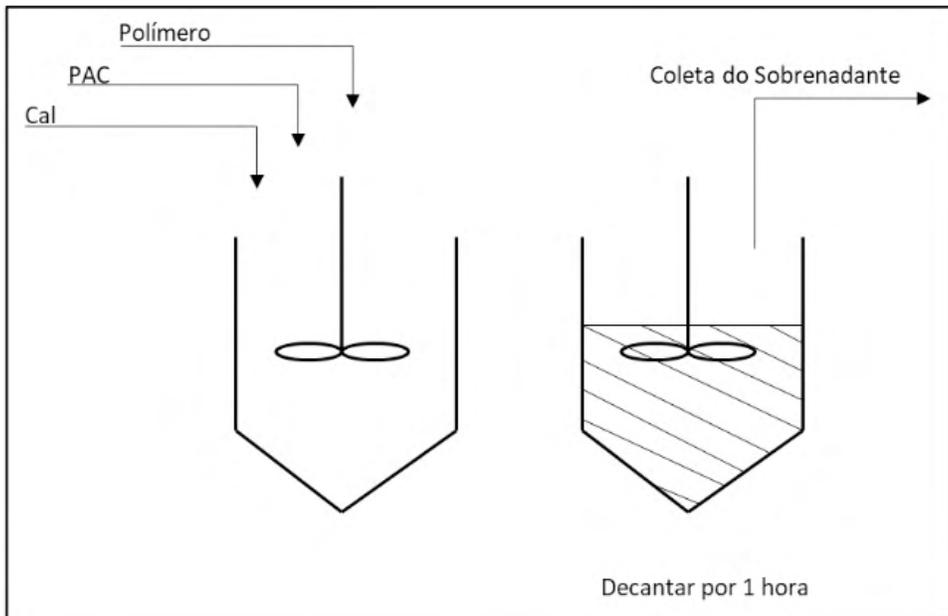


Figura 1: Desenho esquemático dos testes de tratabilidade.

A amostra foi testada em três condições, com quantidades diferentes dos insumos químicos flocculantes/coagulantes, sendo eles:

| Características | Teste 1 | Teste 2 | Teste 3 |
|---------------------------------|---------|---------|---------|
| Cal hidratada a 10% (mL) | 2,0 | 1,5 | 2,0 |
| PAC (mL) | 0,3 | 0,2 | 0,1 |
| Floculante Polímero 0,1% (mL) | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Agitação durante a adição (min) | 5 | 5 | 5 |
| Decantação (min) | 60 | 60 | 60 |
| Geração de lodo (mL/L) | 20,0 | 15,0 | - |

Tabela 1: Características dos ensaios de tratabilidade realizados.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Amostragem

Na Tabela 2 estão apresentados os dados de georreferenciamento dos pontos de coleta das amostras.

| Localização | Identificação | Coordenadas UTM Datum WGS-84 Zona 23K | | |
|----------------|---------------|--|---------|----------|
| | | mE | mN | Cota (m) |
| Cava Sul | AM-01-CS | 699199 | 8223305 | 709 m |
| Cava Sul* | AM-02-CS | 699199 | 8223305 | 709 m |
| Cava Norte | AM-03-CN | 699319 | 8223854 | 725 m |
| Dique de Finos | AM-04-DQ | 698509 | 8223587 | 842 m |

Tabela 2: Identificação dos pontos de amostragem.

* Amostra para o estudo de tratabilidade.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados das análises físico-químicas realizados no efluente em campo.

| Parâmetro | Unidade | AM-01-CS | AM-03-CN | AM-04-DQ |
|----------------------------|------------------|----------|----------|----------|
| pH | - | 6,87 | 7,40 | 6,83 |
| ORP | mV | 188,0 | 204 | 269,3 |
| OD | mg/L | 1,67 | 1,60 | 1,67 |
| Condutividade Elétrica | $\mu\text{S/cm}$ | 1.878 | 2.712 | 484 |
| Sólidos Totais Dissolvidos | ppmtds | 940 | 1.357 | 242 |
| Temperatura | °C | 27,29 | 29,81 | 28,18 |

Tabela 3: Análises físico-químicas realizados em campo.

3.2 Caracterização química do efluente bruto e estudo de tratabilidade

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados de caracterização química do efluente bruto, o qual apresentou concentrações elevadas de zinco, manganês e níquel, e os resultados destes parâmetros em cada condição de teste de tratabilidade do efluente.

| Parâmetros | Limites | Efluente bruto | Teste 1 | Teste 2 | Teste 3 |
|------------------|-----------|----------------|---------|---------|-------------|
| pH (unid. de pH) | 6,0 – 9,0 | 7,8 | 8,10 | 8,89 | 9,93 |
| Zinco (mg/L) | 0,18 | 0,30 | 0,1 | 0,02 | --- |
| Manganês (mg/L) | 0,1 | 2,05 | 0,57 | 0,02 | 0,04 |
| Níquel (mg/L) | 0,025 | 1,19 | 0,11 | 0,06 | <0,02 |

Tabela 4: Análise físico-química do efluente bruto e após o tratamento nas diferentes condições experimentais.

3.3 Projeto conceitual de tratabilidade do efluente

A MRDM forneceu os dados do volume da água da cava ao longo do ano de 2020. A partir das informações dimensionou-se a tratabilidade de 200 m³/hora do efluente e os seguintes reagentes utilizados:

- 150 ppm Cal a 10% – 30 kg/h de cal;
- 36 ppm PAC a 18% – 40 L/h de PAC;
- 1 ppm de polímero a 0,1% – 200 g/h de polímero.

Em suma o processo se resume em:

1. O ponto de dosagem será localizado a montante da barragem e após o bombeamento do efluente da cava;
2. Serão dosados a cal, PAC e polímero em quantidades definidas;
3. Será utilizado a cal em gel pois não necessita nem preparo;
4. As dosagens serão feitas com intervalo de cerca de 2 metros entre um ponto e outro;
5. Os primeiros 50 metros da canaleta de drenagem serão revestidos com brita calcária, na granulometria de 50 a 76 mm, de forma que a água da cava possa percorrer esse material e se misture com a cal hidratada e o polímero;
6. Espera-se que haja um acúmulo de lodo na canaleta, porém não é relevante, uma vez que este procedimento diminuirá o assoreamento no dique de finos.

Na Figura 2 está apresentado o esquema de tratabilidade e descarte do efluente da cava da MRDM.

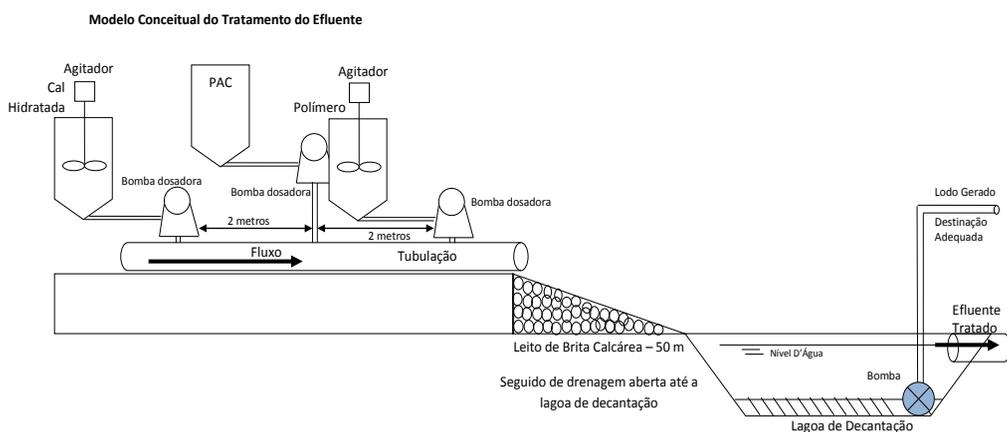


Figura 2: Modelo conceitual do tratamento da água da cava.

4 | CONCLUSÃO

Os resultados das análises químicas da água da cava, juntamente com a série histórica de dados do efluente, indicaram que o método mais apropriado para o tratamento da água da cava Sul e Norte é a partir da adição de cal hidratada, polímeros e floculantes (PAC).

O modelo conceitual de tratabilidade do efluente da cava da MRDM foi definido e após a dosagem dos reagentes, este efluente irá percorrer um leito de brita calcária (50 a 76 mm) de 50 m, que poderá promover a agitação do efluente e a mistura dos reagentes. Assim, o efluente deverá chegar ao dique de finos em condições para descarte. O tratamento proposto deverá atingir eficiência na redução significativa para metais possibilitando o seu descarte no dique de finos e em seguida no Rio Piranga.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 17.025**: Requisitos Gerais para Competência de Laboratórios de Ensaio e Calibração. Rio de Janeiro: ABNT. 2017.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 13 abr. 2011.

COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/ CERH-MG N° 1, de 05 de Maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 05 mai. 2008.

INAP - International Network for Acid Prevention. **Global Acid Rock Drainage Guide**. Skellefteå, Sweden. 2009.

MEDIÇÃO DE DESCARGA LÍQUIDA: MÉTODO DO MÓLINETE NA BACIA DO RIO JI-PARANÁ (RONDÔNIA)

Data de aceite: 01/02/2022

Data de submissão: 05/03/2022

Renato Billia de Miranda

Departamento de Hidráulica e Saneamento
Universidade de São Paulo – USP
São Carlos, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5481911659053087>

Frederico Fábio Mauad

Departamento de Hidráulica e Saneamento
Universidade de São Paulo – USP
São Carlos, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2888462035279167>

Denise Parizotto

Departamento de Hidráulica e Saneamento
Universidade de São Paulo – USP
São Carlos, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4222345802909518>

RESUMO: As medições da vazão são essenciais no monitoramento de cursos d'água, fornecendo informações importantes na tomada de decisão do gerenciamento de bacias hidrográficas. Das diversas técnicas de medição de vazão algumas premissas são essenciais na otimização do estudo e na diminuição dos custos. Sendo assim, o estudo teve como objetivo principal apresentar o levantamento de dados de três seções do rio Ji-Paraná, no estado de Rondônia empregando um método convencional de mensuração entre os dias 23 a 25 de abril de 2014. O estudo realizou o levantamento das seções com uso de instrumentos de auxílio considerando os

parâmetros hidráulicos do rio. A partir dos resultados encontrados da Seção 1, Seção 2 e Seção 3, a maior vazão média foi encontrada na Seção 2, 4.392,82 m³/s e a menor na Seção 3, 4.036,69 m³/s e a área da Seção 1 é menor do que a Seção 3, no entanto, a profundidade é maior na Seção 1. A pesquisa levantou informações primárias de campo que, apesar de envolver custos servem de suporte no monitoramento do rio Ji-Paraná e poderão ser utilizados para fins comparativos anuais e de estudos futuros.

PALAVRAS-CHAVE: método do molinete, vazão, Bacia do Rio Ji-Paraná, medição de grandes rios.

LIQUID DISCHARGE MEASUREMENT: WINDLASS METHOD IN THE JI-PARANÁ RIVER BASIN (RONDÔNIA)

ABSTRACT: Flow measurements are essential in watercourse monitoring, providing important information in watershed management decision making. Of the different flow measurement techniques, some assumptions are essential in optimizing the study and reducing costs. Therefore, the main objective of the study was to present the data collection of three sections of the Ji-Paraná river, in the state of Rondônia, using a conventional measurement method between April 23 to 25, 2014. sections with the use of aid instruments considering the hydraulic parameters of the river. From the results found in Section 1, Section 2 and Section 3, the highest average flow was found in Section 2, 4,392.82 m³/s and the lowest in Section 3, 4,036.69 m³/s and the area of Section 1 is smaller than Section 3, however, the depth is greater in Section 1. The research collected primary field information that, despite

involving costs, support the monitoring of the Ji-Paraná River and can be used for annual comparative purposes and for future studies.

KEYWORDS: Windlass method, flow, Ji-Paraná River Basin, measurement of large rivers.

1 | INTRODUÇÃO

Os rios dependem do ciclo hidrológico que em excesso as águas drenadas encontram os mares (LEOPOLD, 1962). Trazendo a importância dos rios, o rio Ji-Paraná desagua no rio Madeira, pertencente à bacia Amazônica. Na obtenção de informações de rios, no estudo da Hidrometria, os levantamentos de dados utilizam instrumentos de medição do perfil vertical divididos em subseções e distâncias (SANTOS et al., 2001, MIRANDA et al., 2019). Nesse sentido, as medições das descargas líquidas são primordiais no conhecimento das condições hídricas para criar planos como, manejos sustentáveis, controle de cheias, dimensionamento de barragens fornecendo suporte da quantidade disponível na bacia (AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS - ANA, 2014, SOUZA et al., 2017, CARVALHO et al., 2014, MIRANDA et al., 2019).

Uma das influências da vazão é o clima, nos períodos secos a vazão diminui e períodos chuvosos aumenta (PALHARES et al., 2007). A vazão depende de cálculos numéricos e técnicas de medição que consideram ser possível conhecer as condições dos cursos d'água. Os métodos para medição da vazão mais encontrados nos estudos são os molinetes hidrométricos, os Velocímetros Acústicos de efeito Doppler (ADV), flutuadores, sensores eletromagnéticos e perfilhadores acústicos com efeito doppler (SOUZA et al., 2017).

As diversas opções de equipamentos para medição permitem realizar escolhas de acordo com a precisão e os custos. Para grandes rios a determinação da vazão comumente empregada são os métodos acústico e do molinete hidrométrico (ANA, 2014). A inviabilidade de custos em alguns casos permite empregar o método do molinete. Diante disso, o objetivo principal da pesquisa é apresentar a metodologia e a medição da vazão em seções pontuais pelo método do molinete hidrométrico no rio Ji-Paraná, no estado de Rondônia.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo utilizou os equipamentos de medições a campo para o levantamento dos dados das seções pontuais no rio Ji-Paraná considerando a determinação dos dados processados para medição da descarga líquida (vazão).

2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado na bacia do Ji-Paraná, no estado de Rondônia (Figura 1). Na classificação de Köppen o clima de Rondônia é predominantemente Aw – Clima Tropical

Chuvoso. A média anual de precipitação é entre 1400 e 2600 mm e o período de junho, julho e agosto são os meses que registram as menores precipitações, abaixo de 20 mm/mês (FURLAN, 2013). Além disso, possui a contribuição de seus principais afluentes: Urupá, Rolim de Moura, Jarú, Machadinho e Preto (KRUSCHE et al., 2005, MIRANDA, et al., 2019).

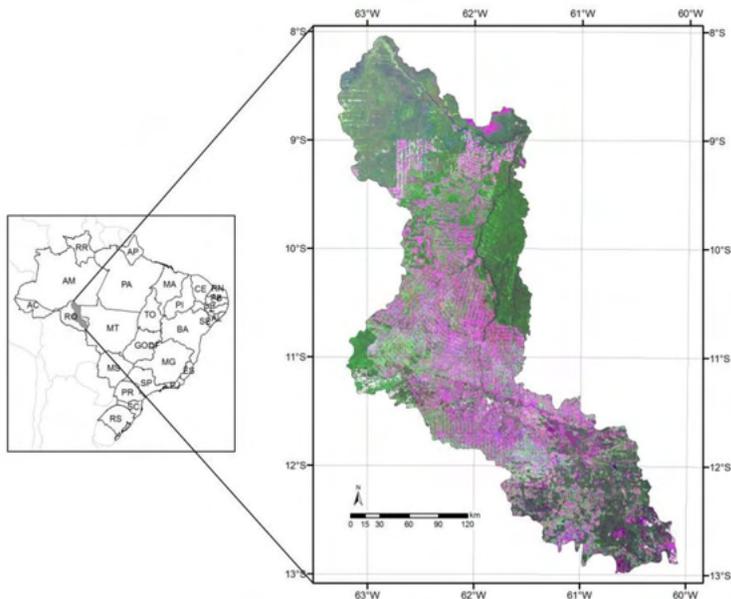


Figura 1 – Localização da bacia do rio Ji-Paraná (VICTORIA *et al.*, 2011).

2.2 Seções da área de estudo

Foram realizados o levantamento de três seções topobatimétricas no rio Ji-Paraná (RO). A primeira campanha foi pré-estabelecida a campo em 2013, servindo como referência de estruturação e planejamento da campanha em 2014. A seguir na Figura 2 apresentam as seções do estudo e a régua linimétrica – Ponto 480.

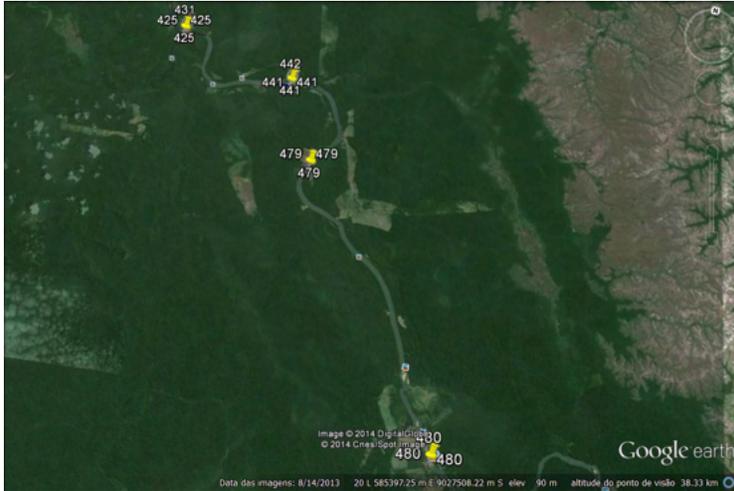


Figura 2 – Localização das três seções e da régua linimétrica (Ponto 480 – Google Earth, 2014).

Cada seção foi estabelecida com o uso do GPS de mão, marca Garmim® modelo Etrex. A Figura 3 ilustra as Seções 1, 2 e 3 dos pontos coletados no GPS.



Figura 3 – Levantamento dos pontos coletados da Seção 1 (a), Seção 2 (b) e Seção 3 (c).

A Tabela 1 apresenta os detalhes das coordenadas geográficas das Seções 1, 2 e 3.

| Seções | Coordenadas margem Esquerda (Pi) | Coordenadas margem Direita (Pf) |
|--------|----------------------------------|---------------------------------|
| 1 | 580076.46 m E / 9032124.59 m S | 580447.93 m E / 9032062.03 m S |
| 2 | 578107.21 m E / 9037812.20 m S | 578122.70 m E / 9038379.27 m S |
| 3 | 570038.36 m E / 9040755.07 m S | 570066.81 m E / 9041160.18 m S |

Tabela 1 – Coordenadas UTM no datum WSG84 (zona 20) das Seções de 1 a 3.

2.3 Medição da descarga líquida (vazão)

Para a determinação da vazão, a Equação da Continuidade (Equação 1) é a expressão mais empregada na Hidrometria. A expressão considera os métodos de medição direta de vazão, obtida por intermédio da velocidade de fluxo com a área da seção.

$$Q = v.A \quad \text{(Equação 1)}$$

Em que:

Q: Vazão [m³/s];

v: Velocidade do fluxo [m/s];

A: Área da seção [m²].

A metodologia adotada para medição da vazão apresenta pressupostos de grandezas importantes e que foram essenciais na resolução dos cálculos. Conforme a sequência das etapas descritas a seguir e as respectivas Figuras 4, 5 e 6 demonstram o desenvolvimento da metodologia antes de mencionar o método por molinete.

A área da seção transversal é definida como a área molhada, no qual é ocupada por água (Figura 4).

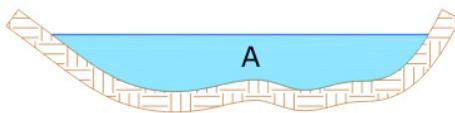


Figura 4 – Área molhada (MIRANDA et al., 2019).

O comprimento da linha horizontal, conforme Figura 5, representa a largura superficial (L) que faz o contorno da área molhada - interface água-ar.

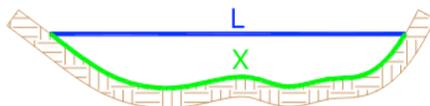


Figura 5 – Perímetro molhado e largura superficial (MIRANDA et al., 2019).

Referentes aos pontos inicial (PI) e final (PF), o ponto PI é identificado na margem do curso d'água pelas distâncias horizontais da seção. A materialização do marco do ponto corresponde a uma estaca ou um concreto. E o PF localiza-se na margem oposta à do PI, representado pelo alinhamento da seção hidrométrica.

A linha imaginária representada pela vertical é localizada na seção hidrométrica e perpendicular à superfície livre, onde são efetuadas as medidas de velocidade. E para a distância entre duas verticais (l) é de acordo com a distância horizontal entre duas verticais consecutivas [m].

Por último, a condição da profundidade da vertical (p) corresponde a distância vertical entre a linha d'água e o leito do rio, tomada abaixo de uma vertical [m]. E a área entre duas verticais (a) é a extensão molhada delimitada por duas verticais consecutivas.

A Figura 6 exemplifica alguns dos parâmetros detalhados anteriormente.

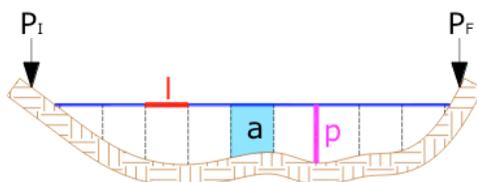


Figura 6 – Ponto inicial e final, distância entre verticais, área entre verticais e profundidade da vertical (MIRANDA et al., 2019).

2.4 Medição de vazão por molinete

Esta seção foi descrita de acordo com o estudo de Miranda et al., (2019).

O molinete hidrométrico mede integralmente a velocidade do escoamento no tubo de corrente a partir do local inserido. A Figura 7 apresenta os principais componentes do molinete.

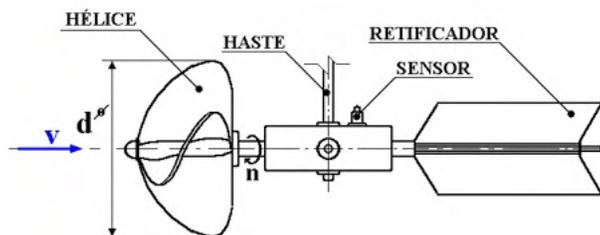


Figura 7 – Principais componentes de um molinete hidrométrico de eixo horizontal (SOUZA et al., 2005, MIRANDA et al., 2019).

O princípio de funcionamento dos molinetes é relativamente simples. As hélices, ao girar, emitem impulsos elétricos, que são transformados em sinais sonoros ou registrados por contadores digitais. Cada sinal corresponde a uma rotação completa da hélice. As

rotações são registradas ou contadas durante um período pré-definido (por exemplo, 40 segundos). Dividindo-se o número total de rotações pelo tempo, tem-se o valor em rotações por segundo (RPS).

Cada molinete, ao ser adquirido, é acompanhado de uma curva de calibragem e uma equação própria (Equação 2), do tipo:

$$v = a \cdot n + b \quad \text{(Equação 2)}$$

Em que:

v: velocidade [m/s];

n: número de rotações por segundo [RPS];

a e b: constantes do molinete.

Com isso, de posse do valor de n, obtém-se a velocidade no ponto considerado. Além do molinete, os equipamentos utilizados nas medições vão depender das características do rio. Em rios pequenos e rasos, a medição pode ser executada a vau, ou seja, com o hidrometrista dentro d'água. Em rios grandes, deve-se realizar as medições embarcadas. Para tanto, serão necessários o barco propriamente dito, um guincho hidrométrico (tipo de carretilha, equipada com cabo de aço, na qual é acoplado o molinete), lastros para o molinete, e um cabo guia para a embarcação. Deve-se nesse caso, dar atenção especial ao alinhamento do barco, uma vez que a corrente tenderá a deslocar o mesmo para jusante do alinhamento da seção.

O perfil de velocidade em um rio não é uniforme, apresentando geralmente velocidade maior no centro do que nas margens. Da mesma forma, a velocidade é geralmente menor no fundo do rio do que na superfície. Então utilizar apenas uma medição de velocidade pode resultar em uma estimativa errada da velocidade média.

Portanto, para obter uma boa estimativa da velocidade média, mede-se a mesma em diversas seções verticais, e em vários pontos ao longo destas seções verticais. A Figura 8 representa uma seção de medição de largura "L" com as verticais indicadas e os pontos de medição.

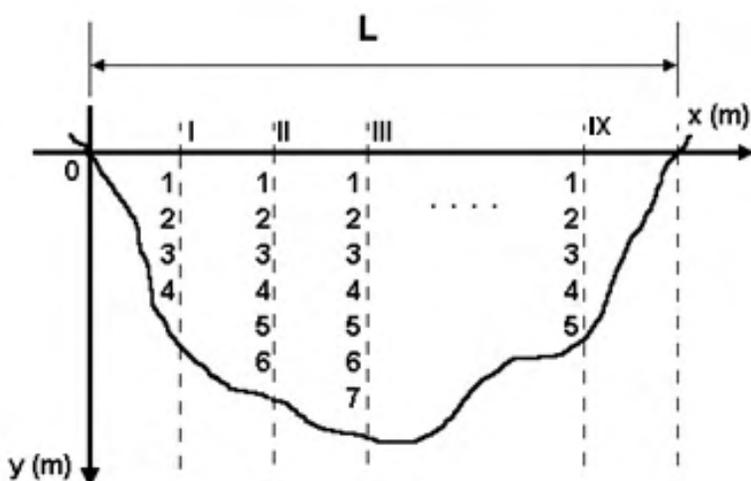


Figura 8 – Exemplo de verticais e pontos de medição (SOUZA et al., 2005).

O processo de medição com o molinete hidrométrico inicia-se com o alinhamento exato da seção e a fixação da corda (ou cabo) graduada entre as margens. Desse modo, conhecida a largura do rio, estipula-se a distância entre cada vertical. A Tabela 2, adaptada de Santos et al., (2001), apresenta o número de pontos de medição em uma vertical de acordo com a profundidade do rio e a Tabela 3 apresenta o número de seções verticais recomendado conforme a largura do rio.

| Profundidade (m) | Nº de pontos | Posição dos pontos |
|------------------|--------------|-------------------------------|
| 0,15 a 0,60 | 1 | 0,6p |
| 0,60 a 1,20 | 2 | 0,2p e 0,8p |
| 1,20 a 2,00 | 3 | 0,2p, 0,6p e 0,8p |
| 2,00 a 4,00 | 4 | 0,2p, 0,4p, 0,6p e 0,8p |
| > 4,00 | 6 | S, 0,2p, 0,4p, 0,6p, 0,8p e P |

Tabela 2 – Número e posição de medição na vertical recomendados de acordo com a profundidade do rio.

Fonte: Santos *et al.* (2001).

| Largura do rio (m) | Distância das verticais (m) |
|--------------------|-----------------------------|
| < 3 | 0,3 |
| 3 a 6 | 0,5 |
| 6 a 15 | 1,0 |
| 15 a 30 | 2,0 |
| 30 a 50 | 3,0 |
| 50 a 80 | 4,0 |
| 80 a 150 | 6,0 |
| 150 a 250 | 8,0 |
| > 250 | 12,0 |

Tabela 3 – Distância recomendada entre verticais, de acordo com a largura do rio.

Fonte: Santos et al., (2001).

A Tabela 2 mostra que são recomendadas muitas medições na vertical, porém, frequentemente, as medições são feitas com apenas dois pontos na vertical, mesmo em rios com profundidade maior que 1,20 m. O motivo é que para realizar todas as medidas, requer muito tempo o que pode viciar estas medidas, visto que pode haver alterações no regime hidrológico durante o tempo de medidas.

A medição de vazão está baseada na medição de velocidade em muitos pontos. A integração do produto da velocidade da corrente pela área abrangida por esta corrente é a vazão do rio. Para isso calcula-se a velocidade média da corrente para cada seção vertical e considera-se esta velocidade média com abrangência na área do perfil e áreas próximas a esta seção vertical.

A área de uma subseção é dada pela Equação 3.

$$A_i = p_i \left(\frac{(d_i + d_{i+1})}{2} - \frac{(d_{i-1} + d_i)}{2} \right) = p_i \left(\frac{d_{i+1} - d_{i-1}}{2} \right) \quad (\text{Equação 3})$$

Em que:

A_i : área de uma subseção [m²];

i : vertical que está sendo considerada [adimensional];

p_i : profundidade no ponto i [m];

d : distância da vertical até a margem [m].

Desse modo, a vazão é obtida da integração do produto da velocidade pela área de uma subseção (Equação 4).

$$Q = \sum_{i=1}^N v_i \cdot A_i \quad (\text{Equação 4})$$

3 | RESULTADOS

3.1 Medição da vazão (Seção 1)

A Figura 9 apresenta o perfil vertical dos pontos que foram mensurados da Seção 1.

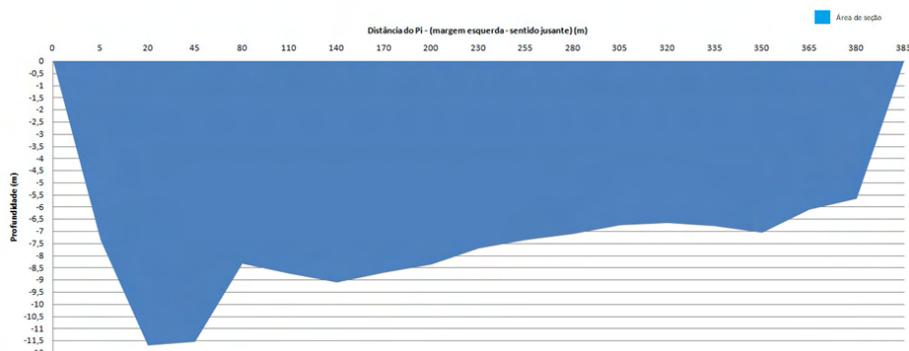


Figura 9 – Perfil vertical da Seção 1.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados obtidos de profundidade, velocidade média e a vazão da Seção 1. Observou-se na Seção 2 uma profundidade média de 7,10 m, largura de 383 m, a velocidade média de 1,30 m/s, área da Seção de 3.129,18 m² e a vazão de 4.074,78 m³/s.

| Parâmetros | Valores | Unidade |
|-----------------------------|---------|-------------------|
| Profundidade média da seção | 7,10 | m |
| Largura da seção | 383 | m |
| Velocidade média | 1,30 | m/s |
| Área da seção | 3129,18 | m ² |
| Descarga líquida (vazão) | 4074,78 | m ³ /s |

Tabela 4 – Parâmetros obtidos da Seção 1.

3.2 Medição da vazão (Seção 2)

A Figura 10 apresenta o perfil vertical dos pontos que foram mensurados da Seção 2.

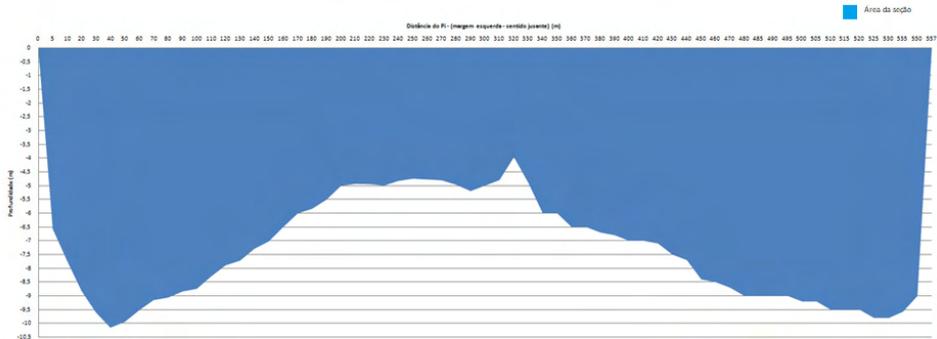


Figura 10 – Perfil vertical da Seção 2.

Na Tabela 5 são apresentados os resultados obtidos de profundidade, velocidade média e a vazão da Seção 2. Observou-se na Seção 2 uma profundidade média de 7,10 m, largura de 557 m, a velocidade média de 1,1091 m/s, área da Seção de 3.961,78 m² e a vazão de 4.393,82 m³/s.

| Parâmetros | Valores | Unidade |
|------------------------------------|---------|-------------------|
| Profundidade média da seção | 7,10 | m |
| Largura da seção | 557 | m |
| Velocidade média | 1,1091 | m/s |
| Área da seção | 3961,78 | m ² |
| Descarga líquida (vazão) | 4393,82 | m ³ /s |

Tabela 5 – Parâmetros obtidos da Seção 2.

3.3 Medição da vazão (Seção 3)

A Figura 11 apresenta o perfil vertical dos pontos que foram mensurados da Seção 3.

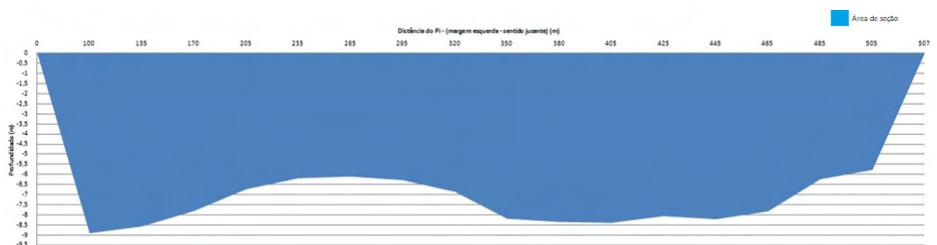


Figura 11 – Perfil da Seção 3.

Na Tabela 6 são apresentados os resultados obtidos de profundidade, velocidade média e a vazão da Seção 3. Observou-se na Seção 3 uma profundidade média de 6,59 m, largura de 507 m, a velocidade média de 1,17 m/s, área da Seção de 3.463,66 m² e a

vazão de 4.036,69 m³/s.

| Parâmetros | Valores | Unidade |
|------------------------------------|---------|-------------------|
| Profundidade média da seção | 6,59 | m |
| Largura da seção | 507 | m |
| Velocidade média | 1,17 | m/s |
| Área da seção | 3463,66 | m ² |
| Descarga líquida | 4036,69 | m ³ /s |

Tabela 6 – Parâmetros obtidos da Seção 3.

Conforme os resultados encontrados da Seção 1, Seção 2 e Seção a maior vazão média foi encontrada na Seção 2, 4.392, 82 m³/s e a menor na Seção 3, 4.036,69 m³/s. Essa diferença pode ser justificada do perfil vertical das Figuras 9 e 11 notando que a área da Seção 1 é menor que a Seção 3, no entanto, a profundidade é maior na Seção 1. Com a distância entre as margens menor na Seção 1 se comparada a Seção 3 isso explica o resultado da velocidade ser superior e conseqüentemente a vazão.

Comparando os dados do presente estudo com os estudos de Rocha (2014) e Miranda et al., (2019) a vazão de todas as seções foram maiores. Em 2014, houve ocorrências de precipitações intensas com riscos de inundação (CPRM, 2015) representando as diferenças discrepantes das descargas das seções. Outro ponto a discutir são as profundidades que conseqüentemente foram maiores caracterizando que precipitações intensas saturam o solo e podem ocorrer o deslizamento de material mesmo em locais estáveis (SEDAM, 2018), assim nota-se que as profundidades das Seções em 2014 foram superiores ao estudo de Miranda et al., (2019) justificando pelas concentrações de materiais sólidos presentes.

A partir da série temporal ANA de 1978 a 2015 as vazões máximas registradas na estação Tabajara mostraram que os anos de 2013 e 2014 foram as maiores, para 2014 a vazão foi de 5.373 m³/s (NOBRE; PEREIRA; CAMPOS, 2021), sendo valor mais próximo das Seções 1 a 3.

4 | CONCLUSÃO

As medições da vazão nas seções pelo método do molinete forneceram informações importantes considerando que as distâncias das margens influenciaram nos demais parâmetros, assim a Seção 2 apresentou a maior vazão das demais.

Outra importância remete no levantamento de dados a campo que, apesar de envolver custos servem de suporte no monitoramento do rio Ji-Paraná e poderão ser utilizados para fins comparativos anuais e novos estudos que abrangem as influências sofridas na bacia.

Por fim, cabe destacar que estudos como esses reforçam a importância e relevância

de aplicações de técnicas de medição de descarga líquida em grandes cursos d'água, tendo em vista que ainda há carência em publicação de trabalhos dessa natureza e na divulgação de dados primários.

FONTES FINANCIADORA

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Medição de descargas líquida em grandes rios: manual técnico**. Brasília: ANA; SGH, 2014.

CARVALHO, R. R.; TARTARI, R.; RADMANN, V.; PAGANI, C. H. P. Monitoramento da vazão em rios da região sul do Amazonas. **Revista EDUCAmazônia**, v.12, n. 1, p. 8-27, 2014.

FURLAN, Deise Nunes. **Efeito da mudança do uso e cobertura do solo nos balanços hídrico e energético da bacia do rio Ji-Paraná (RO) utilizando dados multitemporais de sensoriamento remoto**. 2013. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

GOOGLE EARTH (2014). **Imagens das seções topobatimétricas**. Disponível em: <http://www.google.com/earth>.

KRUSCHE, A. V.; BALLESTER, M. V. R.; VICTORIA, R. L.; BERNARDES, M. C.; LEITE, N. K.; HANADA, L.; VICTORIA, D. D.; TOLEDO, A. M.; OMETTO, J. P.; MOREIRA, M. Z.; GOMES, B. M.; BOLSON, M.A.; NETO, S. G.; BONELLI, N.; DEEGAN, L.; NEILL, C.; THOMAS, S.; AUFDENKAMPE, A. K.; RICHEY, J. E. **Efeitos das mudanças do uso da terra na biogeoquímica dos corpos d'água da bacia do rio Ji-Paraná, Rondônia**. Acta Amazônica, n. 2, v. 35, 2005, p. 197- 205.

LEOPOLD, Luna. B. **Rivers**. American Scientist, v. 50, n. 4, 1962.

MIRANDA, R. B.; RUEZZENE, C. B.; SANTOS, B. B.; MAUAD, F. F. Batimetria e medição de vazão na Bacia do rio Ji-Paraná – RO. As Engenharias frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente 2. **Editora Atena**, 2019.

NOBRE, M. R.P.; PEREIRA, M.S.; CAMPOS, R. Estudo de vazões máximas de projeto usando uma distribuição de Gumbel. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, 2021.

PALHARES, J. C. P.; RAMOS, C.; KLEIN, J. B.; LIMA, J. M.M.; MULLER, S.; CESTONARO, T. **Medição da Vazão em Rios pelo Método do Flutuador**. Comunidade Técnico: Embrapa, p. 1-4, 2007.

ROCHA, F. F. **Influência da mata ciliar no transporte de sedimentos na bacia do Rio Ji-Paraná**. 2014. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Rondônia, Ji-Paraná, 2014.

SANTOS, *et al.* **Hidrometria Aplicada**. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, Curitiba, 2001.

SECRETARIA DO ESTADO DO DESENVOLVIMENTO AMBIENTAL DE RONDÔNIA (SEDAM/RO). **Relatório de Etapa (RE 01) para a elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Rondônia**, 408 p, 2018.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). CPRM – 08/2015. **Ação Emergencial para Delimitação de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Enchentes, Inundações e Movimentos de Massa**.

SOUZA, Z. *et. al.* **Hidrometria básica**. Itajubá: UNIFEI/ANA, 2005.

SOUZA, J. W. F.; PARNAÍBA, M. A.; ANDRADE, P. L.; SOUZA, B. M. Otimização do método dos molinetes com ajuste do perfil hidrodinâmico para a estimação da descarga líquida em corpos hídricos usando recursos de interpolação e integração numérica. **Revista Principia**, p. 61-68, 2017.

VICTORIA, Daniel, de Castro; ANDRADE, Ricardo, Guimarães.; PAZ, A. R. **Banco de dados hidrometereológicos do projeto HidroJipa**. Circular Técnica: Embrapa, p. 1-13, 2011.

CAPÍTULO 20

APLICAÇÃO DE MATRIZ FILTRANTE DESFLUORETADORA, COMPOSTA POR SISTEMA CÉRIA/CARVÃO ATIVADO DE COCO (*Coccus nucifera* L.), EM ÁGUAS COMPLEXAS DO SEMIÁRIDO PARAIBANO

Data de aceite: 01/02/2022

Data de submissão: 10/03/2022

Carlos Christiano Lima dos Santos

Universidade Estadual da Paraíba
Campina Grande - PB
<http://lattes.cnpq.br/7640673721712364>

Poliana Sousa Epaminondas Lima

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia da Paraíba
Cabedelo-PB
<http://lattes.cnpq.br/9063853858441646>

João Jarllys Nóbrega de Souza

Universidade Federal da Paraíba
João Pessoa - PB
<http://lattes.cnpq.br/1850252824638592>

Tainá Souza Silva

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia da Paraíba
Catolé do Rocha - PB
<http://lattes.cnpq.br/1331865934382387>

Rodrigo Lira de Oliveira

Universidade Federal Rural de Pernambuco
Recife - PE
<http://lattes.cnpq.br/8523811836244962>

Carlo Reillen Lima Martins

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia da Paraíba
Cabedelo-PB
<http://lattes.cnpq.br/7469254343842744>

Ilauro de Souza Lima

Universidade Estadual da Paraíba
Campina Grande - PB
<http://lattes.cnpq.br/1158096949448136>

Ana Sabrina Barbosa Machado

Universidade Estadual da Paraíba
Campina Grande - PB
<http://lattes.cnpq.br/2901817261273630>

Maria Soraya Pereira Franco Adriano

Universidade Federal da Paraíba
João Pessoa - PB
<http://lattes.cnpq.br/2127915426885622>

Alexandre Almeida Júnior

Universidade Federal da Paraíba
João Pessoa - PB
<http://lattes.cnpq.br/1920011950255763>

Isabela Albuquerque Passos Farias

Universidade Federal da Paraíba
João Pessoa - PB
<http://lattes.cnpq.br/1441252821082400>

Fabio Correia Sampaio

Universidade Federal da Paraíba
João Pessoa - PB
<http://lattes.cnpq.br/7549914789004407>

RESUMO: Neste estudo, a partir de matriz filtrante e desfluoretadora, nanoestruturas de óxido de cério (VI) (céria, CeO₂) e seus compósitos (carvão ativado / CeO₂ com 0%, 1%, 10% e 20% de CeO₂), utilizando coco (*Coccus nucifera* L.), busca-se apresentar uma proposta acessível e sustentável de tratamento de água, com ação principal ou secundária, que

contribua na mitigação das altas incidências de fluorose (dentária e esquelética) encontradas no semiárido paraibano, em especial, na cidade de São João do Rio do Peixe localizada na microrregião de Cajazeiras, Paraíba. Todas as sínteses foram realizadas a 120°C, com diferentes intervalos de tempo (1, 5, 15, 30 e 60 minutos), para a obtenção do CeO₂; e 30 minutos para os compósitos do sistemas Carvão/CeO₂, através dos compósitos com 0, 1, 10, e 20% de CeO₂. As propriedades estruturais, morfológicas e adsorptivas (flúor) dos materiais desfluoretadores foram avaliadas, respectivamente, por difração de raios-X (DRX), microscópio eletrônico de varredura de alta resolução (HR-SEM) e por potenciometria de flúor (Método direto e indireto). A fase do óxido de cério foi confirmada por análise de DRX através dos planos característicos do material, e a presença de sua deposição de compósito foi confirmada por análise de EDX. Os resultados potenciométricos de flúor (método indireto) foram realizados em escala de laboratório e os resultados mais promissores foram constatados nas matrizes de maior concentração de céria (10 a 20%), atribuindo ao compósito com 10% do óxido a melhor proposta de catalisador. A partir desses resultados uma alternativa viável, de baixo custo e ambientalmente correta, utilizando resíduos do agronegócio local, como matéria-prima para a produção de matriz desfluoretadora, com ação principal ou secundária, que pode ser aplicada na redução de flúor em nascentes do sertão paraibano.

PALAVRAS-CHAVE: Sustentabilidade, desfluoretação, fluorose, água.

ACTION OF A DEFLUORINATING FILTER MATRIX, COMPOSED OF A CERIA SYSTEM/ACTIVATED CARBON FROM COCONUT (*Coccus nucifera* L.), IN COMPLEX WATERS OF PARAÍBA'S SEMI-ARID REGION

ABSTRACT: This study aims to present an affordable and sustainable proposal for water treatment from a filtering and defluorinating matrix, with primary or secondary action, from cerium (VI) oxide nanostructures (Cerium, CeO₂) and its composites (activated carbon / CeO₂ with 0%, 1%, 10% and 20% of CeO₂) using coconut (*Coccus nucifera* L.), which contributes to mitigate the high incidences of fluorosis (dental and skeletal) found in the semi-arid region of Paraíba, especially in the city of São João do Rio do Peixe located in the micro-region of Cajazeiras, Paraíba. All syntheses were carried out at 120°C, with different time intervals (1, 5, 15, 30, and 60 minutes), to obtain CeO₂; and 30 minutes to obtain the composites of the Charcoal/CeO₂ system, through the composites with concentrations of 0%, 1%, 10%, and 20% of CeO₂. The structural, morphological and adsorptive (fluorine) properties of the defluorinating materials were evaluated respectively by X-ray diffraction (XRD), high resolution scanning electron microscope (HR-SEM) and by fluorine potentiometry (direct and indirect method). The cerium oxide phase was confirmed by XRD analysis through the characteristic planes of the material, and the presence of its composite deposition was confirmed by Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX). Fluoride potentiometric results (indirect method) were performed on a laboratory scale and the most promising results were found in matrices with higher concentration of cerium (10% to 20%), assigning the composite with 10% of cerium (VI) oxide the best catalyst proposal. From these results a viable, low-cost and environmentally friendly alternative, using residues from local agribusiness as raw material for the production of defluoridation matrix, with primary or secondary action, can be applied in the reduction of fluoride in water sources in Paraíba's semi-arid region.

KEYWORDS: Sustainability, defluoridation, fluorosis, water.

1 | INTRODUÇÃO

Nos dias atuais tem se evidenciado que a água é um recurso escasso em decorrência das intensas estiagens observadas no Brasil e no mundo ao longo dos anos. Dessa forma, visto que a água é essencial para a sobrevivência dos seres vivos, há uma preocupação com a disponibilidade dos recursos hídricos para a população no futuro.

Para que a água seja considerada adequada para o consumo humano no Brasil, é necessário que ela esteja dentro dos padrões de potabilidade estabelecidos na Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017). Dentro desse contexto, um elemento que é analisado é o flúor.

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2011) e a Portaria 2.914/11 do Ministério da saúde (BRASIL, 2011; BRASIL, 2017) é importante que o sal de flúor (fluoreto) esteja presente na água, pois o mesmo é capaz de manter os ossos e dentes saudáveis, caso esteja em concentrações adequadas. Contudo, se concentração de flúor estiver acima de 1,5 mg/L é um indicador de deterioração da qualidade da saúde. Esse fenômeno afeta mais de 25 países e atinge cerca de 260 milhões de pessoas (MARTINS et al., 2018).

No Brasil é constatado um grande consumo de água fluoretada (em torno de 60%), classificando o país como o segundo maior sistema de fluoretação do mundo (BRASIL, 2010), sendo necessário a utilização assistida deste elemento (OMS, 2011; BRASIL, 2011; BRASIL, 2017), para dosagens inferiores a 1,5 mg/L, podendo provocar efeitos tóxicos ao organismo humano (CARVALHO et al., 2011). Como exemplo destes problemas, tem-se a fluorose, dentária e óssea, com registros de sua incidência em regiões como Rio Grande do Sul (6,13 mg. L⁻¹), Minas Gerais (11 mg. L⁻¹), São Paulo (12 mg. L⁻¹), e no estado da Paraíba como nas cidades de São João do Rio do Peixe e Catolé do Rocha, (9,3 mg. L⁻¹) (MARTINS et al., 2012).

Diferentemente de algumas áreas urbanas do Nordeste, o domínio de fluorose dentária em crianças no interior da Paraíba, a exemplo do município de São João do Rio do Peixe, alto sertão do estado, está intimamente associada com a concentração de flúor em água, visto que este recurso ainda é o principal veículo para a ingestão de flúor nesta região (CARVALHO et al., 2011; MARTINS et al., 2012; FERREIRA et al., 2016).

Em razão do clima seco em algumas destas localidades, ocorre um maior consumo de água o que propicia uma maior ingestão de flúor, sendo potencializado pelo maior acesso a produtos dentifrícios, elevando para valores preocupantes os teores residuais de flúor destas populações, podendo chegar até 9,2 mg/L, muito acima do valor máximo permitido de 1,5 mg/L (MARTINS et al., 2011; IBGE, 2018). Em vista disso, o índice de crianças que tem a fluorose dentária, nestes lugares, mostra relação direta com a concentração de flúor existente nos mananciais locais, tendo incidências de 31 a 71,4 % para concentrações de 0,10 a 3,50 mg. L⁻¹ de flúor (MARTINS et al., 2012).

Nessa conjuntura, em níveis excessivos nas águas, os sais de flúor se enquadram

como contaminantes destas. Porém, eles podem ser retirados das águas por inúmeras técnicas, em que geralmente as mais comuns são aquelas combinadas, visto que obtêm os resultados mais satisfatórios, onde diminui-se o teor deste elemento aos níveis estabelecidos pelos órgãos ambientais e de saúde pública (AZZAZ et al., 2020).

Assim, um adsorvente eficaz para remover uma enorme diversidade de poluentes orgânicos e inorgânicos, polares e apolares, em fase líquida ou gasosa é o carvão ativado (CA). Este pode ser produzido normalmente a partir de biomassa lenhosa, serragem, cascas de coco, entre outros. Conforme com a necessidade de processo, a estratégia de síntese do material poderá favorecer propriedades como grande área superficial, estrutura porosa ajustável, boa termoestabilidade (altas temperaturas em atmosferas inertes ou de redução), baixa reatividade ácido-base (AO et al., 2018). Ele é um dos adsorventes mais utilizados no tratamento de águas (CORRADINI, 2006).

O agronegócio é responsável por cerca de 22,34% do PIB nacional, 43% das exportações e 37% dos empregos (EMBRAPA, 2018). O agronegócio do coco verde (*Cocos nucifera*), especialmente na região Nordeste do país, tem elevada importância pois o mesmo impacta em várias áreas como na criação de divisas, renda ou na alimentação (CUENCA et al., 2002). A Paraíba é o oitavo estado brasileiro em produção com aproximadamente 63.765 frutos/ano, dados de 2009 (MARTINS et al., 2011; IBGE, 2018). Estima-se que, no Brasil, para cada 300 mL de água-de-coco consumida, são gerados cerca de um quilo e meio de casca de coco que leva cerca de dez anos para se decompor e promovem a proliferação de vetores de doenças como ratos e insetos, a exemplo do mosquito da dengue. Uma alternativa para essa situação é identificada através da reciclagem e do reaproveitamento desse material para diversos fins (CAVALCANTE, 2018; BRASIL, 2019). O reuso desses resíduos tem ganhando grande destaque (CORRADINI, et al., 2006) e como exemplo há a produção de carvão vegetal e de bio-óleo (PAZ et al., 2017; CAVALCANTE, 2018; BRASIL, 2019).

Existem várias opções de sínteses mais limpas tanto para os processos de pirólise quanto para a ativação de carvões ativados. A literatura cita, por exemplo, processos envolvendo o uso das radiações de micro-ondas em reações hidrotermais (AO et al., 2018; RAZNA et al., 2020), no qual os produtos formados dispõem de boa seletividade e versatilidade dos íons apoiados em suas estruturas, uma seletividade superior em relação aos tipos de moléculas ancoradas nas superfícies de interesses (grupos ativos), uma cinética de reativação dos carvões mais elevada, além de exibir uma eficiência catalítica do produto maior, adaptando-o a um agente poluente específico (BAYTAR et al., 2018; RAZNA et al., 2020).

Para a retirada de sais de flúor, a simplicidade e a economia dos processos refletem condições determinantes para a implantação e operação de tratamentos de águas, em especial, as de captação subterrânea para abastecimento humano. Diversas operações podem ser utilizadas, entre elas, os processos de desmineralização total ou parcial da

água, sendo o processo físico de sorção ou de absorção um dos mais eficientes (GRICH et al., 2019; PANDA et al., 2019).

Nesta perspectiva, destaca-se a rota hidrotermal de micro-ondas, envolvendo nanoestruturas a partir de cério, alumina, titânia, magnésia, zircônio, cálcio, entre outros (DEUS et al, 2013; CHEN et al. 2019). Dentre os compostos de Ce^{4+} , o dióxido de cério (CeO_2) é o mais estável em virtude de sua estrutura cúbica do tipo fluorita (grupo espacial $Fm\bar{3}m$). Suas aplicações são determinadas pela sua estabilidade oxidativa e sua interconversão do Ce^{3+} e Ce^{4+} (Figura 1) (PALENIK et al, 2009; SINGH et al., 2018).

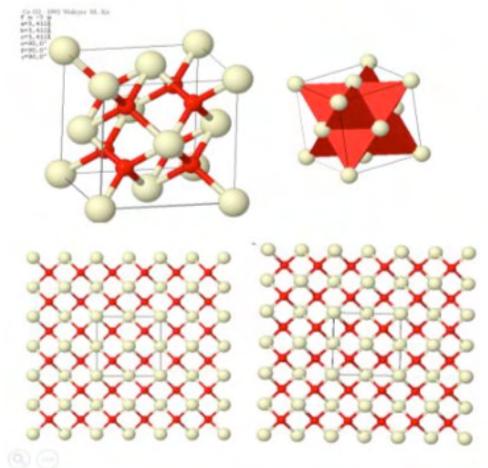


Figura 1- Estrutura cristalina do CeO_2 (Fluorita).

Fonte: Santos (2021, p. 33).

Desse modo, o objetivo desse estudo foi desenvolver e avaliar uma matriz filtrante e desfluoretadora, produzida a partir de carvão ativado sustentável e de baixo custo, suportado com nanopartículas de óxido de cério (IV), fazendo uso de resíduo e/ou rejeito da agroindústria local (endocarpo de coco) da região do semiárido paraibano.

2 | METODOLOGIA

Para que fosse realizada a síntese das nanoestruturas de óxido de cério (IV) e do compósito carvão/ CeO_2 , foram utilizados os reagentes apresentados na Tabela 1, onde também estão com suas respectivas características.

| Reagente | Fórmula | Fornecedor | Pureza(%) |
|-------------------------|--------------------------|------------|-----------|
| Sulfato de Cério anidro | $Ce(SO_4)_2 \cdot 4H_2O$ | Merck | P.A. |
| Hidróxido de Sódio | Na(OH) | Vetec | P.A. |
| Endocarpo de coco | | Dinococo | |

Tabela 1 - Reagentes utilizados nas sínteses das nanoestruturas de óxido de cério (IV), do carvão puro e do compósito carvão/ CeO_2 .

Fonte: Santos (2021, p. 45).

2.1 Preparação das nanoestruturas

Na preparação das nanoestruturas de óxidos de cério (IV), utilizou-se a rota hidrotérmica de micro-ondas, pois este é um método suave e rápido, que compreende apenas uma única etapa de síntese. Logo, com o objetivo principal de fornecer os precursores e os respectivos parâmetros analíticos para a condução segura da produção dos compósitos de interesse (sistema carvão/ CeO_2), a matéria-prima de partida para a produção dos compósitos foram as nanopartículas de céria (CeO_2), com o intuito de evitar o efeito de ânions interferentes que, presentes nos sais desse metal, poderiam agir como possíveis concorrentes dos ânions de flúor nos processos adsorptivos.

Para a síntese das nanoestruturas de óxidos de cério (IV), as soluções receberam um tratamento em Reator Hidrotérmico de Micro-ondas modelo HMO 200 I9TEC, e cada processo de síntese foi tratado termicamente a $120^\circ C$, utilizando intervalos de tempo de 1, 5, 15, 30 e 60 minutos, com uma taxa de aquecimento fixada em $10^\circ C/min$.

Como isso, foi produzido um precipitado de cor mostarda que foram lavadas com água deionizada até pH constante (geralmente em torno do valor 7). Em seguida, as amostras foram tratadas termicamente, em estufa, em temperatura de $120^\circ C$ por um intervalo de tempo de 2 horas. Depois, o material foi macerado, peneirado (malha de 200 mesh) e encaminhado para as devidas caracterizações (Figura 2).

As nanopartículas de céria utilizadas na formação dos compósitos foram escolhidas depois de um conjunto de análises. As amostras foram aquelas que tinham a melhor relação custo benefício em termos das propriedades que apresentavam tempo de síntese de 5 minutos e áreas superficiais de $261 m^2/g$.

Produção CeO₂

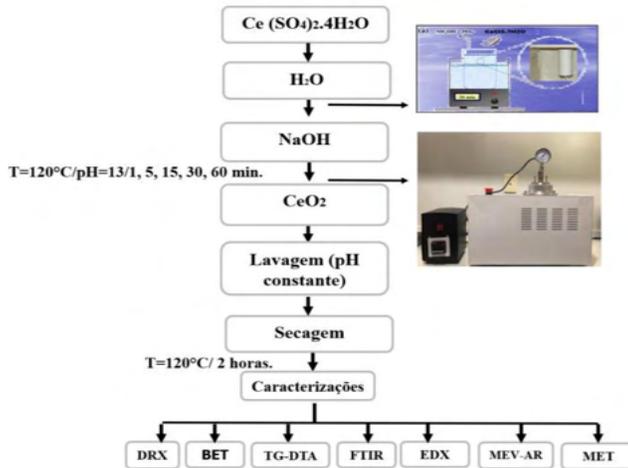


Figura 2- Representação das rotas de sínteses das Nanoestruturas de CeO₂.

Fonte: Santos (2021, p. 47).

2.2 Metodologias para a síntese dos carvões ativados puros e dos seus compósitos carvão ativado-céria (carvão/ CeO₂)

Primeiramente, realizou-se um pré-tratamento dos resíduos de casca do coco (endocarpo) fundamentado na metodologia desenvolvida por Mangueira (2014), com adaptações, em que conseguiu-se um material precursor com tamanho de grão apropriado e baixo teor de umidade a partir de sua coleta, secagem e trituração (com média de 2,5 mm). Iniciando com 5 gramas destes precursores (endocarpo de coco) e das nanopartículas de céria escolhidas, em ambiente alcalino, foram produzidos os sistemas carvão/CeO₂, nas concentrações de 0, 1, 10 e 20% de cério, por meio de ativação química, via processo hidrotermal de micro-ondas.

Análogo ao procedimento realizado nas nanopartículas citado anteriormente, em um reator hidrotermal de micro-ondas, foi efetuado o tratamento térmico em uma razão de aquecimento de 10°C/min, e uma temperatura de síntese de 120°C e um espaço de tempo de reação de 30 minutos. Depois disso, todos materiais foram lavados com água deionizada e centrifugados até pH constante, próximo da neutralidade, sendo secos em estufa a 120°C por 2 horas e direcionados para a etapa de caracterização (Figura 3).

Produção Carvão

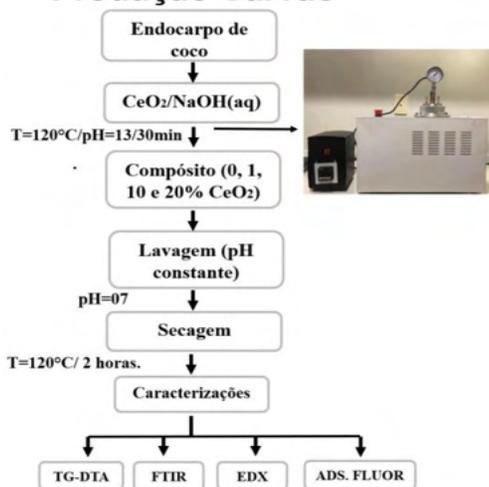


Figura 3- Representação das rotas de sínteses dos compostos de CeO_2 .

Fonte: Santos (2021, p.49).

As caracterizações estruturais, termodinâmicas das amostras foram realizadas a partir de análises como difração de Raio X (DRX), através de equipamento de DRX, modelo XRD-6000 /SHIMADZU; espectroscopia de Raios X por Dispersão em Energia (EDX) (espectrofotômetro, modelo EDX-7000); microscopia de varredura eletrônica de alta resolução, através do Microscópio eletrônico de transmissão FEI de 200kV, modelo Tecnai20, emissor LAB6 ou W, módulo EDAX, tomografia Xplore3D, com aumentos de até um milhão de vezes, e do equipamento Quanta 200 FEG, com aumento de 500 mil vezes, respectivamente.

As análises indiretas de flúor foram realizadas por meio da técnica do hexametildisiloxano – HMDS, pelo método de Taves, modificado por Whitford. Nestas medições utilizou-se o método potenciométrico, através de um Eletrodo flúor-íon-específico (BN Modelo 9409, Orion, Cambridge, MA, EUA) e um potenciômetro Modelo 720 A Orion. Todas as análises foram realizadas em triplicatas, utilizando amostras de água preparadas com concentração de 23 ppm de flúor.

A fundamentação química do método é baseada na dissociação de moléculas de HMDS, na presença de ácido forte em uma placa de difusão. O flúor das amostras e das soluções padrões ligam-se aos radicais silano, formando um composto volátil, denominado trimetilfluorsilano. Esse composto é solubilizado em NaOH, localizado na tampa da placa de difusão. O flúor é então trocado pelo íon hidroxila do grupo NaOH, formando um novo composto, o trimetilsilanol, sendo o flúor liberado (Figura 4).

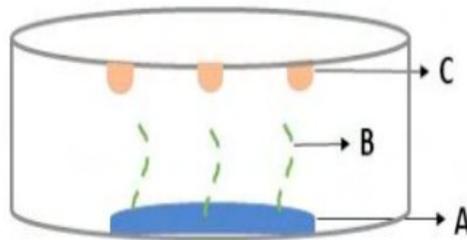


Figura 4 - Esquema demonstrativo do princípio químico da técnica do hexametildisiloxano – HMDS. A = H_2SO_4 + amostra ou padrão; B = trimetilfluorsilano; C = NaOH.

Fonte: MOURA (2017).

Em relação ao controle de variáveis, estatística e tabulação dos dados, todos os experimentos foram realizados em triplicata e os dados foram apresentados como média \pm desvio padrão, em que o teste de Tukey foi utilizado para averiguar distinções significativas ($p < 0,05$) entre as amostras. A análise estatística foi realizada usando o pacote estatístico Minitab 17 (Minitab Inc., State College, PA, EUA), disponível na UFPB.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Estudo da evolução das fases

Os resultados de Raio-X obtidos pelo processo hidrotérmico assistido em micro-ondas das nanoestruturas de CeO_2 (Figura 5), no qual todos os materiais constataram os planos (1 1 1), (2 0 0), (2 2 0), (3 1 1), (2 2 2) e (4 0 0), orientados através de um cubo de face centrada. Após análises e correlações, estas fases foram indexadas fundamentadas na ficha JCPDS 34-0394 (Joint Committee on Powder Diffraction Standards) para a estrutura fluorita, demonstrando o sucesso das sínteses. A confirmação das fases dos nanomateriais, forneceram importante orientação para a construção dos compósitos, representados pelo sistema carvão/ CeO_2 , em suas diferentes concentrações do óxido (DEUS et al., 2013).

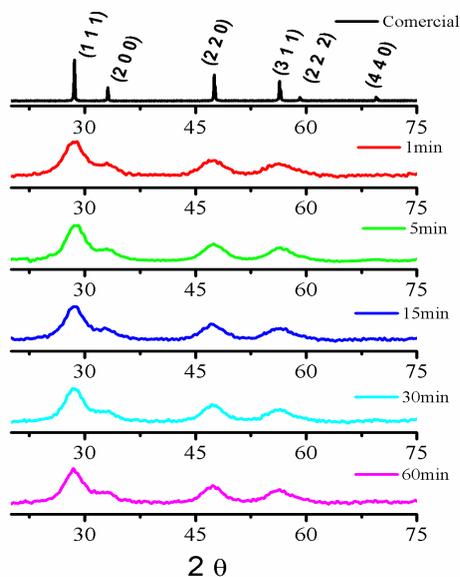


Figura 5- Difractogramas de raios-X das nanoestruturas do sistema Céria/ NaOH/ 120°C em seus diferentes tempos de síntese (em minutos).

Fonte: Santos (2021, p.57).

3.2 Espectroscopia de raios x por dispersão em energia (EDX)

O êxito de ambas as sínteses foi constatado através das análises qualitativas e quantitativas de EDX (Figuras 6(a), 6(b) e 7), comprovando a pureza da céria precursora e da sua dopagem na estrutura representada pelo sistema carvão/CeO₂, as duas dentro das concentrações previstas.

```

Sample : Ce-1
Operator:
Comment : Quick&easy Air-Metal
Group : easy

Quantitative Result
-----
Analyte      Result      [3-sigma] Proc.-Calc. Line  Int. (cps/uA)
-----
Ce           97.912 %   [ 0.213] Quan-FP   CeLa   261.8993
Si           1.642 %   [ 0.029] Quan-FP   SiKa   0.5879
S            0.172 %   [ 0.016] Quan-FP   S Ka   0.4745
Zn           0.141 %   [ 0.005] Quan-FP   ZnKa   1.9708
Cu           0.078 %   [ 0.005] Quan-FP   CuKa   0.9336
P            0.055 %   [ 0.008] Quan-FP   P Ka   0.0409
  
```

Figura 6- Espectroscopia de raios X por dispersão em energia (EDX), quadro (a) e espectro (b) com os respectivos resultados quantitativos e qualitativos para o CeO₂, para a rota de síntese CeO₂/ NaOH/ 120 °C/ 5 minutos.

a)

Fonte: Santos (2021).

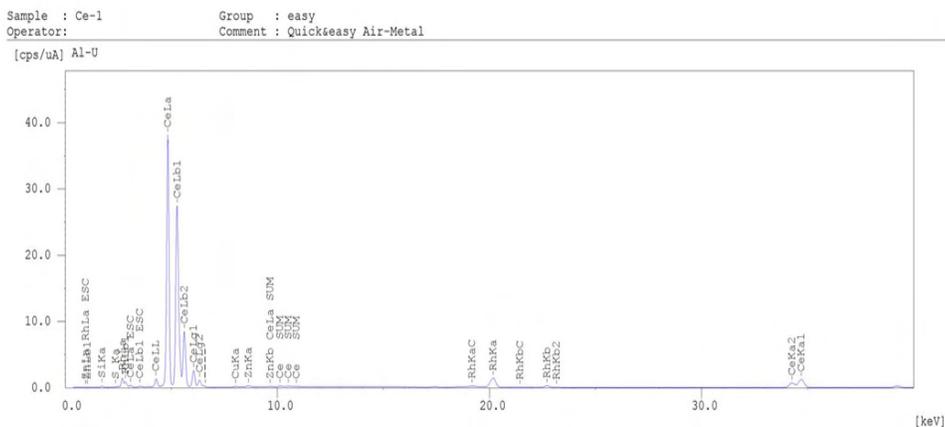


Figura 7 -Espectroscopia de raios X por dispersão em energia (EDX), quadro com resultado para a composição do material constituído pelo sistema carvão/20%CeO₂ /NaOH-120°C/30 minutos.

b)

Fonte: Santos (2021).

Sample : CRNLNP1
 Operator:
 Comment : Comment
 Group : easy 5mm
 Date : 2015-01-27 12:04:31

Quantitative Result

| Analyte | Result | [3-sigma] | Proc.-Calc. | Line | Int. (cps/uA) |
|--------------------------------|----------|-----------|-------------|------|---------------|
| CaO | 20.981 % | [0.131] | Quan-FP | CaKa | 4.5067 |
| CeO ₂ | 18.946 % | [0.228] | Quan-FP | CeLa | 9.3162 |
| P ₂ O ₅ | 16.905 % | [0.363] | Quan-FP | P Ka | 0.2808 |
| Fe ₂ O ₃ | 16.565 % | [0.102] | Quan-FP | FeKa | 35.7641 |
| SiO ₂ | 9.862 % | [0.452] | Quan-FP | SiKa | 0.0576 |
| SO ₃ | 7.773 % | [0.168] | Quan-FP | S Ka | 0.2966 |
| Nd ₂ O ₃ | 3.706 % | [0.190] | Quan-FP | NdLa | 2.4769 |
| K ₂ O | 2.775 % | [0.046] | Quan-FP | K Ka | 0.4847 |
| CuO | 2.071 % | [0.040] | Quan-FP | CuKa | 7.4420 |
| Ag ₂ O | 0.201 % | [0.031] | Quan-FP | AgKa | 0.6032 |
| ZnO | 0.160 % | [0.025] | Quan-FP | ZnKa | 0.6812 |
| NbO | 0.055 % | [0.010] | Quan-FP | NbKa | 0.6138 |

Fonte: Santos (2021, p.65).

3.3 Avaliação morfológica das nanoestruturas de céria

As características morfológicas de determinados materiais, geralmente são confirmadas por imagem de microscopia eletrônica de varredura de alta resolução (MEV-AR) (DEUS et al., 2013; MISHRA et al., 2018). Assim, neste caso, foram evidenciados diversos tamanhos, formas e claridade dos grãos dos óxidos obtidos (Figura 8).

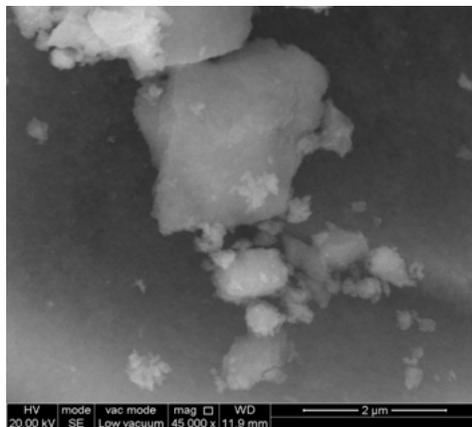


Figura 8 - Microscopias eletrônicas de varredura para o sistema CeO_2/NaOH / 120°C/ 5. minutos.

Fonte: Santos (2021, p.64).

O tratamento hidrotérmico ultrarrápido, através das micro-ondas, contribuiu para as características aglomeradas e indefinidas observadas nos materiais produzidos (FARIAS et al., 2021).

3.4 Testes de adsorção de flúor por análise indireta

Por meio de uma análise indireta, avaliou-se o comportamento de adsorção de flúor, em escala laboratorial, de amostras de água preparadas com a máxima concentração deste elemento (23 ppm), conforme observado na tabela 2 e figura 9.

| Amostras | Concentração após 60 minutos (ppm) |
|---------------------------|------------------------------------|
| carvão HMO puro | 0.32 ± 0.02^b |
| Carvão/10% CeO_2 | 1.40 ± 0.02^a |
| Carvão/20% CeO_2 | 1.44 ± 0.00^a |

Tabela 2- Adsorção de flúor por análise indireta dos carvões puros e suportados com cério, sob o tempo de contato de 60 minutos, a partir de amostras de água preparadas com concentração de 23 ppm de flúor.

Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatisticamente significativa com 95% de confiança.

Fonte: Santos (2021, p.69).

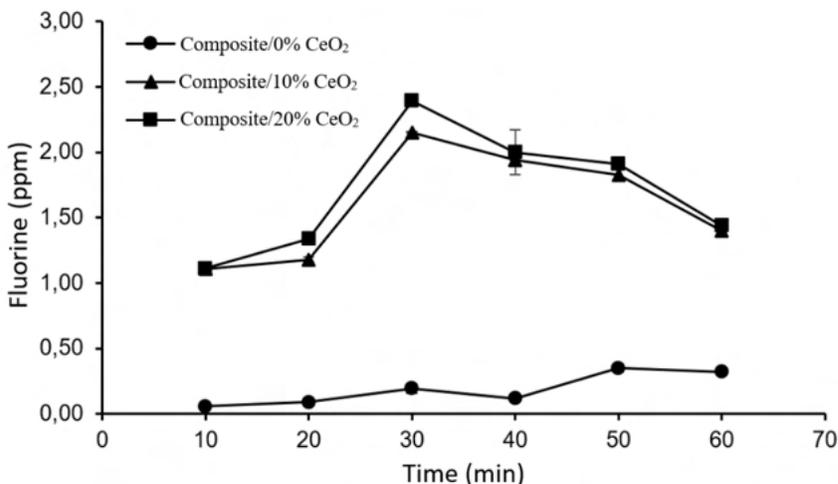


Figura 9 - Adsorção de flúor por análise indireta dos carvões puros e suportados com cério, sob os tempos de contato de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 minutos, a partir de amostras de água preparadas com concentração de 23 ppm de flúor.

Fonte: Santos (2021, p.69).

A partir da análise indireta (Figuras 9 e Tabela 2), somente os compósitos com as maiores concentrações do óxido, Carvão/10% CeO₂ e Carvão/20% CeO₂, apresentaram adsorção, notando-se também uma redução progressiva da concentração de flúor, a partir do intervalo de tempo de 10 minutos, com uma máxima adsorção em 30 minutos, estabilizando este comportamento até o tempo de contato de 60 minutos.

Nessa conjuntura, frente as soluções de Flúor (em sistemas de fluoretação induzida), constatou-se os melhores comportamentos adsorptivos para os compósitos com maiores concentrações (Carvão/10% CeO₂ e Carvão/20% CeO₂), onde o compósito Carvão/10% CeO₂, por ter apresentando eficiência, estatisticamente comprovada (Tabelas 4), foi a melhor relação custo-benefício, em termos de adsorção de flúor e concentração de céria, quando comparado ao compósito de concentração superior (20% de céria).

4 | CONCLUSÃO

A síntese destes compósitos, sistemas Carvão/CeO₂, mostrou-se uma alternativa econômica e sustentável para a remoção de flúor, tanto como adsorvente principal, quanto como coadjuvante, ressignificando um resíduo crítico, endocarpo de coco (*Coccus nucifera* L.), de setor expressivo da agroindústria local do semiárido paraibano e nordestino. Devido as complexidades destas regiões endêmicas, justifica-se a possibilidade de escalonamento desse estudo, para a elaboração de protótipos aplicáveis em condições reais em mananciais que apresentem altas concentrações de flúor.

REFERÊNCIAS

AO, W.; FU, J.; MAO, X.; KANG, Q.; RAN, C.; LIU, Y.; ZHANG, H.; GAO, Z.; LI, J.; LIU, G.; DAI, J.; Microwave assisted preparation of activated carbon from biomass: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 92, p. 958–979, 2018.

AZZAZ, A. A.; KHIARI, B.; JELLALI, S.; GHIMBEU, C. M.; JEGUIRIM, M.; Hydrochars production, characterization and application for wastewater treatment: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 127, p. 109–117, 2020.

BAYTAR, O.; SAHİN, Ö.; SAKA, C.; Sequential application of microwave and conventional heating methods for preparation of activated carbon from biomass and its methylene blue. **Adsorption**. v. 138, p. 542–551, 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Projeções do Agronegócio: BRASIL Brasil 2018/19 a 2028/29. Secretaria de Política Agrícola. BRASÍLIA, 2019, 123 p. Disponível em: file:///C:/Users/carlo/Downloads/projecoes-2019_verso_final_3.pdf. Acesso em: abril/2020

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, revogando a Portaria nº 518 de 25 de março de 2004. Brasília, 2011. Acesso em: 09 jan 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html. Acesso em: 09 jan de 2022.

CARVALHO, R. B.; MEDEIROS, U. V.; SANTOS, K. T.; PACHECO FILHO, A. C. Influence of different concentrations of fluoride in the water on epidemiologic indicators of oral health/disease. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 16(8), p. 3509–3518, 2011.

CORRADINI, E.; MORAIS, L. C.; ROSA, M. F.; MAZZETTO, S. E.; MATTOSO, L. H.; AGNELLI, J. A. M. A. Preliminary Study for the Use of Natural Fibers as Reinforcement in Starch-Gluten-Glycerol Matrix. **Macromol. Symp.**, v. 245–246, p. 558–564, 2006.

CAVALCANTE, L. V., THE COCONUT AGRIBUSINESS IN BRAZIL AND THE TERRITORIALIZATION OF CAPITAL. **Revista Pegada**, São Paulo. v19, n.3, p.117–139, 2018.

CHEN, C. L.; PARK, Sang-Won, SU, Jenn Feng, YU, Y. H., HEO, J., KIM, K. d., HUANG, C. P., The adsorption characteristics of fluoride on commercial activated carbon treated with quaternary ammonium salts (Quats). **Electrochimica Acta**. v. 316, p. 257–265, 2019.

CUENCA, M. A. G.; RESENDE, J. M.; JÚNIOR, O. J. M.; REIS, C. M. **MERCADO BRASILEIRO DO COCO: - SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVAS**. Coco Pós-colheita. Embrapa. 2002.

DEUS, R. C.; CILENSE, M.; FOSCHINI, C. R.; RAMIREZ, M. A.; LONGO, E.; SIMÕES, A. Z. Influence of mineralizer agents on the growth of crystalline CeO₂ nanospheres by the microwave-hydrothermal method. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 550, p. 245–251, 2013.

EMBRAPA. **Visão 2030: O futuro da agricultura Brasileira**. Brasília, DF 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/10180/9543845/vis%C3%A3o+2030+-+o+futuro+da+agricultura+brasileira/2a9a0f27-0ead-991a-8cbf-af8e89d62829?version=1.1>. Acesso em 10 jan 2022.

- FERREIRA, J. E. V.; CARVALHO, M. M. S. G.; SAMPAIO, F.C.; LEITE, C. N. MAPEAMENTO DOS NÍVEIS DE FLÚOR E PH EM ÁGUAS DA ZONA RURAL DO MUNICÍPIO DE BELÉM-PB. A Barriguda: **Revista Científica**. v. 6, n. 1, p. 112-124, 2016.
- GRICH, N. B., ATTOUR, A., MOSTEFA, M.L.P., GUESMI, S., TLILI, M., LAPICQUE, F., Fluoride removal from water by electrocoagulation: Effect of the type of water and the experimental parameters. *Electrochimica Acta*. v. 316, p.257-265, 2019. (Registro de concentrações de F superiores a 20ppm).
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE/LSPA. Levantamento sistemático da Produção Agrícola. Fortaleza: IBGE/GCEA-CE. Dezembro. Séries 2016, 2017 e 2018. Documento impresso.
- MARTINS, E. T. L.; FORTE, F. D. S.; SAMPAIO, F. C. Natural fluoride levels present in the water consumed in rural northeast of Brazil. **Rev Odontol UNESP**. v.41, n. 3, p.147-153, 2012.
- MARTINS, V. T. de S.; PINO, D. S., BERTOLO, R., HIRATA, R., BABINSKI, M. PACHECO, D. F. RIOS, A. P., Who to blame for groundwater fluoride anomaly in São Paulo, Brazil? **Hydrogeochemistry and isotopic evidence**. v. 90, p. 25-38, 2018.
- MISHRA, S., SOREN, S., DEBNATH, A. K., ASWAL, D. K., DAS, N., PARHI, P., Rapid microwave – Hydrothermal synthesis of CeO₂ nanoparticles for simultaneous adsorption/photodegradation of organic dyes under visible light. **International Journal for Light and Electron Optics**. v. 169, p. 125–136, 2018.
- PALENIK, G. J.; HU, S. Z. Assignment of oxidation states in metal complexes Cerium (III) or cerium (IV) and other questions. **Inorganica Chimica Acta**, v. 362, p. 4740–4743, 2009.
- PANDA, B., RADHA, V. D., CHIDAMBARAM, S., ARINDAM, M., THILAGAVATHI, R., MANIKANDAN, S., THIVYA, C., RAMANATHAN, A.L. and GANESH, N., Fluoride Contamination in Groundwater—A GIS and Geostatistics Reappraisal. **Groundwater Quality Assessment Using GIS and Geostatistical Aspects**. v. 22, p.309-322, 2019.
- PAZ, E. C. S; PEDROZA, M. M; OLIVEIRA, L. R. A.; PAZ, R. R. S. Alternativa de exploração sustentável dos resíduos do coco verde para a produção de energia. **Revista brasileira de energias renováveis**, vol.6, n.2, p. 318-345, 2017.
- PHURUANGRAT, A., THONGTEM, S., THONGTEM, T., Microwave-assisted hydrothermal synthesis and characterization of CeO₂ nanowires for using as a photocatalytic material. **Materials Letters**. v. 1961, p. 61–63, 2017.
- RAZNA, J. K., WASIK, N., NOWICKI, P., BAK, J., KOLODYNSKA, D., PIETRZAK, Characterization and application of spherical carbonaceous materials prepared with the use of microwave radiation. **Diamond & Related Materials**. v.108, p.107927, 2020.
- SANTOS, C.C.L. **Desenvolvimento e avaliação de matriz, filtrante e desfluoretadora, constituída por óxido de cério suportado em carvão ativado proveniente de casca de coco (Cocos nucifera L.) para áreas de desertificação**. Universidade Federal da Paraíba, Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Tese de Doutorado, João Pessoa, 2021.
- SINGH, K., KUMARA,R., CHOWDHUR, A., Lanthanum, doped Ceria Nanoparticles: a Promising Material for Energy Applications. **Materials Today: Proceedings**. v. 5, p. 22993– 22997, 2018.
- THYLSTRUP, A; FEJERSKOV, O. (1988) Tratado de Cariologia, Rio de Janeiro: Cultura Médica. 388p. 1988.

RESPONSIBLE MANAGEMENT OF XANTHATES TO ENSURE THE SUSTAINABILITY OF MINING INDUSTRIES IN LATIN AMERICA

Data de aceite: 01/02/2022

Fredy Castillejo

Gloria Valdivia

María Atusparia

RESUMEN: El presente artículo tiene por objeto dar a conocer un nuevo modelo de distribución de productos químicos para flotación a través de las nuevas alternativas de manejo y aplicación de las experiencias del tratamiento industrial de los residuos de xantatos en las operaciones mineras con la intención de establecer el manejo responsable y el uso eficiente de los productos químicos, de tal manera que impacte positivamente en la seguridad y salud de los trabajadores, el medio ambiente y en la economía de las operaciones mineras. El nuevo modelo de distribución se centra en la descripción del aprovechamiento eficiente de los colectores a base de xantatos y reducir la generación de desperdicios de productos químicos tales como contenedores contaminados y los residuos de la preparación. El modelo propuesto enfoca la responsabilidad del tratamiento químico de los residuos de xantatos al fabricante, el mismo que ha desarrollado métodos especializados para el control de las moléculas de xantatos. Este esquema crea una situación beneficiosa para las industrias mineras debido a que sus preocupaciones se centrarían sólo en la aplicación de los xantatos en sus operaciones mineras y trasladando la responsabilidad o las alternativas de manejo seguro de los residuos al

fabricante, quien es el que está especializado en el control de este tipo de residuos generados por el uso de los xantatos. Se ha llegado a la conclusión que el manejo responsable de los residuos de xantatos no solo garantizará la sostenibilidad, sino que también a la continuidad de los negocios relacionados a la industria minera debido a que cada día existe mayor vigilancia ambiental en la disposición final de los residuos de las industrias mineras.

PALABRAS CLAVE: Xantatos, industrias mineras, manejo, colectores.

MANEJO RESPONSABLE DE LOS XANTATOS PARA ASEGURAR LA SOSTENIBILIDAD DE LAS INDUSTRIAS MINERAS EN LATINOAMÉRICA”

ABSTRACT: The purpose of this article is to present a new model for the distribution of chemical products for flotation through new alternatives for the management and application of experiences in the industrial treatment of xanthate residues in mining operations with the intention of establishing the responsible management and efficient use of chemical products, in such a way as to positively impact the safety and health of workers, the environment and the economy of mining operations. The new distribution model focuses on the description of the efficient use of xanthate-based collectors and reducing the generation of chemical product waste such as contaminated containers and preparation waste. The proposed model focuses the responsibility for the chemical treatment of xanthate residues on the manufacturer, who has developed specialized methods for the control of xanthate molecules.

This scheme creates a beneficial situation for the mining industries because their concerns would focus only on the application of xanthates in their mining operations and transferring the responsibility or the alternatives for safe waste management to the manufacturer, who is the one who is specialized. in the control of this type of waste generated using xanthates. It has been concluded that the responsible management of xanthate residues will not only guarantee sustainability, but also the continuity of businesses related to the mining industry because every day there is greater environmental vigilance in the final disposal of the waste from mining industries.

KEYWORD: Xanthates, mining industries, management, collectors.

1 | INTRODUCCIÓN

A casi 100 años de las primeras aplicaciones industriales de los xantatos, en el mercado de reactivos de flotación han surgido nuevos colectores de minerales que han intentado reemplazar a los xantatos y a la fecha sólo se ha logrado parcialmente y en aplicaciones muy específicas. De acuerdo con la tendencia mundial, como se observan en las figuras 2 y 3 es muy probable que los xantatos mantengan su aplicación por muchas décadas más, por lo que las industrias mineras deben dedicarse a desarrollar nuevos enfoques que orienten a un manejo adecuado de estos reactivos de flotación y que a su vez permitirá el mejor aprovechamiento de todos los beneficios que trae su aplicación.

Los reactivos de flotación y los contenedores que se usan para su distribución en las operaciones mineras de Latinoamérica son mayormente de origen asiático, cuya responsabilidad del fabricante en la disposición final termina una vez entregado el producto químico a la unidad minera. Después del uso del producto los contenedores, que se muestran en la figura 1, quedan con residuos que se convierten en importantes problemas ambientales; si bien estos residuos son enviados a rellenos industriales autorizados en las regiones donde se realizan las operaciones mineras, estos se convierten en un problema potencialmente serio para las futuras generaciones. Por ello es de importancia iniciar el entendimiento de las propiedades físicas y químicas de los xantatos, las actuales formas de distribución, las nuevas alternativas de distribución y las tecnologías de control ambiental, estos conceptos deberían ser comprendidos por los operadores de plantas de flotación y el conocimiento adquirido debe permitir ejecutar un adecuado manejo de químicos que confieran seguridad, que resulten amigables con el medio ambiente y rentables para las operaciones mineras. Comprendiendo y poniendo en práctica los conocimientos desarrollados hasta la fecha, ayudarán a lograr y garantizar la sostenibilidad y la continuidad de los negocios de las industrias mineras.



Fig. 1. Presentación de los xantatos envasados de origen chino.

Fuente: Hainan Zhongxin Chemical Co., Ltd. (ZXCHEM).

1.1 Manejo responsable de productos químicos

Un manejo responsable requiere de una evaluación estricta de todos los aspectos implícitos que trae el empleo de cualquier producto químico. En el mundo, la manipulación de sustancias químicas usadas en minería ha producido incidentes, averías, así como accidentes por su incorrecta manipulación, han traído diversas consecuencias por el uso inadecuado y que ha origina impactos económicos, ambientales y pérdida de vidas humanas. La industria minera está expuesta a estos riesgos de manipulación de sustancias altamente peligrosas como son el cianuro de sodio (NaCN), sulfhidrato de sodio (NaHS), entre otros y que requiere retomar especial atención.

1.2 Sostenibilidad

La sostenibilidad es una idea que pretende movilizar la responsabilidad colectiva para enfrentar los problemas y desafíos antropocénicos, término usado por Paul Crutzen. La sostenibilidad trata de garantizar las necesidades presentes sin comprometer las futuras, manteniendo un equilibrio entre los tres pilares esenciales: la protección medioambiental, desarrollo social y el crecimiento económico.

1.3 Compañías mineras en Latinoamérica, Problemática ambiental

Uno de los problemas que caracteriza a las industrias mineras es el impacto ambiental de las actividades mineras, y entre ellas se tiene las acumulaciones de desechos de los contenedores de los productos químicos peligrosos que se van acumulando lo largo de los rellenos sanitarios de los países de Sudamérica; lo cual representa una elevada condición de riesgo ambiental futura, por la peligrosidad de sus componentes químicos.

Solo las compañías mineras de clase mundial han alcanzado un manejo adecuado de sus residuos, sin embargo, la mediana y pequeña minería aún requiere mucha asistencia técnica para la disposición final de sus residuos.

1.4 Desarrollo sostenible en las industrias mineras

La sostenibilidad en las industrias mineras involucra conceptos de mucho mayor envergadura que la tradicional gestión empresarial, va mucho más que un plan de RSE (responsabilidad social empresarial) o una excelencia operacional; esta concibe un desarrollo desde tres puntos de vista que son: el de la viabilidad económica y financiera, el punto de vista social, desde el punto de vista ambiental (**Castañeda, 2016**). Desde el punto de vista medioambiental, las industrias mineras deben procurar el cuidado del medio ambiente siendo un tema álgido en las plantas de flotación, la contaminación de las aguas por diversos reactivos químicos y entre ellos tenemos a los colectores de flotación como, tionocarbamatos, tiofosfinatos, xantatos, ditiofosfatos entre otros.

1.5 Xantatos en minería

En el 2019 Chile y Perú lograron producir más de 8,000 toneladas métricas de cobre posicionándose, así como los principales productores a nivel mundial de cobre, gran parte de esta producción de cobre se emplea la concentración de minerales por flotación por espuma.

La flotación por espuma es el proceso industrial usado para la separación de minerales de cobre finamente liberados (**Bulatovic, 2007**). El proceso consiste en la dispersión de burbujas de aire en un medio fluido donde se encuentra el mineral y el agua en presencia de reactivos de flotación, denominados colectores, tales facilitan la adhesión de los minerales valiosos en las burbujas de aire que posteriormente serán recolectados de las celdas de flotación (**Azañero, 2015**). Dentro de los colectores más usados se encuentran los reactivos de flotación de la familia de los xantatos y se vienen usando desde los años 20 cuyo uso se ha masificado en las principales operaciones mineras de Latinoamérica y del mundo.

En el 2016 se han registrado cantidades importantes de consumo de xantatos llegando a 240,000 toneladas al año y las proyecciones de consumo para el 2025 sería 371,000 toneladas, lo que significa que las actividades mineras confían en este producto y continuarán usándolo en los procesos de flotación de los siguientes años, tal tendencia se observa en las figuras 2 y 3 (**Persistence market research, 2019**). Por consiguiente, se debe tener ahora un conocimiento pleno de las características de este tipo productos para una adecuada gestión del producto químico y sus residuos.

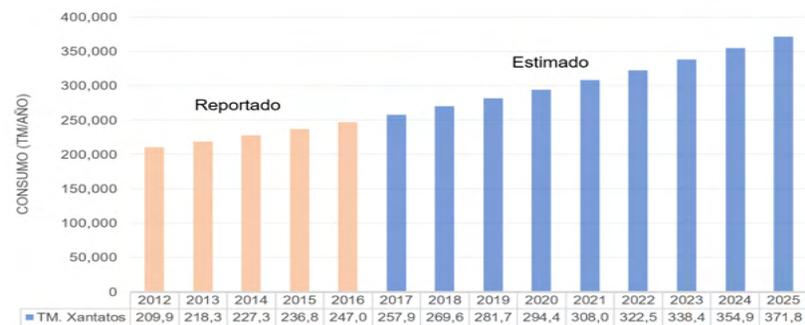


Fig. 2. Proyección del consumo mundial de xantatos para el periodo 2017-2025 (Persistence market research, 2019).

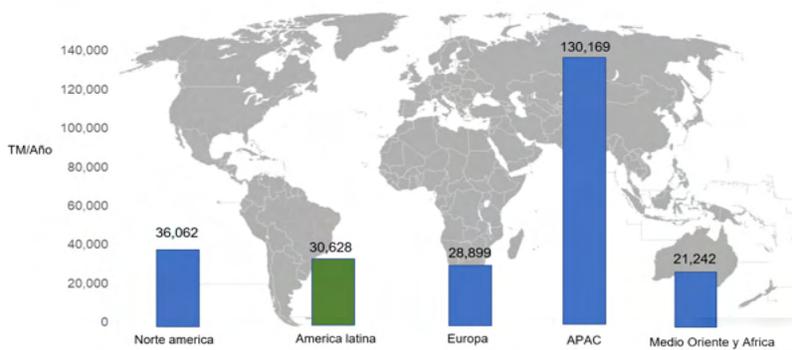


Fig. 3. Consumo anual de xantatos registrados en el 2016 (Persistence market research, 2019).

Los xantatos son un grupo de productos químicos de la familia de los ditiocarbonatos que se utilizan en la flotación de sulfuros en operaciones mineras (Wang, 2016). De la familia de los xantatos que han tenido aplicaciones industriales que se listan en la tabla 1 los reactivos más usados son:

- Xantato amílico de potasio y de otros pentanoles (PAX).
- Xantato isobutilico de Sodio (SIBX)
- Xantato isopropílico de sodio (SIPX).

Los xantatos son productos químicos derivados del disulfuro de carbono, un alcohol y un compuesto alcalino (NaOH o KOH). Las sales de xantatos son parcialmente solubles en agua y en las aplicaciones en minería se utiliza en concentraciones que van desde el 5% hasta el 35% (Crozier, 1992).

| Nombre químico | Renasa | Cytec | Dow Chemical |
|-------------------------------------|-------------------------------|----------|--------------|
| Etil ditiocarbonato de potasio | | Aero 303 | Z-3 |
| Etil ditiocarbonato de sodio | Xantato etílico de sodio | Aero 325 | Z-4 |
| Isopropil ditiocarbonato de potasio | | Aero 322 | Z-9 |
| Isopropil ditiocarbonato de sodio | Xantato isopropílico de sodio | Aero 343 | Z-11 |
| Butil ditiocarbonato de potasio. | | | Z-7 |
| Secbutil ditiocarbonato de potasio | | | Z-8 |
| Secbutil ditiocarbonato de sodio | | Aero 301 | Z-12 |
| Isobutil ditiocarbonato de sodio | Xantato isobutilico de sodio | Aero 317 | Z-14 |
| Amil ditiocarbonato de potasio | Xantato amílico de potasio | Aero 350 | Z-6 |
| Secamil ditiocarbonato de potasio | | | Z-5 |
| Hexil ditiocarbonato de potasio | | | Z-10 |

Tabla 1. Nombres comerciales de los principales xantatos utilizados en minería (Sutulov, 1963).

La estabilidad de los xantatos en forma sólida y en soluciones acuosas es buena, depende en gran medida de las condiciones de almacenamiento en planta y la adecuada preparación de las soluciones acuosas.

De acuerdo con las numerosas investigaciones, los xantatos en forma sólida deben ser preparados con un contenido alcalino muy bajo menor a 0.1% y un contenido de humedad menor al 10%, de preferencia 5%. Por otra parte, los xantatos en forma de solución acuosa deben ser almacenados en tanques de almacenamiento compatibles con la sustancia y a temperaturas menores a 20°C de preferencia menor a 15°C y el agua de preparación utilizada debe tener contenidos mínimos de metales que eviten la descomposición (cobre, cinc) o generen precipitados (Calcio y Magnesio) (**American Cyanamid company; Cyanamid Canada Inc, 1984**).

En aplicaciones mineras, los xantatos actualmente se ofrecen en forma de pelets a fin de reducir la generación de polvo durante su manejo, ver figura 4. Los xantatos bajo esta presentación han llegado a ser almacenados por periodos hasta 5 años, en ambientes secos y frescos, sin que el producto químico pierda sus propiedades colectoras, sin embargo, la recomendación de diversos fabricantes es mantener un almacenamiento menor a un año.

Los xantatos para usos industriales, presenta un olor característico a su alcohol correspondiente y su color puede fluctuar desde blanquecino para el PAX y amarillo para el SIPX, estas variaciones en la coloración del producto no significan variaciones en su poder colector. Las coloraciones blanquecinas se originan por el contacto del producto con el oxígeno del aire que ocurre en los procesos de fabricación de estos productos. Los xantatos en forma pura son esencialmente de color amarillo.



Fig. 4. Xantato amílico de potasio.

Fuente: Y&X Beijing Technology Co (2014).

1.5.1 Identificación de peligros y evaluación de riesgos del producto

Los xantatos de acuerdo con los códigos internacionales están clasificados como susceptibles de combustión espontánea y poseen una serie de peligros y riesgos debido a su naturaleza química (**Naciones Unidas , 2013**), los volúmenes importantes de xantatos que se manejan en las plantas de flotación requieren un conocimiento minucioso del manejo seguro de estas sustancias químicas. Frente a los diversos reactivos de flotación que se usan en las unidades mineras, este producto presenta riesgos moderados, sin embargo, el desconocimiento del uso y manejo seguro y la desinformación de los fabricantes de colectores alternativos al xantatos lo hacen ver como un producto peligroso.

La experiencia en el adecuado manejo de estos productos lo tienen los fabricantes de xantato y muchos de ellos no difunden el conocimiento y sus experiencias en la gestión de este tipo de productos y en otras el operador minero no pone en práctica las recomendaciones del fabricante debido a que se enfocan más en el manejo y almacenamiento de otras sustancias químicas más peligrosas como lo son el cianuro de sodio, el sulfhidrato de sodio, nitrato de amonio, explosivos entre otros.

Los xantatos que no hayan sido preparados cumpliendo estrictamente los requisitos de calidad de los fabricantes especializados y así mismo no se transporten en las condiciones adecuadas, presentarán los siguientes peligros (**Queensland departament of natural resources, mines and energy, 2018**):

- Descomposición del xantato; en la descomposición se generan productos que son tóxicos e inflamables como el disulfuro de carbono y potencialmente vapores de alcohol.
- Combustión; en ello se generan productos de combustión tóxicos como el dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono y dióxido de carbono.
- Liberación de vapores inflamables; Las sustancias orgánicas volátiles de la descomposición pueden generar explosiones de bajo orden por ignición de estos componentes.
- Absorción; si se ingieren o se absorben cantidades significativas a través de la piel

puede producir un daño o irritación aguda en la superficie de la piel del trabajador.

- Exposición; en exposiciones elevadas a largo plazo, los estudios en animales muestran que los xantatos dañan crónicamente el hígado y el sistema neurológico.

La estabilidad del xantato se ve afectada por:

- Largos períodos de almacenamiento a altas temperaturas
- Contenido de humedad (que acompaña al producto en pelet y la que es absorbida durante el almacenamiento)
- Duración del almacenamiento, y
- Contacto con soluciones acuosas con pH menores a 7

Los xantatos absorben fácilmente la humedad del aire, lo que puede acelerar la descomposición del mismo. La descomposición se puede acelerar cuando el producto entra en contacto con sustancias que tienen un pH menor que 7, generando productos de descomposición como el CS₂ que es el principal contaminante.

De acuerdo con lo mencionado los medios ácidos descomponen el xantato, pero también, los medios oxidantes y por hidrólisis en medios húmedos. La descomposición acelerada de los xantatos requiere además de temperaturas mayores a 25°C.

Para controlar y manejar el producto durante su transporte y almacenamiento el xantato sólido tiene una clasificación de clase 4.2 (combustión espontánea) según UN 3342 (**Naciones Unidas , 2013**) y para mezclas líquidas se clasifica como clase 8 (corrosivo) sub-riesgo 6.1 (tóxico) según UN 2922 (**Queensland departament of natural resources, mines and energy, 2018**).



Fig. 5. Clasificación de los xantatos en forma sólida (Naciones Unidas , 2013).



Fig. 6. Clasificación de los xantatos en forma líquida (Queensland departament of natural resources, mines and energy, 2018).

1.6 Problemática en el manejo de xantatos en las industrias mineras

En las convenciones internacionales de minería sobre flotación se abordan diferentes temas relacionados con las operaciones de flotación y un grupo de estos temas han estado relacionados con las experiencias en el manejo de los xantatos y otros colectores de flotación alternativos al xantato (**Valenzuela, 2016; Quintanar, 2018**).

Los principales inconvenientes que le atribuyen a los xantatos son:

1. Contaminación en la zona de preparación de reactivos por la generación de polvos en la preparación de los colectores que van a dosificarse en las celdas de flotación.
2. Tiempo de disolución del xantato en pelet el cual es relativamente largo.
3. Inconvenientes para la eliminación de envases (sacos, palets y cajas de madera) contaminados con xantatos.
4. Riesgos a la salud y seguridad en la limpieza de estanques y sumideros.
5. Riesgos de combustión espontánea en el almacenamiento de xantatos.
6. Riesgo de incendio por la descomposición de los xantatos generando alcoholes y bisulfuro de carbono.
7. Problemas de aglomeración o apelmazamiento de los productos sólidos.
8. Descomposición de los xantatos en solución acuosa (xantato líquido) y los problemas metalúrgicos asociadas al cambio de concentración.

2 | PROPUESTA DE MEJORA Y MODELO DE DISTRIBUCIÓN

Dentro de la logística de productos químicos peligrosos se pueden definir de forma muy general los siguientes actores: Fabricante, Operador Logístico, Usuario Intermedio y Usuario Final.

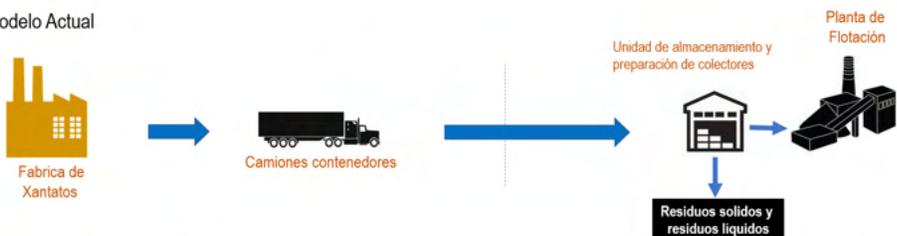
La propuesta de mejora está enfocada al usuario intermedio y usuario final donde se han logrado identificar las deficiencias en el uso y manejo adecuado de los xantatos.

La propuesta de mejora puede ser aplicada en diferentes regiones de Sudamérica para abastecer el colector xantato a las principales operaciones mineras en su forma más adecuada y más segura para las operaciones.

2.1 Programa de manejo seguro de xantatos (PMS-XANTATOS)

El programa PMS-Xantatos para el manejo seguro de sustancias peligrosas consiste en un plan de actuación que se debe cumplir en un tiempo predeterminado, que contiene medidas para el uso, la manipulación, el almacenamiento, el transporte y la disposición de desechos, además de la comunicación de los riesgos que representan los Xantatos.

1. Modelo Actual



2. Nuevo modelo de distribución



Fig. 7. Modelos de distribución de xantato a las unidades mineras.

Los lineamientos principales de este programa son:

- Planificar el transporte y recepción de los xantatos teniendo a la mano los certificados de análisis, fechas de fabricación, las hojas de seguridad y una lista de verificación que indique que los contenedores tienen todas las señalizaciones de seguridad para el transporte.
- Designar responsables técnicos para el manejo de los diferentes reactivos para la flotación y entre ellos a uno especializado en el manejo de xantatos.
- Capacitar anualmente al equipo logístico para el adecuado manejo de los contenedores o de los xantatos envasados, y también debe incluir las capacitaciones por el mismo fabricante.
- Capacitar a los trabajadores de las unidades de preparación del colector (incluidos los contratistas pertinentes) para identificar los peligros asociados con los xantatos, incluidos los desechos del producto.

- Rotar el stock correctamente (el stock antiguo se utiliza primero), mantener la adecuada señalización y monitoreos. Debido a la naturaleza química del xantato pueden presentarse problemas de apelmazamiento o aglomeraciones en los contenedores a causa de un prolongado almacenamiento.
- Asegurar que las áreas de almacenamiento estén adecuadamente segregadas de los materiales incompatibles, tales como el metabisulfito de sodio, sulfato de cinc o sulfato de cobre.
- Almacenar las cajas de xantato de tal manera que se permita la ventilación suficiente para que se dispersen los vapores y eviten la acumulación de humedad.
- Los xantatos en contenedores flexibles (big bag) deben almacenarse en lugares secos, frescos y bajo techo, alejados de una fuente de calor y ambientes ácidos, de preferencia alejado de las zonas húmedas de preparación.
- Monitorear las condiciones de almacenamiento con una lista de verificación, esta verificación es muy recomendable para aquellas localidades donde el producto se encuentra almacenado a temperaturas superiores a 30°C.
- Incluir los equipos de protección personal como respiradores apropiados o máscaras de suministro de aire fresco, protectores para los ojos, como gafas protectoras, y ropa protectora, como los overoles, guantes y botas con la calificación adecuada para el uso, cuando sea necesario.
- Verificar los datos del producto antes de su uso, como la fecha de fabricación, de haber contenedores manchados o húmedos se debe medir la presencia de disulfuro de carbono (CS₂) en sus alrededores.
- Seleccionar los equipos de protección respiratoria para vapores de CS₂ y SO₂, los cuales puedan requerir de protección respiratoria con filtros o respiradores con suministro de aire.
- Monitorear los niveles de CS₂ en las zonas de almacenamiento del colector líquido (tanques stock) donde los niveles de exposición ocupacional son los más altos.
- Durante la recepción del producto sólido en los contenedores de transporte, medir la presencia de CS₂ y asegurar una ventilación adecuada antes de ingresar.
- Implementar el monitoreo estático continuo de CS₂ en áreas de mezcla y almacenamiento. Si se detecta CS₂ en el almacenamiento, utilice imágenes térmicas para identificar contenedores / cajas sospechosas.
- Exigir al fabricante la identificación tanto de los envases externos como internos, debido a que los distribuidores usualmente retiran el envase externo dejando al producto con una identificación de riesgo deficiente y genera un desconocimiento del manejo seguro del producto.
- Evitar los impactos directos al contenedor, ya que pueden dañar los envases. De ocurrir el daño, trasvasar o usar inmediatamente el producto.
- Conservar el producto en su envase y cerrado para evitar el ingreso de aire y agua

y de esa manera mantener sus propiedades colectoras.

- Almacenar el producto en lugares techados y cubiertos con el objeto de evitar el deterioro de los envases por exposición a los rayos solares.
- Usar las guías de almacenamiento y manejo de líquidos inflamables y combustibles para responder apropiadamente ante la posibilidad de liberación de vapores inflamables generados por la descomposición del xantato.
- El tanque stock del colector debe ser instalado fuera de toda actividad o fuente de ignición, el contacto con los vapores de solventes generaría explosiones e incendios, estos tanques de stock deben ser ventilados para prevenir la acumulación de CS₂. Los controles de manejo requieren de una ingeniería que permita ventilar e inertizar los tanques de almacenamiento y reducir de esa manera los riesgos de exposición debajo de los límites permisibles
- El manejo de los xantatos envasados en la unidad de preparación del producto presenta pocos riesgos, sin embargo, es necesario tener en cuenta:
 - El vaciado del producto en los tanques de preparación el cual debe realizarse lentamente para evitar la generación de polvos en suspensión y,
 - Para la preparación el personal debe estar equipado con anteojos anti-salpicaduras, respiradores y guantes de goma.
- El programa debe tener Procedimientos tales como:
 - Procedimiento de análisis de metales cobre, cinc, plomo, calcio y magnesio en aguas de preparación.
 - Procedimientos estándar para el transporte interno manual y mecánico de xantatos envasados.
 - Procedimiento para la determinación del contenido de xantatos en solución acuosa.
 - Procedimientos estándar para la manipulación de sustancias peligrosas.
 - Procedimientos estándar para el trasvase de sustancias peligrosas.
 - Procedimientos estándar para el almacenamiento de xantatos.
 - Procedimientos estándar para la disposición de desechos relacionados con el xantato.

Los programas de manejo seguro de xantatos deben ser implementados con el acompañamiento del fabricante el cual debe certificar que las instalaciones cuentan con las medidas de seguridad necesarias para el manejo de xantatos.

2.2 Especialización en el manejo de xantatos en las unidades mineras

Los diseñadores de plantas de flotación suelen omitir consultar a los fabricantes de los reactivos de flotación las características técnicas de las unidades de preparación

de reactivos, tal es así, que se generan incidentes que pudieron prevenirse desde la construcción.

Los problemas técnicos de diseño son atribuidos al producto, tal es así, que optan por la búsqueda de reemplazos para los reactivos usados antes que una mejora de las instalaciones de las zonas de preparación; a la fecha se busca reemplazos para el cianuro de sodio, sulfhidrato de sodio y de otros reactivos por desconocimiento de su adecuado manejo sacrificando eficiencias en las recuperaciones de los minerales valiosos.

En ese sentido en las construcciones de las unidades de preparación se debe tener en cuenta:

- Solicitar e incluir las recomendaciones técnicas de los fabricantes.
- Seguir la jerarquía de controles para que el riesgo sea tan bajo como sea razonablemente alcanzable y en un nivel aceptable. Con respecto a la seguridad del proceso, también se deben realizar evaluaciones de riesgo apropiadas, como un HAZOP, para identificar otras medidas preventivas y mitigantes.
- Utilizar las campanas de extracción con depuradores para eliminar el polvo de xantato de la mezcla.
- Asegurar que el equipo eléctrico en las áreas de mezcla, almacenamiento y limpieza de xantato cumpla con la serie AS / NZS 60079 Atmósferas explosivas, y que las áreas de almacenamiento y mezcla de xantato se evalúen adecuadamente según esta norma.
- Instalar camisas de enfriamiento en cualquier tanque stock de almacenamiento de xantato líquido.

2.2.1 Uso de xantatos de los procesos de fabricación con solventes

Los xantatos producidos a partir de procesos de fabricación con solventes alifáticos contienen muy bajos niveles de álcalis libres inclusive menores a 0.1%, los solventes utilizados en el proceso permiten obtener alta conversión química y una cinética de conversión mucho más rápida que los procesos convencionales de fabricación sin solvente.

El contenido de álcali libre (hidróxidos de sodio o potasio) que no ha logrado reaccionar le confieren propiedades de inestabilidad al xantato, debido a que al entrar en contacto con la humedad se inicia el proceso de descomposición lenta y a su vez le confiere al xantato un grado de peligrosidad; y si se suma un ambiente caliente con valores mayor a 40°C puede incrementar el riesgo de combustión espontánea, en américa se tienen plantas de fabricación con este tipo de tecnologías como los de Alkemin y Reactivos Nacionales S.A. Los operadores mineros deben poner especial atención a los niveles de álcalis de los xantatos terminados y adquiridos para sus actividades de flotación y preferentemente deben ser obtenidos de procesos de fabricación con solventes.

2.2.2 Uso de xantatos en polvo de alta pureza

Los xantatos fabricados con procesos de fabricación con solvente entregan productos en polvo de alta pureza y bajos niveles de humedad, tal como se puede ver en la tabla 2, estas características de humedad le infieren propiedades estables al xantato y reducen los riesgos de descomposición y conservan su pureza por tiempos prolongados mayores a un año, es notable el nivel de calidad del PAX en polvo con un contenido de materia activa (MA) alrededor de 98.5% y valores de humedad menores a 1%.

| Xantato | Xantato en Pelet | Xantato en Polvo |
|---------|--------------------------|--------------------------|
| PAX | 91% MA y 7 %Humedad | 98.5 % MA y 0.5%Humedad |
| SIPX | 86%MA y 12 %Humedad | 91.7 % MA y 7.3 %Humedad |
| SIBX | 86.5% MA y 10.5 %Humedad | 93.8 % MA y 5.2 %Humedad |

Tabla 2. Composición de los xantatos para las aplicaciones industriales.

Fuente: Reactivos Nacionales S.A.

En esta propuesta es recomendable el uso de productos en polvo y para ello el operador minero debe instalar una infraestructura necesaria para la manipulación de xantatos en polvo. Es fundamental que las unidades de preparación de soluciones de xantatos con productos en polvo estén provistas de campanas extractoras de polvo o medios herméticos de manipulación normalmente no se toman en cuenta estos equipamientos en el diseño inicial de las plantas de flotación.

2.3 Transporte de xantato en polvo y preparación de xantatos en solución acuosa en las unidades mineras

A menudo la sustitución parcial o total de los xantatos por colectores de otra familia química menos peligrosa no es factible debido a las características metalúrgicas del mineral. Sin embargo, se puede sustituir el xantato sólido por xantato en solución acuosa (xantato líquido) esto eliminaría los pasos de preparación (dilución) y la necesidad de almacenar y manipular el producto químico en sólido. Este modelo de distribución elimina los principales inconvenientes relacionados con los contenedores de los xantatos (cajas de madera y contenedores flexibles contaminados), debido a que el transporte se realizaría con silos móviles los cuales movilizarán el producto en grandes cantidades, tal como lo hacen para la distribución de óxido de calcio (Ca).

El rendimiento de la preparación de xantatos líquidos a partir del producto en polvo reduciría la generación de sedimentos que cuando se prepara a partir de xantato en pelet.

Los xantatos en polvo se pueden transportar directamente desde los fabricantes teniendo en cuenta que su logística debe permitir el manejo bajo esta presentación, seguido de la ubicación de plantas de preparación para posteriormente atención a las unidades

mineras con las soluciones acuosas de xantato. Para lograr este objetivo se debe cambiar la forma de transporte adecuado para este tipo de producto (xantato en polvo), lo óptimo son en silos móviles cuyas capacidades estarían entre 20,000kg a 25,000kg.



Figura 7. Silos móviles para productos en polvo.

Fuente: Leiths, <https://www.leiths-group.co.uk/>.

El xantato líquido se puede preparar directamente con el contenedor conectado a un circuito de preparación (**American Cyanamid company; Cyanamid Canada Inc, 1984**). Los productos pueden ser almacenados y conservados en stock en los silos móviles por largos periodos de tiempo manteniendo la fluidez del polvo.

El uso de xantatos bajo esta forma de distribución reduce a cero el uso de contenedores flexibles, palets de manipulación y cajas de madera y, por consiguiente, la generación de residuos contaminados disminuye a cero.

2.3.1 Uso de xantatos en solución acuosa en las plantas de preparación de xantatos líquidos

En temas de flotación es necesario que las soluciones acuosas de xantatos sean preparadas y dosificadas en la concentración correcta y considerando todos los controles para medir la concentración del contenido de materia activa (MA).

Se ha encontrado que en las operaciones mineras la preparación del colector no se realiza adecuadamente, el agua utilizada tiene un sin número de impurezas, entre ellas se tiene los iones metálicos y el oxígeno disuelto que al reaccionar con las moléculas de xantatos forman precipitados u otras sustancias causantes de una descomposición gradual del xantato, además de las desviaciones en los balances de materia no entregan una concentración correcta para la dosificación del colector.

En este punto la estrategia del nuevo modelo consiste en instalar unidades de preparación de xantatos en solución acuosa (xantatos líquidos) en regiones de alta concentración de plantas de flotación y desde allí establecer las conexiones con las unidades

mineras, abasteciendo un colector en solución acuosa, fresca, con la concentración adecuada y libre de sedimentos.

Las unidades de preparación de xantatos líquidos están conformados principalmente de equipos de desionización del agua, cuya razón de su aplicación es remover los iones metálicos que reaccionan con el xantato, tanques de mezcla, instrumentos para determinar la concentración de xantatos en las soluciones (equipos de UV-visible) y sistemas de filtrados que garantizan un producto adecuado y limpio para la flotación. Para los asentamientos mineros donde la temperatura ambiental supera los 35°C es necesario distribuir el xantato líquido con tanques de enfriamiento a 20°C para evitar la descomposición excesiva de las soluciones de xantato.

Es factible realizar la distribución de los xantatos en solución acuosa en isotanques o camiones tanques hasta los asentamientos mineros, tener en cuenta que los contenedores deben estar previstos de aislamiento térmico para prevenir: el calentamiento del colector y por consiguiente la descomposición por altas temperaturas o la precipitación del xantato por enfriamiento excesivo y posterior precipitación de los cristales.

Bajo este esquema el operador minero reduce enormemente parte de sus actividades de preparación del colector y les confía la preparación a empresas especializadas o de preferencia a los fabricantes de xantatos los cuales controlan adecuadamente la química del proceso, la seguridad en la preparación y los cuidados ambientales.

2.4 Proceso de tratamiento de residuos industriales líquidos con contenidos de xantatos

Los residuos líquidos derivados de las actividades de preparación de los xantatos deben ser tratados para eliminar las moléculas residuales. Cabe mencionar que las moléculas de xantato en contacto con el oxígeno y los rayos ultravioletas sufren una lenta descomposición natural, sin embargo, para acelerar el proceso de remoción se requiere del uso de mecanismos de tratamiento físico químicos más especializados, los cuales facilitan la limpieza y remoción de las aguas de procesos. En la actualidad existen dos alternativas bien desarrolladas las cuales son:

2.4.1 Tratamiento con Cloruro férrico

El cloruro férrico y el cloruro ferroso, reaccionan con los iones de xantatos para dar xantogenatos de baja solubilidad, estas moléculas se coagulan y floculan para dar sedimentos que posteriormente se puedan remover mecánicamente y logren limpiar las aguas residuales que van de 400 mg/l hasta valores menores a 5 mg/l, tienen una alta eficiencia de remoción e inclusive es factible para elevadas concentraciones de aguas con altos contenidos de xantatos superiores a 4000 mg/l. Esta tecnología requiere de condiciones de operación de pH 9, el uso de tanques de mezclado y sedimentadores rápidos, los floculantes adecuados son del tipo no iónico. Este método de tratamiento ha

resultado eficiente para remover iones de los xantatos de alcoholes isobutílico, isopropílico y amílico.

Los iones férricos usados para el tratamiento pueden ser provistos por fabricantes locales en la presentación de soluciones de cloruro férrico al 40% o pueden ser generados en planta por electrocoagulación.

2.4.2 *Proceso de tratamiento con oxidación avanzada*

Para efluentes con contaminantes diversos y de entre ellos los xantatos, los procesos de oxidación avanzados han resultado eficaces para la destrucción no solo de los iones de xantatos sino de diversas moléculas orgánicas. Este método de tratamiento requiere del uso de oxidantes como el peróxido de hidrógeno, catalizadores como iones férricos o ferrosos, rayos UV y reguladores de pH. El resultado del tratamiento químico son aguas con concentraciones de iones xánticos con valores inferiores a 10 mg/l (**Cifuentes, Herrera, Siqueira, & Moura, 2013**). A diferencia del proceso de tratamiento con el cloruro férrico, que es específico solo para iones xánticos, el método de tratamiento por oxidación avanzada destruye todo tipos de colectores orgánicos por ejemplo ditiofosfatos, tionocarbamatos y otras sustancias orgánicas.

3 | CONCLUSIÓN

- ✓ El modelo propuesto permite hacer un adecuado manejo de los residuos generados por la manipulación y manejo de los xantatos, en este punto el fabricante es el más recomendado para acompañar al operador minero en la correcta disposición final de los residuos y sobre todo en el tratamiento de las aguas residuales.
- ✓ Actualmente se estaría manejando a nivel mundial 294,000 toneladas de xantato en las unidades mineras lo que representaría la eliminación de 1,099 toneladas de contenedores flexibles y alrededor de 27,670 toneladas de madera contaminados con xantatos, el cual causa preocupación para las compañía mineras que tienen que sustentar el cumplimiento de sus objetivos de sostenibilidad, sin embargo los desechos de los contenedores flexibles están siendo dispuestos rellenos sanitarios que en el futuro puede presentar problemas ambientales, por ello es necesario adoptar medidas que acompañen la sostenibilidad de la as actuales operación mineras.
- ✓ Se presenta un nuevo modelo de distribución enfocado a la minimización y eliminación de residuos en comparación del actual modelo de distribución (distribución por cajas y contenedores flexibles), a esto se suma las ventajas de ofrecer colectores de flotación de alto valor (xantato líquido) en concentraciones controladas y libres de materiales ajenos al reactivo de flotación.
- ✓ El programa de manejo seguro de xantatos (PMS-XANTATOS) contribuye al manejo seguro en la preparación y manipulación de los xantatos, es necesario que las compañías mineras adopten estas medidas para garantizar la seguridad y salud de

los trabajadores de las unidades de preparación de xantatos, las recomendaciones que se describen en el PMS-XANTATOS son resultados de años de experiencia de los fabricantes de xantatos y pocas veces se ha puesto a disposición de los consumidores de xantatos.

✓ El xantato es el colector de flotación más usado y de mayor vigencia en las plantas de flotación, a pesar de que las mismas unidades mineras le hayan asociado ciertos riesgos ocasionados por la falta de controles adecuados en el manejo del producto, se espera que este colector permanezca en el mercado por varias décadas más, por lo que los operadores mineros deberían direccionar sus objetivos, aprendiendo a manejar los xantatos y así aprovechar los beneficios metalúrgicos que trae consigo la aplicación del xantato en la minería.

REFERENCIAS

American Cyanamid company; Cyanamid Canada Inc. (1984). *Aero Xanthate Handbook: Aero xanthate products*. New Jersey - USA: Mining Chemical departament Wayne.

Azañero, A. (2015). *Flotación y concentración de minerales*. PERÚ: Editorial Colecciones Jovic.
Bulatovic, S. (2007). *Handbook of flotation reagents: Chemistry, theory and practice* (Vol. volumen 1 Flotation of sulfide ores). USA: Elsevier. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53029-5.X5009-6>

Castañeda, M. (7 de Noviembre de 2016). *Los objetivos de desarrollo sostenible y la sostenibilidad corporativa del sector minero*. Obtenido de Gerens Escuela de Posgrado: <https://gerens.pe/blog/objetivos-desarrollo-sostenibilidad-corporativa-sector-minero/>

Cifuentes, G., Herrera, C., Siqueira, M., & Moura, A. (2013). Sodium isopropyl xanthate degradation by advanced oxidation processes. *Minerals Engineering, volumen 45*, 88-93. doi:10.1016/j.mineng.2012.12.001

Crozier, R. (1992). *Flotation: Theory, reagents and Ore testing*. Great Britain: Pergamon Press.

Naciones Unidas . (2013). *Recomendaciones relativas al Transporte de mercancías peligrosas*. New York: Naciones Unidas.

Persistence market research. (Noviembre de 2019). *Xanthates Market*. Obtenido de Global Market Study on Xanthates: Increasing Mineral Extraction Activities to Benefit Growth: <https://www.persistencemarketresearch.com/market-research/xanthates-market.asp>

Queensland departament of natural resources, mines and energy. (04 de Abril de 2018). *Mines Safety Bulletin n° 171*. (Q. m. inspectorate, Editor, D. Lee, & L. Rocchi, Productores) Obtenido de Xanthates in mining (update): <https://www.rshq.qld.gov.au/safety-notice/mines/xanthates-in-mining-update>

Quintanar, C. (2018). Reactivos XR una alternativa segura y selectiva al xantato. *III Congreso internacional de flotación de minerales*. Lima - PERÚ.

Sutulov, A. (1963). *Flotación de minerales*. Concepción - Chile: Instituto de investigaciones tecnológicas - Concepción.

Valenzuela, N. (2016). Avances en la química de flotación: productos alternativos al xantato. *II Congreso internacional de flotación de minerales*. Lima - PERÚ.

Wang, D. (2016). *Flotation Reagents: applied surface chemistry on minerals flotation and energy resources beneficiation* (Vol. volumen 2: Applications). China: Springer Nature. doi:<https://doi.org/10.1007/978-981-10-2027-8>

COBERTURA DE PILHA DE ESTÉRIL EM CLIMAS SEMI-ÁRIDOS

Data de aceite: 01/02/2022

Data da submissão: 05/03/2022

Flávio de Moraes Vasconcelos

Hidrogeo Engenharia e Gestão de Projetos
Belo Horizonte – MG
<http://lattes.cnpq.br/1482366665858095>

Nathália Augusta Ferreira Sales Coutinho

Hidrogeo Engenharia e Gestão de Projetos
Belo Horizonte – MG
<http://lattes.cnpq.br/0842775933272753>

Michael Milczarek

GeoSystem Analysis, Inc.
Tucson, Arizona, Estados Unidos

Rodrigo Dhryell Santos

Equinox Gold - Mineração Riacho dos
Machados
Riacho dos Machados - MG

Luiz Lourenço Fregadolli

Equinox Gold - Mineração Riacho dos
Machados
Riacho dos Machados - MG

RESUMO: Cobertura de pilha de estéril é uma das estratégias mais eficazes para a redução da geração de acidez e da solubilização de metais em unidades de mineração de minério sulfetado. Contudo, esse tipo de projeto deve ser desenvolvido considerando as características do meio físico local (clima, solo e vegetação) e com objetivos específicos determinados desde o início das atividades. O presente trabalho apresenta a

concepção de um projeto de cobertura de pilha de estéril em uma mineração de ouro no norte de Minas Gerais, onde é uma região de clima semi-árido e de vegetação também específica para este clima. O projeto aqui apresentado faz parte do plano de fechamento de mina que a mineração está desenvolvendo para esta unidade.

PALAVRAS-CHAVE: Cobertura de Pilha de Estéril, Drenagem Ácida de Mina, Reabilitação de Áreas Degradadas.

WASTE CELLS COVER IN SEMI-ARID CLIMATE

ABSTRACT: Overburden mine waste pile capping is one of the most effective strategies for reducing acid generation and metal solubilization in sulphide ore mining facilities. However, this type of project must be developed considering the characteristics of the local physical environment (climate, soil, and vegetation) and with specific objectives determined from the beginning of the work. The present work presents the conception of a waste pile cover project in a gold mining operation located in the north of Minas Gerais State, a region with a semi-arid climate and vegetation that is also specific for this climate. The project presented here is part of the mine closure plan that this mining is developing for this unit.

KEYWORDS: Waste cells Cover, Acid Mine Drainage, Rehabilitation of Degraded Areas.

1 | INTRODUÇÃO

A Mineração Riacho dos Machados

(MRDM) se localiza entre os municípios de Riacho dos Machados e Porteirinha, ao norte do Estado de Minas Gerais, cerca de 580 km de Belo Horizonte.

A lavra da jazida, formada principalmente por rocha quartzo-muscovita-xisto, envolve a disposição em pilha de materiais sulfetados, com predominância de arsenopirita (FeAsS_2). Existem três tipos de materiais que são depositados em pilha: estéril FRANCO, estéril PROXIMAL e minério de BAIXO TEOR.

A área das pilhas de estéril proximal e minério de baixo teor possui sua fundação impermeabilizada com uma camada de 30 cm de material argilo-siltoso compactado, visto que a área seria destinada ao recebimento de material com teores de sulfetos com possível potencial para geração de drenagem ácida.

Em 2010, a fim de certificar esse potencial de reatividade de todos os materiais envolvidos, incluindo a avaliação do estéril Franco, a empresa iniciou o processo de investigação geoquímica. Os resultados obtidos nesse processo indicaram a reatividade dos materiais movimentados, sendo possível o desenvolvimento de um quadro de geração de drenagem ácida e/ou lixiviação de metais nas pilhas em operação. A drenagem ácida de mina (DAM) é gerada a partir do contato do mineral sulfetado com a água e com o ar, predispondo-o à oxidação do íon sulfeto em sulfato.

Os métodos normalmente aplicados para controle de geração de drenagem ácida e dos seus efeitos assumem caráter de prevenção e/ou remediação.

Uma das alternativas de prevenção amplamente empregada consiste na implantação de um sistema de cobertura sobre o material sulfetado, empregando-se camadas de solo, materiais sintéticos ou através de uma disposição controlada. A fim de garantir a estabilidade química do meio, essa solução visa controlar principalmente o contato do material com a água, agente lixiviante dos minerais presentes, responsável por produzir um percolado rico em metais dissolvidos e ácido sulfúrico.

De um modo geral, são as características de cada ambiente, como potencial de geração de acidez do material, topografia, clima, e a disponibilidade de recursos técnicos e financeiros que determinarão a melhor alternativa a ser utilizada.

2 | OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é apresentar os aspectos fundamentais de uma modelagem conceitual e numérica para o desenvolvimento de um trabalho de cobertura de pilhas em climas semi-áridos, visando a inibição da oxidação dos sulfetos presente no material estocado.

Para que os objetivos sejam atingidos, foram considerados três cenários de fechamento da estrutura, visando a eficácia da redução da infiltração de água nas drenagens da pilha de estéril. Os cenários foram tais que:

A. Sem cobertura: exposição direta do material estéril Franco à atmosfera;

- B. 30 cm de um solo de baixa permeabilidade (barreira hidráulica) sobre o material Franco e 30 cm de uma cobertura limpa de solo superficial sobre a barreira hidráulica;
- C. Utilização de solo local com alta permeabilidade e apropriado para o plantio.

3 | METODOLOGIA

3.1 Definição dos aspectos gerais da modelagem de cobertura de pilha

As características que definem o desempenho de um sistema de cobertura se dividem entre as propriedades de percolação e de estabilidade/integridade do(s) solo(s) empregado(s). Segundo ALBRECHT & BENSON (2001), a eficiência de um sistema de cobertura depende do material com o qual é construído, de suas propriedades físicas e hidráulicas (condutividade hidráulica e capacidade de retenção de umidade), da integridade da cobertura no longo prazo, do clima ao qual estará sujeita e da natureza e tipo da cobertura vegetal.

Os sistemas de cobertura com solo podem ser divididos em dois tipos: convencionais (ou prescritivos) e alternativos (ou evapotranspirativos).

As coberturas prescritivas consistem em camadas de solo com baixa condutividade hidráulica, a fim de minimizar a infiltração e maximizar o escoamento superficial e a evapotranspiração. Os componentes básicos da cobertura prescritiva são uma camada de solo apropriado para o plantio e uma camada (barreira) executada com solo compactado de baixa condutividade hidráulica, sobre o resíduo. A vegetação, nesses casos, tem, por objetivos: aumentar a remoção de água do sistema por evapotranspiração; e garantir a integridade da camada de cobertura, protegendo-a dos efeitos de ressecamento e dos processos erosivos. A barreira, como o próprio nome sugere, visa minimizar a passagem de percolato e ar pelo perfil de solo.

As coberturas evapotranspirativas, por sua vez, são formadas por uma camada de solo apropriado para o plantio, sobreposta a uma camada de solo pouco compactado, cuja função é armazenar a água que infiltra durante os períodos chuvosos, liberando-a durante os períodos de seca.

3.2 Cenários avaliados

Os cenários avaliados neste estudo contemplam:

Cenário 1: pilha sem cobertura, sendo o estéril depositado de forma controlada (realização da segregação dos materiais);

Cenário 2: implantação de cobertura prescritiva, a partir da utilização de uma camada de barreira hidráulica convencional. Além da barreira hidráulica, considerou-se ainda a existência de uma camada de material granular (estéril limpo) no topo do sistema de cobertura;

Cenário 3: foi definido um modelo conceitual de cobertura evapotranspirativa com uma camada de solo apropriado para o plantio, sobreposta a uma camada de solo pouco compactado, cuja função é armazenar a água que infiltra durante os períodos chuvosos, liberando-a durante os períodos de seca.

3.3 Modelagem numérica

Parâmetros considerados na modelagem

A modelagem numérica computacional dos Cenários 1 e 2 foi realizada utilizando o VADOSE/W, software do pacote GeoStudio 2012 (GEOSLOPE, 2021), que, a partir de parâmetros climáticos, de vegetação e geotécnicos, analisa numericamente sistemas de fluxo líquido em meios porosos.

Os parâmetros climáticos, a saber, precipitação, radiação, umidade relativa, temperatura máxima e mínima e velocidade do vento, foram obtidos no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do INMET (2021) para a estação convencional JANAÚBA (Código 83395), mais próxima à mina. Os dados utilizados nas simulações referem-se àqueles observados no ano em que a precipitação atingiu o maior valor, 1992.

Os parâmetros geotécnicos dos materiais (estéril, fundação e materiais de cobertura) foram, em grande parte, estimados. Para a fundação e o estéril, foram empregados parâmetros apresentados no Projeto Detalhado da Pilha de Estéril (HIDROGEO ENGENHARIA E GESTÃO DE PROJETOS, 2021).

Nas simulações, optou-se por não considerar os dados de vegetação, uma vez que a inserção de espécies vegetais potencializa o fenômeno de evapotranspiração, responsável pela retirada de água do solo.

Seção de análise

A análise numérica da aplicação do sistema de cobertura na pilha de estéril Franco da MRDM foi realizada empregando-se modelo unidimensional.

A simulação 1D, por se tratar de um modelo mais simplificado que exige um menor tempo de resposta, foi empregada para a avaliação das condições de fluxo d'água nas porções mais baixas da pilha.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Definição dos aspectos gerais da modelagem e cenários avaliados

O primeiro cenário avaliado, e modelado em software apropriado, foi o comportamento da pilha com a realização de uma disposição controlada, confinando o material sulfetado no interior da massa de estéril.

O segundo cenário avaliado, e modelado em software, representa o tipo de cobertura

prescritiva, camadas de solo com baixa condutividade hidráulica.

O terceiro cenário avaliado conceitualmente, representa o tipo de cobertura evapotranspirativa, que é formado por uma camada de solo apropriado para o plantio, sobreposta a uma camada de solo pouco compactado.

4.2 Software de modelagem

Parametrização do material

As propriedades dos materiais da pilha, bem como o material a ser usado na cobertura foram avaliados.

Estéril Franco: as propriedades do material para o estéril Franco foram estimadas a partir de medições dos tamanhos de partícula D_{60} e D_{10} (0,5 mm e 0,022 mm, respectivamente). Esses tamanhos de partículas indicam que o estéril Franco é uma areia fina. A curva característica da umidade do solo (SWCC) para o estéril Franco parece representativa de um material semelhante a areia, mas a condutividade hidráulica saturada atribuída ($K_{sat} = 2 \times 10^{-5}$ cm/s) está na extremidade inferior e pode ser subestimada por uma ou mais ordens de magnitude.

Barreira Hidráulica: à camada de baixa permeabilidade (barreira hidráulica) no Cenário 2 foi atribuído um valor K_{sat} de $1,15 \times 10^{-6}$ cm/s. Esse valor é razoável para um material de argila; no entanto, a estação seca prolongada na região e o potencial que a vegetação estabelecerá na cobertura significam que podem ocorrer rachaduras por dessecação e penetração da raiz. Esses fatores ambientais podem levar ao desenvolvimento do caminho de fluxo preferencial e efetivamente a um K_{sat} muito mais alto conforme o sistema de cobertura amadurece (BENSON & KHIRE, 1995).

Fundação: o material de fundação é definido como um granito-gnaisse residual, mas de outra forma não é caracterizado. O K_{sat} e o θ_{sat} atribuídos à fundação são representativos de um solo de granulação fina; no entanto, o valor de θ_{res} sugere uma rocha fraturada.

A curva de retenção de água e a função condutividade hidráulica de cada um dos materiais considerados na modelagem encontram-se na Tabela 1.

| Material | k_{sat} (cm/s) | k_{sat} (m/ dia) | θ_{sat} | θ_{res} | D_{10} (mm) | D_{60} (mm) | LL (%) |
|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------|----------------|------------------|------------------|-----------|
| Barreira Hidráulica | $1,15 \times 10^{-6}$ | $9,94 \times 10^{-4}$ | 0,320 | 0,01 | - | - | - |
| Estéril | $2,00 \times 10^{-5}$ | $1,73 \times 10^{-2}$ | 0,450 | - | 0,022 | 0,5 | 20 |
| Fundação (residual granito-gnaisse) | $1,00 \times 10^{-5}$ | $8,64 \times 10^{-3}$ | 0,489 | - | - | - | - |

Tabela 1: Parâmetros geotécnicos dos materiais.

Como condição à avaliação dos sistemas de cobertura, foi atribuído um valor de sucção inicial aos materiais analisados, conforme segue: barreira hidráulica: -20 kPa; estéril: -10 kPa; e material de fundação (solo residual): -20kPa.

Resultados da modelagem

Os resultados indicados por um sistema de modelagem estão estritamente relacionados aos dados de entrada com os quais o *software* foi alimentado. Quanto maior a representatividade e confiabilidade dos dados de entrada, maior a realidade em torno das respostas obtidas.

As Tabelas 2 e 3 apresentam os valores acumulados das parcelas de precipitação, escoamento superficial, evaporação e infiltração, frente às condições avaliadas no Cenário 1, ao longo de 365 dias.

| Tempo (Dias) | Precipitação Acumulada (m ³) | Run off Acumulado (m ³) | Evaporação Acumulada (m ³) | Infiltração Acumulada (m ³) |
|--------------|--|-------------------------------------|--|---|
| 365 | 1,315 | 0,606 | 0,408 | 0,301 |

Tabela 2: Cenário 1 - Valores acumulados das parcelas do balanço hídrico.

| Tempo (Dias) | Precipitação Acumulada (m ³) | Run off Acumulado (m ³) | Evaporação Acumulada (m ³) | Infiltração Acumulada (m ³) |
|--------------|--|-------------------------------------|--|---|
| 365 | 1,315 | 0,876 | 0,386 | 0,052 |

Tabela 3: Cenário 2 - Valores acumulados das parcelas do balanço hídrico.

Cenário 3

O cenário 3 não foi modelado no software, porém, avaliado conceitualmente. A área de estudo encontra-se em uma zona semiárida. Contudo, observa-se a presença de vegetação em todo o entorno da pilha, fato este que demonstra a necessidade de considerar no design de cobertura de pilha a opção de uma cobertura do tipo evapotranspirativa. Em uma próxima etapa deste estudo essa opção será detalhada.

5 | CONCLUSÃO

Os dados apresentados permitem concluir sobre a eficácia na redução da taxa de infiltração de água na pilha, em razão da implantação do sistema de cobertura, empregando-se solo argiloso com baixa permeabilidade. Comparativamente, o volume de água infiltrado no Cenário 2 foi cerca de 83% menor do que aquele infiltrado no Cenário 1. A avaliação dos dados climáticos da região permitiu conhecer a ocorrência de solos apropriados para

plântio, usados em uma cobertura evapotranspirativa. Cabe destacar que as conclusões acerca da modelagem aqui realizada são válidas para as condições simuladas a partir dos parâmetros de entrada utilizados.

REFERÊNCIAS

ALBRECHT, B. A.; BENSON, C. H. Effect of Dessication on Compacted Natural Clays. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**. January, 2001. pp. 67 - 75.

BENSON, C. H.; KHIRE, M. V. Earthen Covers for Semiarid and Arid Climates, Landfill Closures – Environmental Protection and Land Recovery. **ASCE, Geotechnical Special Publication**, n. 53. New York, NY, 1995. p. 201-217.

GEOSLOPE, Calgary, CA. Disponível em: <<https://www.geoslope.com/geo-slope-home/moduleid/765/itemid/10/mcti/eventdetails>>. Acesso em : nov. 2021.

HIDROGEO ENGENHARIA E GESTÃO DE PROJETOS. **Revisão da Modelagem do Sistema de Cobertura para Pilha de Estéril Franco**. Belo Horizonte, MG. 2021.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <<https://bdmep.inmet.gov.br>>. Acesso em: nov. 2021.

SÍNTESE E QUEBRA DE EMULSÃO ÓLEO EM ÁGUA (O/A) VIA AQUECIMENTO E ADITIVAÇÃO COM NONILFENOL POLIETOXILADO

Data de aceite: 01/02/2022

Heithor Syro Anacleto de Almeida

Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
Centro de Engenharias
Mossoró - RN
<http://lattes.cnpq.br/5833053326179641>
<https://orcid.org/0000-0002-1847-6555>

Geraldine Angélica Silva da Nóbrega

Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
Centro de Engenharias
Mossoró - RN
<http://lattes.cnpq.br/2114102220321647>
<https://orcid.org/0000-0003-2729-1197>

Diego Ângelo de Araújo Gomes

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Rio Grande do Norte
Mossoró - RN
<http://lattes.cnpq.br/1122632660553343>
<https://orcid.org/0000-0001-7370-5966>

Rafael Stefano Costa Mallak

Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
Centro de Engenharias
Mossoró - RN
<http://lattes.cnpq.br/3399334807775109>

Francisco Klebson Gomes dos Santos

Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
Centro de Engenharias
Mossoró - RN
<https://orcid.org/0000-0003-4542-6382>

Alyane Nataska Fontes Viana

Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
Centro de Engenharias
Mossoró - RN
<http://lattes.cnpq.br/8467748480864688>

RESUMO: Durante os processos de produção de petróleo nos campos maduros grande quantidade de água é injetada a fim aumentar a pressão e realizar a retirada do petróleo, como também outra grande porção de água é usada no processo de dessalinização do petróleo cru com o intuito de remover sais presentes no petróleo extraído. As emulsões de petróleo e água formadas nos processos acima descritos geram problemas nas tubulações que transportam as emulsões como também na indústria, além da contaminação das águas pelo despejo dos resíduos do processo de produção e extração do petróleo. Visando não apenas em evitar tais problemas é importante oferecer um destino adequado aos resíduos da produção, para aproveitar o óleo existente nas emulsões, reutilizar a grande quantidade de água usada nos processos e evitar danos gerados pelo descarte dos resíduos no meio ambiente. No presente trabalho estudou-se a desemulsificação da emulsão O/A de água produzida através do banho termostático com adição de tensoativos não-iônicos do tipo nonilfenol polietoxilado (4 - 6 EO). A metodologia usada neste trabalho incluiu a síntese de emulsões O/A, com teor de 10% (v/v), através da agitação mecânica e como parâmetro de avaliação foi utilizado o teste da garrafa. Para o processo de quebra da emulsão foram utilizados três tensoativos não-iônicos em

diversas concentrações, juntamente com o uso de um banho termostático. Os resultados mostraram que a melhor quebra de emulsão se deu para o nonilfenol 1,8 EO, com 50% de eficiência de separação do óleo para concentrações mais altas. Conclui-se que os tensoativos utilizados podem aumentar quebra da emulsão com o aumento da concentração, mesmo para valores de concentração de tensoativos acima da CMC, além de que o BHL (Balanço Hidrofílico-Lipofílico) do tensoativo utilizado pode ser usado como um fator importante para o processo de quebra.

PALAVRAS-CHAVE: Desemulsificação; Tensoativos; Banho termostático; Emulsão O/A.

SYNTHESIS AND BREAKDOWN OF OIL-IN-WATER EMULSION (O/W) VIA HEATING AND ADDITIVATION WITH POLYETOXYLATED NONYLPHENOL

ABSTRACT: During the oil production processes in mature fields, a large amount of water is injected in order to increase the pressure and carry out the removal of oil, as well as another large portion of water is used in the crude oil desalination process in order to remove salts present in the extracted oil. The oil and water emulsions formed in the processes described above generate problems in the pipelines that transport the emulsions as well as in the industry, in addition to the contamination of water by the disposal of residues from the process of production and extraction of oil. Aiming not only to avoid such problems, it is important to offer an adequate destination for production residues, to take advantage of the existing oil in the emulsions, to reuse the large amount of water used in the processes and to avoid damages generated by the disposal of residues in the environment. In the present work, the demulsification of the O/W emulsion of water produced through the thermostatic bath with the addition of non-ionic surfactants of the polyethoxylated nonylphenol type (4 - 6 EO) was studied. The methodology used in this work included the synthesis of O/W emulsions, with a content of 10% (v/v), through mechanical agitation and the bottle test was used as an evaluation parameter. For the process of breaking the emulsion, three non-ionic surfactants were used in different concentrations, together with the use of a thermostatic bath. The results showed that the best emulsion breakage occurred for nonylphenol 1.8 EO, with 50% oil separation efficiency at higher concentrations. It is concluded that the surfactants used can increase emulsion breakage with increasing concentration, even for surfactant concentration values above the CMC, in addition to that the BHL (Hydrophilic-Lipophilic Balance) of the surfactant used can be used as an important factor for the breaking process.

KEYWORDS: Demulsification; Surfactants; Thermostatic bath; O/W emulsion.

1 | INTRODUÇÃO

Durante o processo de produção de petróleo é comum o aparecimento de água proveniente do mecanismo de recuperação secundária por injeção de água. Devido à turbulência durante o transporte dos resíduos dos processos acima, emulsões de água e óleo – as emulsões podem ser de água em óleo (A/O) ou de óleo em água (O/A) – são formadas, ou devido ao gradiente de pressão existentes no subsolo de onde petróleo é extraído (ARAÚJO, 2004).

As emulsões geram problemas nas tubulações, além da contaminação das águas

pelo despejo dos resíduos do processo de produção e extração do petróleo. Como a emulsão residual apresenta viscosidade mais alta que o petróleo desidratado ele necessita de um custo energético para transporte mais elevado, como também pode causar problemas de corrosão (EVDOKIMOV; LOSEV, 2014).

Visando não apenas em evitar tais problemas é importante oferecer um destino adequado aos resíduos da produção, para aproveitar o óleo existente nas emulsões, reutilizar a grande quantidade de água usada nos processos e evitar danos gerados pelo descarte dos resíduos no meio ambiente.

1.1 Características das emulsões de petróleo e legislação

As emulsões podem ser classificadas em óleo em água (O/A), óleo é a fase dispersa e a água a fase contínua; e água em óleo (A/O), água é a fase dispersa e o óleo a fase contínua (IIDA et al., 2007).

Segundo Daltin (2011), uma das regras básicas da tecnologia de emulsões é que tensoativos mais solúveis em água tendem a proporcionar emulsões O/A mais estáveis, e que tensoativos mais solúveis em óleo são mais indicados para emulsões A/O.

Os agentes emulsificantes responsáveis pela estabilidade das emulsões são tensoativos naturais presentes no petróleo bruto. Sjöblom et al. (apud (EVDOKIMOV; LOSEV, 2014) explana que esses tensoativos podem, entre outras substâncias, ser resinas, asfaltenos, ácidos naftenicos e sólidos finos úmido. Porém, é acreditado por Lee (1999) apud (DAAOU; BENDEDOUCH, 2011), que entre esses compostos os asfaltenos sejam os principais responsáveis pela estabilidade da emulsão. As emulsões O/A são estabilizadas por tensoativos de alto BHL e a quebra dessas emulsões pode ser feita pelo aumento da solubilidade do tensoativos em água (DALVIN, 2011).

No caso das emulsões com petróleo brasileiro onde as moléculas de óleo são grandes, as macromoléculas, apresentando ângulo de contato com a água de aproximadamente 90°. Portanto, um agente umectante para desbalancear esse ângulo e assim desestabilizar a emulsão, permitindo que as macromoléculas sejam umectadas pela água ou pelo óleo da emulsão e abandonem a interface (DALVIN, 2011).

O artigo 5º da resolução nº 393 de agosto de 2007, anexo 1, declara que o descarte de água produzida deverá obedecer à concentração média aritmética simples mensal de óleos e graxas de até 29 mg/L, com valor máximo diário de 42 mg/L.

1.2 Mecanismos envolvidos na quebra de emulsão

Sedimentação. A sedimentação juntamente com a ascensão ocorre em virtude da diferença de densidade existente nas fases internas e contínua da emulsão. Esse movimento foi estudado por Stokes, que deduziu uma fórmula para calcular a velocidade de ascensão ou sedimentação de uma gotícula esférica em uma fase contínua (DALVIN, 2011).

Floculação. Segundo Araújo (2004) a floculação é um aglomerado de gotas em agregados irregulares nos quais ainda é possível reconhecer cada gota de forma individual. Dessa forma, a floculação consiste na formação de agregados de gotas que podem sedimentar rapidamente, e se as condições forem favoráveis as gotas podem sofrer coalescência.

Coalescência. A coalescência é um fenômeno irreversível no qual as gotas perdem a sua identidade e na maioria dos casos é a etapa lenta do processo de quebra da emulsão (ARAÚJO, 2004).

1.3 Considerações sobre os produtos desemulsificantes e propriedades dos tensoativos

Segundo Araújo (2004), a eficiência dos produtos desemulsificantes à base de copolímeros de óxido de etileno e propileno é muito dependente da relação entre as partes hidrofílicas e lipofílicas (BHL).

Nas pesquisas realizadas por Khutoryanskil et al. (1981), utilizando produtos desemulsificantes à base de copolímeros de óxido de etileno e propileno, revelaram que os produtos mais eficientes são aqueles situados na faixa de BHL entre 6,8 e 8,8.

Balanco Hidrofílico-Lipofílico. O conceito de BHL dos tensoativos surgiu em 1949, introduzido por Driffin como uma alteração na regra de Bancroft com o intuito de torná-la mais quantitativa e funcional. Assim, o conceito de HLB nada mais é que um balanço quantitativo entre as características hidrofílicas e lipofílicas de uma molécula em solução (DALVIN, 2011). Abaixo o quadro 1 relaciona a aplicação comum do tensoativos com seu BHL.

| BHL | Aplicação |
|-------|-------------------|
| 3-6 | Emulsificante A/O |
| 7-9 | Agente molhante |
| 8-14 | Emulsificante O/A |
| 9-13 | Detergente |
| 10-13 | Solubilizante |
| 12-17 | Dispersante |

Quadro 1 – Aplicação do tensoativos em função do BHL.

Fonte: (HOLMBERG et al., 2007).

Concentração micelar crítica. O agregado molecular, de tamanho coloidal, em equilíbrio com as moléculas a partir das quais são formadas é chamado de micela (DELNUNZLO, 1990). Sua formação ocorre a partir de uma certa concentração, chamada de Concentração Micelar Crítica (CMC), quando as moléculas adicionadas se reúnem em agregados com a parte polar em contato com a água e suas camadas hidrófobas orientadas para o interior, para poder ter um mínimo de superfície em contato com o

diluyente (SCRIVEN, 1977).

2 | METODOLOGIA

Os experimentos foram desenvolvidos no laboratório de Físico-Química do Instituto Federal do Rio Grande do Norte- IFRN, Campus Mossoró.

2.1 Preparo das emulsões

As emulsões foram sintetizadas utilizando 180 mL de água destilada e 20 mL de petróleo bruto submetidos a agitação mecânica, utilizando um agitador *Hamilton Beach* HM D200-CE, a 16000 rpm durante 10 min.

2.1.1 Adição do tensoativo

Foram utilizados três tensoativos comerciais para a quebra de emulsão. Os tensoativos escolhidos são descritos na tabela 1.

| Produto | Descrição Química | Aparência a 25 °C | HBL | CMC (g/L)* |
|------------|-------------------|-------------------|------|------------|
| R18 | Nonilfenol 1,8 EO | Líquido | 5,3 | 0,0430 |
| R40 | Nonilfenol 4 EO | Líquido | 8,9 | 0,0922 |
| R60 | Nonilfenol 6 EO | Líquido | 10,9 | 0,57357 |

Tabela 1 – Informações dos tensoativos.

Fonte: (Adaptando de Oxiteno® YSAMBERTT et al.*, 1998).

Dessa maneira, a adição do tensoativos foi feita após a adição da emulsão a um tubo cônico, e em seguida foi feita a homogeneização da solução por meio de inversões.

2.1.2 Efeito da temperatura e teste da garrafa

Para avaliar a influência da temperatura durante a desmulsificação foi utilizado um Banho Ultratermostático FANEM 116. Um tubo cônico graduado específico para medir a quantidade de água e sedimentos foi introduzido no banho termostático, onde foram feitas aferições, com intervalo de 10 minutos, sobre a quantidade de óleo bruto separado. A faixa de temperatura utilizada durante o processo varia entre 25 a 70° C.

A avaliação da quantidade de óleo separada, conseqüentemente da eficiência do desmulsificante, foi feita pelo teste da garrafa a partir da utilização de um tubo cônico cilíndrico graduado, indicado na figura 1, que permite medir a quantidade de óleo separado da emulsão durante o aquecimento.



Figura 7 – Tudo cônico graduado.

Fonte: (ARAÚJO, 2004).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Concentração de tensoativo versus volume de óleo separado

As emulsões contidas neste tópico apresentam teor de 10% O/A e ausência significativa de eletrólitos.

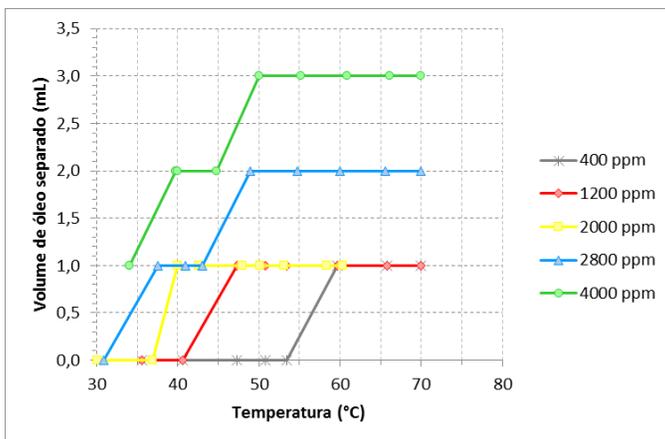


Gráfico 1 – Volume de óleo separado da água em função da temperatura para o R18.

Fonte: (Autoria própria, 2015).

Analisando o gráfico 1, pode-se observar que a estabilização na separação do óleo

da emulsão usando o R18 ocorreu por volta de 50 °C, com exceção da concentração em 400 ppm, onde a estabilização só ocorreu em 60 °C. Como já esperado, a quebra da emulsão foi ocorrendo de acordo com o aumento da temperatura, que está de acordo com trabalhos realizados de maneira semelhante por DE SARLES et al. (2014) e DUAN et al. (2014). É perceptível que o aumento da temperatura favorece a atuação do tensoativos, visto que nas concentrações de 4000 ppm e 2800 ppm foram encontrados os melhores resultados de quebra da emulsão, com 2 mL de óleo separado.

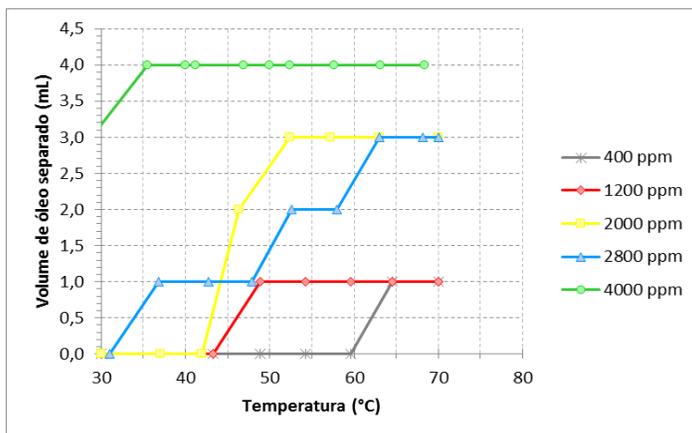


Gráfico 2 - Volume de óleo separado da água em função da temperatura para o R40.

Fonte: (Autoria própria, 2015).

O gráfico 2 mostra o volume de óleo separado por aquecimento em 5 concentrações diferentes de R40.

De acordo com o gráfico 2, nota-se que a estabilização da separação de óleo da emulsão usando o R40 ocorreu por volta de 60 °C, com exceção da concentração em 400 ppm, onde a estabilização só ocorreu em 65 °C. Seguindo o comportamento esperado, a quebra da emulsão ocorre a medida que aumenta a temperatura. Porém, a atuação do tensoativos ao longo das variadas concentrações não ocorre seguindo um padrão nítido. As concentrações de 2000 ppm e 2800 ppm obtiveram melhores valores de quebra de emulsão, em comparação as outras concentrações, ambos com 3 mL de óleo separado. Porém, a concentração de 4000 ppm não teve um bom resultado, com apenas 1 mL de óleo separado. Os melhores resultados podem ser explicados tendo em vista uma maior proximidade do BHL do R40 (8,9) que o R18 (5,3) da faixa de otimização de desemulsificantes, 6,8 e 8,8 (KHUTORYANSKII et al.).

O gráfico 3 mostra o volume de óleo separado por aquecimento em 5 concentrações diferentes de R60.

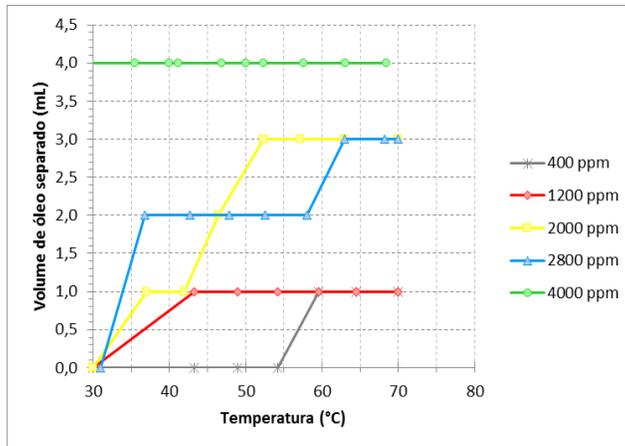


Gráfico 3 - Volume de óleo separado da água em função da temperatura para o R6-.

Fonte: (Autoria própria, 2015).

A partir do Gráfico 3, nota-se que a estabilização da separação de óleo da emulsão usando o R60 ocorreu por volta de 60 °C, com exceção da concentração de 2800 ppm, onde a estabilização só ocorreu em 63 °C. Seguindo o comportamento esperado, a quebra da emulsão ocorre a medida que aumenta a temperatura. Porém, diferente dos tensoativos anteriores, na concentração de 4000 ppm não houve separação de óleo da emulsão. Já nas concentrações de 2000 ppm e 2800 ppm houveram bons resultados, ambos com 3 mL de óleo separado.

A concentração de 400 ppm, nos três tensoativos utilizados, realizou a quebra da emulsão apenas na faixa de temperatura entre 50 °C e 60 °C. Isto deve-se ao efeito da temperatura sobre a CMC dos tensoativos, onde o aumento da temperatura causa redução da CMC dos tensoativos não-iônicos, como mostra o estudo de MIRANDA (2008).

3.2 Concentração de tensoativos versus eficiência de extração

As emulsões preparadas continham teor de 10%, em volume, de O/A, em 80 mL emulsão coletados para o teste da garrafa. A quantidade máxima de óleo presente nas emulsões era de 8 mL, assim foi possível realizar a construção de uma tabela que relaciona a eficiência da extração do óleo das emulsões com a concentração do tensoativos em cada ensaio experimental. O cálculo da eficiência de extração foi realizado utilizando a equação 1.

$$Eficiência = \frac{volume\ de\ óleo\ separado}{volume\ total\ de\ óleo} \cdot 100\% \quad (1)$$

| TENSOATIVO | CONCENTRAÇÃO | | | | |
|------------|--------------|----------|----------|----------|----------|
| | 400 ppm | 1200 ppm | 2000 ppm | 2800 ppm | 4000 ppm |
| R18 | 12,5% | 12,5% | 12,5% | 25% | 37,5% |
| R40 | 12,5% | 12,5% | 37,5% | 37,5% | 50% |
| R60 | 12,5% | 12,5% | 37,5% | 37,5% | 50% |

Tabela 3 – Eficiência de extração versus Concentração dos Tensoativos.

Fonte: (Autoria própria, 2015).

Analisando a tabela 3, vemos que os melhores resultados são encontrados para as concentrações mais altas, além que a concentração de 4000 ppm, realizou a quebra de 50% da quantidade de óleo separado da emulsão para o R40 e R60.

4 | CONCLUSÕES

Com este trabalho, concluímos que mesmo com um BHL não adequado para a desemulsificação, os tensoativos utilizados apresentaram um desempenho razoável para o processo de quebra de emulsão. Concentrações acima da CMC não apresentam resultados significativos para a quebra de emulsão visto que há formação de micelas e estas favorecem a estabilidade da gotícula do óleo na água.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPQ á UFERSA e ao IFRN pelo apoio e incentivo a pesquisa.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, M. M. S. de. **Estudo de quebra de emulsões de petróleo utilizando microemulsões e célula de desidratação eletrostática**. 2004. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte. 2004.

DAAOU, M.; BENEDEDOUCH, D. Water pH surfactant addition effects on the stability of an Algerian crude oil emulsion. **Journou of Saudi Chemical Society**. Irã, p. 333-337, 1 jul. 2011.

DALTIN, Decil. **Tensoativos: Química, propriedades e aplicações**. São Paulo: Blucher, 2011.

EVDOKIMOV, Igor N.; LOSEV, Aleksandr P.. Microwave treatment of crude oil emulsions: Effects of water content. **Journal of Petroleum Science And Engineering**. Moscou, Russia, p. 24-30, 15 fev. 2014.

DELNUNZLO, M. J. Tensoativos e suas aplicações básicas. **Aerossol & Cosméticos**, p. 14-22, 1990.

DE SARLES, V. N. G. de; SALDANHA, M. C. G. G.; DOLINSKY, M. C. B.; SIMÕES, A. L. C. Avaliação da eficiência da separação da água do óleo com produtos químicos de base polimérica. **Revista de Engenharia da Universidade Católica de Petrópolis**, v. 8, n. 2, p. 56-67, 2014.

DUAN, M.; MA, Y.; FANG, S.; SHI, P.; ZHANG, J.; JING, B.; Treatment of wastewater produced from polymer flooding using polyoxyalkylated polyethyleneimine. **Separation and Purification Technology**, v. 133, p. 160-167, 2014

IIDA, P. H.; SCHEER, A. P.; WEINSCHUTZ, R. Estudo do efeito da água em emulsões de petróleo. In: 4º **CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS**. Campinas - Sp: Abpg, 2007. v. 4, p. 21 – 24.

KHUTORYANSKIL, F. M.; LEVCHENKO, N.do; NIKOLAEVA, N. M.; MAKAL'SKAYA, E. N. Efficiency of demulsifiers of diproksamin type in relation to HLB. **Petroleum and Gas Processing**, [s.1.], 6, 50-51, 1981.

SCRIVEN, L. E. **Micellization solubilization and microemulsions**. New York: Plenum Press, 1977. V. 2.

CAPÍTULO 24

DESESTABILIZAÇÃO DE EMULSÃO (O/A) DO PETRÓLEO BRUTO UTILIZANDO ÁLCOOL LAURÍLICO ETOXILADO ALIADO A VARIAÇÃO DA TEMPERATURA

Data de aceite: 01/02/2022

Rafael Stefano Costa Mallak

Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
Centro de Engenharias
Mossoró - RN
<http://lattes.cnpq.br/3399334807775109>

Heithor Syro Anacleto de Almeida

Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
Centro de Engenharias
Mossoró - RN
<http://lattes.cnpq.br/5833053326179641>
<https://orcid.org/0000-0002-1847-6555>

Geraldine Angélica Silva da Nóbrega

Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
Centro de Engenharias
Mossoró - RN
<http://lattes.cnpq.br/2114102220321647>
<https://orcid.org/0000-0003-2729-1197>

Francisco Klebson Gomes dos Santos

Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
Centro de Engenharias
Mossoró - RN
<https://orcid.org/0000-0003-4542-6382>

Alyane Nataska Fontes Viana

Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
Centro de Engenharias
Mossoró - RN
<http://lattes.cnpq.br/8467748480864688>

Diego Angelo de Araujo Gomes

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Rio Grande do Norte
Mossoró - RN
<http://lattes.cnpq.br/1122632660553343>
<https://orcid.org/0000-0001-7370-5966>

RESUMO: A partir dos problemas gerados por corrosões em tubulação e em equipamentos de refino de óleo bruto que cria prejuízo para indústria observou a necessidade de que antes do refino deve ser feita a separação de óleo da água proveniente de aquíferos subterrâneos e também do mecanismo de recuperação do óleo. Normalmente água e óleo não são miscíveis, isso quer dizer que eles não se misturam, porém, como este óleo bruto está sobre pressão durante milhares de anos e possui tensoativos naturais, criam essa emulsão. Depois da separação dessa emulsão a água de produção deve estabelecer um nível mínimo de qualidade para ser descartada na natureza. O objetivo é realizar essa separação utilizando tensoativo, do tipo álcool laurílico etoxilado, aliado a temperatura para realizar os processos de floculação, sedimentação e coalescência até a separação do óleo, para verificar, analisar e concluir qual é o melhor tensoativo e temperatura para obter a melhor eficiência possível. A pesquisa foi realizada preparando uma solução contendo 90 % de água destilada e 10 % de óleo, os experimentos foram repetidos com a adição de 1,5 % de NaCl para simular as emulsões retiradas dos campos de produções de petróleo. Após o preparo das emulsões foram adicionados

tensoativos e posto ao banho termostático, variando a temperatura de 30 °C até 70 °C. Após analisar os resultados foi observado que o melhor desempenho apresentado foi o tensoativo Álcool Laurílico 3EO.

PALAVRAS-CHAVE: Emulsão O/A. Tensoativo. Desestabilização da emulsão. Quebra da emulsão. Separação O/A.

DESTABILIZATION OF EMULSION (O/W) OF CRUDE OIL USING ETHOXYLATED LAURYL ALCOHOL ALLIED WITH TEMPERATURE VARIATION

ABSTRACT: From the problems generated by corrosion in pipes and in crude oil refining equipment, which creates damage to the industry, it was observed that before refining, the oil must be separated from the water coming from underground aquifers and also from the mechanism of oil recovery. Normally, water and oil are not miscible, that is to say they do not mix, however, as this crude oil is under pressure for thousands of years and has natural surfactants, this emulsion is formed. After separation from the emulsion, the production water must establish a minimum level of quality to be discarded in nature. The objective of this work is to carry out this separation using surfactant, of the ethoxylated lauryl alcohol type, combined with temperature to carry out the flocculation, sedimentation and coalescence processes until oil separation, to verify, analyze and conclude which is the best surfactant and temperature for obtain the best possible efficiency. The research was carried out by preparing a solution containing 90% distilled water and 10% oil, the experiments were repeated with the addition of 1.5% NaCl to simulate the emulsions taken from oil production fields. After preparing the emulsions, surfactants were added and placed in a thermostatic bath, varying the temperature from 30 °C to 70 °C. After analyzing the results, it was observed that the best performance presented was the surfactant Lauryl Alcohol 3EO.

KEYWORDS: O/W emulsion. Surfactant. Destabilization of the emulsion. Breakage of the emulsion. O/W separation.

1 | INTRODUÇÃO

As pesquisas na área de extração e recuperação de efluente (gasoso ou líquido) e solo estão se desenvolvendo devido à exigência do mercado e constante busca de um padrão de qualidade, que cada dia vem sendo mais rigoroso. O alto poder solubilizante dos meios microemulsionados vem acompanhando este desenvolvimento, visto que é utilizado para extrair e recuperar efluentes e solos, trazendo grandes perspectivas na retirada do óleo da água de produção. Os tensoativos, em princípio, modificam as propriedades de um sistema gás-água-óleo, evitando a formação de cristais de hidrato de gás natural como relata Palermo Sonin e Lubek (1997). Os tensoativos são importantes porque apresentam a propriedade de se adsorver nas superfícies ou interfaces líquido-líquido, líquido-gás e sólido-líquido, reduzindo de maneira significativa a tensão interfacial (ARAÚJO, 2004).

Para Liu (2003) a água contida no óleo bruto gera um grande custo para o transporte deste óleo, porque seu volume total aumenta, e devido ao grande teor de sal da água gera problema de incrustação e corrosão nos oleodutos de exportações. Além de afetar

o funcionamento do bombeio, equipamentos de refino e contêineres prejudicando o refino como relata Liu (2010).

Um importante aspecto a ser considerado é o destino adequado para a água tratada. Por questões ambientais a água de produção não pode ser lançada ao meio ambiente contendo óleo. Ela deve ser separada do óleo e este deve apresentar níveis mínimos estabelecidos pela Agência Nacional de Águas (ANA) que é um órgão do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) conforme a resolução CONAMA 393/07 no artigo 5º estabelecendo que o descarte de água produzida deverá obedecer à concentração média aritmética simples de óleos e graxas de até 29 mg/L, com valor máximo diário de 42 mg/L.

1.1 Tensoativos

Daltin (2011) define tensoativos como uma molécula que apresenta uma parte que tem característica apolar ligada a outra parte que tem característica polar. A sua parte polar tem afinidade para fazer ligações com substâncias polares e a sua parte apolar tem afinidade para fazer ligações com substâncias apolares. Podemos identificar essas características através da figura 1.

A figura 1 de Curbelo (2006) mostra como é a estrutura de uma molécula tensoativa.

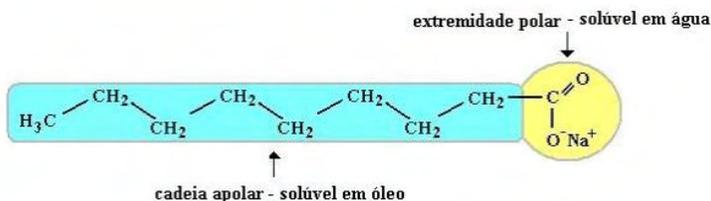


Figura 1: Molécula tensoativa.

Segundo Roodbari (2011), esses tensoativos possuem grupos hidrofílicos e lipofílicos fazendo com que tenham afinidades com a água como também com o óleo e assim impedindo os aglomerados de água de sofrer coalescência estabilizando a emulsão de dois líquidos imiscíveis.

1.1.1 Tensoativos etoxilados

Os tensoativos etoxilados são obtidos da reação de um álcool ou ácido graxo com óxido de eteno. Em função do número de unidades de óxido de eteno (grau de etoxilação), obtêm-se produtos que exibem diferentes valores de BHL, permitindo a escolha de um produto para cada aplicação. Utilizando produtos desemulsificante à base de copolímeros de óxido de etileno e propileno, revelaram que os produtos mais eficientes são aqueles situados na faixa de BHL entre 6,8 e 8,8 (ARAÚJO, 2004).

1.2 Balanço Hidrofílico-Lipofílico

O BHL foi descoberto por Griffin em 1949 para selecionar adequadamente o tipo de tensoativo a ser utilizado.

A quadro 2 de Holmberg (2007) mostra como os tensoativos se comportam conforme o BHL.

| BHL | Aplicação |
|-------|-------------------|
| 3-6 | Emulsificante A/O |
| 7-9 | Agente molhante |
| 8-14 | Emulsificante O/A |
| 9-13 | Detergente |
| 10-13 | Solubilizante |
| 12-17 | Dispersante |

Quadro 2: Aplicação do tensoativos em função do BHL.

O BHL é uma escala de 1 até 18, sendo que os valores baixos apresentam pequenos números de grupos hidrofílicos, ou seja, o surfactante apresenta maior afinidade com fase oleosa fazendo com que a parte apolar do tensoativo tenha maior contribuição. Para os valores altos apresentam grandes números de grupos hidrofílicos, ou seja, o surfactante apresenta maior afinidade com fase aquosa fazendo com que a parte polar do tensoativo tenha maior contribuição como relata Daltin (2011).

1.3 Formação micelar e CMC

Em soluções aquosas, as moléculas dos tensoativos operam na forma de monômeros (são pequenas moléculas que podem se ligar entre si formando moléculas maiores), orientando-se preferencialmente nas interfaces, diminuindo a tensão interfacial. A parte hidrofóbica sofre repulsão pela fase aquosa, enquanto os grupos polares são atraídos por interações eletrostáticas (TORAL, 1973).

O agregado molecular, de tamanho coloidal, em equilíbrio com as moléculas a partir das quais são formadas é chamado de micela (DELNUNZLO, 1990). Sua formação ocorre a partir de uma certa concentração, chamada de Concentração Micelar Crítica (CMC), quando as moléculas adicionadas se reúnem em agregados com a parte polar em contato com a água e suas camadas hidrófobas orientadas para o interior, para poder ter um mínimo de superfície em contato com o diluente (SCRIVEN, 1977).

A CMC é determinada através de gráficos e baseia-se no fato de que, acima de determinadas concentrações, todas as propriedades físicas da solução, tais como condutividade elétrica, tensão superficial, dispersão da luz ou índice de refração, mudam bruscamente (ARAÚJO, 2004).

Silva (2008) elenca três fatores que influenciam a CMC, a natureza do tensoativo, a

temperatura e a força iônica.

Um aumento da parte hidrófoba da molécula diminui fortemente este valor, enquanto a natureza da parte hidrófila tem uma menor influência, quer para os tensoativos iônicos ou não iônicos. Silva (2008) ainda afirma que a elevação da temperatura para os iônicos ocasiona um aumento na CMC, enquanto para os não iônicos faz com que esta decresça.

Quando a concentração do tensoativos encontra-se abaixo da CMC o tensoativo está, predominantemente, na forma de monômeros. E a concentração estando acima da CMC começa a existir um equilíbrio entre micelas e monômeros (SCHONS, 2008).

1.4 Mecanismos envolvidos na quebra de emulsão

1.4.1 Sedimentação

As emulsões podem ser quebradas a partir de vários mecanismos, como mostrado na figura 2 por Daltin (2011).

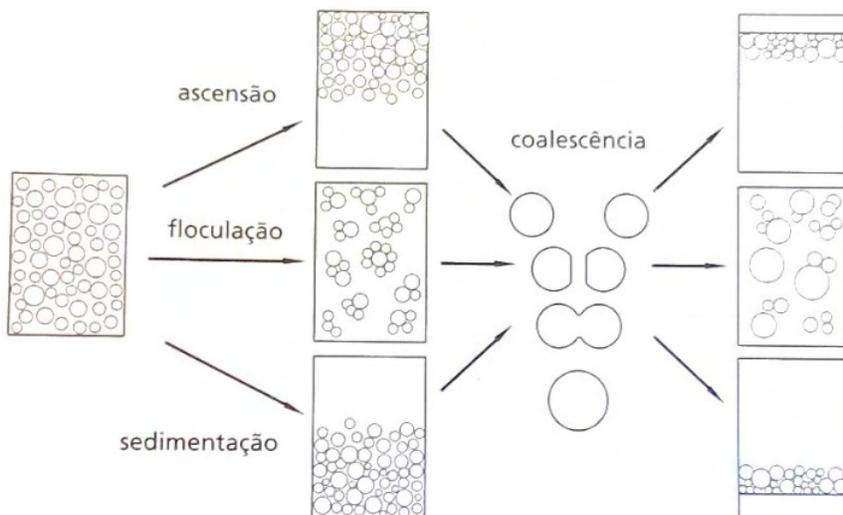


Figura 2: Mecanismos de desestabilização de emulsão.

A sedimentação juntamente com a ascensão ocorre em virtude da diferença de densidade existente nas fases internas e contínua da emulsão. Esse movimento foi estudado por Stokes, que deduziu uma fórmula para calcular a velocidade de ascensão ou sedimentação de uma gotícula esférica em uma fase contínua (DALTIM, 2011):

$$V = \frac{2R^2 \cdot g \cdot \Delta\rho}{9\eta} \quad (1)$$

Onde R é o raio da gotícula, supostamente rígida, g é a aceleração da gravidade, $\Delta\rho$

é a diferença entre as densidades de fase e η é a viscosidade da fase contínua da emulsão.

1.5 Floculação

Segundo Araújo (2004) a floculação é um aglomerado de gotas em agregados irregulares nos quais ainda é possível reconhecer cada gota de forma individual. Dessa forma, a floculação consiste na formação de agregados de gotas que podem sedimentar rapidamente, e se as condições forem favoráveis as gotas podem sofrer coalescência.

Araújo (2004) ainda aponta que a floculação é o resultado de três tipos de forças que competem entre si, sendo elas: forças de repulsão elétrica, forças de repulsão estérica e forças de atração de Van der Waals.

Porém, Daltin (2011) em seus estudos afirma que tanto a floculação, como a sedimentação e a ascensão são fenômenos facilmente reversíveis pela aplicação de agitação moderada.

1.5.1 Coalescência

A coalescência é um fenômeno irreversível no qual as gotas perdem a sua identidade e na maioria dos casos é a etapa lenta do processo de quebra da emulsão (ARAÚJO, 2004).

Apesar do processo de coalescência ser espontâneo do ponto de vista termodinâmico, devido ao processo reduzir a área interfacial total e também ocorrer a redução da energia do sistema.

Contudo, existem barreiras energéticas associadas à quebra da película interfacial e a drenagem da fase externa existente entre as gotas que precisam ser superadas para que seja processado a coalescência (ARAÚJO, 2004).

Ao passo que se processa a drenagem da fase externa, as gotas se aproximam e aumentam os efeitos de repulsão estérica, principalmente entre as moléculas dos surfactantes naturais adsorvidos nas interfaces das gotas (ARAÚJO, 2004).

1.5.2 Coagulação

A desestabilização da emulsão ainda pode ocorrer pela coagulação. A coagulação ocorre com a adição de um eletrólito inorgânico que irá diminuir a espessura da dupla camada elétrica, reduzindo as interações repulsivas eletrostáticas entre as partículas e permitindo a aproximação das partículas até a predominância das forças de atração Van der Waals (SCHONS, 2008).

2 | METODOLOGIA

2.1 Preparo da emulsão

A emulsão é preparada misturando 10% de óleo bruto e 90 % de água destilada, levada à agitação (Hamilton Beach HMD 200) com uma frequência de 16000 rotações por minuto durante 10 minutos. Para os ensaios com a presença de NaCl, são adicionados 1,5 % de NaCl e novamente levada a agitação por 5 minutos. Após esse procedimento a emulsão deve ficar em repouso por 30 minutos.

2.2 Adição do tensoativo

O tensoativo é adicionado a emulsão previamente preparada. Para o estudo de quebra foram utilizados tensoativos não iônicos da linha álcool laurílico etoxilado, sendo eles: álcool laurílico 3EO e álcool laurílico 6EO, as concentrações 1688 ppm, 2813 ppm, 3938 ppm e 5625 ppm. Estes foram adicionados e por inversão manual foi feita a solubilização já no tubo cônico. Em seguida levado ao banho termostático.

O quadro 2 mostra os valores de BHL dos tensoativos utilizados e a CMC calculada por Santos (2008).

| Produto | Aparência a 25 °C | CMC (ppm) | BHL |
|---------|-------------------|-----------|------|
| AL 3EO | Líquido | 2544 | 8,1 |
| AL 6EO | Líquido | 1845 | 11,5 |

Quadro 3: Propriedades dos tensoativos álcool laurílico etoxilados.

2.3 Quebra da emulsão

A fim de promover a quebra da emulsão, as amostras foram colocadas em tubo cônico e levadas ao banho termostático. O gradiente de temperatura utilizado foi de 30 °C a 70 °C. A partir dessa variação de temperatura a emulsão altera seu comportamento seguindo o mecanismo: floculação, sedimentação e coalescência. Isso acarretará na quebra da emulsão. Medidas visuais de volume foram observadas no intervalo de 10 minutos. A avaliação da quantidade de óleo separada, consequentemente da eficiência do desemulsificante, foi feita pelo teste da garrafa a partir da utilização de um tubo cônico cilíndrico graduado, que permite medir a quantidade de óleo separado da emulsão durante o aquecimento.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O grau de eficiência de cada temperatura foi medido através do volume de óleo separado em função da concentração do tensoativo para o álcool laurílico 3EO e álcool laurílico 6EO.

O gráfico 1, mostra a variação do volume de óleo separado em função da

concentração de álcool laurílico 3EO numa variação de temperatura de 30 a 70°C.

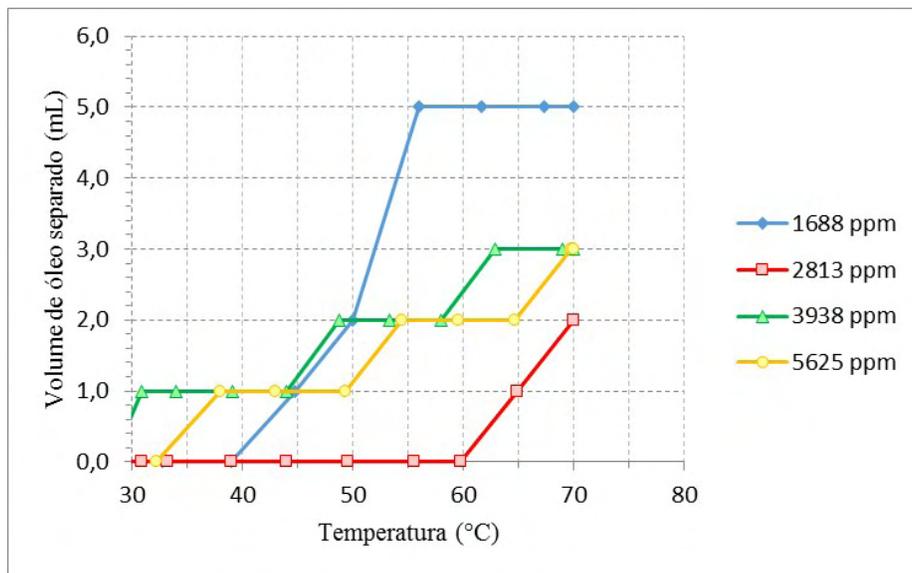


Gráfico 1: Volume de óleo separado da água em função da temperatura para o álcool laurílico 3EO numa faixa de temperatura de 30 a 70°C.

É possível observar no gráfico 1 que o álcool laurílico 3EO presente na emulsão estabiliza a quebra na temperatura de 55°C para a concentração de 1688 ppm e que o maior volume de quebra foi de 5 ml para a concentração de tensoativo com 1688 ppm. A eficiência dessa quebra para a concentração de 1688 ppm é de 62,5 %, para a de 2813 ppm obtemos uma eficiência de 25 % e os demais obtiveram 37,5 %.

Foi obtido um bom desempenho desse tensoativo devido ao valor do seu BHL (8,1) que está dentro da faixa de tensoativos desemulsificantes e além disso tem BHL baixo que faz com que seja ideal para ter afinidade com o óleo e criar a micela direta. Outro fato importante com o mesmo BHL, na escala de Griffin, é que nesta faixa ele também é um agente umectante que facilita a aglomeração de gotículas de óleo.

O gráfico 2, mostra a variação do volume de óleo separado em função da concentração de álcool laurílico 6EO numa variação de temperatura de 30 a 70°C.

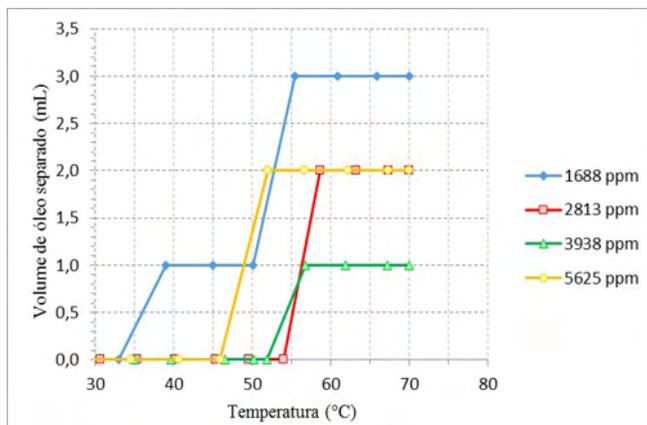


Gráfico 2: Volume de óleo separado da água em função da temperatura para o álcool laurílico 6EO numa faixa de temperatura de 30 a 70°C.

Observamos no gráfico 2, a emulsão na presença de álcool laurílico 6EO estabiliza na temperatura de 59°C para todas as concentrações e que o maior volume de quebra foi de 3 ml para a concentração de tensoativo com 1688 ppm. A eficiência dessa quebra para a concentração de 1688 ppm é de 37,5 %, para a de 3938 ppm obtemos uma eficiência de 12,5% e os demais obtiveram 25 %.

Obtivemos um fraco desempenho do álcool laurílico 6EO devido ao fato de seu BHL ser de 11,5 que está fora da faixa de tensoativos desemulsificantes e além disso tem BHL alto que faz com que não seja ideal para ter afinidade com o óleo e criar a micela direta. Além disso na escala de Griffin seu BHL está como emulsificante, então ele atuará muito mais para estabilizar do que desestabilizar a emulsão.

O gráfico 3, mostra a variação do volume de óleo separado em função da concentração de álcool laurílico 3EO numa variação de temperatura de 30 a 70°C.

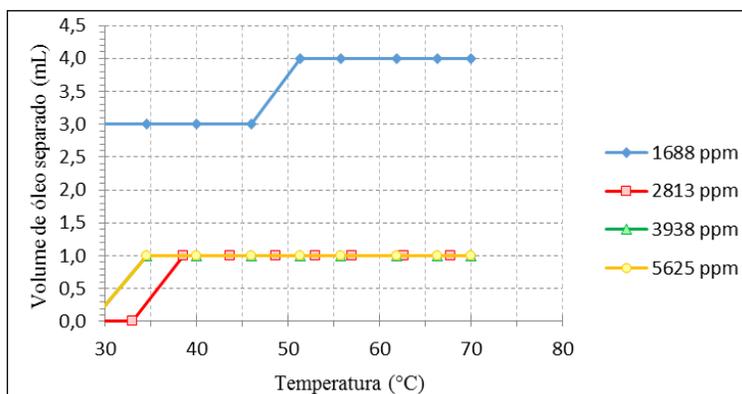


Gráfico 3: Volume de óleo separado da água em função da temperatura para o álcool laurílico 3EO + 1,5 % NaCl, numa faixa de temperatura de 30 a 70°C.

Observamos nesse gráfico de álcool laurílico 3EO com 1,5% de sal que a solução se estabiliza na temperatura de 52 °C para todas as concentrações e o maior volume de quebra foi de 4 ml para a concentração de tensoativo com 1688 ppm. A eficiência dessa quebra para a concentração de 1688 ppm é de 50 %, para a os demais 12,5 %.

Obtivemos um bom desempenho desse tensoativo devido ao fato de seu BHL ser de 8,1 que está dentro da faixa de tensoativos desmulsificantes e além disso tem BHL baixo que faz com que seja ideal para ter afinidade com o óleo e criar a micela direta. Outro fato importante com o mesmo BHL, na escala de Griffin, é que nesta faixa ele também é um agente umectante que facilita a aglomeração de gotículas de óleo.

A eficiência da emulsão com sal é menor do que a eficiência da emulsão sem sal e isso ocorre porque o sal afeta diretamente a CMC fazendo com que reduza o número de micela do meio, conseqüentemente terá menos óleo para sofrer coalescência e separar.

O gráfico 4, mostra a variação do volume de óleo separado em função da concentração de álcool laurílico 6EO numa variação de temperatura de 30 a 70°C.

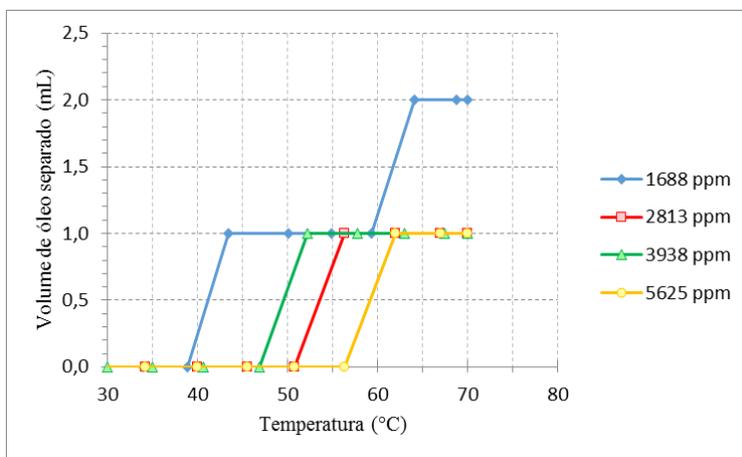


Gráfico 4: Volume de óleo separado da água em função da temperatura para o álcool laurílico 6EO + 1,5 % NaCl, numa faixa de temperatura de 30 a 70°C.

Observamos nesse gráfico de álcool laurílico 6EO com 1,5 % de sal que a solução se estabiliza na temperatura de 65 °C para todas as concentrações e que o maior volume de quebra foi de 2 ml para a concentração de tensoativo com 1688 ppm. A eficiência dessa quebra para a concentração de 1688 ppm é de 25 %, para as demais obtivemos 12,5 %.

Obtivemos um fraco desempenho do álcool laurílico 6EO devido ao fato de seu BHL ser de 11,5 que está fora da faixa de tensoativos desmulsificantes e além disso tem BHL alto que faz com que não seja ideal para ter afinidade com o óleo e criar a micela direta. Além disso na escala de Griffin seu BHL está como emulsificante, então ele atuará muito mais para estabilizar do que desestabilizar a emulsão.

A eficiência da emulsão com sal é menor do que a eficiência da emulsão sem sal e isso ocorre porque o sal afeta diretamente a CMC fazendo com que reduza o número de micela do meio, consequentemente terá menos óleo para sofrer coalescência e separar.

A tabela 3 mostra as eficiências obtidas pelos tensoativos.

| Eficiência de extração | 1688 ppm | 2813 ppm | 3938 ppm | 5625 ppm |
|-------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| AL 3EO | 62,5% | 25% | 37,5% | 37,5% |
| AL 6EO | 37,5% | 25% | 12,5% | 25% |
| AL 3EO + 1,5 % NaCl | 50% | 12,5% | 12,5% | 12,5% |
| AL 6EO + 1,5 % NaCl | 25% | 12,5% | 12,5% | 12,5% |

Tabela 3: Eficiências dos tensoativos.

Podemos visualizar na figura 3 a seguir o experimento que obteve a melhor eficiência.



Figura 3: álcool laurílico 3EO.

4 | CONCLUSÃO

Podemos concluir com os resultados obtidos que o álcool laurílico 3EO tem mais eficiência do que o álcool laurílico 6EO no volume de separação de óleo e isso se deve ao fato de que seu BHL está dentro da faixa de 6,8 até 8,8 comprovando a teoria. Outro resultado importante obtido foi que todos os tensoativos obtiveram melhores resultados na concentração de 1688 ppm. O tensoativo álcool laurílico 3EO obteve melhor resultado que o álcool laurílico 6EO na concentração de 1688 ppm, este é considerado um bom resultado porque os dois tensoativos estão abaixo da CMC. Os valores acima da CMC não favorecem

a quebra de emulsão visto que tendem a formar micelas.

A maior eficiência obtida foi de 62,5 % para o álcool laurílico 3EO sem sal com a temperatura de estabilização de 55 °C e 5 ml de separação efetiva e a maior eficiência para resultados com sal foi o álcool laurílico 3EO com 50 %, a sua temperatura de estabilização foi de 52 °C e 4 ml de separação efetiva de óleo. A eficiência da emulsão com sal é menor do que a eficiência da emulsão sem sal e isso ocorre porque o sal afeta diretamente a CMC fazendo com que reduza o número de micela do meio, conseqüentemente terá menos óleo para sofrer coalescência e separar.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, M. M. S. **Estudo de quebra de emulsões de petróleo utilizando microemulsões e célula de desidratação eletrostática**. 2004, 116 p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Química. Natal-RN.

DALTIN, Decil. **Tensoativos: Química, propriedades e aplicações**. São Paulo: Blucher, 2011.

HOLMBERG, K.; JONSSON, B.; KRONBERG, B.; LINDMAN, B. **Surfactants and polymers in aqueous solution**. 2 ed. John Wiley & Sons; West Sussex, 2007.

LIU, G.; XU, X.; GAO, J. **Study on the Compatibility of Asphaltic Crude Oil with the Electric Desalting Demulsifiers**. *Energy & Fuels*, v. 17, p. 543-548, 2003.

LIU, Jia *et al.* **Optimization of biodemulsifier production from *Alcaligenes sp. S-XJ-1* and its application in breaking crude oil emulsion**. China, p. 466 – 473, 2010.

ROODBARI, Nastaran Hayati; BADIEI, Alireza; SOLEIMANI, Esmail; KHANIANI, Yeganeh. **Tweens demulsification effects on heavy crude oil/water emulsion**. Tehran and Shahrood, Iran, p. 1 - 6, 2011.

SANTOS, F. K. G. et al. **Avaliação de soluções de tensoativos não iônicos visando a aplicação na recuperação avançada de petróleo**. *Revista Petro & Química*. n° 308, p. 56, Natal, Brasil, 2008.

SCHONS, E. M. **DESESTABILIZAÇÃO DE EMULSÕES VISANDO A REDUÇÃO DO TEOR DE ÓLEO EM ÁGUA**. 2008, 168 p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, pós-graduação em Engenharia Mineral, Departamento de Engenharia de Minas, Ouro Preto-MG, 2008.

SCRIVEN, L. E. **Micellization solubilization and microemulsions**. New York: Plenum Press, 1977. V. 2.

SILVA, P. K. L. **Remoção de óleo da água de produção por flotação em coluna utilizando tensoativo de origem vegetal**. 2008, 104 p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Química, Natal-RN, 2008.

SONIN, A. A.; PALERMO, T.; LUBEK, A. **Effect of a dispersive surfactant additive on wetting and crystallization in a system: water-oil-metal substrate. Application to gas hydrates**. *Chemical Engineering Journal*. v. 69, n.2, p.93-98, 1997.

TORAL, M. T. **Físico-Química de superfícies y sistemas dispersos**. Bildao, Urmo Esparteo, 1973.

ESTUDIO PARA EVITAR LA CONTAMINACIÓN POR MEDIO DE LA COMBUSTIÓN DEL GAS METANO EN REALIZAR UNA RECUPERACIÓN ENERGÉTICA

Data de aceite: 01/02/2022

Vilma Del Mar Amaya Gutiérrez

Estudiante de doctorado del centro panamericano de estudios superiores: CEPES y profesora del Instituto Tecnológico de Reynosa, Universidad México- Americana del Norte A.C.

RESUMEN: Esta investigación se realiza a petición y con todo el apoyo del RELLENO SANITARIO DE LA CIUDAD DE REYNOSA, TAMAULIPAS DEL GRUPO RECO, para determinar el mejor método de combustión del Gas Metano debido a continuas contingencias de incendios que los afectan por la gran concentración de este gas y la imposibilidad de una conversión por los procesos tan costosos a los que se enfrentan y para el cumplimiento de la NORMA NOM- SEMARNAT- 083- 2003. Por ello se realizaron tomas, muestras y un levantamiento topográfico de monitoreo y se presenta la solución de un quemador más económico de los encontrados en el mercado para quema del gas y con ello reducir las cantidades de contaminación que se envían a la atmósfera. Provocando la conversión del Gas Metano en CO₂ que resulta menos tóxico para el ser humano y los habitantes de la región.

PALABRAS CLAVE: Gas Metano, Relleno Sanitario, Quemador, Automatización.

INTRODUCCIÓN

En los tiempos actuales el manejo de

residuos sólidos urbanos (RSU) se realiza mediante Rellenos Sanitarios, a través de la descomposición anaeróbica, esto genera un gas denominado metano. El metano es el hidrocarburo más simple y está compuesto por un átomo de carbono y cuatro átomos de hidrógeno. El metano es 84% más contaminante y peligroso que el CO₂. Cuando el metano y el oxígeno se combinan, los productos son dióxido de carbono, agua y energía. La ecuación química se expresa como $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O + \text{energía}$. La mejor posibilidad en el caso de la generación del metano es la generación de energía eléctrica a través de la conversión de la energía química en energía mecánica y finalmente en electricidad. Sin embargo los costos para las empresas que generan este biogás aún es muy elevado y la norma NOM- SEMARNAT- 083- 2003, hace mención de que si no es viable hacer la recuperación para su conversión en energía la otra opción viable es quemar el gas para no contaminar la atmósfera. En la Ciudad de Reynosa por su ubicación geográfica como por ser frontera contamos con un único relleno sanitario con las acreditaciones legales y en funcionamiento, otro clausurado y varios tiraderos clandestinos que continuamente generan incendios provocados por los usuarios y esto ocasiona una gran contaminación que también está afectando al país vecino. El estudio se realizó en el relleno sanitario de Reynosa, con datos estadísticos de apoyo de los

rellenos sanitarios de Tamaulipas. El costo de los quemadores comerciales es muy elevado y provoca afectación a la economía de las empresas que quieren dar cumplimiento a las normas presentes por el gobierno.

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

Esta investigación se realizó con una metodología cuantitativa ya que es en base a la adquisición de conocimientos, recolección y análisis de datos a través de los conceptos y variables, de las estadísticas y los números obtenidos por diversas fuentes de registro. El diagnóstico básico referente a la gestión integral de residuos en Tamaulipas, actualizada en diciembre del 2015 y basado en la proyección poblacional de 3,543,367 habitantes (CONAPO 2010-2030), nos indica que Tamaulipas genera 3,103 toneladas de residuos al día, de los cuales se recolectan 2,875 toneladas (93%).

Existen en Tamaulipas, 63 sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos identificados en los 43 municipios del Estado, de los cuales, 9 de estos son Rellenos Sanitarios y 54 Tiraderos a Cielo Abierto no controlados. Sin embargo los costos para las empresas que generan este biogás aún es muy elevado y la norma NOM- SEMARNAT-083- 2003, hace mención de que si no es viable hacer la recuperación para su conversión en energía la otra opción viable es quemar el gas para no contaminar la atmósfera. Como se muestra en la imagen 1 donde se muestra la norma y el punto 7.2 donde indica el proceso de quema como medida alterna al control del biogás.

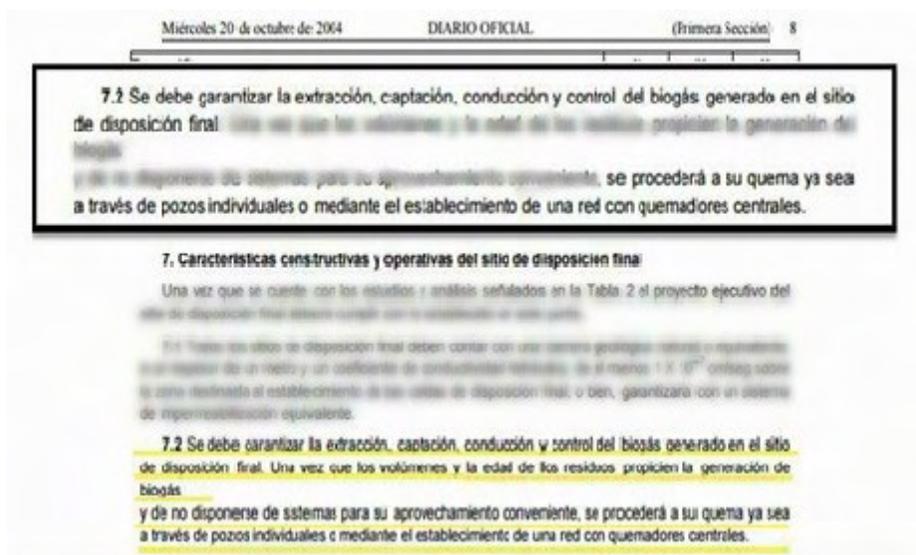


Imagen 1. Extracción de la Norma NOM_SEMARNAT-083-2003, con la disposición de la quemadebiogás. Fuente: Periódico Oficial de la Federación.

De acuerdo a los registros estatales podemos definir los Rellenos Sanitarios en el Estado de Tamaulipas: Nuevo Laredo, Camargo, Reynosa, Matamoros, Victoria, Tula, El Mante y Altamira, de igual forma las Estaciones de Transferencia: Mier, Gustavo Díaz Ordaz, Matamoros, Antigua Morelos, Nuevo Morelos, Xicoténcatl y Tampico. También para el proyecto se consideran los Indicadores del porcentaje de residuos sólidos urbanos dispuestos en sitios controlados: 2011–76%, 2015–89%, a nivel estatal.



Imagen 2. Plano Topográfico de área de estudio. (Relleno Sanitario).



Imagen 3. Muestra de pozos de venteo sugeridos para el desarrollo del proyecto, para la celda en uso.

De acuerdo a las condiciones de la celda se sugiere la automatización de los quemadores y la construcción de más quemadores con la tubería de conexión y dirigir el biogás para su quema directa.



Imagen 4. Colocación de los puntos de respiración y conexión de las mangueras para dirigir el biogás.



Imagen 5. Preparación para la base del quemador.



Imagen 6. Estructura general de preparación para el quemador.



Imagen 7. Vista General de los Quemadores.

RESUMEN DE RESULTADOS

Los Rellenos Sanitarios se localizan en los municipios de Nuevo Laredo, Camargo, Reynosa, Matamoros, Victoria, Tula, El Mante y Altamira. En donde solo el relleno de Nuevo Laredo cumple con la oxidación del biogás. En ellos se disponen 2,559 ton/día, equivalente al 89% de los residuos recolectados, y el 11% restante, 316 ton/día, se disponen en los tiraderos a cielo abierto no controlados. De acuerdo al planteamiento del proyecto y la solución presentada que corresponde a la operación de la automatización de los quemadores en Reynosa, se generara la quema de Biogás también en este Relleno Sanitario dando cumplimiento de la Norma de SEMARNAT, derivando en costos menores para la empresa y un mejor control del biogás.

CONCLUSIONES

Con la implementación de quemadores automáticos se pretende reducir los residuos

destinados a eliminación final, minimizando las transferencias a la atmósfera en el caso de las empresas que no cuenten con un equipo para la conversión a energía eléctrica se puede implementar un sistema para la recuperación del metano para quemarlo y transformarlo en CO₂ y contaminar 84% menos, que si se lanzara a la atmósfera el metano, este sistema es mucho más económico, logrando sus costos estimados en \$250,000.00 pesos a diferencia de los \$ 600,000.00 pesos de los quemadores parecidos que pueden encontrar en el mercado.

RECOMENDACIONES

Para los investigadores interesados a profundizar en el tema se recomienda llevar un registro de las condiciones de la quema de los tiraderos clandestinos, que eso lleva una gran afectación a los pobladores de la zona, el índice de contaminación generada por los tiraderos que no cuentan con los permisos, permitiría tener el esquema de los lugares con mayor problemática y las horas de mayor incidencia para su control y reglamentaciones requeridas; ya que los beneficios reales son para ciudadanía y reduciría considerablemente la contaminación por parte de las emisiones de metano a la atmósfera en la localidad y del relleno sanitario ya que de no realizar el cumplimiento de la norma corren el riesgo de altas multas o inclusive la clausura del mismo.

REFERENCIAS

¹CEMAT. Centro Mesoamericano de Estudios sobre Tecnología Aplicada. 1977. Planta de biogas a pequeña escala de la India. Handbook of Appropriate Technology of the Canadian Munger Fundation. Guatemala, Guatemala.

²Montenegro J, Abarca S. Fijación de carbono, emisión de metano y de óxido nitroso en sistemas de producción bovina en Costa Rica. En: Intensificación de la ganadería en Centroamérica: beneficios económicos y ambientales. CATIE – FAO – SIDE. Ed Nuestra Tierra. 2000. 334.

³Verastegui L., J. 1980. El biogás como alternativa energética para zonas rurales. OLADE (Organización Latinoamericana de Alternativas de Energía). Boletín Energético del Ecuador 14: 57-94.

SOBRE O ORGANIZADOR

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 dos Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes à corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Ações humanas rítmicas 85, 87, 98

Aeroporto 100, 103, 104, 106, 107, 108, 110

Água 15, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 103, 115, 122, 124, 169, 170, 171, 172, 174, 180, 181, 184, 194, 195, 197, 198, 199, 202, 203, 204, 205, 208, 209, 210, 216, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 229, 230, 231, 252, 253, 254, 255, 256, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 274, 275, 276, 277, 279

Análise de conforto humano 85, 97

Análise de vibração 62, 63, 64, 65, 66, 98

Áreas contaminadas 112, 114, 115, 116, 117, 120, 122, 123, 124, 170, 181

B

Background geoquímico 169, 170, 171, 172, 173, 176, 178, 180, 181, 182

Banho termostático 258, 259, 262, 269, 274

C

Cobertura de pilha de estéril 251

Comunicação sem fio 1

Concessões 100, 108, 109, 110, 135

Consumo de água 27, 28, 29, 30, 32, 220

Controle de nível 27, 28, 29, 30, 31

Controle Fuzzy-PID 35

Cultura 27, 61, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 146, 148, 149, 150, 151, 168, 232

Curva de koch 1

D

Desativação de atividades 112

Desativação De Atividades 112, 113, 119

Descarte emergencial 197, 198

Desemulsificação 258, 259, 266

Desestabilização da emulsão 269, 273

Desfluoretação 219

Drenagem ácida de mina 184, 252

E

Emulsão O/A 258, 259, 269

Energias renováveis 14, 15, 16, 17, 20, 232

F

Fermentação alcoólica 35, 36, 39, 41, 44, 48

Ferro fundido cinzento 62, 64

Fluorose 219, 220

I

IoT 2, 27, 28, 29, 33

L

Lixiviação de metais 183, 185, 186, 187, 193, 194, 195, 252

M

Mancal 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70

Maturidade 138, 139, 142, 143, 144, 146, 147, 148, 149, 150

Medição de grandes rios 204

Método do molinete 204, 205, 215

Microrredes 14, 15, 21, 23, 24

Mineração de ouro 197, 251

N

Normas 13, 24, 79, 97, 98, 102, 105, 112, 113, 115, 116, 117, 119, 122, 134, 139, 141, 142, 181, 195, 203, 281

Normatização 14, 15, 17, 18, 20, 24

O

Organização 15, 28, 128, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 220

P

Parcerias público-privadas 100, 102, 103, 104, 109, 110

Pisos mistos de edificações 85

Q

Qualidade da energia 14, 19, 20

Quebra da emulsão 258, 259, 261, 264, 265, 269, 273, 274

R

Recirculador 62, 63, 69, 70

Residencial 27, 29, 31

S

Segurança 18, 20, 21, 39, 43, 50, 106, 118, 120, 133, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 148, 149, 150, 151

Separação O/A 269

Setor aeroportuário 100, 101, 109

Sistema multivariável 35

Sistemas supervisórios 35, 36

Sustentabilidade 17, 20, 102, 116, 123, 219

T

Tensoativos 258, 259, 260, 261, 262, 264, 265, 266, 268, 269, 270, 271, 272, 274, 275, 276, 277, 278, 279

V

Vazão 27, 31, 172, 198, 204, 205, 208, 209, 212, 213, 214, 215, 216



As engenharias agregando conhecimento em setores emergentes de pesquisa e desenvolvimento 2

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br



As **engenharias** agregando conhecimento em setores emergentes de **pesquisa e desenvolvimento 2**

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br