

Annete Silva Faesarella
Monica Tais Siqueira D'Amelio Felipe
Renata Lima Moretto
- ORGANIZADORAS -



Engenharia Moderna:

Desafios Interdisciplinares


Ano 2023

Annete Silva Faesarella
Monica Tais Siqueira D'Amelio Felipe
Renata Lima Moretto
- ORGANIZADORAS -



Engenharia Moderna:

Desafios Interdisciplinares


Ano 2023

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Ellen Andressa Kubisty

Luiza Alves Batista

Nataly Evilin Gayde

Imagens da capa

Pixabay

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2023 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2023 Os autores

Copyright da edição © 2023 Atena

Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



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

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

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

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

Conselho Editorial

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

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

Profª Drª 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 Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco

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

Profª Drª Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas

Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas

Profª Dr Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Engenharia moderna: desafios interdisciplinares

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Yaidy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadoras: Annete Silva Faesarella
 Monica Tais Siqueira D'Amelio Felipe
 Renata Lima Moretto

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
E57	<p>Engenharia moderna: desafios interdisciplinares / Organizadoras Annete Silva Faesarella, Monica Tais Siqueira D'Amelio Felipe, Renata Lima Moretto. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2023.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-1680-7 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.807231107</p> <p>1. Engenharia. I. Faesarella, Annete Silva (Organizadora). II. Felipe, Monica Tais Siqueira D'Amelio (Organizadora). III. Moretto, Renata Lima (Organizadora). IV. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 620</p>
Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166	

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

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

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

DECLARAÇÃO DA EDITORA

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

Segundo o Dicionário Aurélio¹, desafio é o “ato de instigar alguém para que realize alguma coisa, normalmente, além de suas competências ou habilidades” e, interdisciplinar, “o que se efetiva nas relações entre duas ou mais disciplinas”. Desta forma, este livro vem instigar o leitor a se relacionar com algumas áreas de conhecimento, alguns assuntos que estão relacionados com problemas encontrados no dia a dia da nossa sociedade.

O Grupo GPMAS – Grupo de Pesquisa e Meio Ambiente e Sustentabilidade - da Universidade São Francisco vem desenvolvendo pesquisas na área ambiental desde 2014, com o intuito de elucidar problemas da sociedade. Esta quarta produção do Livro Engenharia Moderna, organizada por este grupo de pesquisa, visa aproximar os estudos realizados sobre problemas da sociedade àqueles que mais têm interesse, através de soluções interdisciplinares.

Os capítulos foram desenvolvidos de forma a atender o que a Engenharia empenha na sociedade como sendo a arte, a ciência e a técnica que unifica os conhecimentos especializados de uma dada área do saber, com o apoio da viabilidade técnico-econômica, assim produzindo novas utilidades e transformando a natureza, em conformidade com o planejamento. E neste livro, em cada um dos seus capítulos que foram desenvolvidos com carinho e apreço por professores e pesquisadores de diferentes universidades, pode-se observar a promoção da ampla abordagem sobre os assuntos tratados, referentes a áreas de Tecnologia, Saúde e Meio Ambiente.

Mais uma vez, agradecemos à Editora Atena pela oportunidade do lançamento do nosso quarto livro, proporcionando uma via eficaz de disseminação de conhecimento e de suas contribuições para a sociedade e para a comunidade científica.

Annete Silva Faesarella
Monica Tais Siqueira D’Amelio Felipe
Renata Lima Moretto

¹ Disponível em: <https://www.dicio.com.br/desafio/>, acesso em 18/4/2023

CAPÍTULO 1 1

AN OVERVIEW OF TECHNOLOGIES AND THEORETICAL FOUNDATIONS OF SMART CITIES IN THE MODERN DIGITAL AGE

Reinaldo Padilha França
Ana Carolina Borges Monteiro
Rangel Arthur
Vicente Idalberto Becerra Sablón
Yuzo Iano

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8072311071>

CAPÍTULO 222

SMART GRID E SUAS TENDÊNCIAS A PARTIR DA EVOLUÇÃO DO AMBIENTE DE CONTRATAÇÃO LIVRE NO BRASIL

Miguel Leoni Rosseto
Rogério Bianchi de Souza
Annete Silva Faesarella
Vicente Idalberto Becerra Sablón

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8072311072>

CAPÍTULO 333

COMPUTAÇÃO NATURAL PARA SOLUÇÃO DE PROBLEMAS MULTICRITÉRIOS E MULTIOBJETIVOS COM USO DE VARIÁVEIS FUZZY

José Guilherme Picolo
Rafael Prazeres da Silva
Silvio Petrolí Neto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8072311073>

CAPÍTULO 454

ESTUDO DE UMA NOVA PROPOSTA DE REVELAÇÃO DIGITAL EM SUPERFÍCIES ADESIVAS

Loredana Torres Guida
Franciele Shayene Silva Lima
Taina Rafaela da Silva
Monica Tais Siqueira D'Amelio Felipe

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8072311074>

CAPÍTULO 566

ESTUDO COMPARATIVO DA PERFORMANCE DE GASES REFRIGERANTES R-22, R-134A E R-290 EM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

Geison Fabiano Rivetto
Leo Fagner Lazarini de Godoi
Patrícia Bogalhos Lucente Fregolente
Zaida Jova Aguilá

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8072311075>

CAPÍTULO 6 81**ADSORÇÃO DE CROMO HEXAVALENTE EM EFLUENTE AQUOSO UTILIZANDO CASCA DE LARANJA**

Felipe Ribeiro da Silva
Nick Xavier
Filipe Alves Coelho
Roberta Martins da Costa Bianchi

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8072311076>

CAPÍTULO 7 101**ANÁLISE DE AÇÕES DE SEGURANÇA EM REATORES NUCLEARES DO TIPO RBMK**

Cláudio Daniel Molinari
Gabriel Ítalo Rodrigues Mendes
Monica Tais Siqueira D'Amelio Felipe

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8072311077>

CAPÍTULO 8 113**EXTRAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DE GERÂNIO**

Deliene Semezzato Vieira
Erika Silva Cerqueira Amaro
Monica Tais Siqueira D'Amelio Felipe

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8072311078>

CAPÍTULO 9 125**PNEUS INSERVÍVEIS EM CONCRETO PERMEÁVEL PARA A SUSTENTABILIDADE HÍDRICA**

Giovanna Fávero de Almeida
Estephane Caroline Silva Santos
Cristina das Graças Fassina
Hélio Françoço Junior
Renata Lima Moretto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8072311079>

CAPÍTULO 10 138**ESTUDO DA EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO OXIDATIVO AVANÇADO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS COM A PRESENÇA DE FÁRMACOS ATRAVÉS DE BIOENSAIOS DE TOXICIDADE**

Thaina Aparecida de Souza
Suéllen Dumer de Oliveira
André Augusto Gutierrez Fernandes Beati
Renata Lima Moretto
Laira Lúcia Damasceno de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.80723110710>

CAPÍTULO 11	159
ANÁLISE DA QUALIDADE DE COMPRIMIDOS DE CLORIDRATO DE AMITRIPTILINA DISTRIBUÍDOS NO SISTEMA PÚBLICO DE SAÚDE	
Carlos Alberto André Joelson Merith Lucas de Souza Detoni Iara Lúcia Tescarollo	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.80723110711	
CAPÍTULO 12.....	173
PRODUÇÃO DE CONCRETO UTILIZANDO RESÍDUOS GERADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	
Mikaely de Souza Binha Paulo Yuri Marques Yamasata Cristina das Graças Fassina	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.80723110712	
CAPÍTULO 13.....	187
ESTUDO COMPARATIVO ENTRE SISTEMAS MONOLÍTICOS EM PAINÉIS EPS E SISTEMA CONSTRUTIVO CONVENCIONAL	
Arthur Fernando Segolin Isabela Dalcim Vasconcelos Laira Lúcia Damasceno de Oliveira Renata Lima Moretto	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.80723110713	
CAPÍTULO 14.....	202
TANQUE DE CLARIFICAÇÃO SECUNDÁRIO EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO: FLEXIBILIZAÇÃO NA OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO (ESTUDO DE CASO)	
Antônio Djalma Nunes Ferraz Júnior Cristina das Graças Fassina Renata Lima Moretto	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.80723110714	
CAPÍTULO 15.....	220
IMPACTO DAS CONSTRUÇÕES EM REDES DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS: UM ESTUDO DE CASO	
Glauber Pereira Narcizo Letícia Paiva de Oliveira Cristina das Graças Fassina Renata Lima Moretto	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.80723110715	
CAPÍTULO 16.....	234
A AVALIAÇÃO POR MEIO DA TERMOGRAFIA DO CONFORTO TÉRMICO DE	

EDIFICAÇÃO HISTÓRICA: FAZENDA ATALAIA, AMPARO, SP

Jane Tassinari Fantinelli

Marcos Tognon

Silvana Marielle Cardoso

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.80723110716>

CAPÍTULO 17.....249

TIJOLO ECOLÓGICO – INCLUSÃO DE RESÍDUOS PLÁSTICOS EM SUA COMPOSIÇÃO

Mayara Rauany Pereira de Gusmão

Sabrina Vaz de Lima

Marcelo da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.80723110717>

SOBRE AS ORGANIZADORAS262

AN OVERVIEW OF TECHNOLOGIES AND THEORETICAL FOUNDATIONS OF SMART CITIES IN THE MODERN DIGITAL AGE

Data de submissão: 05/03/2023

Data de aceite: 02/06/2023

Reinaldo Padilha França

School of Electrical and Computer
Engineering (FEEC)
State University of Campinas (UNICAMP)
Campinas – SP
orcid.org/0000-0002-7901-6691

Ana Carolina Borges Monteiro

School of Electrical and Computer
Engineering FEEC)
State University of Campinas (UNICAMP)
Campinas – SP
orcid.org/0000-0002-8631-6617

Rangel Arthur

Faculty of Technology (FT)
State University of Campinas (UNICAMP)
Campinas – SP
orcid.org/0000-0002-4138-4720

Vicente Idalberto Becerra Sablón

College of Electrical Engineering (EE)
São Francisco University (USF)
Campinas – SP
<https://orcid.org/0000-0003-3127-1906>

Yuzo Iano

School of Electrical and Computer
Engineering (FEEC)
State University of Campinas (UNICAMP)
Campinas – SP
orcid.org/0000-0002-9843-9761

ABSTRACT. Smart Cities promote inclusion with technology at the service of people involving the use of innovation, and communication infrastructure, combining sustainability, and urbanism in order promoting the well-being of the community through four aspects, i.e., environmental, social, cultural, and economic, allowing urban connectivity, efficiency, among other aspects through digital technologies. Also considering the electric vehicles (EV) technology are known as zero-emission vehicles due to not polluting, i.e., it does not emit any harmful gases or considerable noise. Unlike combustion engines, the electric motor uses chemical energy stored in rechargeable batteries, which is then converted into electrical energy to power the car's electric motor, on the other hand, electric motors are quieter than combustion engines, another positive factor related to noise pollution from urban centers. Considering this, microgrids are local electric power networks that can serve some homes or neighborhoods, allowing residents to be partially or totally disconnected from the utility's electrical network, also related to the possibility of local energy generation and the increase in battery storage capacity. Considering that this model is an optimal

alternative to Smart Cities related in remote regions that require investment in infrastructure for transmission and distribution lines, acting as a factor of production of energy close to where it is consumed, minimizing energy losses in the transmission lines. Therefore, this chapter aims to provide a current overview of Smart City, approaching the role of EV and even the contribution of the microgrid to shaping the Smart City paradigm, as well as the relationship of this concept with other technologies, synthesizing the potential of technology.

KEYWORDS: Smart Cities, Smart Home, Smart Transportation, Smart Grid, Smart Government, Smart Industrial Environments, Artificial Intelligence, IoT, Data Analytics, Intelligent infrastructure, Sustainable Development.

1 | INTRODUCTION

Considering the global trend of technological solutions, cities are inspired by the concept of ‘smart cities’ to promote inclusion with technology at the service of people. Considering the emergence of new housing solutions combining technology, sustainability, and urbanism in order to serve a modern socially diverse audience, allowing urban connectivity, mobility, sustainability, quality of life, and even efficiency through disruptive technologies and digital applications [1].

In several countries around the globe, the smart city paradigm is a reality due to the recent technological advances such as the IoT (Internet of Things), AI (Artificial Intelligence), and 5G among the main novelty that is accompanying the implementation of this model of urban life. As these disruptive technologies, progress allowing new technologies and solutions to come to reality, companies, governments, and public administration are attracted to their expansion. Considering that the concept of a smart city involves cities that use technology, innovation, and communication infrastructure, promoting the well-being of the community through four aspects, i.e., social, environmental, cultural, and economic, however, it is not possible to consider smart cities if not connectivity exists [2].

Still considering that never at any point in history, people were in control of their own experiences and existence, and even having the keys to their possible success investing increasingly time in improving the interactions and conversations for their professional and personal advantage. Allied to this, digital data is the fuel of a smart city as also technology is the foundation that sustains refitment, remaking, i.e., transformation, providing productive and profitable human interactions as the basis for favorable processes, which converge business, technology, and data connecting all different aspects of the ecosystem to achieve a sustainable future [3].

Thus, the city needed to be ‘smart’, allowing residents to affect and be positively influenced by the environment and to connect with other residents and business opportunities. In doing so, it is possible to ensure that all residents or visitors have the feeling of being “smarter”, more connected, through an immersive and interconnected environment, which is a reflection of the intelligent ecosystem, comprising inspiring applications. This is due to

technological solutions for integrated intelligent communication, allowing citizens to connect with content everywhere in the city exuding more intelligence for the citizen's experience [1] [4].

Still considering that electric vehicles (EV) are called zero-emission vehicles because it is not polluting, that is, it does not emit any harmful gases or considerable noise, since electric motors are quieter than combustion engines. Electric vehicles are divided into several types and are not always fully electric. Purely electric cars are more expensive, but maintenance is much cheaper and does not emit gases. The main reason why all-electric vehicles cannot completely replace combustion cars is the energy density of the batteries and the infrastructure needed to charge the batteries. There are still many more gas stations than charging stations [5] [6].

In the same context in which the electricity generated centrally by large hydroelectric, nuclear, and thermoelectric plants has been brought to consumers via a transmission network and high voltage cables. This system works like a cascade with electrical energy flowing in one direction, from high voltage lines to low voltage lines [6] [7].

Currently, this reality is changing through the so-called distributed generation, with the possibility of generating energy in small units such as in cogeneration plants, in the case of biomass, and renewable energy sources such as photovoltaics and wind, more and more small consumers become agents that inject electricity into the distribution network. While large power plants are instructed to supply the exact amount of electricity needed to meet grid demand, small generators provide energy as a by-product or according to climatic conditions, seen in cases of solar and wind energy. This new context is not only creating new business models in the energy market but also impacting investments in transmission, distribution, and the operation of the electrical system [7] [8].

In this sense, microgrids are local electric power networks that can serve some homes or neighborhoods, allowing consumers to be partially or totally disconnected from the utility's electrical network. This technology has become a reality due to the possibility of local energy generation and the increase in battery storage capacity. The more renewable energy connected to the local network, the more storage becomes a key part. Likewise, the better the storage capacity, the less the dependence on the utility's electrical network. Thus, the microgrid can operate autonomously using the energy generated locally in the event of a power outage from the utility network [9].

Microgrids are a great alternative in remote regions that require investment in infrastructure for transmission and distribution lines, considering that this model has also been adopted by the concept of Smart Cities, which cannot face large variations in voltage. Regarding the insertion of this model in the electrical matrix, it is through the production of energy made close to where it is consumed, minimizing energy losses in the transmission lines [10].

Therefore, this chapter aims to provide a current overview of Smart City, approaching

the role of EV and even the contribution of the microgrid to shaping the Smart City paradigm, as well as the relationship of this concept with other technologies, addressing its essential concepts and fundamentals from a concise bibliographic background, as also qualifying and singularizing the competence of technology.

2 I SMART CITIES, ELECTRIC VEHICLES, AND MICROGRID CONCEPTS

2.1 Smart Cities

Initiatives to build a smart city derive from resilient and innovative technological solutions that are inclusive and accessible to citizens, improving collaboration, transparency, and sustainability with safer and more compatible tools. In a smart city, it is possible to provide interaction and connection with the citizens of smart cities through safer, inclusive, and sustainable urban planning for a deep involvement of residents, companies, and governments. Improving government services for smart cities through the application of data analysis to enable city leaders and employees to make actionable and informed decisions and to provide better services to residents, as well as offering technology applications and services in a safe, compatible and secure way citizens' privacy [11] [12].

Based on the concepts of digital and social innovation, all residents and entrepreneurs will count on the technological and service mix, such as smart banks, free cinema, horizontal gardens, and bookcrossing, among others, providing digitalization generates empowerment of communities and people, generating inclusion Social. Contained the available infrastructure is also essential for this type of concept to be possible, considering that it is useless to create a smart city designed to be ecological, for example, if it is located in a territory without resources for this. Considering that unfortunately, the cities of today are not yet ready to receive this new concept, more agile, modern, cheap, which takes advantage of energies and sustainable solutions [13].

Highlighting smart solutions such as paving with rainwater drainage, considering that in large cities constant flooding is faced, which harms and puts the population at risk. Or even highlighting the underground energy, extremely important to avoid overloading the electrical system and reduce the risk of lightning strikes, in addition to the aesthetic issue. Or even considering an investment in infrastructure, with water and sewage network works, electric power network, underground wiring and solar energy production in common areas, as well as housing services such as health, gastronomy, commerce, culture and education in a common leisure space open to the entire population of the region [14].

The transformation that leads a city to be identified as 'smart' takes into account the characteristics and demands of citizens, incorporating intelligent solutions that provide answers to specific questions, helping to disseminate digital technologies that can bring benefits to people and the city where they operate [15].

Finally, a city can be outlined as intelligent when this city has the properties and

characteristics to collect and analyze huge amounts of data from several activities (action, movement, operation), such as urban organization and waste/garbage management, considering complex networks of sensors, computational devices, software, and intelligent solutions, and platforms are developed, digitally operated, and maintained through management. This concept concerns the most efficient solutions to solve public issues caused by the increase in urbanization, such as air pollution, traffic congestion, noise pollution, and unsustainable waste and garbage disposal, given its general objective of ensuring a better quality of life [13] [15].

2.2 Electric Vehicles

The electric vehicle has the competence to expressively decrease urban pollution, encompassing noise pollution due to the engine of an electric vehicle is very silent. Still considering with the proliferation of this technology, greenhouse gases (coal burning) and other pollutants emitted in the energy generation cycle, these being harmful to human health, this will be restricted to the surroundings of the factories, far from urban centers. Unlike combustion engines, the electric motor employs chemical energy stored in rechargeable batteries, converting it into electrical energy powering the vehicle's motor, which is responsible for converting it into mechanical and other energy, enabling the car to move and user comfort is allowed [5] [15].

Electric vehicles are those powered by at least one electric motor, as it is much more efficient than conventional ones powered exclusively by internal combustion engines (ICE). As there are tens of millions or billions of conventional vehicles circulating in the world, EV can considerably reduce avoidable waste of fuels, mainly of fossil origin. And even considering that the electric vehicle pollutes more to be manufactured, primarily related to the battery, however, this factor is compensated over the lifespan of the electric vehicle, or even considering if there is a diminution in gases emissions in the production and generation of energy these type of vehicle, so, the electric vehicle's advantage is even greater [6] [16].

Electricity in big cities tends to be cheaper, compared to fuels, even more, because of the more efficiency, it is considered that the cost per kilometer to power a vehicle electric is near one-third of the cost to power a gasoline vehicle. Besides, vehicle electric does not have a mechanical exhaust system and does not need oil changes [6] [7] [16].

Another advantage is the ease of supplying the electric vehicle at home, at the mall, or even in the office, given one of the great benefits of vehicle electric is the plugin system. Obviously, large cities around the world do not yet offer many places for loading, but this is easily manageable when demand exists, considering in the case of travel as the urgent need to create this option at road stations will be greater. However, this issue is one of the easiest factors to be solved, creating solutions that can be applied in parking, which can recharge the cars one by one, for example. Or even the user arrives to work with his electric vehicle and finds the battery fully charged at the exit, considering that this service can have

low cost in employment, or even be offered as a courtesy in valets. Still considering that in addition to lithium, these batteries generally utilize noble minerals extracted from the earth, such as lanthanum, dysprosium, praseodymiums, and even neodymium, among others [17].

EVs can be classified into five families according to how the electrical energy is made available onboard as EV with Battery (EVB) is when the energy is supplied by a set of batteries that are recharged in the electrical network. Or even EV Connected to the Network or even a trolleybus, considering that the energy is supplied by the electric network [18].

Hybrid EV (EVH) is when power is supplied by an onboard generator that is powered by an m.c.i., these vehicles also use battery systems and capacitors to accumulate electrical energy, allowing the m.c.i. only operate in optimum conditions or stay off. Two basic types of EVH stand out, EVH “serial” where the wheels are driven only by the electric motor (s), and EVH “parallel” where the wheels can be driven by m.c.i. in parallel with the electric motor. Still considering the concept of “plugin” vehicles, which can be connected to the mains for charging batteries and have an onboard engine/generator for charging batteries, extending autonomy and/or adding power on slopes and stronger starts [5] [18].

Fuel Cell EV (EVCC) is supplied by fuel cells, electrochemical equipment that transforms hydrogen energy directly into electricity, also using important energy accumulation systems onboard, whether batteries or capacitors. This technology is the subject of much research today and several manufacturers are betting on it as the future of vehicles. The hydrogen will be distributed directly or produced from methane (Natural Gas), methanol, or ethanol [19].

EV Solar (EVS) considers that the energy is supplied by photovoltaic plates, however, it is unlikely that this type of technology will turn into a vehicle for practical use, due to the size restrictions of the vehicles that limit the dimension of the panels and consequently their power [20].

2.3 Microgrid

Technological developments in favor of energy security include efficiency in microgrid projects to contribute to the evolution of biogas. The microgrid comes with a possibility to serve consumers in situations of problems with electricity supply (by utilities). This operates in isolation, without connection to the conventional electrical network [9] [21].

The potential of biogas is linked to a rural property (places where the electricity supply is usually unstable), has the potential to be used to generate electricity, providing energy security; supply quality; and reliability. Considering that the electrical distribution network in isolated areas presents instability, since it serves consumers far from the load center, in areas called “end of the line”[21].

Considering that the efficiency of the microgrid with biogas is the generation of energy in isolation that will serve more than one consumer, being able to act in a range

of consumers, in micro-regions, compared to the production of electricity that is local and driven in cases of instability. Another situation that the microgrids act on is when the consumer units are too far from the load centers. The microgrid system allows proximity between power generation and use, which optimizes efficiency and reduces losses [22].

Microgrid's advantages contribute to the application of these systems in cities or farms far from cities, minimizing the emission of greenhouse gases and carbon; encouraging and improving the integration of distributed and renewable energy sources; enabling the use of smart grid technology. And even with regard to the quality of energy that can be controlled locally, with safety for the end-user and operator of the electric network, therefore, bearing in mind that the microgrids system allows dynamic and mainly safe control over the energy sources in relation to common alternatives used [23].

Considering that renewable sources, such as solar or wind, have gained interest in the Smart Cities paradigm, but from another point of view, it is important to keep the "light on" in a residence on days without wind or sun, for this, it needs to have a microgrid, i.e., an energy distribution network that has one or more generation sources. Considering that the structure is capable of managing all electricity production, using sophisticated software that helps to coordinate the sources to avoid variations in voltage and power outages [24].

In this sense, a microgrid is defined by the integration of several distributed generation resources, energy storage, and loads in a small system capable of operating connected to the main network and, influencing the expansion planning of the electric energy distribution systems, the form operation of these systems, energy analysis and the commercial relationship between company/consumer and company/market. In cases of emergency or scheduled events, to operate in isolation, controlling the frequency and voltage and providing conditions for recovery and black-start actions [24].

In addition to guaranteeing the supply of energy, the microgrid helps to reduce the emission of pollutants because non-renewable sources, such as diesel oil, are used only in times of energy need. The change in energy management also directly affects consumers, who become independent and have access to better quality energy [23] [24].

3 | THE ROLE OF EV IN SMART CITY

The prospects for the future of urban transport are directly associated with technological innovations in the field of mobility. Taking into account the use of electric cars, which can reduce emissions and the use of energy. However, for the change to achieve all possible benefits, it is necessary to drastically reduce the use of fossil fuels in power generation, which must be completely decarbonized [25] [26].

Electric cars have been one of the industry's biggest bets worldwide to offer their consumers greater energy savings and less pollution. In the context of the urban mobility revolution that impacts Smart Cities, this technology is among the three "revolutions" in

vehicular technology that there may be a reduction in emissions if cities adopt autonomous vehicles, electric vehicles, and vehicle sharing [27] [28].

One of the technologies in electric vehicle models is called regenerative braking, a mechanism capable of generating a small amount of energy from the vehicle that starts to stop. In cars that have this system, it is possible to use regenerative braking to partially charge the vehicle's battery. Thus, autonomy is already sufficient as one of the major reasons for using these vehicles in urban areas. It also relieves ecological awareness and is quieter. The so-called Eco mode, which is an ally for battery regeneration, limits the car's instant acceleration while decreasing the power of the air conditioner, to increase autonomy [29] [30].

In developed countries, there is already great adherence due to its sustainability, as it will collaborate to an environmentally cleanest planet, with zero emissions of polluting gases. It will be a solution to urban pollution, considering another benefit, is a low cost, when this technology is fully common and accessible, as it does not utilize diesel, or gasoline, or even gas, but electricity [31] [32].

What if the technology is implemented on a large scale, there can be a significant change in mobility patterns, which becomes multimodal. The use of electric vehicles impacts the reduction of global CO₂ emissions, the reduction of estimated costs of infrastructure, and the operation of transport systems, resulting in savings [30] [31] [32].

Still, in developed countries, the adherence to electric vehicle technology is the result of a series of policies adopted, from lower or zero taxes on the sale of electric vehicles, as well as the provision of subsidies to stimulate the purchase of electric vehicles, to parking lots for electric vehicles this type of car being free, and there are more points scattered in those cities where it is possible to recharge the battery [28] [32].

With smart infrastructures, smart cities enjoy other benefits, such as better quality of life generated by the reduction of air pollution in cities, similarly to noise pollution, which is the excess of noise that affects the physical and mental health of the population, indirectly causing problems such as stress and sleep disturbances, due to the constant noise of cars on public roads and the noise of vehicle traffic, which is mitigated with electric cars that are quiet in nature [30] [32].

In underdeveloped countries that encounter problems in the development of Smart Cities while the number of owners of private vehicles with electric cars remains insufficient, charging stations are not used at full capacity. And taking into account that the buyer chooses not to buy an electric vehicle, because the existing charging infrastructures are not sufficient to guarantee the use of the vehicle according to his daily needs [32].

The electric vehicle does not require fossil fuels to operate it transforms electricity into energy to get around. It is the solution for zero pollutant emissions, because by using the energy it does not emit pollutants, one of the biggest problems faced today [5] [32].

Thus, without noise pollution and quiet driving, electric vehicles offer quieter and

smoother driving, as it is an electric vehicle and does not have a combustion engine, thus avoiding noise pollution that comes from the combustion engine noise and the absence of the system exhaust is a major source of noise in automobiles. Having a fundamental role in the development of Smart Cities. Since electric mobility has the strategic objective of making cities a clean place to live [6] [32].

The prerequisite is a global system of electric mobility, including purely electric driving with the interaction of various components, ranging from the battery to the customer experience, from the electrical grids to the charging infrastructure. From the point of view of cities, the development of charging infrastructure remains a subsidized activity. And electric mobility thus has great potential to transform the transport system, transforming these cities into intelligent ones [7] [32].

4 I CONTRIBUTION OF THE MICROGRID TO SHAPING THE SMART CITY

Electricity distribution grid that can operate in isolation from the distribution system, served directly by a distributed generation unit. Smart cities have used development incentives to promote sustainable practices [28] [33].

The microgrid can be understood as an autonomous grid in low or medium voltage, controllable, with distributed generation (DG) and energy storage capacity able to operate connected (on-grid) to the electrical power system or disconnected (off-grid) of that system. Smart cities and microgrids use real-time data and communication to efficiently manage energy assets and resources. The most suitable sources for use in microgrids are small units of the microturbine type, photovoltaic panels, and fuel cells, all integrated into the system employing power electronics. It supports economic growth and improves the quality of life through the Internet of Things (IoT) communications and sensor innovation [33].

The introduction of microgrids in conventional distribution grids directly influences the performance of the conventional protection system. Their function serves as islands of reliability in the larger regional and national electrical grids that continuously supply power through grid disturbances. The addition of distributed generation makes the grid active, with bidirectional power flow and changes in the short-circuit current values depending on how many sources are in operation at the time of the fault [34].

This paradigm evolution relies on 'smart grid' technologies that resynchronize and reconnect to the grid after the disturbance. The central data centers are the 'brains', using the command and control protocol to manage the distribution of electricity between a group of buildings, down to the neighborhood scale [33] [35].

To have a smart city, it is necessary to have a strong, robust, and reliable infrastructure. Cities absolutely must have electricity and communication. The provision of an economical, renewable, and resilient energy supply, while achieving the goals of Zero Net Energy. It impacts the inclusion of needs for electric vehicles and installations, strategies for integrating

microgrids following sustainable policies [32] [35].

A microgrid is a small-scale electrical grid that can operate autonomously or in conjunction with the main electrical grid in an area, and in the development of the communications network and the power grid, considering that in a smart city it is possible to have all advanced systems possible, but if there is no power, it is not possible to have anything. And in this parameter, the microgrids will be essential to ensure that these technological advances work [9] [35].

Microgrids can be a form of disruptive energy because it takes away the concessionaire's hegemony over customers. Where disturbances in the concessionaire's grid can cause voltage dips within the microgrid, impairing the quality and reliability of the energy offered to consumers. And one of the goals of the microgrids is to ensure uninterrupted energy supply for critical or sensitive loads, such as hospitals or industries. The microgrid can minimize the impacts felt by the load [9] [10] [35].

Soon, smart cities will not work without microgrids. A smart city would include several microgrids, interconnected with the distribution system. And a solution for this union would be a key, functioning as a microgrid controller, to integrate microgrids with other intelligent technologies. And so, the smart city would be completely managed through that controller [35].

Microgrids are often seen as a collection of small plants serving a small area of customers, who can still balance demand with sources and integrate renewable sources with other forms of distributed energy. The microgrid technology also brings respective benefits, such as the reduction of CO₂ emissions through the use of renewable sources, the increase in the reliability of energy supply, improvement in energy efficiency with the reduction of losses in the transmission and distribution system [33] [35].

During a possible power outage, a microgrid automatically leaves the main grid and continues to serve local customers through their on-site generators. Whereas in a smart city it may include microgrids or other forms of advanced distributed energy that can act alone without central control of the grid. And the customer will probably not even notice this exchange [35].

Despite their advantages, microgrids impose several challenges to their implementation for smart cities. Among these, we can highlight the coordination in the most diverse operating conditions and the use of a reliable protection system that guarantees selectivity. However, microgrids are a natural evolution of smart grid technology. Where several of its benefits can be listed in the context of a Smart City, among them greater reliability and energy efficiency, as well as the use of new forms of clean energy [9] [35].

5 | GOVERNMENT POLICIES IN CONCERNS OF SMART CITIES

Cities need to complete government policies and strategies to achieve evolution in

smart cities on their own. Since smart cities are powered by data collection from devices interconnected to IoT and online platforms, and considering the volume of data collected in a town, its residents, and its surroundings will be immense. These data are the lifeblood of smart cities; however, it should have a digital responsibility to cyber-protect this information and use it in the right way and with cybersecurity. As well strict policies, regulations, and laws should detail how that data can be used and shared, and even how consent for data collection can occur [36].

With the need for interconnected smart cities to be able to share and compare data with each other, governments will be able to reduce costs and analyze larger data sets, allowing for more accurate and actionable insights. The development of policies, regulations, and even standards directed for smart city applications should provide digital interoperability, the democratization of access, even and digital data sharing increasing the effectiveness of solutions [37].

Regarding privacy and protection of personal rights must be preserved, reflecting on the use of private data is fundamental so that some city processes and operations work correctly, as traffic lights or even garbage cans connected, and digital privacy resident can become more limited. From digital innovation, smart cities will require to determine norms, laws, rules, and even regulations that specify how their citizens' digital privacy is assured [38].

Concerning cybersecurity valid to mention regarding the digital security of IoT devices is inferior, due to their networks become increasingly complex, so does the task of digitally protecting it. The regulation should ensure cybersecurity standards and restitution for damages caused by security breaches, for both governments and companies will require to be held accountable for undertaking rigorous digital security measures and processes that ensure intelligent devices [12] [39].

Defective technology can generate IoT devices to stop working or even malfunction, causing substantial issues, such as the poor performance of an operation of a process in the smart city. And these norms/laws/rules will define exactly who is responsible for the damage caused by this technology malfunction, as well as the standards that describe the reliability of an IoT device to be implemented in a smart city [40].

The requirement to guarantee equity is related to smart city solutions that help meet the demand of poorly served communities, however, these solutions can also aggravate inequalities if employed or applied incorrectly, limiting the effectiveness of these technologies. In this sense, governments should adopt public policies to ensure proportional distribution and application of technological solutions in smart cities [40] [41].

Since the arising of the paradigm smart cities, a profitable market for companies emerges. Policies and regulations need to be implemented to monitor the relationship and established contracts between the government and companies. Regarding hardware, software, and maintenance technologies for IoT devices and networks that will support

smart cities [42].

So, paradigm Smart cities help conventional cities to be safer, effective, and provides quality of life in a cleaner environment, as long as determined policies can be developed, and are appointed to protect citizens' data and ensure digital security. Promoting collaboration in the city ecosystem to favor cross-city learning and decreases barriers to knowledge sharing. Thus, it is important to highlight that the process of transformation of cities must be continuous, where every action taken contributes to the growth and is the basis for the next step. With the mentality that each city is unique and the challenge is to consider all the factors that can be worked on to make it more and more intelligent [1] [42].

6 | SMART CITIES TECHNOLOGIES

For Smart Cities to become reality, there are key technologies considering smart energy, where smart grids are part of the implementation of this paradigm, and streetlights are a highlight for many cities, as LED lights to save investment and money by making ubiquitous lighting cheaper. Digital communications and LED lighting, through energy efficiency, revolutionize the existing urban infrastructure, transforming it into paths of data and information with the ability to collect, analyze and share these data and propose insights with the potential to drive smart cities [43] [44].

Smart cities support multimodal transport, traffic lights, and smart parking making these city structures smarter, making city buses interconnected so that residents have real-time data about when transport will arrive at the point, prioritizing based on bus times buses so that vehicle traffic can flow better during peak hours, still making residents consume less time searching for vacancies and city blocks. In the same sense that traffic lights have cameras with properties to monitor traffic flow so that it is reflected in traffic signs, so smart cities greatly reduce vehicle traffic and allow resident transit easily by various public routes, using intelligent traffic systems to reduce accident deaths, pollution, and traffic time [1] [45].

IoT devices are the main components that connect everything in a smart city, and even keeping everything connected. It is the backbone that allows each movement and connects each point, taking into account the broad range of these devices (usually as sensors), and other endpoints creating and collecting data for it to work, capturing the information increasingly obtained directly from sensors that collect and share useful information, since with them complex urban intelligent systems can be managed in real-time [40] [41] [42] [45].

Sensors are integrated into all the physical devices that make up the IoT ecosystem, from smartwatches that count steps to automatons, and traffic lights, making most of the technologies used in everyday life have sensors that are performing collect and transmit data to the cloud platform. The network of interconnected objects and IoT devices, or even connects all objects, making them operate together [46].

IoT favors advanced connections between intelligent devices, wearables, smart

home appliances, connected vehicles, medical devices, smart buildings, smart agriculture, urban mobility, and all intelligent systems and digital services that exceed the limits of machine-to-machine (M2M) communication. As reliance on sensors grows, so does the need for them to be reliable and be able to tolerate the inevitable failures in systems to which it is connected [42] [47].

Efficiency in urban management for smart cities needs precision in the analysis and application of data, and this is where the geolocation technologies, resources, and services such as urban mobility operate, depend on this type of technology, offering the foundation on which all solutions for smart cities are structured, in the same way, that it provide the necessary location and structure for the collection and analysis of data and information, transforming each data in order to assist the software-based solutions that make up the infrastructure of smart cities [48] [49].

The huge volume of data collected by smart cities tends to be analyzed fast to make it profitable information. Even the data collected by street lights can be used to benefit citizens, since this volume of data from interconnected lighting systems and other IoT devices turns into precious insights about how resident digitally interact with cities, revealing a privileged location for a specific restaurant in a determined neighborhood, for example [50].

The large volume of data generated by smart cities would be inefficient if it were not for the use of Artificial Intelligence in their processing, generating information, importance, and value. AI collects, processes and analyzes the data created by the M2M interaction generated in contexts of cities, infrastructures, and smart markets, the employment of AI provides management to have an accurate digital understanding of how the smart city is operating, assisting in the planning of transport routes autonomous publics, in the management of the energy grid, deliveries by drones, autonomous postal services or medical care units [51].

Predictive analysis is needed to translate and filter data into significant and profitable information that makes city life better, and more productive. Just like open data portals are an alternative to publishing city information online, so that anyone (resident or visitor) can access it and use predictive analysis to estimate future patterns [50] [51].

One of the issues that happen with a smart city is a large volume of information, this large data set can be quite overwhelming, since the information received that is not used, becomes just useless data, being just accumulated. Cities will have properties to plan better from analyzing large volumes of data, enabling proactive maintenance for future demand, representing that an intelligent infrastructure means that a city can move forward with other technologies making significant changes in future plans of the city [52].

Mobility relates to both innovation and data that travel through technology, reflecting on the ability to enter and exit many municipal and private systems, which need to be interoperable and meet expectations, where data also needs to find unimpeded paths that move between systems, with due attention to intellectual property, cybersecurity, and digital

privacy concerns [50] [52].

Each of these technologies operates together making a city ever more intelligent, in this environment everything will be connected, from people and things like cars, traffic lights, lighting systems, public transport, everything must be integrated into a network, facilitating access to data and a wide range of services to the public. For this, it is necessary to have an efficient connection infrastructure, which involves solutions such as fiber optics, in addition to planning and preparing suitable new structures [53].

However, technology is essential for the development of cities, but it alone is not enough, the development of a city until it reaches the level of being considered a smart city needs to be based on the dialogue between the government and the population, in addition to analysis of the information collected, and thus enabling the creation of useful, integrated services that, in fact, meet the needs of the inhabitants. This management, together with IT services, makes it possible to make administration more efficient, improve the quality of life of its residents (in areas such as mobility and access to services), and provide an economically and environmentally more sustainable city [1] [53].

7 | DISCUSSION

A smart city is generally considered to be one that meets some or all of the criteria with respect to citizen participation, free access to information, transparency, improvement in the quality of services provided, use of technologies, enhancement of local history, efficiency in the use of resources (materials and immaterial), improving the population's quality of life, and above all providing an attractive environment for everyone, residents, and visitors.

In smart cities, citizens and essential services are connected, reuse water, treat waste, share products, services, and spaces, use clean energy, move around easily and enjoy quality public services, in addition to creating cultural ties that unite its inhabitants, promoting economic development and improving the quality of life.

The private sector has been meeting in global forums, to point out solutions and business opportunities in the Smart Cities market, among the adaptations, which must follow the population's desire, is aggregating education to avoid radicalization; total focus on face-to-face and even education until the adulthood; as well as the adoption of sustainable concepts and technologies; urban inclusion, as opposed to the isolation of the peripheries; and urban planning that includes spaces for teaching and education.

In Latin America, an example of this new concept of the city is Buenos Aires, Argentina, since the capital has improved urban mobility and reduced carbon dioxide (CO₂) emissions, in addition to investing in applications that enable its inspectors to report quickly to the population about any problem in the urban structure.

While in Europe, smart cities pass a lot through the use of technology, with a great bias of technological and robotic innovation, in Brazil, it is considered Smart that city that

already managed to meet the basic parameters of sanitation, infrastructure, public safety, and education, and that, despite the low transfer of resources, it manages to have efficiency in the processes, pay the salaries on time for its employees and still meet the social and environmental indicators, that is, it is that city that manages to have the dynamism to the point of having structured planning, with well-defined goals and follow this path with fiscal and socio-environmental responsibility.

However, in Brazil, the city of Curitiba is a highlight and reference in the country when it comes to mobility and urbanism, considering the more than 100 special traffic lights for pedestrians that were installed with sensors for magnetic cards, being used by people with special needs and the elderly, to make it easier to cross the streets.

With the characteristics presented and aligned with the protocols expected for the level of a Smart City, the cities that manage to reach it will have an increase in the offer of jobs in the public, hospitality and, mainly, of the creative economy, an area that has grown exponentially, having as its main process the creative act and resulting, among others, in the transformation of local culture into economic wealth.

So it is important and should also consider that this process is directly related to local geography, as it seeks to understand spatial patterns, relationships, connections, trends (evolution over time), the flows of people and goods and their correlations in geographic space, the that it represents in this sense and in the course of this process, seeking to study the city and the community, to develop a smart city policy by creating plans and strategies on how the objectives will be achieved; involve citizens, since the whole process starts from the empowerment of citizens and their participation.

This social and cultural evolution promises to generate new desires, making the city more and more used for pleasure and promoting ideals such as approximation, connectivity, inclusion, relationship, and sharing, since the concept also addresses the verticalization of cities, with sustainable practices and shortening distances with intelligent transport solutions, and a legislative transformation, which should make it possible and shorten paths to the wishes of the majority of the local population.

The concept of Smart Cities has gained strength on all continents and, making their benefits present in people's lives, in an increasingly degraded environment and with religious and political dichotomies, smart cities, betting on shared solutions, in social inclusion, in effective public services, can represent the opportunity to live in an ideal society.

8 | TRENDS AND FUTURE DIRECTIONS

Edge computing is a complementary technology that offers reduced latency and better customization of apps and, therefore, tends to boost applications in various segments, being fundamental in vehicle automation, IoT directed to a smart city. Whereas while cloud computing serves high-level business analytics and big data queries, edge computing uses

dedicated computing installed in the physical data source. This way, instead of dumping workloads in the cloud, it processes data locally, allowing decisions to be made instantly. Still considering that this is more suitable for applications that demand decisions in real-time and that, in this way, they cannot be subject to problems that affect the speed of data traffic, such as the various applications present in a smart city, and that, due to the possibility of local processing, they end up freeing up bandwidth and, thus, making room for cloud computing to serve the most appropriate demands [54].

Fog computing is a disruptive paradigm that realizes distributed computing, storage services, and network, and even expand the operations and services inherent in cloud computing, in addition to communication between cloud data centers to intelligent devices along the edge of the network. The main function of fog computing is to aggregate and filter data for cloud data centers and implement logical intelligence to end devices. Due to these characteristics, different fog computing applications can be operated in a smart city which is the fundamental key for IoT applications, ranging from traffic management to building energy monitoring [54].

5G technology offers several features that will impact device density and digital experiences in smart cities, as well as greater speed for uploading and downloading data, ensuring shorter latency times, ie, reducing the time between sending and receiving the signal, and the ability to connect multiple devices simultaneously. In this sense, 5G technology will essentially remove barriers to the full development of IoT not only in the residential environment but also in factories, public buildings, or on the streets [55].

Blockchain technology takes care of making checks and secure transactions on the Internet, revolutionizing the management of smart cities capable of coordinating, integrating, and controlling different urban services in a transparent, efficient, and private way. This is due to the properties and characteristics of Blockchain especially its potential for municipal governance due to its ability to transmit information in a secure way and without intermediaries [42] [55].

9 | CONCLUSIONS

Most cities have no control over planning the expansion of the power grid that supplies their locality and, therefore, are dependent on energy distribution concessionaires to develop economic growth plans and programs to attract industries, distribution centers, companies service sector, and large commercial stores. An alternative to reduce dependence on the local energy concessionaire is for cities to invest in energy efficiency programs to free up the energy supply for new ventures.

Among the key factors for the development of a smart city is investing in a new venture in the availability and quality of energy. Investing in distributed generation programs and creating energy microgrids in the smart city, taking advantage of local resources, including

a low voltage distribution system, with distributed energy resources (microturbines, small nuclear generators, photovoltaic systems, wind systems, biomass systems, among others), storage devices (batteries, Flywheel) and energy storage systems. In this way, smart cities and industrial centers can benefit greatly from microgrids with renewable energy generation.

Considering that microgrids are small and controllable energy systems comprising of only one or more generation units linked to close users that can be operated with or independently from the transmission system of the local energy concessionaire. Smart cities with good energy management implement energy efficiency programs in their buildings, public lighting, and other public facilities. Additionally, it encourages and coordinates energy efficiency programs with the community, including companies, businesses, and residential condominiums. These energy efficiency projects have the potential to reduce energy consumption and release a portion of energy that serves the city for new ventures, without the need for investments by the concessionaire to expand the network's infrastructure capacity in the city.

In this sense, through the combination of energy efficiency, microgrids, and distributed generation, smart cities can, through intelligent governance, build a controlled energy generation and demand environment, making it possible to attract new businesses and ensure quality energy for companies and homes. Also creating synergy between environmental sustainability actions and social actions to reduce the costs of residents with incentives for distributed generation.

In the same context as related to mobility, the technologies that will enable the creation of smart cities are ready, or at a very advanced stage of development, considering the proliferation of the autonomous car, and even the scale gain of electric vehicles. Since smart cities require the integration of different solutions in a dynamic and constantly changing environment to meet the needs of everyone (residents and visitors).

However, for smart cities to become effectively viable, the main infrastructure resource is the fast internet, with high speed and low latency, allowing technological processes of the most varied types, improving the quality of life, reducing traffic accidents and even pollution in urban centers. Considering also that these processes need to be democratic, without invading people's digital privacy, the technological properties to track adverse conditions are the premise of smart cities initiatives in the event of an invasion of digital privacy.

REFERENCES

[1] McClellan, Stan, Jesus A. Jimenez, and George Koutitas, eds. **Smart Cities: applications, technologies, standards, and driving factors**. Springer, 2017.

[2] França, Reinaldo Padilha, et al. "An Overview of the Machine Learning Applied in Smart Cities." **Smart Cities: A Data Analytics Perspective**: 91-111.

- [3] Franca, Reinaldo Padilha, et al. **“Better Transmission of Information Focused on Green Computing Through Data Transmission Channels in Cloud Environments with Rayleigh Fading.”** *Green Computing in Smart Cities: Simulation and Techniques*. Springer, Cham, 2020. 71-93.
- [4] Song, Houbing, et al. **Smart cities: foundations, principles, and applications**. John Wiley & Sons, 2017.
- [5] Vidyandandan, K. V. **“Overview of electric and hybrid vehicles.”** *Energy Scan* 3 (2018): 7-14.
- [6] Ferrero, Enrico, Stefano Alessandrini, and Alessia Balanzino. **“Impact of the electric vehicles on the air pollution from a highway.”** *Applied energy* 169 (2016): 450-459.
- [7] Hatzigrygiou, Nikos, and Iony Patriota de Siqueira, eds. *Electricity supply systems of the future*. Springer Nature, 2020.
- [8] Beiter, Phillipp, Michael Elchinger, and Tian Tian. **2016 renewable energy data book**. No. DOE/GO-102016-4904. National Renewable Energy Lab. (NREL), Golden, CO (United States), 2017.
- [9] Hirsch, Adam, Yael Parag, and Josep Guerrero. **“Microgrids: A review of technologies, key drivers, and outstanding issues.”** *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 90 (2018): 402-411.
- [10] Pedrosa, Jézer Oliveira, Júlio Cesar Pereira, Ana Carolina Borges Monteiro, Reinaldo Padilha França, Yuzo Iano, Rangel Arthur. **DISAGGREGATION OF LOADS IN THE SMART GRID CONTEXT**. In: *Engenharia Moderna: Soluções para Probelams da Sociedade e da Industria*. Atena, 2020.
- [11] Al-Turjman, Fadi, Hadi Zahmatkesh, and Ramiz Shahroze. **“An overview of security and privacy in smart cities’ IoT communications.”** *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies* (2019): e3677.
- [12] França, Reinaldo Padilha, et al. **“The Fundamentals and Potential for Cybersecurity of Big Data in the Modern World.”** *Machine Intelligence and Big Data Analytics for Cybersecurity Applications*. Springer, Cham 51-73.
- [13] Lea, Rodger James. **“Smart cities: An overview of the technology trends driving smart cities.”** (2017).
- [14] Taji, S. G., V. R. Saraf, and D. G. Regulwar. **“Smart Rain Water Harvesting for Smart Cities.”** *Security and Privacy Applications for Smart City Development*. Springer, Cham, 2020. 91-116.
- [15] Lai, Chun Sing, et al. **“A review of technical standards for smart cities.”** *Clean Technologies* 2.3 (2020): 290-310.
- [16] Koten, H., and S. Bilal. **“Recent developments in electric vehicles.”** *International Journal of Advances on Automotive and Technology* 1.1 (2018): 35-52.
- [17] Noel, Lance, et al. **“Beyond emissions and economics: Rethinking the co-benefits of electric vehicles (EVs) and vehicle-to-grid (V2G).”** *Transport Policy* 71 (2018): 130-137.
- [18] Liu, Haoxiang, and David ZW Wang. **“Locating multiple types of charging facilities for battery electric vehicles.”** *Transportation Research Part B: Methodological* 103 (2017): 30-55.

- [19] Tanç, Bahattin, et al. **“Overview of the next quarter-century vision of hydrogen fuel cell electric vehicles.”** International Journal of Hydrogen Energy 44.20 (2019): 10120-10128.
- [20] Stokes, Leah C., and Hanna L. Breetz. **“Politics in the US energy transition: Case studies of solar, wind, biofuels and electric vehicles policy.”** Energy Policy 113 (2018): 76-86.
- [21] Bharathiraja, B., et al. **“Biogas production—A review on composition, fuel properties, feedstock and principles of anaerobic digestion.”** Renewable and Sustainable Energy reviews 90.C (2018): 570-582.
- [22] Radu, Eitz, et al. **“An islanded renewable energy microgrid emulator for geothermal, biogas, photovoltaic and lead-acid battery storage.”** 2017 IEEE 26th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE). IEEE, 2017.
- [23] González-Romera, Eva, et al. **“Advantages of minimizing energy exchange instead of energy cost in prosumer microgrids.”** Energies 12.4 (2019): 719.
- [24] Pannala, Sanjeev, Narayana Prasad Padhy, and Pramod Agarwal. **“Peak energy management using renewable integrated dc microgrid.”** 2018 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM). IEEE, 2018.
- [25] Paffumi, Elena, Michele De Gennaro, and Giorgio Martini. **“Innovative technologies for smart cities: towards customer-driven infrastructure design for large scale deployment of electric vehicles and Vehicle-to-Grid applications.”** Transportation Research Procedia 14 (2016): 4505-4514.
- [26] de Rubens, Gerardo Zarazua, et al. **“The market case for electric mobility: Investigating electric vehicle business models for mass adoption.”** Energy 194 (2020): 116841.
- [27] Sterchele, Philip, et al. **“Assessment of flexible electric vehicle charging in a sector coupling energy system model—Modelling approach and case study.”** Applied Energy 258 (2020): 114101.
- [28] Al-Bahrani, Loau Tawfak, et al. **“Dynamic economic emission dispatch with load demand management for the load demand of electric vehicles during crest shaving and valley filling in smart cities environment.”** Energy 195 (2020): 116946.
- [29] Alghamdi, Turki G., Dhaou Said, and Hussein T. Mouftah. **“Decentralized Game-Theoretic Scheme for D-EVSE Based on Renewable Energy in Smart Cities: A Realistic Scenario.”** IEEE Access 8 (2020): 48274-48284.
- [30] El-Fedany, Ibrahim, Driss Kiouach, and Rachid Alaoui. **“System architecture to select the charging station by optimizing the travel time considering the destination of electric vehicle drivers in smart cities.”** Bulletin of Electrical Engineering and Informatics 9.1 (2020): 273-283.
- [31] Taş, Duygu. **“Electric vehicle routing with flexible time windows: a column generation solution approach.”** Transportation Letters (2020): 1-7.
- [32] Shaheen, Susan, Elliot Martin, and Hannah Totte. **“Zero-emission vehicle exposure within US carsharing fleets and impacts on sentiment toward electric-drive vehicles.”** Transport Policy 85 (2020): A23-A32.

- [33] Jayamaha, D. K. J. S., N. W. A. Lidula, and A. D. Rajapakse. “**Protection and grounding methods in DC microgrids: Comprehensive review and analysis.**” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 120 (2020): 109631.
- [34] Nandanoori, S. P., Kundu, S., Du, W., Tuffner, F., & Schneider, K. P. (2020). “**Distributed small-signal stability conditions for inverter-based unbalanced microgrids**”. *IEEE Transactions on Power Systems*
- [35] Cagnano, A., E. De Tuglie, and P. Mancarella. “**Microgrids: Overview and guidelines for practical implementations and operation.**” *Applied Energy* 258 (2020): 114039.
- [36] Grossi, Giuseppe, Albert Meijer, and Massimo Sargiacomo. “**A public management perspective on smart cities: ‘Urban auditing’ for management, governance and accountability.**” (2020): 633-647.
- [37] Lopes, Nuno Vasco Moreira, ed. Smart “**Governance for Cities: Perspectives and Experiences**”. Springer Nature, 2020.
- [38] De Guimarães, Julio Cesar Ferro, et al. “**Governance and quality of life in smart cities: Towards sustainable development goals.**” *Journal of Cleaner Production* 253 (2020): 119926.
- [39] Cetindamar, D., T. Lammers, and N. Sick. “**Understanding the Relationship Between Smart Cities and Entrepreneurial Ecosystems: The Case of Sydney.**” *Data-driven Multivalence in the Built Environment*. Springer, Cham, 2020. 301-315.,
- [40] França, Reinaldo Padilha, et al. “**An Overview of Internet of Things Technology Applied on Precision Agriculture Concept.**” *Precision Agriculture Technologies for Food Security and Sustainability* (2020): 47-70.
- [41] França, Reinaldo Padilha, et al. “**An Overview of the Integration between Cloud Computing and Internet of Things (IoT) Technologies.**” *Recent Advances in Security, Privacy, and Trust for Internet of Things (IoT) and Cyber-Physical Systems (CPS)* (2020): 1-22.
- [42] França, Reinaldo Padilha, et al. “**9 An Overview of Blockchain and its Applications in the Modern Digital Age.**” *Security and Trust Issues in Internet of Things: Blockchain to the Rescue* (2020): 185.
- [43] Willis, Katharine S., and Alessandro Aurigi, eds. “**The Routledge Companion to Smart Cities**”. Routledge, 2020.
- [44] Brock, Kati, et al. “**Light the way for smart cities: Lessons from Philips Lighting.**” *Technological Forecasting and Social Change* 142 (2019): 194-209.
- [45] Mora, Luca, and Mark Deakin. “**Untangling Smart Cities: From Utopian Dreams to Innovation Systems for a Technology-Enabled Urban Sustainability**”. Elsevier, 2019.
- [46] Mora, Luca, and Mark Deakin. “**Untangling Smart Cities: From Utopian Dreams to Innovation Systems for a Technology-Enabled Urban Sustainability**”. Elsevier, 2019.
- [47] Komninos, Nicos. “**Smart Cities and Connected Intelligence: Platforms, Ecosystems and Network Effects**”. Routledge, 2019.

- [48] Farahat, I. S., et al. **“Data security and challenges in smart cities.”** *Security in Smart Cities: Models, Applications, and Challenges*. Springer, Cham, 2019. 117-142.
- [49] Asorey-Cacheda, Rafael, et al. **“Crowdsourcing optimized wireless sensor network deployment in smart cities: a keynote.”** *Ibero-American Congress of Smart Cities*. Springer, Cham, 2018.
- [50] Nijholt, Anton. **“Making Smart Cities More Playable”**. Springer Singapore,
- [51] Teng, Haojun, et al. **“A novel code data dissemination scheme for Internet of Things through mobile vehicle of smart cities.”** *Future Generation Computer Systems* 94 (2019): 351-367.
- [52] Visvizi, Anna, and Miltiadis Lytras, eds. **“Smart Cities: Issues and Challenges: Mapping Political, Social and Economic Risks and Threats”**. Elsevier, 2019.
- [53] Lv, Bin, et al. **“LiDAR-enhanced connected infrastructures sensing and broadcasting high-resolution traffic information serving smart cities.”** *IEEE Access* 7 (2019): 79895-79907.
- [54] Buyya, Rajkumar, and Satish Narayana Srirama, eds. **“Fog and edge computing: principles and paradigms”**. John Wiley & Sons, 2019.
- [55] Padilha, Reinaldo França. **“Proposta de um método complementar de compressão de dados por meio da metodologia de eventos discretos aplicada em um baixo nível de abstração= Proposal of a complementary method of data compression by discrete event methodology applied at a low level of abstraction.”** (2018).

SMART GRID E SUAS TENDÊNCIAS A PARTIR DA EVOLUÇÃO DO AMBIENTE DE CONTRATAÇÃO LIVRE NO BRASIL

Data de submissão: 07/03/2023

Data de aceite: 02/06/2023

Miguel Leoni Rosseto

Universidade São Francisco
Curso de Engenharia Elétrica, Itatiba, SP
<https://orcid.org/0009-0004-2752-8072>

Rogério Bianchi de Souza

Universidade São Francisco
Curso de Engenharia Elétrica, Itatiba, SP
<https://orcid.org/0009-0005-1995-0668>

Annete Silva Faesarella

Universidade São Francisco
Grupo de Pesquisa em Meio Ambiente e
Sustentabilidade – GPMAS
<https://orcid.org/0000-0002-1034-6123>
<http://lattes.cnpq.br/8546620295718065>

Vicente Idalberto Becerra Sablón

Universidade São Francisco
Grupo de Pesquisa em Meio Ambiente e
Sustentabilidade – GPMAS
Itatiba – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/6350047853320576>

RESUMO: Atualmente tem-se dois sistemas para a compra de energia elétrica: o Ambiente de Contratação Livre e o Ambiente de Contratação Regulado, sendo que a primeira modalidade vem apresentando um crescimento exponencial,

visto que pode garantir uma economia de até trinta por cento para o consumidor que a ela se adequar. O objetivo deste artigo é identificar as tendências das *Smart Grids* nos próximos anos a partir da evolução do mercado livre no Brasil. Para isso, foi utilizado uma metodologia de estudo de caso, que consiste na análise e projeção de dados coletados de uma companhia de energia elétrica relevante no Brasil. É esperado que o Mercado Regulado diminua nos próximos anos, já que o valor da demanda mínima exigida para se tornar um consumidor ACL vem baixando ano a ano, ocasionando um grande aumento da telemedição nas redes, tecnologia essencial para o desenvolvimento das *Smart Grids*.

PALAVRAS-CHAVE: Smart Grid, Telemedição, Ambiente de Contratação Livre.

SMART GRID AND ITS TRENDS FROM THE EVOLUTION OF THE FREE CONTRACTING ENVIRONMENT IN BRAZIL

ABSTRACT: There are currently two systems for purchasing electricity: the Free Contracting Environment and the Regulated Contracting Environment, with the first

modality showing exponential growth, as it can guarantee savings of up to thirty percent for the consumer. that suits her. The objective of this article is to identify the trends of Smart Grids in the coming years based on the evolution of the free market in Brazil. A case study methodology was used, which consists of the analysis and projection of data collected from a relevant electric power company in Brazil. It is expected that the Regulated Market will decline in the coming years, as the value of the minimum demand required to become an RCE consumer has been decreasing year after year, causing a large increase in telemetering in networks, an essential technology for the development of Smart Grids.

KEYWORDS: Smart Grid, Telemetering, Free Contracting Environment.

1 | INTRODUÇÃO

A aplicação de novas tecnologias vem sendo necessária em todas as vertentes do mercado, pois, indiscutivelmente se torna fundamental nos processos, trazendo eficiência, confiabilidade, segurança e automatização, com a proposta de minimizar as perdas e maximizar os lucros.

Não é diferente com a *Smart Grid*, que em seu termo original, foi contextualizada apenas em 2005, mesmo já apresentando seus primeiros registros anteriormente. Hoje as redes inteligentes podem ser compreendidas como redes capazes de identificar consumos ao longo do dia, picos de demanda e demanda fora de pico, através do monitoramento, identificar e atuar em falhas por meio de tecnologias de controle e com isso, através da comunicação, tomar decisões e atuar de forma autônoma na gestão da energia e seus recursos (FARIAS; SELLITTO, 2011).

Esta tecnologia, assim como tantas outras, está em desenvolvimento e já apresenta diversos desafios, principalmente por conta do avanço e modernização de determinados recursos, como veículos elétricos e a microgeração, justificando uma demanda de consumo de energia elétrica em alta escala para os próximos anos.

Contudo, o presente artigo tem como objetivo introduzir o conceito da *Smart Grid* e apresentar o impacto do Ambiente de Contratação Livre e suas contribuições para o avanço das tecnologias de redes inteligentes, com o propósito de analisar dados coletados e identificar suas tendências para os próximos anos. A revisão bibliográfica do artigo busca apresentar os conceitos sobre os assuntos tratados de forma clara e objetiva, junto com a presença de informações visuais, como imagens e gráficos, sempre com o intuito de entregar o conhecimento fundamental para compreender, em sequência, os métodos e resultados do trabalho.

2 | METODOLOGIA

Mediante artigos científicos, notícias do mercado de energia e dados dos principais órgãos regulamentadores do setor elétrico em busca da compreensão e comportamento das *Smart Grids* e a influência do mercado de energia, bem como a telemedicação sobre elas,

os pesquisadores visam apresentar uma metodologia de pesquisa que consiste em realizar projeções identificando as tendências das redes inteligentes paralelamente com o avanço da telemedição e com isso associar a relação que os dois conceitos carregam entre si. Em específico, deseja-se projetar um cenário provável para os próximos anos em relação ao mercado de energia e a adequação de novos clientes ao Ambiente de Contratação Livre para que seja evidenciado o comportamento das redes inteligentes através do conceito da telemedição.

Os dados coletados, são advindos de uma companhia de energia elétrica estudada pelos pesquisadores, com isso, o presente trabalho utilizou de dados reais coletados nos últimos 22 meses e busca analisá-los e projetá-los para os próximos anos, utilizando a interpretação destes de forma comparativa com o atual cenário, a fim de elaborar conclusões limitadas ao conteúdo apresentado no levantamento bibliográfico sobre o avanço e tendências das *Smart Grids* no Brasil.

Contudo, o método de pesquisa mais eficiente para alcançar os resultados esperados se trata do estudo de caso, que por sua vez, é uma estratégia de pesquisa onde o principal objetivo se concentra em estudar os dados coletados de forma a compreendê-los dentro do contexto em que ocorrem.

Para melhor visualização da estratégia e métodos utilizados pelos pesquisadores, foi criada uma modelagem das etapas, que devem ser seguidas com o intuito de concluir o estudo de maneira mais eficiente. A figura 1, a seguir apresenta o fluxograma utilizado.

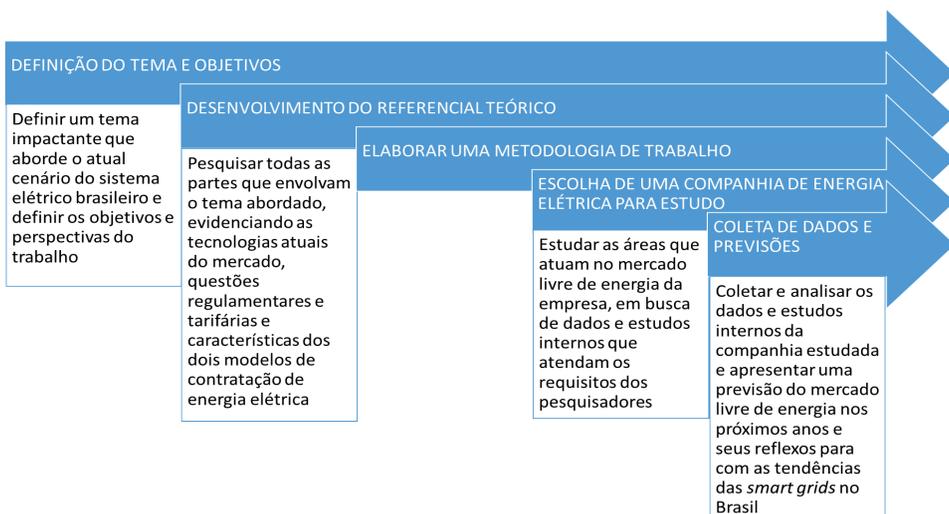


Figura 1 – Fluxograma utilizado para o desenvolvimento do trabalho (Fonte: Autoria própria).

2.1 Estudo de Caso

O Ambiente de Contratação Livre de energia ainda está limitado à potência consumida

e sua contratação possui critérios como demanda mínima e ligações em fornecimento de média ou alta tensão. Isso está próximo do fim, para os clientes do grupo A, a abertura completa do mercado já tem data marcada, de acordo com a publicação de 27 de setembro de 2022, a portaria normativa nº 50/GM/MME estabeleceu que todos os consumidores classificados como grupo A poderão migrar para o mercado livre de energia a partir de 1º de janeiro de 2024 conforme a figura 9. (SACHSIDA, 2022).

As previsões de abertura de mercado influenciam diretamente as concessionárias de energia que estão se adequando para atender a demanda do mercado.

De acordo com a matéria publicada no portal de notícias da DCMAIS (Agência Estadual de Notícias, 2022), a Copel, distribuidora de energia elétrica com concessão em parte do território no Sul do país, já instalou 350 mil medidores inteligentes de energia no Paraná, que está recebendo o maior programa de modernização da rede elétrica do país e aos poucos vai tendo todos os medidores de energia de suas unidades consumidoras, substituídos sem custo ao cliente.



DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO

Publicado em: 28/09/2022 | Edição: 185 | Seção: 1 | Página: 188
Órgão: Ministério de Minas e Energia/Gabinete do Ministro

PORTARIA NORMATIVA Nº 50/GM/MME, DE 27 DE SETEMBRO DE 2022

O MINISTRO DE ESTADO DE MINAS E ENERGIA, no uso das atribuições que lhe confere o art. 87, parágrafo único, incisos II e IV, da Constituição, tendo em vista o disposto no art. 15, § 3º, da Lei nº 9.074, de 7 de julho de 1995, no art. 4º, parágrafo único, do Decreto nº 10.139, de 28 de novembro de 2019, e o que consta no Processo nº 48340.003386/2021-10, resolve:

Art. 1º Definir o limite de carga para contratação de energia elétrica por parte dos consumidores de que trata o § 3º do art. 15 da Lei nº 9.074, de 7 de julho de 1995.

§ 1º A partir de 1º de janeiro de 2024, os consumidores classificados como Grupo A, nos termos da regulamentação vigente, poderão optar pela compra de energia elétrica a qualquer concessionário, permissionário ou autorizado de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional.

§ 2º Os consumidores de que trata o § 1º com carga individual inferior a 500kW, no exercício da opção de que tratam os arts. 15 e 16 da Lei nº 9.074, de 7 de julho de 1995, serão representados por agente varejista perante a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - CCEE.

Art. 2º Esta Portaria entra em vigor em 1º de novembro de 2022.

ADOLFO SACHSIDA

Figura 2 – Portaria Normativa para abertura do mercado ao Grupo A (Fonte:SACHSIDA, 2022).

De acordo com a matéria publicada no portal de notícias da DCMAIS (Agência Estadual de Notícias, 2022), a Copel, distribuidora de energia elétrica com concessão em parte do território no Sul do país, já instalou 350 mil medidores inteligentes de energia no Paraná, que está recebendo o maior programa de modernização da rede elétrica do país e aos poucos vai tendo todos os medidores de energia de suas unidades consumidoras,

substituídos sem custo ao cliente. O projeto prevê que até outubro de 2022, sejam instalados 462 mil medidores inteligentes que somam um investimento de aproximadamente 50 milhões de dólares em atualizações tecnológicas. Os medidores podem se comunicar com o Centro Integrado de Operação da Distribuição da Copel e disponibilizar os dados de consumo de 15 em 15 minutos, além de dados adicionais sobre a qualidade da energia. Segundo a Copel, essa modernização consegue religar o cliente rapidamente e identificar falhas antes mesmo que o consumidor perceba, além do cliente conseguir verificar seu consumo em tempo real através de aplicativo de celular.

Outro projeto que foi noticiado através do CANALENERGIA é o investimento de aproximadamente 40 milhões de dólares por parte da CEMIG, distribuidora estatal que atende parte do território mineiro. O projeto visa substituir cerca de 800 mil unidades de medidores antigos e obsoletos por medidores inteligentes e o propósito é totalmente semelhante ao da Copel, facilitando e agilizando o processo de medição e leitura, operação remota da rede e permitindo ao cliente acompanhar seu consumo via aplicativo. (CANALENERGIA, 2022). Em paralelo a isso, a CEMIG publicou uma matéria em sua página, destacando alguns motivadores para o uso e investimento em medidores inteligentes, sendo elas: “os medidores inteligentes permitem que leituras, cortes e religamentos de energia sejam feitos de forma remota. Os medidores inteligentes permitem ainda entender a demanda quase em tempo real, o que permitirá futuramente, que tanto o consumidor quanto a CEMIG, acompanhem o perfil de consumo energético, além de adaptar a geração de energia à demanda”. (CEMIG, 2022).

Mediante notícias do mercado de energia disponíveis em diversos portais de informação, é notório que as distribuidoras estão se adequando para atender as perspectivas do mercado de energia e sua inevitável abertura, portanto foi realizada uma pesquisa dentro do Centro de Qualidade da Medição de uma distribuidora de energia elétrica estudada, com o intuito de coletar dados necessários para realizar uma projeção futura da migração dos consumidores do mercado cativo para o livre. Este Centro detém dados que foram disponibilizados aos pesquisadores em forma de amostra para estudar o mercado como um todo. A distribuidora revela, através da tabela 1, os seguintes dados sobre suas unidades consumidoras em relatório extraído em setembro de 2022.

Grupo tarifário	Unidade Consumidora
Grupo B	10.878.828
Grupo A	46.046

Tabela 1 - Quantidade de Unidades Consumidoras por grupo tarifário atendidos pela distribuidora estudada.

Fonte: Distribuidora estudada.

Além da informação da Tabela 1, foi divulgado também que 6.248 unidades consumidoras possuem contrato ativo com a CCEE, representando aproximadamente 13,6% das unidades consumidoras do grupo A.

Segundo dados da ANEEL e da CCEE referentes às unidades consumidoras reguladas e livres em 2022, foi possível identificar a diferença apresentada entre os dois mercados, sabendo também que o Ambiente de Contratação Livre já evoluiu 247% nos últimos 5 anos. (CCEE, 2022). Apresenta-se na tabela 2 a quantidade de unidades consumidoras atendidas por todo o país entre todas as distribuidoras de energia do Brasil.

Unidades Consumidoras	Unidades Consumidoras ACL
88.744.559	26.600

Tabela 2 - Quantidade de Unidades Consumidoras e Unidades Consumidoras ACL no Brasil

Fonte: Dados da Aneel e CCEE.

A distribuidora estudada forneceu também a relação de migrações do mercado cativo para o livre dos últimos 22 meses, que pode ser visualizado através do gráfico da figura 3, facilitando a identificação da evolução e tendência do mercado.

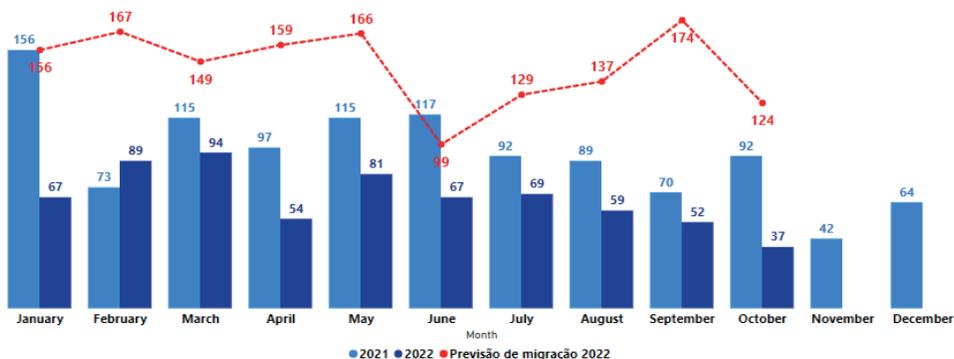


Figura 3 – Migrações de clientes Cativos para o mercado livre (Fonte: CCEE, 2021).

Para a previsão dos dados do ano de 2023, foi utilizado um estudo da área de planejamento de carga e distribuição com as perspectivas de migrações dos clientes regulados para o Ambiente de Contratação Livre. Foi destacado pelo analista de planejamento de carga e distribuição que o cliente pode anunciar sua migração com até 6 meses de antecedência, portanto o estudo conta com os clientes que já anunciaram a migração e uma previsão com base nos dados dos últimos anos e uma estatística considerando o atual cenário. Segundo informado pelo analista da empresa analisada, o estudo foi concluído no segundo semestre de 2022 e possui 627 clientes confirmados para o ambiente livre em 2023 e uma previsão de que até o final do mesmo ano as migrações

possam alcançar a marca de 800 novos clientes na modalidade do mercado livre. Realçou também que acreditam que 2023 não seja um ano volumoso, diferente de 2024 que será um ano de muitas migrações (Distribuidora estudada, 2022).

Concluindo a previsão de mercado proposta, os pesquisadores conversaram com a coordenadora de gestão de clientes na distribuidora estudada, essa área oferece ao cliente a gestão energética de sua companhia, trabalhando com planejamento, consultoria e contratos para a adesão de energia, além disso oferece serviço de eficiência energética. A coordenadora disponibilizou o estudo da área em relação a parcela de clientes cativos aptos a migrar para o mercado livre após a abertura de mercado em 2024 que efetivamente irão migrar. A previsão do estudo foi que as migrações devem chegar a marca de 46% do grupo A até o ano de 2026 e para o ano de 2028, 65% do grupo A deve estar contratando livremente energia no mercado. Indo além, apesar de não fazer parte das previsões, foi comentado também sobre a baixa tensão e o grupo B em geral, a previsão é que para janeiro de 2026, o mercado esteja aberto para toda baixa tensão, exceto classe rural e residencial e até janeiro de 2028, todos os consumidores, independente de classes, estejam aptos a aderir ao mercado livre de energia (Distribuidora estudada, 2022).

A CCEE revelou que, através de um estudo realizado internamente, existem 70 mil Unidades Consumidoras que já poderiam migrar para o segmento, considerando as regras atuais. O trabalho também revelou que, se houvesse redução nos requisitos para adesão, de modo a incluir toda a alta tensão (Grupo A), cerca de 175 mil Unidades Consumidoras poderiam ser livres (CCEE, 2022).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

O estudo do mercado de energia e suas perspectivas e projeções durante os próximos anos pode indicar o quão telemedido estará o país pois as distribuidoras de energia elétrica continuam sendo o caminho para o fornecimento de energia em sua área de concessão e mesmo que não vendam a energia, elas ainda serão responsáveis em entregar o dado de consumo e demanda do cliente livre para a CCEE, que por sua vez detém toda regulação e contratos com os consumidores livres. As concessionárias sabem como é viável o uso de um medidor inteligente e principalmente telemedido, pois esses dados podem ser facilmente coletados, analisados e direcionados para a CCEE. Justamente por esse motivo, é um critério da adequação do ponto de medição, que o cliente que migrar para o mercado livre, tenha a telemedição ativa, que será uma tendência para todas as Unidades Consumidoras, mesmo que essas ainda não tenham se adequado para o Ambiente de Contratação Livre.

Os pesquisadores identificaram, através do centro de qualidade da medição estudado, que as distribuidoras sustentam a ideia do fim da atividade de leitura do medidor em campo e dão credibilidade para a medição inteligente, pois enxergam a tendência de

um ambiente telemedido em um futuro próximo.

Porém, o Brasil já se distanciou dos países que aderiram e se desenvolveram dentro das *Smart Grids* e agora precisa correr para alcançar algo que já se tornou padrão para economias desenvolvidas. Para Caius Vinicius Sampaio Malagoli, diretor de Engenharia de Manutenção e Padrões do grupo CPFL Energia, o país está 20 anos atrasado em relação a outros países e completa: “Lá fora, houve incentivos à mudança da matriz energética para fontes limpas que aceleraram a adoção da tecnologia nas redes elétricas”. Na América Latina, o Chile foi o primeiro país a ter uma política de substituição de medidores inteligentes com troca de 100% dos medidores até 2023 e impacto limitado a 5% na tarifa (Tele Síntese, 2020).

Como principais motivadores para a substituição de medidores comuns por medidores inteligentes e telemedidos, a distribuidora estudada aponta em primeiro lugar, a facilidade em receber os dados, de 5 em 5 minutos e poder analisar a energia e demanda consumida através dos ativos e reativos gerados de acordo com a característica de consumo do cliente. Isso torna muito mais prático e fácil analisar a curva de carga, além de permitir que seleções sejam realizadas para encontrar fraudes e garantir um balanço de energia prevendo os resultados de perdas técnicas. Em geral, são muitos os benefícios da telemedição para as concessionárias e isso pode ser direcionado aos próprios clientes, tendo acesso ao seu consumo de forma dinâmica através de aplicativos.

A CCEE ainda apresentou um estudo com a proposta de abertura total do mercado, e nele, Marcelo Loureiro, conselheiro da CCEE explicou, em suas palavras que “Nós entendemos que o futuro do mercado é livre. Queremos que cada pessoa tenha a opção de escolher se quer migrar ao ACL ou se prefere se manter no ambiente regulado” e sobre a telemedição, recurso importante nas redes inteligentes, a CCEE identificou como uma de suas propostas tornar o processo de medição escalável, visto que o atual pode ser custoso para consumidores e distribuidoras. (CCEE, 2022).

Diante de todos os dados coletados através de estudos realizados pela CCEE e pelas áreas de inteligência e planejamento da distribuidora estudada alinhado com informações reais disponíveis no site da ANEEL sobre Unidades Consumidoras no Brasil, foi possível realizar uma previsão futura do avanço do Ambiente de Contratação Livre limitada até o ano de 2028 no Brasil, portanto, a previsão ainda não considera o possível cenário de adesão da baixa tensão completa ao ACL. A figura 4 apresenta a possível transição de clientes livres entre 2022 e 2023 na companhia estudada e refletido em cenário nacional. Já a figura 5, por sua vez, prevê a quantidade de Unidades Consumidora livres para os próximos anos.

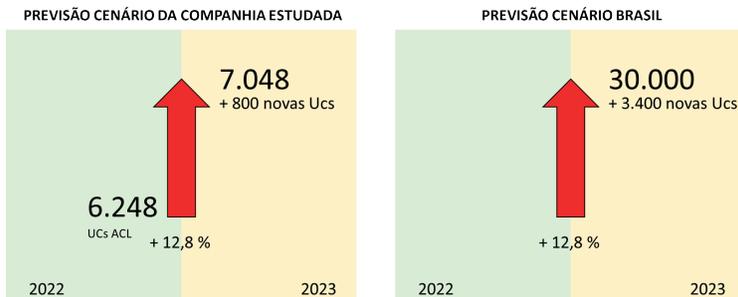


Figura 4 – Previsão de evolução do mercado livre de 2022 para 2023 (Fonte: Autoria própria).

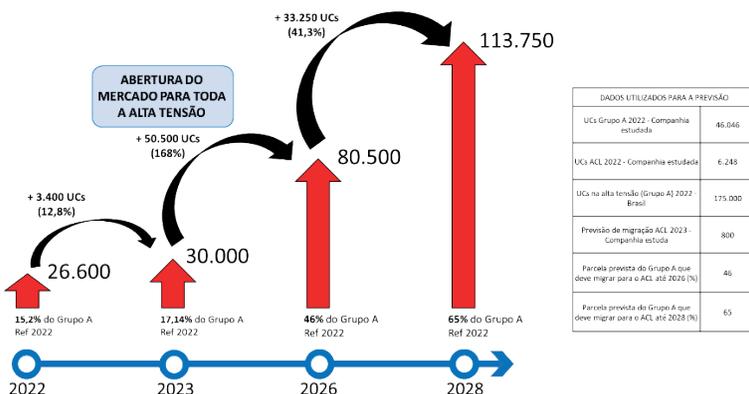


Figura 5 – Previsão do mercado livre nos próximos anos (Fonte: Autoria própria).

A perspectiva diante do cenário estudado é que o Brasil se aproxime dos países que receberão os maiores investimentos em *Smart Grids* nos próximos 30 anos. Para melhor visualização desse seletor grupo, um estudo realizado pelo Centro de Gestão e Estudos Energéticos, elencou o avanço das redes inteligentes baseado nos maiores investimentos atuais e futuros. Na figura 6, é mostrado os países que receberão os maiores investimentos em *Smart Grids* do mundo.

País	Estimativa de investimentos nos próximos anos em dólar
União Europeia	1,88 trilhões
Japão	1,7 trilhões
EUA	1,5 trilhões
Austrália	240 bilhões
China	100 bilhões
Coréia do Sul	30 bilhões
Índia	26 bilhões

Figura 6 – Países com maior previsão de investimento em redes inteligentes do mundo (Fonte: Adaptado da CGEE).

4 | CONCLUSÃO

De acordo com o especialista em estratégia de mercado da distribuidora estuda, apesar de muitas vantagens, o cliente que contrata a energia através do mercado livre pode sofrer algumas consequências negativas também, uma delas é que quando o cliente contrata a energia em algum momento que o preço está mais alto do que o cativo, o principal benefício que é a economia, ele não tem. Existe um risco dessa contratação, uma vez que o cliente contrata para os próximos anos e o contrato, normalmente, é indexado a inflação, portanto o preço em alguns anos pode estar mais alto. Outro risco do mercado livre é a exposição ao PLD. Se o cliente fica fora do range contratado, ele terá que fechar o balanço energético dele comprando/vendendo energia no curto prazo. Podendo novamente ser afetado economicamente.

Através das pesquisas e coleta de dados, está sendo esperado para os próximos anos uma migração exponencial dos consumidores do mercado cativo para a categoria de mercado livre, a expectativa é que a telemedicação tenha um real crescimento em decorrência do próspero aumento de adequações de clientes para o ambiente livre do mercado de energia e com isso apresente proporcionalmente um avanço das redes inteligentes, elevando o patamar e conceito dessa tecnologia no Brasil para mais próximo dos países desenvolvidos e, dentro dos objetivos e prioridades que se tem com o sistema elétrico brasileiro, atingir resultados desafiadores para as perspectivas atuais.

As previsões realizadas permitem entender que com o notável avanço do mercado livre no Brasil, as companhias de energia elétrica devem se organizar visando uma maior receita na comercializadora e investindo em sua matriz de geração, já que a TE (Tarifa de Energia) deve começar a diminuir em virtude da livre negociação de compra e venda de energia, a distribuidora portando permanece sem influência, já que a TUSD (Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição) permanecerá a mesma. Além disso, o avanço do ACL permite que haja um incentivo na geração de energia limpa no Brasil.

Contudo, o presente trabalho, que propôs apresentar uma projeção das tendências do mercado na compra de energia elétrica, considerando os dados coletados no período de 22 meses e demais estudos de uma das maiores distribuidoras de energia elétrica do Brasil, foi concluído com sucesso.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA ESTADUAL DE NOTÍCIAS., **Copel já instalou 350 mil medidores inteligentes de energia**, disponível em: <https://dcmmais.com.br/parana/copel-ja-instalou-350-mil-medidores-inteligentes-de-energia/amp/>. acesso em: 29/09/2022.

CANALENERGIA., **Cemig aplica R\$ 200 mi para modernizar 850 mil medidores**, disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53213898/cemig-aplica-r-200-mi-para-modernizar-850-mil-medidores>, acesso em: 29/09/2022.

CCEE., **Mercado Livre de energia bate recorde de migração de unidade consumidoras em 2021**, disponível em: <https://www.ccee.org.br/pt/web/guest/-/mercado-livre-de-energia-bate-recorde-de-migracao-de-unidades-consumidoras-em-2021>, acesso em: 15/04/2022.

CCEE., **CCEE finaliza primeira parte do estudo com propostas para abertura total do mercado livre**, disponível em: <https://www.ccee.org.br/pt/web/guest/-/ccee-finaliza-primeira-parte-do-estudo-com-propostas-para-abertura-total-do-mercado-livre-de-energia>, acesso em: 22/11/2022.

CEMIG., **Medidores Inteligentes**, disponível em: <https://www.cemig.com.br/atendimento/medidores-inteligentes/>, acesso em: 29/09/2022.

CGEE., **Redes Elétricas inteligentes: contexto nacional**, disponível em: file:///C:/Users/Rosseto/Downloads/Redes_Eletricas_Inteligentes_22mar13_9539.pdf, acesso em: 15/04/2022.

FARIAS, L. M.SELLITO, M.A. **Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras**, disponível em: <http://revista.liberato.com.br/index.php/revista/article/view/164/154>, acesso em: 25/03/2022.

SACHSIDA, A., **Portaria normativa nº 50/GM/MME, de 27 de setembro de 2022**, disponível em: <https://in.gov.br/web/dou/-/portaria-normativa-n-50/gm/mme-de-27-de-setembro-de-2022-432279937>, acesso em 29/09/2022.

TELE SÍNTESE., **BRASIL FICOU PARA TRÁS NA ADOÇÃO DO SMART GRID**, disponível em: <https://www.telesintese.com.br/brasil-ficou-para-tras-na-adocao-do-smart-grid/>, acesso em: 22/11/2022.

COMPUTAÇÃO NATURAL PARA SOLUÇÃO DE PROBLEMAS MULTICRITÉRIOS E MULTIOBJETIVOS COM USO DE VARIÁVEIS FUZZY

Data de submissão: 28/04/2023

Data de aceite: 02/06/2023

José Guilherme Picolo

Universidade São Francisco
Itatiba – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/1457140177639434>

Rafael Prazeres da Silva

Universidade São Francisco
Itatiba – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/7143350735711256>

Silvio Petroli Neto

Universidade São Francisco
Itatiba – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/9100171823896988>

RESUMO. Na área da computação é recorrente o uso de algoritmos heurísticos na busca de soluções otimizadas para problemas de diversas áreas do conhecimento. O presente artigo tem como objetivo evidenciar que o uso das técnicas de algoritmos genéticos e sistemas imunológicos artificiais aliados à técnica de representação de variáveis por meio de lógica fuzzy são adequadas para a resolução de problemas multicritérios e multiobjetivos. Para isso, foram implementadas as técnicas descritas para a resolução do problema de alocação de benefícios para o quadro de colaboradores

de uma empresa, visando encontrar a maior satisfação dos funcionários e o menor custo para a empresa. Ao final, após analisar os resultados obtidos, foi possível determinar que tanto o algoritmo genético como o sistema imunológico artificial se mostraram ferramentas adequadas na resolução do problema proposto, atingindo soluções bem próximas ao ideal.

PALAVRAS-CHAVE: algoritmos genéticos, sistema imunológico artificial, lógica difusa, problemas multicritérios, problemas multiobjetivos.

NATURAL COMPUTING FOR SOLUTION OF MULTI-CRITERIA AND MULTI-OBJECTIVE PROBLEMS USING FUZZY VARIABLES

ABSTRACT. In computing area is recurrent the use of heuristic algorithms in the search of solutions optimized for problems of several areas of knowledge. The article aims to show the use of genetic algorithm and artificial immune systems techniques align the technique of representing variables by fuzzy logic are adequate for the resolution of multi-criteria and multi-objective problems. For this purpose, the techniques were implemented to solve the benefit allocation problem to the employees of a company,

aiming to find the highest satisfaction from employees and the lower cost for the company. In the end, after analyzing the results, it was possible to determine that both techniques of genetic algorithm and artificial immune systems proved to be adequate tools in the solution of the proposed problem, reaching solutions very close to the ideal.

KEYWORDS: genetic algorithm, fuzzy logic, multi-criteria optimization, multi-objective optimization

1 | INTRODUÇÃO

A computação natural descreve todo sistema na área de computação implementado com inspiração ou utilização de algum mecanismo natural ou biológico de processamento de informação para o desenvolvimento de sistemas artificiais (GOEDERT; PAULA FILHO; BLANCO, 2017). A área da computação natural pode ser dividida em três grandes áreas: Computação inspirada na natureza, Estudos sobre a natureza através da computação e Computação com mecanismos naturais. O primeiro ramo da computação natural é o ramo mais antigo e consolidado e compreende, dentre vários modelos, os algoritmos genéticos, redes neurais artificiais, sistemas imunológicos artificiais, entre outros. O trabalho pioneiro nesta área surgiu na década de quarenta (CASTRO et al., 2019).

Este trabalho de pesquisa propõe mostrar que os algoritmos de computação natural da área da computação inspirada na natureza são uma ferramenta adequada para encontrar a solução de problemas multicritérios e multiobjetivos. Na atualidade, os processos de tomada de decisão no âmbito empresarial possuem um alto nível de complexidade visto que quando se trata de um problema de otimização, a complexidade se dá pelo fato do grande volume de informações disponíveis, além dos diversos objetivos que devem ser atendidos de forma simultânea na busca de uma solução ótima. Neste contexto, surge a análise de multicritérios, que consiste em uma ferramenta que tem como propósito comparar diferentes soluções, baseado nos diversos critérios, com a intenção de direcionar os tomadores de decisão para uma escolha assertiva (GOMES; COSTA, 2015) e a análise multiobjetivo que se caracteriza por possuir duas ou mais funções de objetivo para serem otimizados simultaneamente, sendo que na maioria dos casos tais funções podem ser conflitantes (COELLO, 2006). Visando maior assertividade e precisão no resultado obtido, os algoritmos desenvolvidos serão integrados à lógica *fuzzy*.

A lógica *fuzzy*, ou lógica difusa, é apresentado pelos autores GOMIDE, GUDWIN E TANSCHKEIT (2019) como uma lógica aproximada, no qual uma proposição assume um valor de um elemento de um conjunto, que difere da lógica tradicional que somente aceita dois valores: verdadeiro ou falso e, por isso, essa técnica é muito poderosa para manusear informações qualitativas. Diante do apresentado, esse projeto de pesquisa também objetiva mostrar que o uso de lógica *fuzzy* para a definição dos critérios permitirá resultados mais precisos na resolução de problemas multicritérios e multiobjetivos.

O cenário que esse projeto de pesquisa se propõe permeia o âmbito empresarial e,

o problema a ser solucionado, consiste na otimização da alocação de benefícios de uma empresa dentre o quadro de seus funcionários, visando a maior satisfação dos mesmos e o menor investimento por parte da empresa. Muitas empresas possuem dificuldade em alocar os seus benefícios, pois não possuem uma ferramenta adequada para um problema que pode se tornar muito complexo, podendo resultar em gastos excessivos e/ou baixa satisfação dos funcionários. A criação de um algoritmo para analisar as informações de funcionários de uma base de dados e que, ao final, evidenciará a melhor solução trará para a empresa diretamente uma economia mensal com os gastos em benefícios e maior satisfação geral dos funcionários.

1.1 Algoritmos genéticos

No âmbito de desenvolvimento de algoritmos, visando a área de sistemas inteligentes, tem-se como um dos principais solucionadores de problemas a técnica de algoritmos genéticos. Através do nome desta técnica é possível identificar a relação com a biologia, pois ela utiliza os conceitos abordados na teoria de Charles Darwin (1859-1993), conhecida como a Teoria da Evolução. Os autores SILVA e PIGNATA (2019) expõem que essa teoria afirma que é o ambiente, através da seleção natural, que determina a relevância de uma característica para um indivíduo e, dentre esses indivíduos, os mais bem adaptados possuem maiores chances de sobrevivência, deixando um maior número de descendentes.

Utilizando os conceitos de Darwin para iniciar o desenvolvimento de um algoritmo genético, o autor PETROLI NETO (2011) afirma que é necessária a definição de duas condições: a codificação do cromossomo e uma função de avaliação. Ao codificar um cromossomo, tem-se como objetivo representar a solução do problema; é importante que essa codificação possua genes, pois durante a reprodução são os genes que são herdados pelos descendentes. Ao definir a função de avaliação, tem-se o propósito de definir um meio de avaliar um indivíduo dentro de uma população, pois, assim, os indivíduos que possuem as melhores características, são mais propensos a gerar descendentes, enquanto os que possuem as piores, são descartados.

A reprodução é o processo essencial em um algoritmo genético, pois produz gerações de indivíduos que tendem a ser melhores que os indivíduos da geração anterior. O autor CARVALHO (2009) define reprodução como o processo em que indivíduos são selecionados para gerar descendentes que contém material genético herdado através de recombinação genética (crossover) e que pode ou não sofrer mutações; esse processo é repetido até que uma solução satisfatória seja atingida. MOTA (2007) define alguns termos utilizados; segundo o autor, seleção pode ser compreendida como a eleição de quais indivíduos da população atual serão utilizados para gerar descendentes; recombinação pode ser entendido como o processo onde os genes dos indivíduos selecionados serão combinados e, por fim, a mutação, que pode ser compreendida como o processo de alteração dos genes de um cromossomo de um indivíduo. A Figura 1 apresenta um

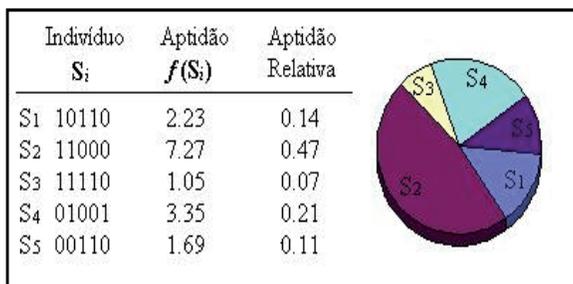
algoritmo padrão de um algoritmo genético; é possível observar que o algoritmo recebe dois parâmetros pc e pm , os quais estão relacionados com a taxa de recombinação e taxa de mutação, respectivamente.

```

procedimento [P] = padrão_AE ( $pc$ ,  $pm$ )
  inicialização P
   $f \leftarrow$  avaliação (P)
  P  $\leftarrow$  seleção (P,  $f$ )
   $t \leftarrow 1$ 
  enquanto não_criterio_parada faça,
    P  $\leftarrow$  reprodução (P,  $f$ ,  $pc$ )
    P  $\leftarrow$  variação (P,  $pm$ )
     $f \leftarrow$  avaliação (P)
    P  $\leftarrow$  seleção (P,  $f$ )
     $t \leftarrow t + 1$ 
  fim enquanto
fim procedimento
  
```

Figura 1 - Algoritmo padrão de um Algoritmo Genético. Adaptado de CASTRO (2006).

Nesse projeto, para selecionar dois indivíduos para a etapa de cruzamento, será utilizado o Método da Roleta. Como o autor ZAMBIASI (2011) descreve, esse método tem como fundamento separar uma parte maior de uma roleta para os indivíduos mais aptos e, aos que possuem pouca aptidão, são colocados em uma proporção menor. Desta forma, quando se faz o uso da roleta é selecionado aleatoriamente um indivíduo para conceber a próxima geração da população, sendo que todos os indivíduos têm chance de reproduzir, porém os mais aptos possuem mais chance de serem selecionados. O processo descrito nesse parágrafo está sendo exemplificado na Figura 2.



Indivíduos de uma população e a sua correspondente roleta de seleção.

Figura 2 - Exemplo de separação dos indivíduos no método da Roleta. Fonte: CARVALHO (2009)

Com base nestas informações, os autores POZO et al. (2019) apresentam um

pseudocódigo para elaboração do algoritmo da roleta, o qual pode ser observado na Figura 3.

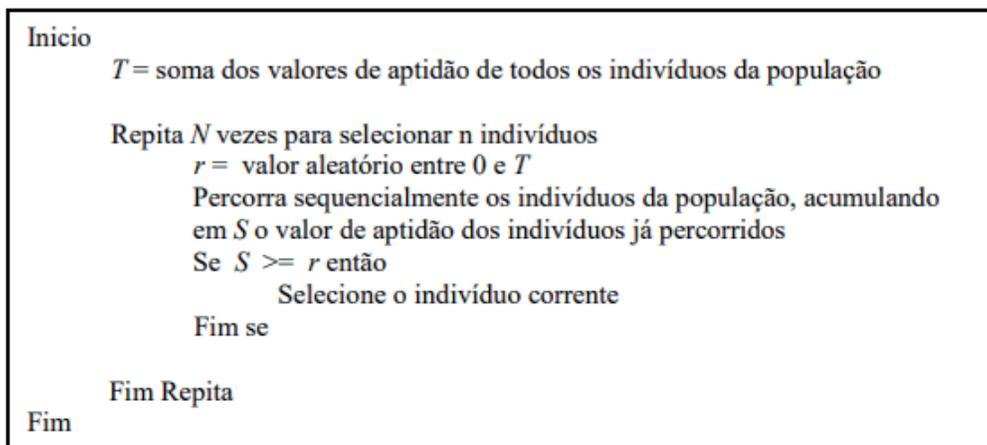


Figura 3 - Algoritmo Básico do método de seleção por Roleta. Fonte: POZO (2019)

Levando-se em consideração os aspectos apresentados e com a afirmação do autor LUCAS (2002), os algoritmos genéticos são uma ferramenta muito poderosa, principalmente, para problemas de otimização. Sendo um algoritmo robusto, genérico e facilmente adaptável, constitui em uma técnica amplamente estudada e empregada em diversas áreas do conhecimento.

1.2 Sistema Imunológico Artificial

O autor Amaral (2006) apresenta que o estudo pelo sistema imunológico humano se desenvolveu, pois os cientistas almejavam poder utilizar esse método para resolução de problemas na área de ciência da computação. O motivo pelo interesse se dá, porque o sistema imunológico evoluiu para fornecer proteção ao organismo contra vários agentes patogênicos. As características de um sistema imunológico que se destacam são:

- Unicidade: cada indivíduo de uma população possui um sistema imunológico diferente;
- Detecção Distribuída: as células do sistema imunológico estão distribuídas por todo o corpo humano e não estão sujeitas a nenhum controle centralizado;
- Aprendizado e memória: o sistema imunológico pode aprender com estruturas de agentes patogênicos para que no futuro uma resposta a este agente ocorra de maneira mais eficiente.
- Detecção Imperfeita: uma detecção completa do agente patogênico não se faz necessária, tornando o sistema flexível;
- Detecção de Anomalias: o sistema imunológico pode detectar e reagir a agen-

tes patogênicos que o corpo humano nunca teve contato anteriormente.

As características apresentadas tornam o sistema imunológico escalável, robusto e flexível. O autor Castro (2006) expõe a complexidade de funcionamento deste sistema: capacidade de reconhecer sinais internos e externos, controlar a ação de componentes de imunidade, influenciar o comportamento de outros sistemas, principalmente sistema nervoso e endócrino, e o aprendizado do combate contra agentes patogênicos. Junto à área de inteligência por partículas, os sistemas imunológicos artificiais constituem os campos mais jovens de pesquisa na área de computação inspirada pela natureza.

Nesse trabalho de pesquisa será utilizado o algoritmo apresentado por Castro e Von Zuben (2002) chamado *Clonal Selection Algorithm* (CLONALG). O algoritmo para resolver problemas de otimização sofre algumas modificações, se comparado ao original, e sua descrição consiste em:

1. Inicialização: Criação de uma população inicial de anticorpos (P);
2. Avaliação de *Fitness*: Determinar o fitness de cada elemento da população inicial;
3. Seleção Clonal e expansão: Selecionar os n_1 elementos com os maiores fitness da população inicial e cloná-los proporcionalmente de acordo com o fitness;
4. Maturação por Afinidade: realizar a mutação em cada clone com uma taxa inversamente proporcional ao fitness. Adicionar os indivíduos que sofrerão mutação na população (P);
5. Metadinâmica: substituir um número n_2 de elementos com os menores fitness e inserir novos elementos que são gerados randomicamente;
6. Ciclo: repetir os passos de 2 a 5 até atingir um critério de parada.

Diante do descrito é possível definir o algoritmo CLONALG, que pode ser visualizado na Figura 4:

```
procedimento [P] = CLONALG (max_it, n1, n2)
  inicialização P
  t ← 1
  enquanto t <= max_it faça,
    f ← avaliação (P)
    P1 ← seleção (P, n1, f)
    C ← clonagem (P1, f)
    C1 ← mutação (C, f)
    f1 ← avaliação (C1)
    P1 ← seleção (C1, n1, f1)
    P ← substituição (P, n2)
    t ← t + 1
  fim enquanto
fim procedimento
```

Figura 4 - Algoritmo de seleção clonal, CLONALG, para otimização. Adaptado de Castro (2006).

1.3 Lógica Fuzzy

A teoria dos conjuntos *fuzzy* foi exposta pelo matemático Lotfi Zadeh, com o objetivo de apresentar uma ferramenta matemática para lidar com informações de carácter impreciso ou vago (SANDRI e CORREA, 1999). Na teoria clássica de conjuntos, fica evidente que um elemento pertence ao conjunto que ele está inserido, de tal forma que pode ser expresso por uma função característica observável na Equação 1.

$$f(x) = \begin{cases} 1 & \text{se e somente se } x \in A \\ 0 & \text{se e somente se } x \notin A \end{cases}$$

Equação 1 - Função característica de pertinência de um elemento dentro de um conjunto segundo a teoria clássica. Adaptado de: (TANSCHKEIT, 2004)

Zadeh propôs que a função pudesse assumir infinitos valores no intervalo $[0,1]$, desta forma, um elemento dentro de um conjunto passa a possuir um grau de pertencimento no qual é dado pela função pertinência que pode ser visualizado na Equação 2.

$$\mu(x): x \rightarrow [0,1]$$

Equação 2 - Função pertinência de um elemento dentro de um conjunto *fuzzy* pode resultar num valor dentro do intervalo de zero a um. Adaptado de: TANSCHKEIT (2004)

Uma técnica utilizada para se trabalhar com a lógica *fuzzy* é a das variedades linguísticas. Esta técnica explora a abrangência das diversidades da variável que se deseja atingir com o resultado em termos gramaticais, ou seja, são variáveis não-numéricas que fornecem a representação linguística do problema em uma linguagem natural e/ou artificial (ZIMMERMANN, 2001). Um exemplo prático das variáveis linguísticas seria um sistema *fuzzy* que manipula temperatura; variáveis linguísticas desse processo poderiam ter valores como “baixa”, “média” e “alta”. Estes valores são representados por funções de pertinência, conforme apresentado na Figura 5.

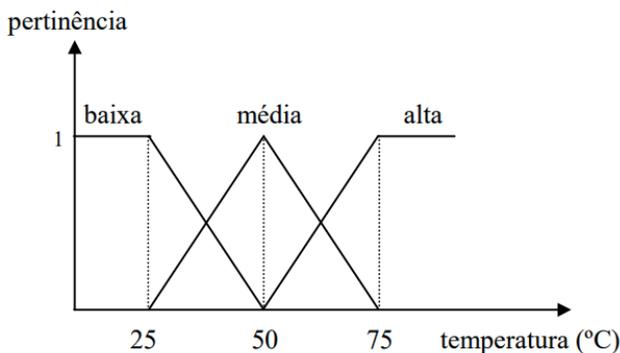


Figura 5 - Funções de pertinência para a variável temperatura. Fonte: TANSCHKEIT (2004)

Os valores de uma variável linguística são construídos a partir de termos primários (Ex: “alto”, “baixo” e “pequeno”), de conectivos lógicos (Ex: “não”, “e” e “ou”) de modificadores (Ex: “muito”, “pouco”, “extremamente”) e de delimitadores (Ex: parênteses). Como o autor ZIMMERMANN (2001) descreve, uma variedade linguística é definida por uma quintupla (N, T(N), X, G, M) onde:

- N: nome da variável (Ex: Temperatura);
- T(N): conjunto de termos de N, ou seja, o conjunto de nomes dos valores linguísticos de N. (Ex: {baixa, média, alta});
- X: universo do discurso (Ex: -20°C a 130°C);
- G: regra sintática para gerar os valores de N como uma composição de termos de T(N), conectivos lógicos, modificadores e delimitadores (Ex: temperatura não baixa e não muito alta.
- Regra semântica, para associar cada valor gerado por G um conjunto *fuzzy* em X.

O autor Tanscheit (2004) explana que as funções de pertinência são definidas a partir de experiências e da perspectiva do usuário, portanto dois sistemas *fuzzy* para uma mesma funcionalidade, provavelmente, conterão funções de pertinência diferentes, uma vez que o contexto é muito relevante para a definição das funções.

Um sistema *fuzzy* possui três etapas denominadas fuzzificação, inferência *fuzzy* e defuzzificação e essas etapas estão demonstradas na Figura 6.

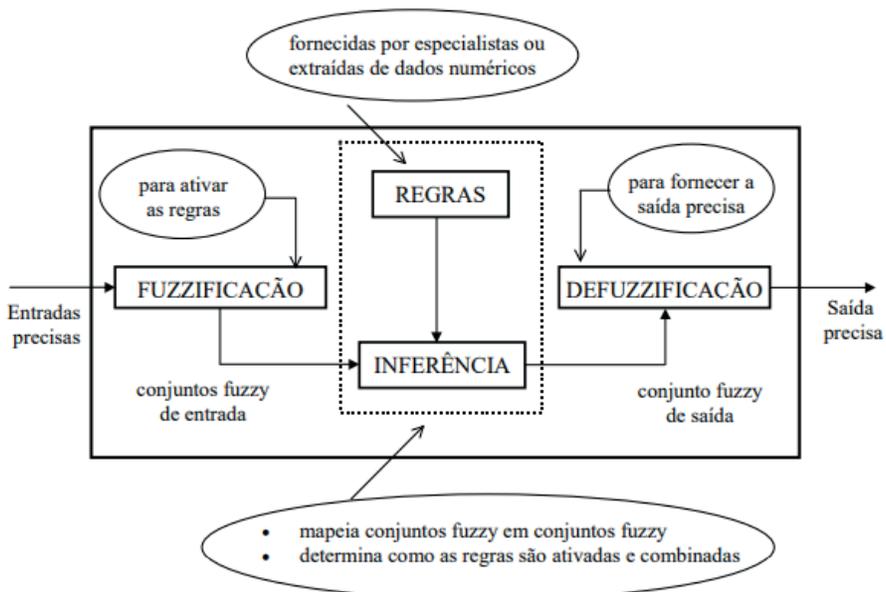


Figura 6 - Funções de pertinência para a variável temperatura. Fonte: TANSCHIEIT (2004)

Como os autores Souza e Mesquita (2010) descrevem, os sistemas *fuzzy* possuem uma entrada não-*fuzzy*, ou seja, valores exatos/precisos; isso se deve pois, na prática, esses valores, na maioria das vezes, são resultantes de medições ou observações. Desta forma, a etapa de fuzzificação consiste em modelar as entradas dos sistemas por conjuntos *fuzzy*. A etapa de inferência consiste em processar cada proposição *fuzzy* de forma matemática e gerar uma saída respectiva para cada entrada, para que, na etapa de defuzzificação haja um processamento que permita representar o conjunto *fuzzy* novamente em um valor que será interpretado e que representará a saída do sistema.

2 | METODOLOGIA

A metodologia utilizada para o desenvolvimento desse projeto de pesquisa consiste na identificação de um problema, sua relevância e, a partir de pesquisas bibliográficas, desenvolver uma solução satisfatória. Toda pesquisa acerca dos conceitos de algoritmos genéticos, sistemas imunológicos artificiais, lógica *fuzzy* e problemas multicritérios e multiobjetivos foram obtidos através de livros, artigos científicos, jornais, revistas, teses e monografias para um estudo consolidado e estruturado em diversos autores da área. A partir das observações e conclusões, foi desenvolvida uma solução para o problema de alocação de benefícios para o quadro de funcionários de uma empresa. Diante do apresentado, foi proposto o desenvolvimento de dois algoritmos para encontrar uma solução ótima do problema. Os instrumentos necessários para a montagem do ambiente de desenvolvimento da pesquisa, visando a produção do algoritmo e a análise dos resultados obtidos, e as características do hardware envolvido estão descritos na Tabela 1.

Descrição de hardware e ferramentas de software utilizados	
Memória RAM	8 GB
Processador	Intel Core i7-4510U
Tipo de Sistema	64 bits
Disco Rígido	27 GB
Sistema Operacional	Ubuntu 18.04.2 LTS
Ambiente de Desenvolvimento	Eclipse for C/C++ developers versão 2019-03
Linguagem de programação	C++, utilizando o paradigma de Orientação à Objetos

Tabela 1 - Descrição de Hardware e Software. Fonte: Autor Próprio.

Após a etapa da montagem de ambiente, inicia-se o processo de concepção da solução em meio computacional. Primeiramente, foram identificados todos os benefícios que a empresa tem disponível para oferecer aos seus funcionários. Ao realizar essa listagem, levou-se em conta o custo do benefício por funcionário e todas as restrições associadas a estes, como: a quantidade de benefícios que um funcionário pode ter, o

custo máximo que um funcionário pode assumir, se o benefício existente pode ser dado a qualquer funcionário, independente do cargo ou salário, entre outras restrições que podem existir dentro do âmbito empresarial.

Após esta etapa, definiu-se quais as informações pessoais que eram necessárias de cada funcionário e que estavam disponíveis na base de dados da empresa. Tais informações foram utilizadas com a finalidade de descrever a necessidade de cada funcionário para cada benefício; esse processo deu-se utilizando os conceitos de lógica *fuzzy* e foram definidos os estágios de gradação através de termos linguísticos para cada benefício; exemplificando esta etapa do processo tem-se: funcionários com mais de cinquenta anos de idade possuem muita necessidade de um plano de saúde; funcionários com menos de vinte cinco anos possuem pouca necessidade. Vale ressaltar que foram criadas uma tabela para cada cruzamento entre informação pessoal do funcionário e benefício, com a finalidade de identificar como cada característica pessoal influencia na necessidade de se obter um benefício.

Posteriormente, diante de todas as informações geradas até esta fase, gerou-se uma matriz de demanda dos funcionários, ou seja, essa matriz tinha a função de exibir o resultado atingido na quantificação da necessidade de um funcionário por cada benefício. Esse trabalho de pesquisa também propõe a etapa de seleção, ou seja, o momento de definição de qual benefício cada funcionário irá receber, que será realizado utilizando algoritmos genéticos ou um sistema imunológico artificial.

Para se utilizar algoritmos genéticos foi necessário definir os parâmetros do algoritmo, como taxa de mutação, taxa de mortalidade, tamanho da população inicial além do critério de parada que consiste na taxa de similaridade da população. Uma vez definidos esses parâmetros, bastou iniciar o processo de cruzamento dos indivíduos da população até que o critério de parada fosse atendido. Uma vez o critério de parada atingido, esse processo foi encerrado e o resultado obtido pelo algoritmo apresentado. Para a utilização do sistema imunológico artificial também foi necessário definir parâmetros do algoritmo, como tamanho da população inicial, quantidade de clones que são gerados por cada anticorpo, além da taxa de afinidade que indica o momento de encerrar o algoritmo.

Após a definição de todos os parâmetros, a última etapa consistiu em executar ambos os algoritmos e definir métricas de avaliação da performance de cada um. O processo de análise de desempenho dos algoritmos deu-se pelas métricas de tempo que o algoritmo demandou para apresentar um resultado e a qualidade do mesmo, isto é, qual o grau de satisfação média dos funcionários de toda a empresa e o custo mensal da mesma com os investimentos em benefícios. Caso o resultado não fosse satisfatório, seria necessário voltar ao passo de definição dos parâmetros dos algoritmos e executar novamente todos os passos até a apresentação de um resultado aceitável.

Diante do descrito, foi elaborado um algoritmo genético e um sistema imunológico artificial combinados com a técnica de representação de variáveis através de lógica *fuzzy*

com o objetivo de resolver o problema multicritério e multiobjetivo apresentado no seguinte cenário: uma empresa com oitocentos funcionários a qual tem a disposição seis possíveis benefícios - plano de saúde, plano odontológico, auxílio transporte, bolsa de estudo, acesso ao clube da empresa e vale cultura. Cada benefício possui um custo à empresa, além de uma quantidade disponível. As restrições associadas à obtenção dos benefícios estão ligadas à quantidade: um funcionário deve receber no mínimo um benefício e não deve receber mais que três benefícios. Os dados pessoais de cada funcionário que foram analisados são: idade, gênero, distância casa-trabalho, salário, cargo e escolaridade. A partir dos dados pessoais de cada funcionário e de relações pré-estabelecidas entre benefício e característica, foi possível obter uma função satisfação; essa função representa a satisfação de um funcionário diante de uma combinação de benefícios dados a ele; foi determinado que um funcionário se encontra totalmente satisfeito se este recebe os três benefícios mais indicados para ele. Diante disso, foram desenvolvidos os algoritmos de computação natural com o objetivo de selecionar quais são os benefícios mais indicados para cada funcionário receber.

Tanto para o algoritmo genético como para o sistema imunológico artificial, foram criadas uma população inicial; o algoritmo genético contém uma população de tamanho de oitocentos indivíduos, enquanto no sistema imunológico artificial possui apenas quarenta. Em ambos os casos, cada indivíduo desta população contempla uma combinação de benefícios para os oitocentos funcionários da empresa e são gerados de forma aleatória, contudo foi necessário realizar um tratamento após a criação desses indivíduos, com o objetivo de trazê-los para a factibilidade, ou seja, ao criá-los de forma totalmente aleatória, os indivíduos gerados não respeitavam as restrições dadas pela empresa. Em seguida é necessário ordenar a população através da função de aptidão, também conhecida como fitness; tanto o genótipo como os anticorpos, são definidos como uma matriz de booleanos cujo a quantidade de linhas representa a quantidade de funcionários e as colunas os benefícios disponíveis; as interseções entre linhas e colunas indicam se tal funcionário receberá tal benefício. Uma linha desta matriz corresponde a uma combinação de benefícios para o funcionário e a partir dela, pode-se calcular a satisfação do mesmo. Desta forma, a métrica da função fitness consiste na satisfação média da solução, que é calculada através do somatório da satisfação de cada funcionário. A função *fitness* também leva em consideração dois fatores: custo e penalidades; o custo de cada benefício é informado ao início da execução e assim é possível obter o custo final da solução e, por fim, as penalidades estão associadas às restrições que não são cumpridas por uma proposta de solução, ou seja, caso um funcionário receba mais que três benefícios ou nenhum, isto indica uma penalidade; caso a solução utilize mais benefícios que o disponível a penalidade também é acrescida e caso o custo da solução seja maior que o custo máximo parametrizado; ao final estas penalidades adicionam uma constante no custo final.

Para o algoritmo genético, após a geração da população inicial e a classificação

da mesma, iniciou-se o processo de cruzamento. Os pais foram selecionados através do método da roleta e a geração de um novo indivíduo foi dada da seguinte maneira: o novo indivíduo é constituído dos genes dos pais, portanto neste caso, os genes foram selecionados de forma aleatório entre os dois pais e cada gene representa uma linha da matriz que consiste na combinação de benefícios para um funcionário. Ao gerar um filho, esse é inserido na população de forma classificada. A mutação dos filhos, também está presente; os filhos que foram selecionados para mutação sofrem algumas alterações em seus genes: alguns genes são selecionados e os elementos que os constituem são alterados de posição de forma que um benefício é deixado de ser recebido em detrimento de outro que passou a ser obtido. O critério de parada constitui em três possíveis casos: o primeiro se o máximo de iterações foi atingido, sendo este um parâmetro do algoritmo; o segundo, se a solução permaneceu a mesma sem alteração do melhor indivíduo durante dez por cento do máximo de iterações e o terceiro caso se a população atingiu um grau de similaridade, que também consiste em um parâmetro configurável.

Para o sistema imunológico artificial, após a criação da população inicial e a classificação da mesma, iniciou-se o processo de mutação; cada indivíduo da população gerou um valor parametrizado de novos indivíduos os quais foram classificados e ao final restaram na população a quantidade inicial de indivíduos antes do processo, em resumo, o tamanho da população é constante. O processo de mutação de cada indivíduo (anticorpo), deve ser inversamente proporcional a satisfação, ou seja, quanto mais próxima a solução atual está da solução ótima, menor o número de representações de empregados é selecionado para sofrer mutações. A mutação consistiu num processo de três possibilidades: adição de um novo benefício, exclusão de um benefício já recebido ou troca de benefícios. Ao desejar adicionar um benefício para um empregado é verificado se este recebe menos que três benefícios, devido a restrição, bem como se a restrição de custo total da solução já não foi atingido; após, é verificado se existem benefícios disponíveis e se os benefícios disponíveis não são os mesmos que o emprego já recebe e caso todas as condições sejam satisfeitas o emprego passa a receber um novo benefício; caso seja detectado que ele não possa receber um benefício é tentado fazer com que ele troque um deles. O processo de troca consiste em sortear outro empregado e realizar, se possível, a troca de um benefício entre eles; caso não seja possível, é realizada a exclusão de um benefício. A exclusão de um benefício se dá caso o empregado já recebe mais que dois benefícios e, de maneira aleatória, é excluído um deles. Uma condição inserida que teve grande impacto na performance e nas soluções encontradas foi que um empregado somente sofreu mutação caso sua satisfação média estivesse menor do que a satisfação média da solução como um todo. Os mesmos critérios de paradas aplicados ao algoritmo genético foram aplicados ao sistema imunológico artificial.

A interface do algoritmo ocorre toda através de arquivos JSON; para iniciar o algoritmo, este deve receber três arquivos que contém respectivamente os dados pessoais

dos empregados, os parâmetros dos algoritmos e um terceiro arquivo contendo a média salarial e o desvio padrão. Como resultado são gerados outros dois arquivos, também no formato JSON, que constituem na solução encontrada pelo algoritmo; o primeiro arquivo contém os resultados da solução de forma mais geral com informações de custo total, tempo de execução, satisfação média, quantidade utilizada de cada benefício e a quantidade de empregados em cada faixa de porcentagem de satisfação; o outro arquivo contém informações detalhadas de cada funcionário como os benefícios que ele deve receber e o custo associado, qual a ordem de preferência para receber os benefícios e a satisfação que ele atingiu com os benefícios entregues. Uma vez encontrado um resultado e todos os arquivos JSON criados, para melhorar a visibilidade e análise dos dados, foi criada uma interface com um sistema web. O sistema web foi desenvolvido com o objetivo de trazer facilidade através de uma interface amigável ao usuário.

O sistema web desenvolvido, foi dividido em cinco telas: *dashboard*, gerenciador de parâmetros, gerenciador de funcionários, solução e solução completa; cada uma delas possui uma determinada função. A Figura 7 apresenta a tela de *dashboard* do sistema, onde é possível iniciar a execução do software e visualizar os logs em tempo real.



Figura 7 - Tela de dashboard sistema web. Fonte: Autor Próprio.

A tela do gerenciador, que pode ser visualizada na Figura 8, é responsável por permitir que o usuário altere os parâmetros de execução do *software*, os parâmetros gerais, os parâmetros do algoritmo genético e os parâmetros do sistema imunológico artificial.

Parâmetros Gerais			
Descrição	Valor default	Parâmetro	Valor default
Quantidade de Benefícios	6	Quantidade disponível do Plano de Saúde	600
Custo do Plano de Saúde	200	Quantidade disponível do Plano Odontológico	650
Custo do Plano Odontológico	180	Quantidade disponível do Auxílio Transporte	570

Figura 8 - Tela do gerenciador do sistema web. Fonte: Autor Próprio.

A terceira tela consiste no gerenciador de funcionários e possui como premissa ser uma tela de consulta, porém devido a necessidade de facilitar a usabilidade do usuário foram atribuídas novas funcionalidades: importar os funcionários através de um CSV, adicionar ou deletar um funcionário, gerar o JSON de funcionários a ser consumido pelo software através do sistema e visualizar o JSON gerado; esta tela pode ser observada na Figura 9.

Funcionários
Home > Funcionários

Importar Funcionários:
 Nenhum arquivo selecionado

Funcionários

#	Idade	Gênero	Distância do Trabalho	Salário	Cargo	Escolaridade	Ação
9	64	M	51.59	6765.75	Senior	Tecnico	<input type="button" value="Deletar"/>
10	40	M	39.23	3774.13	Junior	Ensino fundamental	<input type="button" value="Deletar"/>

Figura 9 - Tela dos funcionários sistema web. Fonte: Autor Próprio.

A tela de solução, apresentada na Figura 10, exibe uma solução geral após a execução do algoritmo, e as informações apresentadas são: gráfico de satisfação, gráfico de distribuição de benefícios, satisfação média atingida, custo da solução, tempo de execução do algoritmo e quantidade de penalidades.

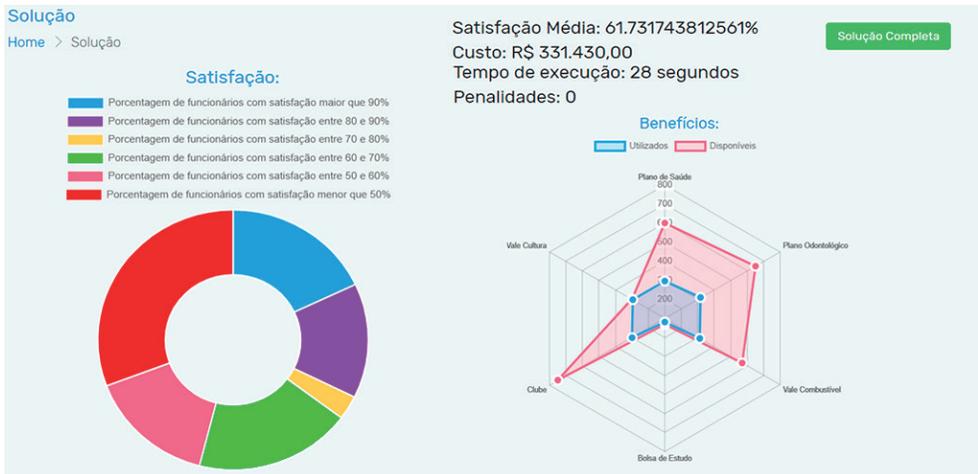


Figura 10 - Tela da solução do sistema web. Fonte: Autor Próprio.

Por fim, a tela da solução completa, apresentada conforme a Figura 11, apresenta a solução individual de cada funcionário, onde é possível visualizar o ID do funcionário, o custo individual desse funcionário para empresa, as ordens de preferência dos benefícios, os benefícios recebidos e a satisfação individual do funcionário.

Solução NaturalUSF

- Plano de Saúde
- Vale Combustível
- Bolsa de Estudo
- Plano Odontológico
- Clube
- Vale Cultura

#	Custo	Preferência	Recebido	Satisfação
10000	R\$ 363,00			56.42 %
10001	R\$ 473,00			97.04 %
10002	R\$ 513,00			98.05 %
10003	R\$ 343,00			57.71 %

Figura 11 - Tela da solução completa do sistema web

Para o desenvolvimento do sistema web foram utilizadas as tecnologias mais atuais e difundidas no mercado, no qual para o *front-end* foi utilizado a biblioteca CSS conhecida como *Bootstrap* e para o desenvolvimento do *back-end* foi utilizado a linguagem de programação PHP. Para a base de dados dos funcionários foi utilizado a linguagem MySQL. O *Bootstrap* é um kit de ferramentas de open source para desenvolvimento com HTML, CSS e JS. Seu desenvolvimento é responsivo, além de possuir componentes pré-construídos em CSS e plugins criados no jQuery. Originalmente criado por um *designer* e desenvolvedor do Twitter, o *Bootstrap* se tornou uma das estruturas de *front-end* e projetos de código aberto mais populares do mundo. Atualmente é mantida por um grupo de

desenvolvedores no GitHub. (BOOTSTRAP, 2019). O PHP é uma linguagem de script *open source* de uso geral, muito utilizada, e é especialmente adequada para o desenvolvimento web e que pode ser embutida dentro do HTML. A diferença do PHP para o JavaScript no lado do cliente, é que o código é executado no servidor, gerando o HTML que é então enviado para o navegador. O navegador recebe os resultados da execução desse *script*, mas não sabe qual era o código fonte. (PHP, 2019). O MySQL é um Sistema de Gestão de Banco de Dados (SGDB) relacional conhecido como o mais popular do mundo dentre as soluções de bancos de dados de código aberto (*open source*). Suas características são: alta velocidade, capacidade de executar várias threads simultaneamente, multiusuário e por fim uma estrutura robusta, que garante a integridade das informações armazenadas (MySQL AB, 2011).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para avaliar o desempenho dos algoritmos desenvolvidos, o primeiro passo foi criar uma massa de dados referente aos oitocentos funcionários de uma empresa, a quantidade e o valor referente a cada benefício além de definir os parâmetros iniciais para cada um dos algoritmos. A Tabela 2 exibe os valores utilizados relacionados aos benefícios - quantidade e o custo.

Parâmetro	Valor	Parâmetro	Valor
Quantidade de planos de saúde e custo associado	[600, R\$ 200]	Quantidade de planos odontológicos e custo associado	[650, R\$ 180]
Quantidade de bolsas de estudo e custo associado	[130, R\$ 500]	Quantidade de associados ao clube e custo associado	[750, R\$ 143]
Quantidade de auxílio transporte e custo associado	[570, R\$ 150]	Quantidade de vales cultura e custo associado	[300, R\$ 220]

Tabela 2 - Parâmetros utilizados com relação aos benefícios Fonte: Autor Próprio.

De modo a comparar a efetividade dos códigos elaborados foram executados os algoritmos desenvolvidos (algoritmo genético e sistema imunológico artificial) para a mesma massa de dados dez vezes. Os resultados obtidos com a execução do algoritmo genético podem ser visualizados na Tabela 3.

N	Satisfação	Custo [R\$]	Iterações	Tempo de Execução [s]	Critério de Parada
1	95,7220 %	455.413,00	3500	1005	Máximo de Iterações sem alteração do melhor indivíduo.
2	95,7317 %	454.519,00	5000	1738	Máximo de Iterações atingido.
3	95,5530%	449.600,00	5000	1710	Máximo de Iterações atingido.
4	95,0706%	448.394,00	5000	1661	Máximo de Iterações atingido.
5	96,2446%	450.433,00	3400	848	Máximo de Iterações sem alteração do melhor indivíduo.
6	95,0940%	453.589,00	3200	914	Máximo de Iterações sem alteração do melhor indivíduo.
7	96,0658%	453.105,00	4300	1124	Máximo de Iterações sem alteração do melhor indivíduo.
8	95,4506%	455.437,00	3300	882	Máximo de Iterações sem alteração do melhor indivíduo.
9	96,0013%	447.611,00	3500	929	Máximo de Iterações sem alteração do melhor indivíduo.
10	95,2955%	449.853,00	3100	806	Máximo de Iterações sem alteração do melhor indivíduo.

Tabela 3 - Resultados obtidos com a execução do algoritmo genético Fonte: Autor Próprio.

A primeira coluna da tabela constitui o identificador da execução e as seguintes colunas representam, respectivamente, satisfação média da solução, custo pela empresa da solução, quantidade de gerações/iterações, tempo de execução em segundos e o critério de parada utilizado. Diante dos dados apresentados, pode-se perceber que o algoritmo está convergindo para uma solução ótima, pois após dez execuções, o nível de satisfação atingiu na média 95,62% com um desvio padrão de 0,00383; o custo atingiu uma média de R\$ 451.795,40 o que representa um custo médio de R\$ 564,74 para cada funcionário e o tempo médio de execução foi de 1161 segundos.

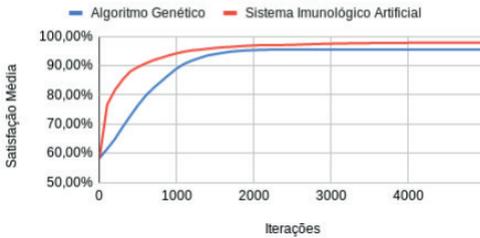
Da mesma maneira, foram executados os mesmos testes com o sistema imunológico artificial, realizando dez execuções do algoritmo, inclusive com a mesma massa de dados utilizado pelo algoritmo genético e os resultados obtidos são demonstrados na Tabela 4 que mantém a mesma estrutura já apresentada.

N	Satisfação	Custo [R\$]	Iterações	Tempo de Execução [s]	Critério de Parada
1	97,8801 %	460.911,00	5000	1204	Máximo de Iterações atingido.
2	96,0088 %	460.137,00	1900	1240	Máximo de Iterações sem alteração do melhor indivíduo.
3	94,2647%	461.332,00	1600	1315	Máximo de Iterações sem alteração do melhor indivíduo.
4	93,5214%	460.703,00	1400	1379	Máximo de Iterações sem alteração do melhor indivíduo.
5	98,0018%	461.446,00	3400	1853	Máximo de Iterações sem alteração do melhor indivíduo.
6	95,5094%	460.630,00	1900	1273	Máximo de Iterações sem alteração do melhor indivíduo.
7	98,0573%	461.861,00	5000	1111	Máximo de Iterações atingido.
8	97,7565%	459.986,00	5000	1058	Máximo de Iterações atingido.
9	97,9107%	461.336,00	5000	1099	Máximo de Iterações atingido.
10	97,5585%	460.010,00	3000	1471	Máximo de Iterações sem alteração do melhor indivíduo.

Tabela 4 - Resultados obtidos com a execução do sistema imunológico artificial. Fonte: Autor Próprio.

Diante dos dados apresentados, pode-se perceber que o algoritmo está convergindo para uma solução ótima, pois após dez execuções, o nível de satisfação atingiu na média 97,65% com um desvio padrão de 0,01858; o custo atingiu uma média de R\$ 460.807,00 o que representa um custo médio de R\$ 576,00 para cada funcionário e o tempo médio de execução foi de 1256 segundos. Em seguida, foi realizado outro teste, que consistiu em adicionar uma restrição monetária para verificar o comportamento dos algoritmos. A restrição adicionada foi de R\$ 300.000,00 e neste cenário o algoritmo genético foi muito superior ao sistema imunológico artificial; os resultados obtidos foram: ambos algoritmos executaram o máximo de iterações permitidas que consistiu em cinco mil iterações; o algoritmo genético apresentou uma solução após 526 segundos, com uma satisfação média de 73,03% e um custo de R\$ 299.832,00 enquanto que o sistema imunológico artificial apresentou uma solução após 10891 segundos com uma satisfação média de 66,22% e um custo de R\$ 299.896,00. Como forma de comparar a efetividade dos algoritmos, construiu-se o gráfico apresentado na Figura 12, o qual apresenta a relação entre satisfação média atingida e quantidade de iterações de cada algoritmo; o gráfico A representa os casos descritos nas tabelas 3 e 4, enquanto que o gráfico B apresenta o cenário descrito com restrição monetária.

A - Comparativo do desempenho dos algoritmos através do número de iterações



B - Comparativo do desempenho dos algoritmos através do número de iterações com restrição monetária

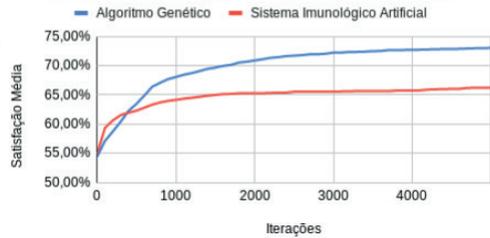


Figura 12 - Gráficos que relacionam a satisfação média com a quantidade de iterações para cada algoritmo desenvolvido. Fonte: Autor próprio.

Diante das informações obtidas, é possível observar que quando as restrições dos algoritmos são folgadas, ambos apresentaram um alto índice de satisfação e baixo desvio padrão, demonstrando a efetividade dos códigos desenvolvidos em atingir uma solução muito próxima do ideal, desta forma, mostraram-se eficientes ferramentas na seleção de problemas multicritérios e multiobjetivos, utilizando um tempo consideravelmente razoável, para um problema que seria considerado complexo para resolução devido ao seu tamanho e quantidade de variáveis e restrições. O sistema imunológico artificial apresentou resultados levemente melhores se comparado ao algoritmo genético, contudo o genético apresentou maior precisão no resultado, uma vez que seu desvio padrão é menor. Também é possível observar que após duas mil iterações, em ambos os casos, praticamente a solução já está obtida, portanto o tempo despendido pelo algoritmo pode ser reduzido mais da metade, pois após este intervalo, é realizado um ajuste fino. Contudo, quando foi adicionado uma restrição monetária, relacionada ao custo máximo, o algoritmo genético apresentou um desempenho muito superior se comparado ao sistema imunológico artificial principalmente com relação ao tempo; desta forma, ao considerarmos ambos os cenários testados, o algoritmo genético apresentou o melhor desempenho.

4 | CONCLUSÃO

Em virtude dos fatos descritos nesse artigo é possível concluir que os algoritmos genéticos e os sistemas imunológicos artificiais se mostraram ferramentas efetivas e adequadas na solução do problema multicritério e multiobjetivo proposto que consistiu na alocação de benefícios para um quadro de funcionários. As soluções apresentadas pelos algoritmos desenvolvidos atingiram uma solução bem próxima ao ideal em todas as suas execuções e, além disso, se mostraram precisos, como indica o desvio padrão obtido. O uso da lógica *fuzzy* contribui positivamente para o resultado atingido, pois o seu uso facilitou a representação e manipulação dos dados pessoais dos funcionários, resultando numa maior assertividade no momento da criação da função que calcula a satisfação de cada

colaborador. Devido à natureza do problema, o resultado esperado era que o algoritmo genético tivesse um desempenho melhor se comparado ao sistema imunológico artificial, contudo ambos os algoritmos se mostraram eficientes quando as restrições eram folgadas; alterando-se os parâmetros dos benefícios, ambos continuaram eficientes, contudo ao alterar o parâmetro referente ao custo máximo da solução, o algoritmo genético mostrou um desempenho muito superior ao sistema imunológico artificial, mostrando assim, que de fato, o algoritmo genético representa uma importante ferramenta para solução de problemas cuja formulação matemática seja definida através do uso de programação inteira e combinatória, sobretudo em problemas cujos critérios e objetivos sejam pluri.

REFERÊNCIAS

BOOTSTRAP. **ABOUT: Learn more about the team maintaining Bootstrap, how and why the project started, and how to get involved..** [S. l.], 2019. Disponível em: <https://getbootstrap.com/docs/4.3/about/overview/>. Acesso em: 5 nov. 2019.

CARVALHO, André Ponce de Leon F. de. **Algoritmos Genéticos**. 2009. 1 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Computação, Núcleo de Computação Eletrônica, University Of São Paulo, São Carlos, 2009. Disponível em: <http://conteudo.icmc.usp.br/pessoas/andre/research/genetic/>. Acesso em: 08 mar. 2019.

CASTRO, Leandro N. de et al. **Computação Natural: Uma Breve Visão Geral**. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/261438133_Computacao_Natural_Uma_Breve_Visao_Geral. Acesso em: 21 mar. 2019.

CASTRO, Leandro Nunes de. **Fundamentals of Natural Computing: Basic Concepts, Algorithms, and Applications**. Boca Raton: Chapman & Francis Group, 2006. 662 p.

CASTRO, Leandro Nunes de; VON ZUBEN Fernando J. 2002. **Learning and Optimization Using the Clonal Selection Principle**, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 6(3), pp.239-251. Disponível em: https://pdfs.semanticscholar.org/29ce/df9f9edd5179aa2e78654a7b81c9da45f0d0.pdf?_ga=2.213258960.537033840.1574027227-578011725.1574027227. Acesso em: 21 mar. 2019.

COELLO, Carlos A. Coello. **Evolutionary multi-objective optimization: a historical view of the field**. 2006. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1597059>. Acesso em: 20 abr. 2019.

GOEDERT, Matheus L.; PAULA FILHO, Pedro L.; BLANCO, Daniel R.. **Computação natural: conceitos e aplicações da computação inspirada na natureza**. Espacios, v. 38, 2017. Disponível em: <http://www.revistaespacios.com/a17v38n34/a17v38n34p31.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2019.

GOMES, Carlos Francisco Simões; COSTA, Helder Gomes. **Aplicação de métodos multicritério ao problema de escolha de modelos de pagamento eletrônico por cartão de crédito**. Production, São Paulo, v. 25, n. 1, p.54-68, jan. 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/prod/v25n1/0103-6513-prod-0103-6513-2014-056412.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2019.

GOMIDE, Fernando A. C.; GUDWIN, Ricardo R.; TANSCHKEIT, Ricardo. **Conceitos Fundamentais da Teoria de Conjuntos Fuzzy, Lógica Fuzzy e Aplicações**. Disponível em: <ftp://vm1-dca.fee.unicamp.br/pub/docs/gudwin/publications/ifs95.pdf>. Acesso em: 21 mar. 2019.

LUCAS, Diogo C.. **Algoritmos Genéticos: uma Introdução**. 2002. Disponível em: <<http://www.inf.ufsc.br/~luis.alvares/INE5633/ApostilaAlgoritmosGeneticos.pdf>>. Acesso em: 09 mar. 2019.

MOTA, Tiago da Conceição. **Introdução a Algoritmos Genéticos**. 2007. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/29396305-Introducao-a-algoritmos-geneticos.html>>. Acesso em: 09 mar. 2019
MySQL AB. **MySQL Reference Manual**. [S. l.], 2001. Disponível em: http://www.ic.unicamp.br/~celio/livrobd/mysql/mysql_manual.pdf. Acesso em: 5 nov. 2019.

PETROLI NETO, Sílvio. **Computação Evolutiva: desvendando os algoritmos genéticos**. 2011. Disponível em: <<http://www.portal.anchieta.br/revistas-e-livros/ubiquidade/pdf/artigo4.pdf>>. Acesso em: 09 mar. 2019.

PHP. **O QUE é o PHP?**. [S. l.], 2019. Disponível em: https://www.php.net/manual/pt_BR/intro-what-is.php. Acesso em: 5 nov. 2019.

POZO, Aurora et al. **Computação Evolutiva**. Disponível em: <<http://www.inf.ufpr.br/aurora/tutoriais/Ceapostila.pdf>>. Acesso em: 09 mar. 2019

SANDRI, S.; CORREA, C. **Lógica Nebulosa**, 1999. Disponível em: <https://www.gta.ufrj.br/ensino/cpe717-2011/curso_ERN99_fuzzy.pdf>. Acesso em: 07 Março 2019.

SILVA, Ricardo Fernandes da; PIGNATA, Maria Izabel Barnez. **CHARLES DARWIN E A TEORIA DA EVOLUÇÃO**. Disponível em: <<https://www.cepae.ufg.br/up/80/o/TCEM2014-Biologia-RicardoFernandesSilva.pdf>>. Acesso em: 09 mar. 2019

SOUZA, Osmar do Nascimento; MESQUITA, Marcos Eduardo R. Valle. **Introdução à Teoria dos Conjuntos Fuzzy**. 2010. Disponível em: <<http://www.uel.br/pessoal/valle/PDFfiles/osmar10.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2019.

TANSCHKEIT, Ricardo. **Sistemas Fuzzy**, 2004. Disponível em: <<http://www.inf.ufsc.br/~mauro.roisenberg/ine5377/leituras/ICA-Sistemas%20Fuzzy.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2019.

ZAMBIASI, Prof. Dr. Saulo Popov. **Algoritmos Genéticos**. 2011. 1 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Computação, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)., Santa Catarina, 2011. Disponível em: <<https://www.gsigma.ufsc.br/~popov/aulas/ia/modulo10/index.html>>. Acesso em: 09 mar. 2019.

ZIMMERMANN, H.-J. **Fuzzy Set Theory—and Its Applications**. 4ª. ed. [S.l.]: Springer Science+Business Media New York, 2001. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=HVHtCAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR13&dq=fuzzy+logic+theory+sets&ots=sfYhV9Vu44&sig=NtZLjRbUbaEZXWuyZbXZfOU4CTk#v=onepage&q&f=false>>. Acesso em: 08 Março 2019.

ESTUDO DE UMA NOVA PROPOSTA DE REVELAÇÃO DIGITAL EM SUPERFÍCIES ADESIVAS

Data de submissão: 28/04/2023

Data de aceite: 02/06/2023

Loredana Torres Guida

Curso Engenharia Química, Universidade
São Francisco

Franciele Shayene Silva Lima

Curso Engenharia Química, Universidade
São Francisco
<https://lattes.cnpq.br/3850962395224936>

Taina Rafaela da Silva

Curso Engenharia Química, Universidade
São Francisco

Monica Tais Siqueira D'Amelio Felipe

Curso de Engenharia Química,
Universidade São Francisco
Itatiba - São Paulo
<https://lattes.cnpq.br/0347184334616712>

RESUMO: A química forense é muito importante para a resolução de crimes. As impressões digitais latentes, tiveram um grande avanço do século XX para o século XXI, o que possibilitou a análise química destes vestígios auxiliando a atuação dos colaboradores de perícia, seja com técnicas em laboratório ou em campo. O propósito deste estudo foi uma busca e comparação de novos métodos de revelação de impressões digitais latentes para facilitar o

processo de reconhecimento de impressões digitais de uma maneira que reaja apenas com a impressão digital latente de uma maneira mais eficiente, menos poluente e com um custo reduzido devido ao fato que os melhores reveladores são importado e com um alto custo agregado reduzindo também o uso de solventes orgânicos. O método utiliza alguns tipos de corantes benzazóis fluorescentes em fitas adesivas. Estes corantes são comuns pela sua grande estabilidade e versatilidade no comprimento de onda da emissão fluorescente. Essa aplicação foi analisada, visando estabelecer vantagens e desvantagens em comparação aos reagentes mais usados, e os resultados se mostraram eficazes para essa solução solúvel em água e podem ser utilizados em diversos tipos de fita adesiva.

PALAVRAS-CHAVE: impressões digitais, química forense, corantes benzazóis, fluorescentes.

STUDY OF A NEW PROPOSAL FOR DIGITAL DEVELOPMENT ON ADHESIVE SURFACES

ABSTRACT: Forensic chemistry is very important for solving crimes. Latent fingerprints had a great advance from the

20th century to the 21st century, which made possible the chemical analysis of these traces, helping the performance of forensic collaborators, either with laboratory or field techniques. The purpose of this study was a search and comparison of new latent fingerprint development methods to facilitate the fingerprint recognition process in a way that reacts only with the latent fingerprint in a more efficient, less polluting and cost effective way. reduced due to the fact that the best developers are imported and with a high added cost, also reducing the use of organic solvents. The method in question is shown during the research being used through the use of some types of fluorescent benzazole dyes in adhesive tapes. Benzazole dyes are common because of their great stability and versatility in the wavelength of fluorescent emission. This application will be analyzed in order to establish advantages and disadvantages compared to the most used reagents, the results were effective for this water-soluble solution and can be used in different types of adhesive tape.

KEYWORDS: fingerprints, forensic chemistry, benzazole dyes, fluorescent.

1 | INTRODUÇÃO

A química forense é a ciência base para investigação de crimes. Seu objetivo é estudar e avaliar as provas que vão auxiliar na identificação e resolução de crimes. A cada dia, mais métodos de revelação são desenvolvidos, com o objetivo de descobrir com todo o detalhamento possível os rastros deixados pelos criminosos (SEBASTIANY et al, 2011).

Atualmente, uma das áreas mais importantes da identificação humana, é a papiloscópica, que realiza a identificação através das papilas dérmicas. Neste sentido, ao tocar em algum lugar, eventualmente, marcas são deixadas pelas impressões digitais. Visto que essas marcas são únicas de cada indivíduo, fica fácil descobrir quem é o suspeito e a vítima (ROMÃO et al., 2011).

As digitais são originadas do contato das cristas de fricção, encontradas nos dedos, palma das mãos e nos pés, nas superfícies. As impressões são compostas por uma mistura de componentes químicos que são secretados pelas glândulas sudoríparas (écrinas e apócrinas) e as glândulas sebáceas. Por essa razão, a busca por impressões latentes em locais de crime tornou-se crucial, por ser uma prova de grande relevância. Nesse âmbito, a ciência forense evolui a cada dia para realizar e aprimorar novas técnicas para revelar as impressões digitais (BERTINO, ANTHONY J., 2009).

Atualmente, os reveladores utilizados pelos policiais científicos brasileiros são, muitas vezes, de origem importada, o que acarreta alto custo, tardando também a hora da entrega. Em contrapartida, os reveladores nacionais têm um custo mais baixo, porém, apresentam um desempenho mais restritivo (SAFERSTEIN, R., 2007).

Para revelação das fitas adesivas, normalmente são utilizados reveladores em forma de solução, onde a fita é mergulhada nesta solução e logo após, revela-se a impressão digital. Um revelador altamente conhecido, de custo baixo, é a violeta genciana que embora seja nacional, apresenta algumas limitações de aplicação, tal como, a baixa seletividade,

podendo reagir completamente com a superfície, impossibilitando a visualização do resíduo.

Os métodos reveladores de impressões digitais estão avançando cada vez mais devido às pesquisas e com a ajuda da tecnologia, proporciona o aumento do número de técnicas de investigação forense disponíveis, o que contribui na hora da escolha do melhor método para revelação da impressão digital em questão. Desta forma há muitas limitações apresentadas pelo cenário de reveladores comerciais para impressões digitais latentes em superfícies adesivas. Os reveladores tradicionais não se mostram tão eficientes quando se refere às impressões reveladas em superfícies adesivas, como o método de revelação de violeta genciana, onde a fita adesiva é processada em uma solução de corante (violeta genciana) contendo fenol que facilita a absorção do corante pelas substâncias sebáceas um dos componentes das impressões digitais as chamadas também de IDs. A presença do fenol, que é um produto considerado altamente cancerígeno e tóxico para os que manuseiam, pode prejudicar diretamente a vida de todos que trabalham com esse corante, juntamente ao fato de seu descarte ser mais complicado devido à alta toxicidade. (BARROS, 2015)

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo estudar os métodos de revelação atuais em fitase a nova técnica de revelação de impressões digitais em superfícies adesivas proposta por Ceratti (2021), com a finalidade de entender quanto novas técnicas podem ajudar em uma revelação mais aperfeiçoada e mais objetiva, evitando efeitos contrários como o fato de não colorir a superfície de fundo da fita adesiva apenas onde se encontram as digitais, diminuir custos com reagentes ou metodologias envolvidas no processo.

1.1 Impressões digitais latentes

O resíduo de uma impressão digital deixado em uma superfície é chamado de impressão digital latente quando não é visível a olho nú, sendo o objeto de identificação e estudo deste trabalho. As impressões digitais latentes só podem ser vistas por meio de técnicas de revelação específicas e os resíduos depositados podem ser provenientes tanto do suor humano ou de glândulas sebáceas.

O suor humano é composto basicamente 99% de água e o resto se subdivide em compostos orgânicos e inorgânicos, sendo estes últimos relacionados a qual glândula foi secretado o suor. Os compostos secretados pelas três glândulas primárias responsáveis pela produção do suor (sudoríparas écrinas, sudoríparas apócrinas e glândulas sebáceas).

As glândulas sudoríparas écrinas, são as mais frequentes e ocorrem em toda superfície da pele. Porém concentram-se nas palmas das mãos e plantas dos pés. A secreção é mais diluída. As glândulas sudoríparas apócrinas são maiores e menos frequentes. Elas são encontradas nas axilas, aréolas mamárias e na região genital e anal (CHEMELLO, E., 2006).

Neste trabalho foram estudadas técnicas de revelação digitais mais utilizadas e a proposta por Ceratti (2021) que pode substituir os reveladores atuais de superfícies adesivas

que possuem toxicidade e baixa qualidade por outros mais eficientes, mais baratos e com um descarte mais facilitado.

2 | METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho consistiu na comparação, através de estudos bibliográficos, dos métodos de reveladores de impressões digitais latentes mais utilizados nos dias de hoje em comparação com o método de revelação do artigo TCC de Leonardo Numair Ceratti “Síntese dos Corantes Fluorescentes Solúveis e seu Emprego na Revelação de Impressões Digitais Latentes usando a aplicação dos corantes benzazólicos nas fitas adesivas de cor escura e transparente” publicada em 2021.

Os dados utilizados foram obtidos de artigos, livros, trabalhos acadêmicos aprofundados, monografias nas bases de dados da Scielo e Periódicos Capes. O levantamento dos artigos ocorreu através da associação dos termos “identificação de impressões digitais” e “reveladores”. Os artigos encontrados foram submetidos a uma triagem para a identificação de artigos duplicados. Uma análise preliminar foi realizada sobre os arquivos resultantes desta etapa, através da leitura do título e do resumo, avaliando sua pertinência ao tema de estudo desta revisão.

Com os arquivos em potencial selecionados, iniciou-se a análise integral do texto para confirmar sua elegibilidade para o estudo. Entre os artigos selecionados houve uma busca manual nas referências bibliográficas em busca de potenciais artigos que pudessem ter sido ignorados pelos critérios de busca das bases de dados. O levantamento de dados ocorreu após o fim das etapas de seleção dos artigos, o que propõe avaliar se os corantes benzazólicos é o revelador mais eficaz e vantajoso diante de outros reveladores existentes.

Analisando todos os reveladores existentes usados em diferentes superfícies, foi avaliada e comparada a nitidez da revelação entre eles, o tempo de revelação obtido de cada digital comparando as imagens do artigo referência, a concentração, o manuseio, a toxicidade, o custo e o descarte.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A identificação de indícios de impressões digitais (IDs) latentes é o passo chave na solução de um crime. As IDs resultam do contato das cristas papilares encontradas nos dedos, mãos e pés, com determinadas superfícies (porosas, não porosas ou adesivas).

Assim que as cristas papilares entram em contato com uma determinada superfície, uma quantidade de suor é depositada. Esse suor, segundo estudos recentes, mostrou que existem centenas de compostos presentes nos resíduos das impressões digitais. Em particular, se investiga como esta composição química altera com o tempo, essa questão é um importante problema para um examinador de IDs. Estudos comprovam que acontecem

alterações significativas na composição dos resíduos depois de sua deposição.

Essas impressões digitais possuem uma combinação de diferentes componentes químicos secretados pelas glândulas sudoríparas (écrina e apócrina) e as glândulas sebáceas. Mas também, outros componentes podem ser encontrados, o que é provável ser resultado de uma contaminação com o próprio ambiente onde essas impressões se encontram. O conhecimento da composição dos resíduos de IDs, compreensão da natureza e das características das superfícies onde elas se encontram são fatores determinantes para o processo de revelação dessas impressões digitais latentes (BARROS, 2015; CHEMELLO, E., 2006; BERTINO, ANTHONY J., 2009).

O grande desafio de um examinador ou perito começa na identificação e revelação das IDs. Para que isso ocorra da forma mais eficaz possível, é importante reconhecer potenciais áreas que possam conter impressões digitais latentes (aquelas que não são visíveis) e fazer corretamente o uso de técnicas adequadas para seu reconhecimento e revelação, tornando-as visíveis. O processo de examinação de impressões digitais latentes é o mesmo de qualquer outro tipo de exame forense. Ele envolve reconhecimento, identificação, individualização e reconstrução. (VALE, P. ROBERTO, 2021).

3.1 Método de revelação em superfície adesiva

As superfícies adesivas, tais como fitas adesivas, possuem características relevantes para revelação de impressões digitais latentes. Uma delas é a natureza receptiva que permite que os resíduos de IDs sejam retidos quando estas superfícies são tocadas pelas cristas papilares. Além de que, é difícil manipular fitas adesivas quando se usa luvas, levando com que o manuseio das mesmas, por exemplo durante um crime, seja geralmente efetuado com as mãos expostas, fazendo com que o criminoso acabe deixando suas impressões digitais. Esta característica das superfícies adesivas faz com que as fitas adesivas se tornem evidências importantes para elucidação de um crime. (CABALLERO, SAMUEL, 2012).

Atualmente um número elevado de métodos tem sido propostos para revelação de IDs em superfícies adesivas, sendo que a mais eficiente até agora é a violeta de cristal, também conhecida por violeta genciana, contudo ela possui alguns problemas, tais como baixa seletividade e não é comumente aplicada em superfícies escuras devido à sua cor escura. (BARROS, 2015)

Uma das grandes dificuldades de revelação de IDs em superfícies adesivas acontece pelo fato de que tais superfícies, muitas vezes, se encontram aderidas a outras superfícies ou a si mesmas e precisam ser separadas, o que acaba muitas vezes por destruir as IDs latentes.

A fim de que se tenha uma técnica de revelação eficiente é fundamental que ocorra um método de adesão que entre as moléculas de um substrato (material que compõe o pó) e as moléculas do outro substrato (material presente nas linhas que formam as impressões

digitais) (BLEAY et al., 2018). Quando a força de atração envolve moléculas do mesmo tipo, do mesmo substrato, essa força passa a ser denominada de coesão; quando envolve moléculas diferentes, a força passa a ser denominada de adesão (DARVELL, 2018). Em um sentido generalizado, a ligação adesiva é basicamente um procedimento de fixação de superfície que geralmente é qualificado pela especificação da condição de atração intermolecular que pode ou não existir entre as superfícies envolvidas (ANUSAVICE et al., 2013).

O contraste de IDs latentes na superfície do material a ser analisado pode ser melhorado usando corantes fluorescentes e uma fonte de excitação que pode ser uma lâmpada de luz ultravioleta. No entanto, para revelar IDs latentes com sucesso é preciso que o corante fluorescente reaja com algum componente ou combinações de componentes constituintes das mesmas, mas nunca com a superfície onde as impressões se encontram.

Vale ressaltar que fatores como idade, exposição ao meio ambiente e a superfície na qual as IDs se encontram têm grandes efeitos no momento da escolha da técnica mais adequada. Os compostos água e álcool são os primeiros componentes constituintes das impressões a serem perdidos com o passar do tempo. Consequentemente, marcadores que reagem ou aderem a esses componentes apresentaram um menor êxito ao decorrer do tempo. Por outro lado, marcadores que reagem com os componentes oleosos podem apresentar mais êxito. A superfície também influencia na identificação, pois pode comprometer o resultado, diluindo ou absorvendo componentes oleosos, retirando os sinais discerníveis das cristas papilares. Contudo, pode fazer-se necessário que o examinador tenha que usar um número de reveladores sequenciais o que causa alguns danos, visto que muitos reveladores são destrutivos o que é capaz de ocasionar uma alteração na composição química das IDs com a qual eles reagem.

3.2 Proposta de revelação de impressão digital por luminescência

Considerando todas as dificuldades dos métodos de revelação de impressão digital atuais, foram realizados estudos e o desenvolvimento de tipos de reveladores de baixo custo que se demonstram essenciais em uma melhoria nas qualidades de revelações e um barateamento de produtos. Uma das opções é a luminescência proposta por Ceratti (2021).

A luminescência é um fenômeno de emissão de luz ultravioleta, visível ou infravermelho de uma espécie eletronicamente excitada. Os compostos luminescentes podem ser orgânicos (hidrocarbonetos aromáticos, aminoácidos, etc.), inorgânicos (ion uranila, ion lantanídeos, etc.) e também organometálicos (complexos de coordenação, etc.). A fotoluminescência pode ser dividida em duas categorias: fluorescência e fosforescência dependendo da natureza de seu estado excitado. Se a emissão da luz é originada de um estado excitado singleto, em que prevalece a orientação do spin de elétron excitado, na forma desemparelhada, o fenômeno é designado por fluorescência.

A fosforescência é, no entanto, a emissão de luz que começa de um estado excitado

triplete, com mudança na orientação do spin do elétron excitado, emparelhado com o elétron do estado fundamental (VALEUR, B. 2001).

A intensidade de uma fluorescência é condicionada por vários processos. A redução da intensidade de fluorescência é designada de supressão, e é descrita pelo sistema de Stern-Volmer. A supressão resulta do encontro difusivo entre o fluoróforo e o supressor durante o tempo de vida do estado excitado do fluoróforo. Geralmente, esse processo é desencadeado por uma variedade de interações intermoleculares, tais como reações de estado excitado, transferência de energia, rearranjos intramoleculares, formação de complexos no estado excitado, supressão estática e supressão colisional ou dinâmica (SANTOS, 2007).

Dependendo do tipo da amostra em investigação é frequentemente necessário remover o oxigênio dissolvido de modo a obter resultados confiáveis nas medidas de fluorescência.

3.3 Tipos de técnicas fluorescentes

Um fluoróforo é um componente de uma molécula que faz com que ela seja fluorescente. A sua função é absorver uma determinada energia de comprimento de onda específica e posteriormente emitir em outro comprimento de onda.

Os compostos heterocíclicos fluorescentes da família dos benzazol propiciam mecanismos de transferência protônica intramolecular no estado excitado (ESIPT). A transferência protônica é um processo importante em áreas como química e biologia. Uma das formas pelas quais essa transferência acontece é chamada de transferência protônica intramolecular no estado excitado (do inglês, “Excited State Intramolecular Proton Transfer”, conhecida como ESIPT). O processo de ESIPT apresenta aplicações em diversas áreas, uma classe de moléculas comum em estudos são os derivados da 2-(2'-hidroxifenil)benzazola, que além de realizarem transferência protônica também são corantes orgânicos. A principal evidência do ESIPT é o grande deslocamento de Stokes observado nos espectros de absorção e emissão. (BARROS, 2015)

Vários métodos são descritos na literatura para síntese de benzazóis, tais como ciclização oxidativa catalisada por Pd, síntese mediada por líquido-iônico, ácido polifosfórico, pentóxido de fosfórico, cloreto de tionila, ésteres de imino, ciclização oxidativa por Bases de Schiff, catalisadores mediados por polietileno glicol, diferentes catalisadores heteropoliácido. Estes métodos incluem condensação de ácidos carboxílicos, aldeídos, nitrilas, amidas, com anilinas orto-substituídas. (KUMAR, 2004)

Os compostos que favorecem o mecanismo de transferência protônica intramolecular no estado excitado (ESIPT) têm se tornado um campo muito atrativo para pesquisa devido à ampla aplicação desses compostos. Dentre as várias aplicações disponíveis destaca-se a possibilidade de serem utilizados como marcadores para segurança militar, na química forense, corantes para laser, proteínas, marcação de DNA, etc. Todas essas variadas e

importantes aplicações deve-se sobretudo, ao fato de que esses compostos apresentam uma elevada sensibilidade, estabilidade térmica e fotofísica, e por apresentarem uma intensa emissão de fluorescência.

3.4 Propriedade dos Espectros de Fluorescência

Os espectros de fluorescência são habitualmente apresentados como espectro de emissão. Uma condição fundamental para ocorrer a fluorescência é a existência de uma estrutura rígida capaz de minimizar a perda de energia absorvida sob a forma de processos não radioativos, aumentando a probabilidade de transições radiativas, isto é, a fluorescência. A presença de uma ponte de hidrogênio propicia uma rigidez considerável para as moléculas.

Diversos são os fatores que afetam a emissão de fluorescência, o primeiro é o efeito da natureza do Solvente. O mecanismo ESIPT é superdependente da natureza do solvente. Inúmeros estudos têm sido realizados com o propósito de melhor compreender a influência da natureza do solvente na estabilização das espécies em solução. O aumento da viscosidade da solução onde se encontra o fluoróforo, por sua vez, leva a diminuição da taxa de colisões moleculares levando a uma diminuição da difusão dos fótons de fluorescência.

O aumento da temperatura tem como consequência um aumento na eficiência de desativação do estado excitado pelos processos de conversão interna. No entanto, por ser um fenômeno de tempo de vida relativamente curto, esse fator é menos crítico no caso da fluorescência, o que permite fácil observação do fenômeno na temperatura ambiente.

No caso do pH do meio, a fluorescência de compostos com funcionalidades ácidas ou básicas apresentam forte dependência com o mesmo, desta forma, é importante manter o pH do meio sempre constante. Dependendo do meio onde se encontra o composto benzazólico pode ocorrer a desprotonação da forma cis-enol levando-a a forma aniônica como é o caso do corante 2- (2'-hidroxifenil) benzotiazol (HBT). (POTTER, 1988).

3.5 Metodologia Sequencial e o Processamento da Técnica de Revelação de Impressões Digitais Latentes

A nova proposta de método sequencial e o processamento da técnica de revelação de impressões digitais latentes feita por Ceratti (2021) são:

- a) As impressões digitais são colocadas na fita adesiva pressionando levemente os dedos sobre a fita adesiva.
- b) Para a revelação de impressões digitais latentes em fita adesiva, coloca-se a solução do corante (solução de trabalho) num bquer ou recipiente adequado para conter a fita adesiva a ser analisada. A quantidade de solução deve ser suficiente para imergir a fita adesiva.
- c) A fita adesiva permanece imersa na solução entre 0,5 - 2 minutos.

d) Após o término do tempo de imersão, pode ser necessário lavar a fita adesiva com água corrente para remover todo excesso do corante do fundo da superfície da fita adesiva.

e) Com o auxílio de um secador, a fita adesiva é secada à temperatura ambiente.

f) Expõe a fita adesiva a uma fonte de luz ultravioleta com comprimento de onda de 365nm (ex: uma lâmpada de luz negra comercialmente disponível) com o intuito de observar as impressões digitais latentes reveladas. Quando a revelação se mostrar insuficiente repete-se o tratamento com a solução do corante, seguindo os mesmos passos anteriores.

g) As impressões digitais reveladas são fotografadas para comparação, documentação, e propósito de arquivamento, utilizando uma câmera digital.

3.6 Vantagens do novo método de revelação digital.

Os corantes propostos permitem corar superfícies adesivas de qualquer cor, desde as usuais transparentes até as fitas isolantes de cor preta (usadas na fabricação de dispositivos eletrônicos explosivos), passando pelas de cor acinzentada (usualmente usadas para imobilizar vítimas em caso de sequestros, estupros, roubos, etc.). Não há a necessidade de cuidar da saturação da superfície adesiva contendo as impressões digitais, pois os corantes não aderem às outras superfícies, ficando restritos às IDs. A visualização é muito fácil, bastando iluminar as fitas adesivas com uma luz UV de onda longa (luz negra) e fotografar as impressões digitais reveladas.

A alta estabilidade fotoquímica e fotofísica dos corantes é mais uma característica importante desses corantes, permitindo armazenar a evidência por longos períodos sem qualquer tipo de degradação (cadeia de custódia). Esse é um dado importante, pois no campo da ciência forense é importante conservar as evidências para eventuais necessidades de serem analisadas novamente, como por exemplo, na abertura de um processo judicial.

A cor dos fluoróforos (corantes usados na revelação) sob luz visível é outra vantagem destes corantes e da técnica descrita. Eles não possuem cor, o que facilita ler, visualizar ou fotografar o resto da evidência sem o comprometimento de uma coloração adicional resultante do uso do corante.

Esses corantes são de fácil utilização, atendem às necessidades de superfícies adesivas escuras permitindo uma fácil e perfeita visualização das impressões digitais latentes e seu uso pode ser ampliado para o emprego em diversas outras superfícies de interesse forense, tais como plásticos, vidros, metais, cerâmica, madeira, entre outras. Possuem como vantagem adicional o uso da água como solvente e a concentração extremamente baixa ($10^{-4}M$), podendo ser reutilizada a solução de corante, tornando-os ecologicamente muito mais corretos (química verde).

Outras vantagens desses corantes em relação aos corantes atualmente

comercializados são a alta eficiência na revelação de IDs latentes num curto intervalo de tempo e a alta estabilidade química e fotofísica devido ao mecanismo de transferência protônica intramolecular no estado excitado (ESIPT). (MILESKI, 2016).

Esses corantes apresentam uma excelente relação custo-benefício, pois são obtidos a partir de materiais de baixo custo e aplicando métodos de síntese usualmente empregados em laboratórios de síntese orgânica.

De acordo com estudos experimentais realizados, com as concentrações dos corantes testadas na revelação das impressões digitais, foi possível constatar que mesmo em concentrações baixas do corante, 0.1 (m/v), as IDs foram perfeitamente reveladas. No entanto, as soluções com concentrações abaixo deste valor não tiveram o mesmo êxito.

O tempo de processamento da técnica de revelação de IDs mostrou pouca influência na eficiência de revelação das mesmas, tendo conseguido excelentes resultados com tempos variando entre 0.5 segundos e 5 minutos.

Todos os objetos revelados com esses derivados benzazólicos fluorescentes foram guardados durante 1 ano e analisados novamente sob lâmpada de UV - 365 nm, apresentando os mesmos resultados, o que demonstra a importância dessa técnica na conservação das evidências (cadeia de custódia). (CERATTI, 2021)

A existência de grupamentos sulfônicos atribui a esses derivados benzazólicos uma boa solubilidade em água, eliminando o uso de qualquer solvente orgânico. Além disso, pensa-se que os grupos sulfônicos são responsáveis pela marcação das impressões digitais pela ligação aos aminoácidos e/ou proteínas constituintes das impressões digitais. Testes de revelação de impressões digitais em fitas adesivas usando compostos similares, sem a presença de grupo sulfônico, não tiveram sucesso. Tsopelas e Sutton propuseram uma reação química do grupo sulfônico dos corantes com o grupo amina livre das proteínas, tais como grupos aminas de lisinas ou argininas, ou até mesmo com grupos hidroxilas dos aminoácidos. A reação consiste na perda da água quando o grupo sulfônico do corante reage com a amina livre das proteínas para formação da sulfonamida, ou éster no caso da reação com grupo hidroxila (Proposta 1). Essa proposta de reação foi contestada por Wilbur que propôs que os componentes da reação são descritos como íons em condições fisiológicas, e que a reação não se dá por ligação covalente, mas sim por interação iônica (Proposta 2). Bossers e seus colaboradores ilustraram essa interação iônica entre o grupo sulfônico ionizado de um corante com uma proteína (Proposta 3).

A vantagem da ESIPT é o deslocamento de Stokes, que pode chegar a 200 nm. Essa medida é a diferença entre o máximo de absorção e o máximo de emissão da molécula. Além disso, esses compostos possuem elevada sensibilidade, estabilidade térmica e fotofísica.

A busca de derivados solúveis em água para garantir a melhor intensidade de fluorescência dos corantes pelo aumento da superfície de contato gerada, evitando o uso de solventes orgânicos, normalmente utilizados, que apresentam risco à saúde de quem

manuseia ou para facilitar o descarte das soluções já utilizadas. (BARROS, 2015).

Isto, juntamente ao fato de que o solvente em questão para os corantes é a água, possibilita que estes produtos sejam relacionados à fatores ecológicos da química verde, na qual se preza pela reutilização, reaproveitamento e diminuição dos impactos da indústria química no meio ambiente, proporcionando uma visão de sustentabilidade para com a sociedade e a natureza.

A possibilidade de combinar esse corante com outras técnicas sem perder as amostras amplia a possibilidades de investigação das provas de um crime. Amostras reveladas a mais de 1 ano ainda possuem fluorescência e mantiveram o formato das manchas intactas, o que garante uma contraprova. Estes corantes apresentam colorações variadas. Alguns possuem fluorescência quando expostos à luz ultravioleta e outros apenas cor visível quando expostos à luz branca.

4 | CONCLUSÃO

O objetivo principal deste trabalho foi estudar uma proposta de revelação digital em superfícies adesivas. Os reveladores atuais de impressões digitais latentes comercializados não são satisfatórios, e possuem algumas limitações, como a ineficiência dos corantes em corar apenas as impressões digitais, visto que, muitas vezes, acaba por corar todo fundo da superfície do objeto a ser analisado, impossibilitando a identificação das IDs. Outra limitação é o uso de solventes orgânicos na maioria dos corantes fluorescentes comercializados, o que inviabiliza sua aplicação em fitas adesivas pois o solvente orgânico dissolve a parte adesiva e/ou ataca por completo a fita adesiva fazendo perder as impressões digitais, além de constituir um risco à saúde de quem os manuseia.

O método proposto por Ceratti (2021) mostrou-se muito eficiente mesmo quando se utilizou solução de corante numa concentração muito diluída. Uma outra vantagem é o fato de esses reagentes serem solúveis em água, o que evita a utilização de solventes orgânicos, muitas vezes tóxicos, e que coloca em risco a saúde de quem os manuseia. A elevada estabilidade química e fotofísica, bem como o baixo custo associado a obtenção desses reveladores levam o método a ser muito versátil do ponto de vista de aplicação.

O procedimento de revelação apresentado não exige alto grau de sofisticação, sendo de fácil visualização a partir do uso de uma lâmpada ou lanterna de luz ultravioleta. A síntese pode ser realizada de forma simples, visto que se utilizam equipamentos comuns e vidrarias de fácil acesso em um laboratório de síntese orgânica o que gera um impacto positivo em custos baixos que poderiam competir com os produtos importados atualmente utilizados pelas polícias científicas no país para revelação de impressões digitais latentes em fitas adesivas.

Sendo assim este trabalho sugere como melhor revelador os corantes benzazólicos, pois diminuem as limitações em revelar em superfícies adesivas, ele é o mais eficaz nesse

quesito, sendo também solúvel em água, de fácil descarte e de ótimo custo-benefício.

REFERÊNCIAS

BERTINO, A. J., **Forensic Science: Fundamentals and investigations**, New York: South- Western, 2009.

BARROS, B. L. H. **Desenvolvimento e aplicação de corantes e novos materiais microestruturados fluorescentes na revelação de impressões digitais latentes e no diagnóstico clínico**, Tese de Doutorado em Ciências dos Materiais, UFRS, Porto Alegre, 2019.

CERATTI, N. L. **Síntese de Corantes Fluorescentes Solúveis em Água e seu Emprego na Revelação de Impressões Digitais Latentes**. Trabalho de graduação em Química Industrial, UFRS, 2021.

MILESKI, T. **Aplicação de corantes benzazólicos fluorescentes por Esipt para a revelação de manchas de sangue em cenas de crime e a síntese do luminol**. Mestrado em Química, UFRS, Porto Alegre, 2016.

ROMÃO, W. *et al.* **Química Forense: Perspectivas sobre novos métodos analíticos aplicados à documentoscopia, balística e drogas de abuso**. Quim. Nova, v. 34, n. 10, p.1717-1728, 2011.

SEBASTIANY, P. A. *et al.* **A utilização da Ciência Forense e da Investigação Criminal como estratégia didática na compreensão de conceitos científicos**. Educ. quim [online], Vol.24, n.1, pp.49-56, ISSN 0187-893X, 2013.

DE FÁTIMA GIMENEZ, I.; ALVES, O. **DESENVOLVIMENTO DE ECOMATERIAIS: MATERIAIS POROSOS PARA APLICAÇÃO EM GREEN CHEMISTRY (QUÍMICA VERDE)**. [s.l:s.n.].Disponível em: <https://qes.iqm.unicamp.br/images/publicacoes_teses_livros_resumo_nanoecomateriais.pdf>. Acesso em: 9 nov. 2022.<https://www.pefoce.ce.gov.br/>

ESTUDO COMPARATIVO DA PERFORMANCE DE GASES REFRIGERANTES R-22, R-134A E R-290 EM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

Data de aceite: 02/06/2023

Geison Fabiano Rivetto

Centro Universitário Salesiano de São Paulo (UNISAL)
Campinas SP
<http://lattes.cnpq.br/8753841387843801>

Leo Fagner Lazarini de Godoi

Centro Universitário Salesiano de São Paulo (UNISAL)
Campinas SP
<http://lattes.cnpq.br/0137017476590822>

Patrícia Bogalhos Lucente Fregolente

Centro Universitário Salesiano de São Paulo (UNISAL)
Campinas SP
<http://lattes.cnpq.br/0137017476590822>

Zaida Jova Aguila

Centro Universitário Salesiano de São Paulo (UNISAL)
Campinas SP
<http://lattes.cnpq.br/8753841387843801>

RESUMO – Este estudo foi motivado principalmente pelas resoluções do Protocolo de Montreal, que prevê a eliminação gradativa dos compostos HCFCs e HFCs, conseqüentemente, impõem a necessidade da realização de estudos

sobre a performance de fluidos alternativos ecologicamente aceitáveis nos sistemas de refrigeração e seus componentes. O estudo apresenta resultados de várias simulações computacionais utilizando o software CoolPack, que visa comparar as características termodinâmicas, e demonstrar os resultados obtidos dos coeficientes de performance, dos fluidos refrigerantes R-22, R-134a e R-290, em um ciclo de refrigeração por compressão de vapor ideal. Também foram realizados testes práticos em equipamentos conhecidos no mercado como pré-resfriadores de chopp utilizando os fluidos refrigerantes R-134a e R-290, onde foi medido o tempo de abaixamento de temperatura e coletados dados de temperatura em diferentes pontos no circuito de refrigeração. Busca-se ao final do estudo constatar se o hidrocarboneto R-290 é um gás de boa eficiência energética, e que possam ser usados de forma segura em equipamentos de pequeno porte de refrigeração comercial em substituição dos gases que são usados atualmente e que poluem o meio-ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: Sistemas de Refrigeração, Gases Refrigerantes, R290.

1 | INTRODUÇÃO

A refrigeração é o processo que envolve a redução de temperatura de fluidos ou corpos. Sua aplicação tem grande utilidade para conservação e armazenamento de alimentos, refrigerar bebidas, climatizar ambientes entre outras utilidades, e por onde este processo ocorre através da troca de calor. Atualmente os principais fluidos refrigerantes usados na indústria e comércio de equipamentos de refrigeração, são formados por compostos químicos como os CFCs, HCFCs e HFCs (clorofluorcarbonetos, hidrofluorcarbonos e hidrofluorcarbonos, respectivamente), substâncias já identificadas que tem grande potencial de destruição da camada de ozônio e contribuem com o aquecimento global, no entanto o Brasil em 1990, deu um passo importante neste assunto, aderindo ao Protocolo de Montreal, que se refere a um acordo global para proteger a camada de ozônio da terra e visa eliminar tais substâncias químicas que destroem a camada de ozônio.

O uso dos CFCs no Brasil está proibido desde 2007, porém em grande parte das aplicações na refrigeração foram substituídas pelos HFCs, que também contribuem para o aquecimento global. O gás refrigerante R-22 (monoclorodifluorometano) é caracterizado como HCFCs, e possui ampla aplicabilidade no setor de refrigeração, porém, na maioria dos países desenvolvidos seu uso já foi banido, mas ainda é comum encontrar este tipo de gás em uso nos países emergentes como o principal gás refrigerante. De acordo com o Protocolo de Montreal, 2022, foi estabelecido um novo cronograma para eliminação de HCFCs, que se iniciou em 2013, proibindo o consumo em novos equipamentos, seguindo por uma redução escalonada até a eliminação por completo e total até 2040 (TANIMOTO, SOARES, 1999).

Na refrigeração por compressão a vapor, o desempenho do equipamento depende em particular do fluido refrigerante utilizado, e seu sistema de controle, visando atender as normas vigentes para tal processo. Por este motivo, o objetivo principal deste estudo, visa analisar, quantificar e demonstrar os resultados de performance dos fluidos refrigerantes R-22, R-134a e R-290, respectivamente monoclorodifluorometano, tetrafluoretano e propano, em um ciclo de refrigeração por compressão de vapor ideal, visando no fim do estudo, propor um refrigerante alternativo e ecológico que atenda um *retrofit* ou *drop-in*, para substituição destes gases poluidores em equipamentos de refrigeração de chope, conhecido como pré-resfriadores, que já estão em uso no mercado. Um dos gases selecionados para realização dos estudos e testes foi o R-22, um dos gases mais utilizados na refrigeração por décadas. Esse gás tem características físicas excelentes para trabalhos em temperatura média e alta, muito empregado na refrigeração devido ao baixo deslocamento volumétrico, o que possibilita equipamentos de tamanhos reduzidos. Segundo Calm e Domanski (2005) não existe atualmente substância pura que seja capaz de substituir o R-22 em toda sua faixa de aplicação, existem, entretanto, são misturas refrigerantes para substituir tanto em equipamentos existentes como para novos. Porém este possui um ODP (Poder de

Destruição da camada de Ozônio) alto, e será abolido totalmente seu uso até 2040 (CALM e DOMANSKI, 2005). O índice ODP varia de 0 a 1 e quanto mais próximo do zero, menor o impacto na camada de ozônio. Os dados de *The Linde Group, 2007*, o R22 apresenta ODP de 0,05 e tempo de vida na atmosfera de 13,3 anos, enquanto que o R-290 apresenta ODP de 0,0 e tempo de vida na atmosfera de 5 meses. Os HCs têm um baixíssimo impacto ambiental e, para as aplicações de refrigeração, são alternativas viáveis para substituir grande parte dos fluidos sintéticos (PEIXOTO, 2007).

A metodologia e resultados do presente trabalho contemplam a análise das temperaturas de entrada e saída do compressor, condensador, consumo elétrico, performance do equipamento, e suas contribuições e impactos ambientais que cada gás traz para o meio ambiente.

2 | METODOLOGIA

2.1 Materiais

Foram utilizados dois equipamentos de refrigeração da classe resfriador eletromecânico de chope, um operando com o gás R-134a, e o outro operando com o gás R-290.

Para os testes realizados, o equipamento operando com fluido refrigerante R-134a, utilizou a carga de gás de 300 g, e o equipamento operando com o fluido refrigerante R290 utilizou a carga de gás de 120g. Essa diferença de carga entre os dois fluidos é dada pelo fato da densidade do R-290 ser menos da metade em relação ao R-134a.

Os equipamentos de refrigeração empregados consistem de uma câmara fria constituída de compressor do tipo hermético MBP (Média Pressão de Retorno), potência 1/2 hp, fabricante Embraco modelo FFU160HAX. O condensador de serpentina tubo aleta de 3/4 hp, fabricante Elgin, modelo 2778. A expansão do fluido refrigerante é realizada por um tubo capilar de 1,80 mts x Ø0,064"; Condensador, Evaporador do tipo tubo serpentina de cobre de Ø3/8" x 25 metros. Um desenho contendo a vista explodida do equipamento de refrigeração modelado no Software Solid Edge é mostrado na Figura 1.

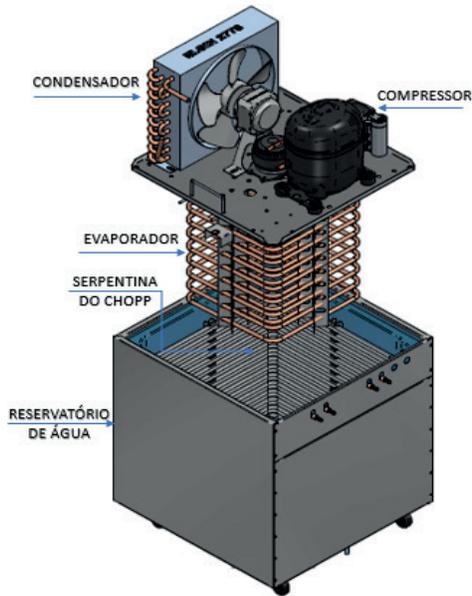


Figura 1 – Vista explodida do equipamento de refrigeração (Fonte: Autores, 2022).

Utilizou-se um modelo “default” de refrigerador, que opera com características pré-determinadas onde o evaporador opera a -10°C e o condensador a 50°C . O diferencial de superaquecimento e subresfriamento foram considerados nulos. A eficiência isentrópica do compressor foi admitida de 100%, também foram desconsideradas as perdas de calor do compressor e perdas de pressão das linhas de sucção e descarga. Para analisar o efeito de apenas uma variável sobre o COP (Coeficiente de Performance), foram mantidas as demais temperaturas constantes do ciclo simulado (ÇENGEL e BOLES, 2013).

No caso dos ciclos de refrigeração, o objetivo é produzir um efeito de refrigeração, ao passo que o trabalho líquido representa aquela quantidade que deve ser paga, assim o COP, pode ser determinada pela equação (1):

$$COP_{Carnot} = \frac{T_1}{T_2 - T_1} \quad (1)$$

O exame da equação mostra que uma redução na temperatura de condensação T_2 , implica uma elevação no COP, por outro lado o mesmo efeito poderia ser obtido com a elevação da temperatura de evaporação T_1 .

2.2 Métodos

Foi feita uma simulação computacional com o objetivo de comparar diversos fluidos refrigerantes para isso foi necessário o conhecimento de suas propriedades termodinâmicas. Foram feitas simulações para o ciclo de compressão a vapor ideal de único estágio, e utilizando-se do *software Coolpack*, que tem como base a plataforma *EES (Engineering*

Equation Solver). As grandezas analisadas foram a temperatura de evaporação, temperatura de condensação, superaquecimento, subresfriamento, trabalho do compressor e relação de pressão. Utilizou-se um modelo “default” de refrigerador, que opera com características pré-determinadas onde o evaporador opera a -10°C e o condensador a 50°C . O diferencial de superaquecimento e subresfriamento foram considerados nulos. A eficiência isentrópica do compressor foi admitida de 100%, também foram desconsideradas as perdas de calor do compressor e perdas de pressão das linhas de sucção e descarga. Para analisar o efeito de apenas uma variável sobre o COP, foram mantidas as demais temperaturas constantes do ciclo simulado. As medições de temperatura foram registradas ao longo do circuito de refrigeração através de 7 pontos diferentes, sendo fixados na sucção e descarga compressor, entrada e saída condensador, entrada e saída do evaporador e no reservatório de água (Figura 2).

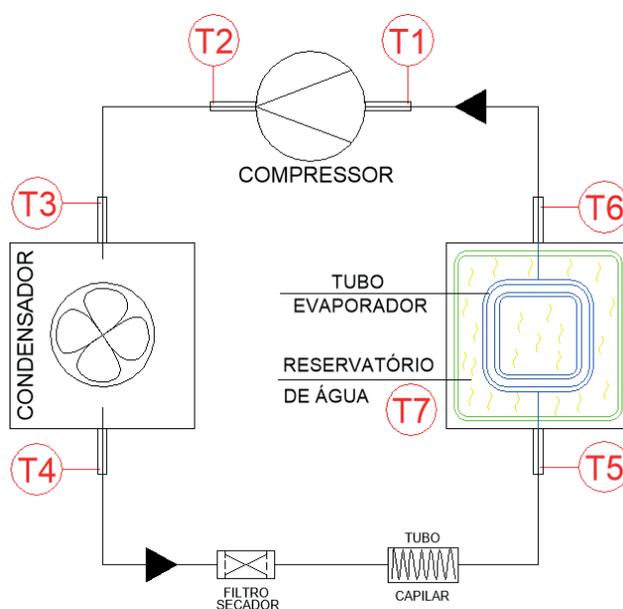


Figura 2 - Pontos dos sensores para a coleta de dados (Fonte: Autores, 2022). Sendo T1 – Temperatura de sucção do compressor; T2 – Temperatura de descarga do compressor; T3 – Temperatura de entrada do condensador; T4 – Temperatura de saída do condensador; T5 – Temperatura de entrada do evaporador; T6 – Temperatura de saída do evaporador; T7 – Temperatura da água do reservatório.

Para as medições e registros das temperaturas, geração de gráficos, consumo energia, foram realizadas com o auxílio de um *software Sitrad Pro* fornecido pela empresa *Full Gauge Controls*. Para realizar a interface dos dados registrados entre os sensores térmicos fixados no equipamento e o *software Sitrad Pro*, foram utilizados uma Jiga de testes com medições . Todas as medições de temperatura aferidas no sistema de refrigeração em

operação, utilizou-se sensores de temperatura tipo NTC com cabo de poliéster e isolamento individual.

Com relação às condições de teste para ambos os equipamentos testados, tanto o com R-134a quanto para o R-290, a temperatura ambiente foi controlada por uma câmara fria, mantendo-se em $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Os ensaios dos testes de abaixamento de temperatura foram realizados na condição de regime transiente, para tentar simular da maneira mais próxima da realidade o funcionamento de um resfriador de chope em um estabelecimento em que o produto é consumido com frequência.

Iniciou-se abastecendo todo o reservatório de água do pré-resfriador aproximadamente 65 litros de água até cobrir toda a serpentina de inox do chopp. Iniciou-se o refrigerador, ligando-o na energia elétrica, e durante os testes foram realizadas 1 medição no intervalo de 2 em 2 minutos. A temperatura de condensação deve trabalhar abaixo de 70°C em regime transiente e 60°C em regime estabilizado. A temperatura de evaporação deve estar entre 0°C e -20°C para compressores MBP (média pressão de retorno). O controle de temperatura do equipamento é feito através de um bulbo sensor de gelo, que fica instalado no reservatório de água a 2,5 cm do tubo do evaporador. Após a formação de gelo em toda volta do evaporador e em contato com o sensor, completa-se o primeiro ciclo de desligamento do compressor que chamamos de “Pull Down”, que deverá ocorrer em média de 3 a 4 horas após o início dos testes.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Simulação do modelo *default* - *software collpak*

Com as características definidas para os fluidos de trabalho no refrigerador, com o evaporador operando a -10°C e o condensador a 50°C , foi realizada uma primeira simulação para o ciclo *default*, com os fluidos R-22, R-134a e R-290, conforme demonstrado na Tabela 1. Analisando os resultados da Tabela 2, observa-se que o COP do ciclo referente ao gás R-290 é menor em relação ao R-134a e o R-22, porém os parâmetros de taxa de transferência de calor ao evaporador (Q_e) e trabalho de compressão (W) são superiores para o R-290 em relação aos demais. A obtenção de um COP elevado está relacionada à redução do trabalho necessário para um dado efeito de refrigeração (STOECKER, et al. 1994).

MODELO <i>DEFAULT</i>			
REFRIGERANTE	R-22	R-134a	R-290
COP	3,18	3,07	3,04
Qe(kj/kg)	138,31	119,90	228,55
Qc(kj/kg)	181,76	158,91	303,8
W(kj/kg)	43,45	39,00	75,00
Pressão Condensação 50°C - Kpa	1942,7	1317,9	1713,3
Pressão Evaporação -10°C - Kpa	354,8	200,6	345,3

Tabela 1 - Comparativo com simulações teóricas, modelo *default* para os refrigerantes R-22, R-134a e R-290.

O conceito de performance está ligado diretamente a uma otimização de processo, ou seja, a relação de energia útil e o dispêndio de energia para obtenção da mesma durante a realização do processo, no caso o ciclo de refrigeração. Portanto o menor COP obtido do R-290 é atribuído a relação de potência de compressão superior à relação de efeito de refrigeração entre os outros fluidos.

Para mostrar a influência da temperatura de evaporação no COP do ciclo teórico, foram analisadas um intervalo de temperatura de evaporação que varia em uma escala de -15°C a 15°C com incremento de 5°C, conforme Tabela 2, demais temperaturas seguiram constantes conforme modelo *default*.

Analisando os resultados da Tabela 2, diante dos dados obtidos das variações de temperaturas no evaporador T_e (°C), o COP do R-22 foi superior em relação ao R-290 e o R-134a, e a medida que a temperatura de evaporação aumenta o COP também aumentou, o trabalho consumido pelo compressor diminui e a taxa de transferência de calor ao evaporador aumenta, ocorrendo para todos os gases. Para a temperatura de evaporação mais baixa de -15°C, o COP do R-22 foi aproximadamente 5,3% superior em relação ao R-290, e com o aumento da temperatura até a mais alta de 15°C, essa diferença caiu 2,7%. Já em relação a comparação entre os resultados do R-290 e R-134a se manteve uma diferença do COP em torno de 1%, sendo superior para o R-134a. Para mostrar a influência da temperatura de condensação no COP do ciclo teórico, foram analisadas um intervalo de temperatura de condensação que varia em uma escala de 35°C a 65°C com incremento de 5°C, conforme Tabela 3, demais temperaturas seguiram constantes conforme modelo *default*.

Resultados com o Gás Refrigerante R22					
Te(°C)	COP	Qe(kj/kg)	Qc(kj/kg)	W(kj/kg)	Rp
-15	2,82	136,30	184,68	48,38	6,57
-10	3,18	138,31	181,76	43,45	5,48
-5	3,62	140,25	179,01	38,76	4,61
0	4,14	142,11	176,42	34,30	3,90
5	4,79	143,90	173,96	30,06	3,33
10	5,60	145,59	171,60	26,02	2,85
15	6,65	147,19	169,35	22,16	2,46
Resultados com o Gás Refrigerante R134a					
Te(°C)	COP	Qe(kj/kg)	Qc(kj/kg)	W(kj/kg)	Rp
-15	2,70	116,90	160,15	43,25	8,02
-10	3,00	119,90	158,91	39,00	6,56
-5	3,52	122,87	157,82	34,95	5,41
0	4,05	125,78	156,85	31,06	4,50
5	4,71	128,65	155,99	27,34	3,77
10	5,53	131,47	155,24	23,77	3,18
15	6,60	154,57	154,54	20,35	2,70
Resultados com o Gás Refrigerante R290					
Te(°C)	COP	Qe(kj/kg)	Qc(kj/kg)	W(kj/kg)	Rp
-15	2,67	222,98	306,36	83,37	5,92
-10	3,04	228,54	303,8	75,25	4,99
-5	3,47	234,00	301,51	67,48	4,25
0	3,99	239,45	299,47	30,02	3,63
5	4,63	244,76	297,64	52,87	3,12
10	5,43	249,98	295,99	46,00	2,70
15	6,47	255,08	294,50	39,41	2,35

Tabela 2 – Variação da temperatura de evaporação.

Analisando os resultados da Tabela 3, diante dos dados obtidos das variações de temperaturas de condensação T_c (°C), o COP do R-22 foi superior em relação ao R-290 e o R-134a, e a medida que a temperatura de condensação aumenta diminui o COP do ciclo, consequentemente aumenta a pressão no condensador, diminuindo a taxa de transferência de calor ao condensador e exigindo maior trabalho do compressor para a compressão do fluido.

Resultados com o Gás Refrigerante R22					
Tc(°C)	COP	Qe(kj/kg)	Qc(kj/kg)	W(kj/kg)	Rp
35	4,71	158,46	192,11	33,65	3,82
40	4,11	151,89	188,88	36,99	4,33
45	3,61	145,18	185,44	40,26	4,88
50	3,18	138,31	181,76	43,45	5,48
55	2,82	131,25	177,82	46,57	6,13
60	2,50	123,98	173,60	49,62	6,85
65	2,21	116,43	169,03	52,60	7,62
Resultados com o Gás Refrigerante R134a					
Tc(°C)	COP	Qe(kj/kg)	Qc(kj/kg)	W(kj/kg)	Rp
35	4,64	142,57	173,27	30,70	4,42
40	4,03	135,16	168,73	33,57	5,06
45	3,51	127,60	163,95	36,34	5,77
50	3,07	119,90	158,91	39,00	6,56
55	2,69	112,02	153,59	41,57	7,43
60	2,36	103,93	147,98	44,04	8,37
65	2,06	95,61	142,02	46,41	9,41
Resultados com o Gás Refrigerante R290					
Tc(°C)	COP	Qe(kj/kg)	Qc(kj/kg)	W(kj/kg)	Rp
35	4,60	271,52	330,55	59,02	3,55
40	3,99	257,52	322,14	64,62	3,99
45	3,47	243,21	313,23	70,02	4,47
50	3,04	228,54	303,8	75,25	4,99
55	2,66	213,45	293,75	80,3	5,57
60	2,32	197,80	282,97	85,17	6,18
65	2,02	181,41	271,87	89,87	6,85

Tabela 3 – Variação da temperatura de condensação.

Comparando os resultados do COP entre os gases R-290 e R-134a em se tratando de variação na temperatura de condensação, à medida que ocorre o aumento da temperatura, observou-se uma diferença entre 1% a 2% no COP a favor do R-134a. A diferença do COP entre os gases R-22 e R-290 foi maior, analisando os dados observou-se que à medida que a temperatura de condensação aumenta há um acréscimo no COP a favor do R-22, variando de 2,3% para a temperatura mais baixa de 35°C, chegando a 8,5% para a temperatura mais alta de 65°C.

Para mostrar a influência da temperatura de superaquecimento no COP do ciclo teórico, foram analisadas um intervalo de temperatura que varia em uma escala de 0 a 20 K com incremento de 5K, Tabela 5, demais temperaturas seguiram constantes conforme modelo *default*.

Quando o fluido refrigerante ocorre retirando calor do meio que se quer resfriar, chama-se este de superaquecimento ou “superaquecimento útil”. O uso do superaquecimento é recomendado para evitar a entrada do líquido no compressor, o que poderia danificar o compressor (MONTEIRO, 2005).

Analisando os dados da Tabela 5, é apresentado que para o gás R-22 o COP se manteve constante para todas os acréscimos de temperatura na saída do evaporador, e para os gases R-134a e R-290 houve um ganho de performance no COP, conforme o acréscimo de temperatura na saída do evaporador.

Resultados com o Gás Refrigerante R22					
Tse (K)	COP	Qe(kj/kg)	Qc(kj/kg)	W(kj/kg)	Rp
0	3,18	138,31	181,76	43,45	5,48
5	3,18	141,74	186,32	44,59	5,48
10	3,18	145,17	190,87	45,70	5,48
15	3,18	148,6	195,4	46,8	5,48
20	3,18	152,04	199,92	47,88	5,48
Resultados com o Gás Refrigerante R134a					
Tse (K)	COP	Qe(kj/kg)	Qc(kj/kg)	W(kj/kg)	Rp
0	3,07	119,90	158,91	39,00	6,56
5	3,10	124,26	164,35	40,08	6,56
10	3,13	128,63	169,77	41,15	6,56
15	3,15	133,02	175,2	42,18	6,56
20	3,18	137,43	180,62	43,20	6,56
Resultados com o Gás Refrigerante R290					
Tse (K)	COP	Qe(kj/kg)	Qc(kj/kg)	W(kj/kg)	Rp
0	3,04	228,55	303,8	75,25	4,99
5	3,06	237,04	314,44	77,40	4,99
10	3,09	245,58	325,07	79,49	4,99
15	3,12	254,16	335,70	81,54	4,99
20	3,15	262,81	346,40	83,56	4,99

Tabela 5 – Variação da temperatura de superaquecimento.

Finalmente, para mostrar a influência da temperatura de subresfriamento no COP do ciclo teórico, foram analisadas um intervalo de temperaturas que variam em uma escala de 0 a 20 K com incremento de 5K, conforme Tabela 6, demais temperaturas seguiram constantes conforme modelo *default*.

Analisando os dados da Tabela 6, houve um aumento no COP do ciclo, conforme houve o acréscimo de temperatura na saída do condensador, o que é bom para o sistema, isso ocorreu para todos os fluidos, com maior impacto para o R-134a e o R-290.

Na prática utiliza-se o subresfriamento para garantir que se tenha só líquido na entrada do dispositivo de expansão, o que, mantém a capacidade frigorífica do sistema, e não para se obter ganho de eficiência (MONTEIRO, et al 2005).

Resultados com o Gás Refrigerante R22					
Tsc K	COP	Qe(kj/kg)	Qc(kj/kg)	W(kj/kg)	Rp
0	3,18	138,31	181,76	43,45	5,48
5	3,34	145,18	188,63	43,45	5,48
10	3,50	151,89	195,34	43,45	5,48
15	3,65	158,46	201,91	43,45	5,48
20	3,80	164,91	208,36	43,45	5,48
Resultados com o Gás Refrigerante R134a					
0	3,07	119,90	158,91	39,00	6,56
5	3,27	127,60	166,61	39,00	6,56
10	3,47	135,16	174,17	39,00	6,56
15	3,66	142,57	181,58	39,00	6,56
20	3,84	149,86	188,87	39,00	6,56
Resultados com o Gás Refrigerante R290					
0	3,04	228,55	303,80	75,25	5,00
5	3,23	243,21	318,46	75,25	5,00
10	3,42	257,52	332,77	75,25	5,00
15	3,61	271,52	346,77	75,25	5,00
20	3,79	285,25	360,50	75,25	5,00

Tabela 6 – Variação da temperatura de subresfriamento.

Conforme comentado anteriormente, os testes foram feitos nos equipamentos contendo carga de gás R-290 e outro contendo gás R-134a. A referência que resulta no tempo de abaixamento de temperatura e a obtenção do tempo de “*pull down*” foi o primeiro ciclo que desliga o compressor. Para que isso ocorra é preciso formar um bloco de gelo com espessura de 2,5 cm em torno do evaporador. O sistema de controle para o desligamento do compressor é feito através de um sensor de gelo instalado no próprio evaporador.

O gráfico apresentado na Figura 3, demonstra as variações de temperaturas no sistema de refrigeração em relação ao tempo de testes, obtidos através da leitura dos sensores de temperatura fixados no equipamento com carga de gás R134a.

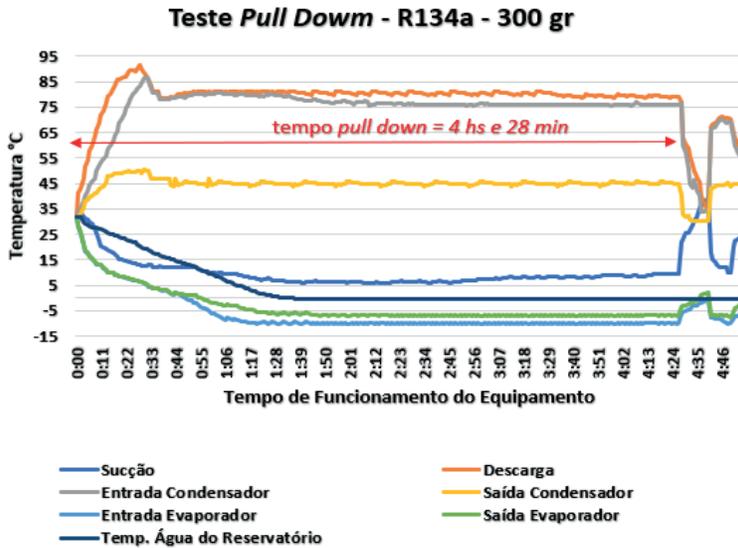


Figura 3 – Gráfico da variação de temperatura no equipamento com gás R134a

O gráfico da Figura 3, mostra que o equipamento com gás R-134a levou 4 horas e 28 minutos para alcançar a formação completa de gelo no evaporador e completar seu primeiro ciclo de desligamento do compressor, “pull down”. Observa-se através do gráfico que o equipamento demorou em torno de 1 hora e 30 minutos para atingir as primeiras temperaturas negativas no reservatório de água, onde começa ocorrer a formação de gelo

O gráfico apresentado na Figura 4, demonstra as variações de temperaturas no sistema de refrigeração em relação ao tempo de testes, obtidos através da leitura dos sensores de temperatura fixados no equipamento com carga de gás R-290.

Os testes realizados no equipamento com carga de gás R-290 e de acordo com a Figura 4, mostram que o equipamento levou 3 horas e 56 minutos para alcançar a formação do gelo no evaporador e completar o seu primeiro ciclo de desligamento do compressor “pull down”, e 1 hora e 05 minutos para atingir as primeiras temperaturas negativas no reservatório de água, onde começa ocorrer a formação de gelo. Os resultados dos testes de abaixamento de temperatura mostram que o equipamento com carga de gás R-290 obteve melhor performance de tempo em relação ao gás R-134a, alcançando temperatura de congelamento da água do reservatório com 25 minutos de antecedência e o tempo de pull down, com 32 minutos de antecedência. O R-290 possui boa eficiência energética, atingindo temperaturas de evaporação menores, tal fato os autores atribuem a isso o menor tempo alcançado no resultado ao menor tempo de formação de gelo.

Teste Pull Down - R290 - 120 gr

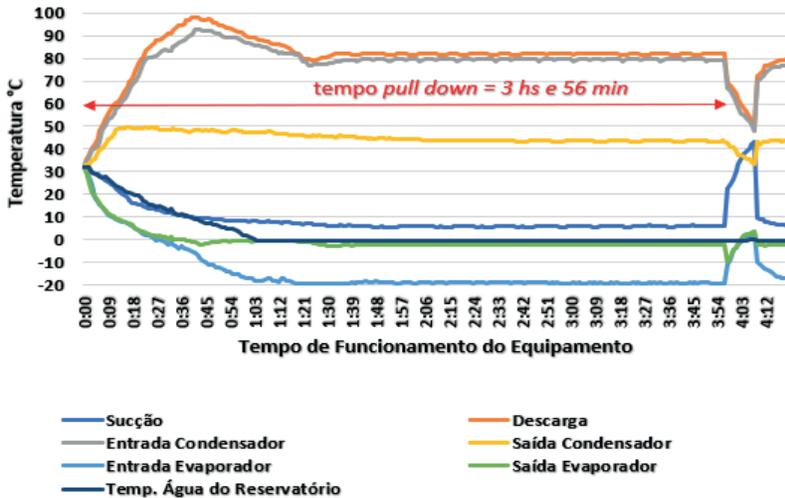


Figura 4 – Gráfico da variação de temperatura no equipamento com gás R290.

Já para a análise da pressão de evaporação, foram simuladas no *Software Coolpack*, mediante os resultados obtidos nos testes experimentais e foram desprezadas as variações de pressão entre a saída do evaporador e a entrada do compressor, e considerou-se que a pressão de evaporação correspondia a pressão de entrada do compressor (sucção).

Na Tabela 7, são apresentados os valores da pressão de evaporação após a estabilização do sistema. O R-290 obteve pressões de evaporação 23% superiores em relação ao R-134a, portanto não há necessidade de alteração no projeto do evaporador, viabilizando a operação de *drop-in*. Os autores atribuem ao fato de uma pressão de evaporação superior ao incremento de performance do equipamento, e isso se confirma nas simulações computacionais iniciais apresentados na Tabela 3.

Refrigerante	T (°C)	Pressão Evap. (Kpa)
R-134a	11,50	435,8
R-290	5,9	565,8

Tabela 7 – Pressão de evaporação – Testes experimentais

Com relação ao consumo de energia verificado durante os experimentos, observou-se que o equipamento com o R-290 apresentou um melhor consumo de energia elétrica, sendo 4,5% mais econômico em relação ao R-134a. O consumo elétrico do equipamento com o R-290 foi de 3.970 KWh até o seu primeiro ciclo de desligamento do compressor em 3 horas e 56 minutos de funcionamento, enquanto o equipamento com o R-134a foi de 4.148 KWh completando o seu primeiro ciclo de desligamento do compressor em 4 horas e 28 minutos.

4 | CONCLUSÕES

Nas simulações teóricas computacionais os testes comparativos entre os fluidos sintéticos R-22 e R-134a com o fluido natural R-290, o R-22 apresentou um COP superior que o R-134a e o R-290, sendo que entre o R-134a e R-290 uma leve vantagem para o R-134a.

Os testes práticos não foram realizados em equipamentos com o gás R-22, já que a atual legislação e de acordo com o Protocolo de Montreal, está proibido em novos equipamentos, portanto os testes foram aplicados em equipamentos com o gás R-134a e R-290. Nos testes práticos observou-se que para os testes de abaixamento de temperatura o equipamento com gás R-290 obteve melhor resultado, atingindo um tempo de *pull down* 12% menor que o equipamento com gás R-134a. O consumo de energia elétrica foi menor para o equipamento com gás R-290, com isso contribuindo ainda mais com o meio ambiente. O uso do R-290 requer um investimento um pouco maior, devido aos cuidados que se deve ter com a segurança na questão de incêndio, mas a segurança operacional, com pequena carga de fluido refrigerante, respeitando os critérios de ventilação e boas práticas de instalação e manutenção, minimizam os riscos de eventuais explosões ou incêndio. Conclui-se que o R-290 um fluido refrigerante natural, projetado e operado dentro dos cuidados devidos, é uma excelente opção para a substituição dos fluidos sintéticos considerados não ecológicos e serão extintos no futuro.

REFERÊNCIAS

CALM, J.M. , DOMANSKI, P. A. **Substituição do R-22**. Panorama Atual. Revista Abrava, 222, 40-43, 2005.

ÇENGEL Y. A., BOLES M. A. **Termodinâmica**. 7.ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda. 2013.

MONTEIRO, M.AG. et al. **Eficiência Energética em Sistemas de Refrigeração Industrial e Comercial**. Rio de Janeiro, Eletrobrás; Procel, 2005, p.47-49.

PEIXOTO, R. A. **Substituição dos HCFC e os fluidos naturais: Cenário atual e tendências**. p.155-156, 2007, Ministério do Meio Ambiente. São Paulo, 2007. Disponível em <www.potocolodemontreal.org.br/eficiente/repositorio/publicacoes/549.pdf>, Acesso 13/08/2022.

PROTOCOLO DE MONTREAL. Disponível em <<https://www.protocolodemontreal.org.br/site/quem-somos/protocolo-de-montreal/sobre-o-protocolo-de-montreal.>> Acesso em 05/10/2022.

STOECKER, W.F.; SAIZ JABARDO, J. M. **Refrigeração Industrial**. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, p.23-24, 1994.

TANIMOTO A. H., SOARES, P. S. **Substâncias Destruidoras da Camada de Ozônio e sua legislação**. Monografia do Curso de Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria, UFBA, Salvador, Bahia, 1999.

THE LINDE GROUPE. Refrigerants Environmental Data. Ozone Depletion and Global Warming Potential, 2007. Disponível em https://www.linde-gas.pt/pt/images/Refrigerants%20environmental%20GWPs_tcm310-111483.pdf, acesso em 05-05-2023.

ADSORÇÃO DE CROMO HEXAVALENTE EM EFLUENTE AQUOSO UTILIZANDO CASCA DE LARANJA

Data de submissão: 28/04/2023

Data de aceite: 02/06/2023

Felipe Ribeiro da Silva

Universidade São Francisco, Engenharia
Química
Campinas-SP
<http://lattes.cnpq.br/2224343791076475>

Nick Xavier

Universidade São Francisco, Engenharia
Química
Campinas-SP
<https://lattes.cnpq.br/0893072245587549>

Filipe Alves Coelho

Universidade São Francisco, Engenharia
Química
Campinas-SP
<http://lattes.cnpq.br/7316975557784147>

Roberta Martins da Costa Bianchi

Universidade São Francisco, Engenharia
Química
Campinas-SP
<http://lattes.cnpq.br/1178282277362723>

RESUMO. O cromo hexavalente (Cr VI) é utilizado na cromagem e confere às peças ótimo efeito decorativo, resistência e durabilidade, porém, se torna um resíduo da indústria da galvanoplastia. Devido à sua toxicidade, podem ser prejudiciais ao

ecossistema, sendo de suma importância tratar os resíduos. Métodos de tratamentos vêm sendo propostos, como a redução química de Cr (VI) para Cr (III) e a adsorção. A adsorção é uma operação unitária, onde uma substância líquida ou gasosa se adere à superfície de outra substância sólida, denominada de adsorvente. Os adsorventes podem ser obtidos a partir de resíduos agroindustriais, como a casca de coco, casca da banana e casca da laranja. Este trabalho tem como objetivo propor um método de tratamento ao efluente sintético contendo Cr (VI), utilizando a farinha de casca de laranja como bioadsorvente. Os ensaios de adsorção foram realizados com a farinha seca (FN) e ativada quimicamente (FA), nas granulometrias de 10 e 40 mesh e massas de 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 g, imersas em 50 mL de solução de dicromato de potássio de 50 ppm, durante 1.440 minutos. O estudo cinético foi realizado com 2,0 g de FA de 40 mesh nas mesmas condições descritas acima. O decaimento da concentração de Cr (VI) foi determinado através do método de Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma Induzido por Micro-ondas. A remoção máxima de Cr (VI) foi de 74,4% com 150 minutos. As isotermas de adsorção foram ajustadas para os modelos lineares

de Langmuir e Freundlich. O modelo cinético de pseudoprimeira ordem e a isoterma de Freundlich apresentaram os melhores ajustes. O método de tratamento proposto, por meio da adsorção, utilizando farinha da casca da laranja como bioadsorvente, se mostrou eficaz na remoção de Cr (VI). Além disso, a casca de laranja é considerada como um material de baixo custo, com elevada disponibilidade, tornando esse método promissor ao gerenciamento de resíduos industriais contendo Cr (VI).

PALAVRAS-CHAVE: Cromo hexavalente, resíduos da galvanoplastia, bioadsorventes, fibra adsorvente, casca de laranja.

ADSORPTION OF HEXAVALENT CHROME IN AQUEOUS EFFLUENT USING ORANGE PEEL

ABSTRACT. Hexavalent Cr (Cr VI) is used in chrome plating and gives the pieces a great decorative effect, resistance and durability, however, it becomes a residue of the galvanic industry. Due to their toxicity, they can be harmful to the ecosystem, so it is of paramount importance to treat waste. Treatment methods have been proposed, such as the chemical reduction of Cr (VI) to Cr (III) and adsorption. Adsorption is a unit operation, where a liquid or gaseous substance adheres to the surface of another solid substance, called adsorbent. Adsorbents can be obtained from agro-industrial residues, such as coconut peel, banana peel and orange peel. This work aims to propose a treatment method for synthetic effluent containing Cr (VI), using orange peel flour as a bioadsorbent. The adsorption tests were carried out with dry (FN) and chemically activated (FA) flour, in granulometries of 10 and 40 mesh and weights of 0.5, 1.0, 1.5, and 2.0 g were immersed in 50 mL of 50 ppm potassium dichromate solution for 1,440 minutes. The kinetic study was carried out with 2.0 g of 40 mesh FA under the same conditions described above. The decay of the Cr (VI) concentration was determined using the Microwave Induced Plasma Atomic Emission Spectrometry method. Maximum Cr(VI) removal was 74.4% at 150 minutes. The adsorption isotherms were fitted to the linear models of Langmuir and Freundlich. The pseudo-first order kinetic model and the Freundlich isotherm showed the best fits. The proposed treatment method, through adsorption, using orange peel flour as bioadsorbent, proved to be effective in removing Cr (VI). In addition, orange peel is considered a low-cost material with high availability, making this method promising for the management of industrial residues containing Cr (Vi).

KEYWORDS: Hexavalent chromium, galvanic residues, bioadsorbents, adsorbent fiber, orange peel.

1 | INTRODUÇÃO

A indústria da galvanoplastia tem sido cada vez mais cobrada pelo gerenciamento de seus resíduos e a busca por novos métodos de tratamento de efluentes tem sido alvo de muitos estudos (UCUN et al., 2003). A contaminação de água e solo por metais tóxicos é um problema grave e que leva muitos anos e investimentos para ser revertida. Os íons destes metais quando dissolvidos em água causam sérios problemas à saúde humana, porque não se degradam com o tempo e são bioacumulativos (MARTINS et al., 2015).

O Cr (VI) é um metal de grande importância para o tratamento de superfícies por

proporcionar excelente acabamento decorativo à peça, resistência à corrosão e a ranhuras, sendo utilizado em diversos processos de eletrodeposição, porém, seu descarte é um risco ao meio ambiente e a saúde dos seres vivos, quando realizado de maneira incorreta. Este é classificado como resíduo Classe I (perigoso), segundo a NBR-10004/87, é um metal bioacumulativo, tóxico e é considerado carcinogênico, por isso, a preocupação com o tratamento dos efluentes que o contenham (SALLET; CHIQUIM; ABAIDE, 2018). Tendo em vista este cenário, novas tecnologias para o tratamento de efluentes residuais estão sendo desenvolvidas, como redução química para formas de menor toxicidade e adsorção, visando um menor custo e alta eficiência no processo (COSTA et al., 2012).

A adsorção é uma operação unitária voltada à separação e purificação de compostos, sendo uma técnica muito utilizada na indústria (COSTA et al., 2012). Visando a redução de custos, novas alternativas vêm sendo estudadas para a substituição dos adsorventes comerciais como o carvão ativado e a alumina ativada, que geralmente possuem custo elevado, assim, a técnica de bioadsorção, que utiliza matéria orgânica oriunda principalmente de subprodutos agroindustriais, vem ganhando espaço no mercado (XAVIER et al., 2016).

Para se obter bons resultados no processo de bioadsorção, a escolha do composto adsorvente é de grande relevância, alguns estudos apresentam a utilização de resíduos de frutas como a casca de banana (ANNADURAI; JUANG; LEE, 2003), casca de jabuticaba, casca de coco (DO CARMO, 2013) e casca de laranja (ANNADURAI; JUANG; LEE, 2003; DO CARMO, 2013; DE SOUZA et al., 2012; SILVA, 2014) como bioadsorvente. A casca da laranja pode ser uma opção viável, para adsorver o Cr (VI), por ser constituído de celulose, hemicelulose, lignina, pectina e algumas proteínas vegetais, apresentando grupos funcionais, como álcoois, aldeídos, cetonas, ácidos carboxílicos, fenóis e ésteres, considerados como doadores de elétrons para os cátions metálicos, realizando a ligação entre o íon metálico e o bioadsorvente (MOREIRA, 2010).

Portanto, este trabalho tem como objetivo propor um método de tratamento de efluente contendo Cr (VI) a partir de um bioadsorvente constituído de farinha de casca de laranja.

2 | REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Galvanoplastia e seus resíduos

A galvanoplastia é a técnica de revestimento, no qual os íons de um metal em solução são depositados em uma superfície através da ação de uma corrente elétrica. Portanto, trata-se de uma técnica de eletrodeposição, que proporciona proteção de corrosão ou até mesmo para fins decorativos (WIEDERHOLT, 1965). Dentre os diferentes tipos de eletrodeposição tem-se a zincagem, niquelagem, prateação e a cromagem, que por sua

grande aplicabilidade em diversas áreas ganha destaque (ANTONETTI et al., 2021).

Comparado com outras indústrias, os rejeitos do segmento galvanico, chamam atenção devido a sua constituição, muitas vezes formado por metais tóxicos e substâncias classificadas como perigosas (MARTINS et al., 2015).

2.2 Cromagem

A cromagem proporciona ao material uma alta dureza, cor branca azulada, excelente resistência à corrosão, porque o metal não reage quimicamente com a umidade, oxigênio ou contaminantes na atmosfera. Além disso, apresenta boa durabilidade e resistência a ranhuras, dessa forma, o cromo tem sido eleito para o acabamento de peças, como, maçanetas de automóveis e torneiras (ANTONETTI et al., 2021). A Figura (1) representa o processo de eletrodeposição do cromo.

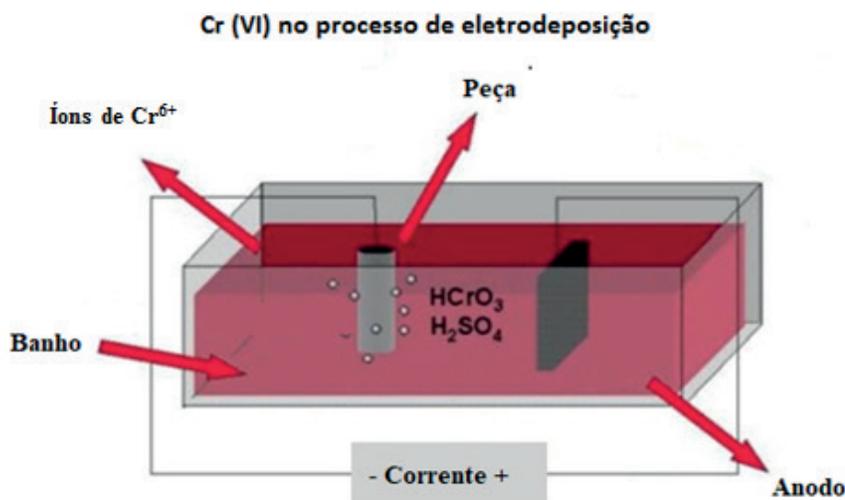


Figura 1. Banho de cromo hexavalente no processo de eletrodeposição. Fonte: Adaptada de Gonçalves et al., 2019.

2.2.1 Cromo Hexavalente

O banho de cromo hexavalente, conforme apresentado na Figura (2a), é o que oferece maior brancura à peça, sendo largamente usado na indústria decorativa para acabamento final. Atualmente, nenhum outro processo proporciona o mesmo efeito deste banho, portanto mesmo com implicações ambientais e de segurança do trabalhador, ainda não houve a substituição do cromo hexavalente na indústria. Com isso, a forma de se lidar com esses impactos continuam sendo estudadas (DA ROSA, 2019).

A preocupação com o cromo, principalmente em sua forma hexavalente (HCrO_4^- e $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$), se dá pela alta solubilidade em água, ser biocumulativo, tóxico se ingerido, inalado ou entrar em contato com a pele humana, causando irritações, inflamações e efeitos

corrosivos as mucosas e carcinogênico (MARTINS et al., 2015).

O cromo trivalente (Figura 2b), além de apresentar uma coloração diferente comparado com cromo hexavalente, confere a peça menor brancura e menor resistência à corrosão. Porém, em relação a toxicidade, é bem menos maléfico ao meio ambiente e a saúde do homem, pois, não atravessam as membranas celulares com facilidade como Cr (VI), (DA ROSA, 2019; DUBPERNELL, 2013).

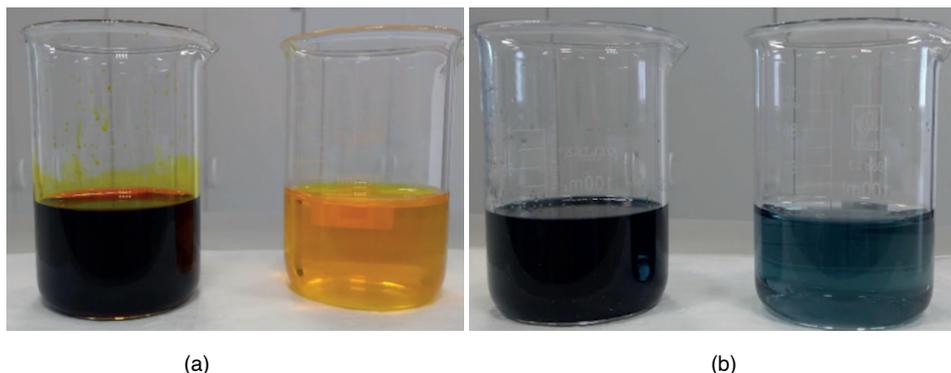


Figura 2. (a) Banho de cromo hexavalente (concentrado e diluído) e (b) cromo trivalente (concentrado e diluído). (Fonte: Próprios autores.)

2.3 Gerenciamento de resíduos na indústria da galvanoplastia

Os resíduos industriais constituem um problema ambiental e o seu gerenciamento deve ser conduzido de forma adequada, seja pelo tratamento, disposição final ou reciclagem. Segundo a NBR 1004/87, o Cr (VI) pode ser classificado como resíduo Classe I, ou seja, são os resíduos perigosos, que podem pôr em risco a saúde pública, provocar morte, provocar doenças e riscos ao meio ambiente se gerenciado de forma inadequada. Ele constitui os lodos do tratamento de efluentes líquidos provenientes do processo de eletrodeposição.

Na indústria da galvanoplastia há três tipos de resíduos, que são classificados de acordo com o seu estado físico, podendo ser sólidos, líquidos e gasosos. Os resíduos sólidos, provenientes da precipitação dos cátions presentes nos banhos eletrolíticos, são denominados como lodo. Já os gasosos, são os vapores provenientes da exaustão dos tanques, durante o processo de galvanoplastia, estes vapores passam por um sistema de “lavagem” de gases. Na torre de lavagem os poluentes contidos nos gases são absorvidos em uma solução de composição adequada que circula em contracorrente promovendo a condensação dos poluentes.

Por fim, os resíduos líquidos são tratados em banhos concentrados, com eficiência esgotada, ou diluídos (águas de lavagem), estes podem apresentar elevadas concentrações de metais pesados em solução (PONTES, 2000). Uma das alternativas para tratar os efluentes com o intuito de remover o Cr (VI) presentes nesses resíduos, pode ser via

redução química e por meio do processo de adsorção.

2.3.1 Redução química do cromo hexavalente

O cromo hexavalente, na indústria da galvanoplastia é, em geral, um efluente líquido e para realização do seu descarte, deve-se realizar o processo de redução de sua forma hexavalente para trivalente (PONTES, 2000).

Este processo se dá em sua maioria através da reação de redução com bissulfito de sódio, transformando o cromo hexavalente para trivalente, sendo que este último deve ser precipitado como hidróxido de cromo. As reações de redução podem ser expressas através das equações reacionais de redução do cromo hexavalente na sua forma de ácido crômico (Equação 1) e dicromato de potássio (Equação 2):



A precipitação na forma de hidróxido ocorre em pH acima de 5, através da utilização dos agentes alcalinos, hidróxido de cálcio, hidróxido sódio, hidróxido amônio e óxido de magnésio (MELLA, 2013).

2.3.2 Adsorção do cromo hexavalente

A adsorção é uma operação unitária, que através de um efeito físico-químico, um composto (podendo estar em fase gasosa ou líquida), passa para a superfície de outra fase sólida. A fase sólida, chamada de adsorvente, é a responsável pela realização da adsorção e o composto que passou para a superfície desta fase é chamado de adsorbato (PORPINO, 2009).

Existem diversos fatores que influenciam na adsorção, como por exemplo, pH, temperatura, tamanho das partículas do adsorvente, o tempo de contato, a massa de adsorvente e a chamada adsorção máxima, representando o equilíbrio do sistema (RAMALHO, 2012).

O carvão ativado é um exemplo de adsorvente amplamente usado, é utilizado na remoção de impurezas orgânicas e inorgânicas em águas residuais da indústria da galvanoplastia, devido a sua capacidade de remover metais pesados, como por exemplo, o Cr (HAMADI, 2001). Além do carvão ativado, há os bioadsorventes oriundos da casca de flamboyant, casca da banana, casca da laranja, entre outros (DE SOUZA et al., 2012; TEIXEIRA et al. 2021; DO CARMO 2013).

2.4 Bioadsorventes

Os bioadsorventes são materiais orgânicos que possuem habilidade de adsorver íons metálicos dissolvidos em meios aquosos. Podem ser desde microorganismos como

bactérias, fungos e microalgas, até resíduos de vegetais (casca, bagaço e semente), (LUZ et al., 2010). A adsorção de metais pesados, ocorre na biomassa destes materiais orgânicos, por meio da interação entre os grupos funcionais presentes na superfície da biomassa (VIEIRA; VOLESKY, 2000). A grande vantagem de utilizar materiais bioadsorventes está no reduzido custo, pois a matéria-prima é geralmente proveniente de resíduos agroindustriais, sendo encontrado em grande abundância e disponibilidade. O custo no geral estará no preparo da amostra (secagem e ativação) do material orgânico adsorvente (COSTA et al., 2012).

O cálculo para determinação da capacidade de adsorção de um bioadsorvente é obtido através do cálculo da q_e , sendo este a massa de adsorbato retida pela massa de bioadsorvente, conforme Equação (3).

$$q_e = \frac{(C_0 - C_f) \cdot V}{m} \quad (3)$$

Onde C_0 e C_f são as concentrações de íons metálicos presentes na solução no início (C_0) e no final (C_f) do processo. V é o volume da solução. E m é a massa de adsorvente presente.

2.4.1 Casca de laranja

A casca de laranja, considerada como um resíduo de indústrias alimentícias, pode ser utilizada como um adsorvente alternativo ao comercial, por apresentar baixo custo e elevada disponibilidade (KURNIAWAN et al., 2006). Estudos demonstram a eficiência deste composto, na remoção de metais pesados, sobretudo na remoção de cromo em meio aquoso como mostrado por De Souza et al (2012) que atingiu uma remoção de 74,6 mg de Cr^{3+} /g de adsorvente e Dos Santos, (2016) uma remoção de 74,6 mg de Ba/g de adsorvente.

Essa remoção é possível devido a sua composição apresentar celulose, hemicelulose, lignina, pectina e algumas proteínas vegetais. Estes compostos apresentam grupos funcionais que promovem e realizam o fenômeno da adsorção, sendo eles: álcoois, aldeídos, cetonas, ácidos carboxílicos, fenóis e ésteres, que atuam como ligantes em íons metálicos em efluentes líquidos (SILVA, 2014).

2.5 Isotermas de Adsorção

As isotermas de adsorção são modelos matemáticos utilizados para relacionar a quantidade total de adsorvente necessária para realização do processo de adsorção (CAVALCANTE JR, 1998). Portanto, quando o sistema entra em equilíbrio, ou seja, a concentração de soluto (C) permanece constante, encontra-se também a capacidade máxima de adsorção (q_e). Para isso, coloca-se em contato a solução do composto a ser

adsorvido (adsorvato) com diferentes massas de adsorvente até se atingir o equilíbrio do sistema.

Os modelos de Langmuir e Freundlich são os mais utilizados, por possibilitarem prever a capacidade máxima de adsorção do material, descrevendo o comportamento do adsorvente com o adsorvato. (NASCIMENTO et al., 2014).

2.5.1 *Isotermas de Langmuir*

O modelo matemático de Langmuir propõe que a superfície de adsorção seja homogênea, para que a adsorção seja constante, ocorrendo independente da extensão da superfície do adsorvente. É um dos mais utilizados nos estudos de adsorção, porém, por sua vez requer os seguintes cuidados:

- Os sítios ativos possuem energia equivalente;
- As moléculas adsorvidas não interagem entre si;
- O processo de adsorção ocorre em monocamada;
- Cada sítio ativo comporta apenas uma molécula adsorvida.

As Equações (4A e 4B) representam as isotermas de Langmuir em sua forma completa e linearizada (modelo utilizado para ajustar melhor os dados experimentais), respectivamente:

$$Q_e = \frac{Q_m K_L C_e}{1 + Q_m K_L C_e} \quad (4A)$$

$$\frac{1}{Q_e} = \frac{1}{Q_m} + \frac{1}{Q_m K_L C_e} \quad (4B)$$

Sendo Q_m é a constante de Langmuir (capacidade de adsorção teórica) (L/g), K_L é a constante relacionada a energia de adsorção (L/mg), C_e é a concentração do adsorbato no equilíbrio na solução (mg/L) e Q_e é a quantidade adsorvida por grama do adsorvente (mg/g).

2.5.2 *Isotermas de Freundlich*

O modelo matemático de Freundlich propõe a relação entre a quantidade de material adsorvido e a concentração do material na solução, podendo ser aplicado em:

- Sistemas não ideais: São sistemas em que a fonte de excitação é influenciada pela dinâmica da estrutura, ou seja, não podem ser conhecidos por uma dedução;
- Em superfícies heterogêneas: São superfícies que apresentam mais de um reagente;

- Processos de adsorção que ocorrerem em multicamada: Quando os sítios de adsorção geram a deposição de uma camada sobre a outra;

As Equações (5A e 5B) representam a isoterma de Freundlich em sua forma completa e linearizada, respectivamente:

$$Q_e = K_f C_e^{1/n} \quad (5A)$$

$$\ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} \ln C_f \quad (5B)$$

Sendo K_f é a constante de Freundlich (capacidade de adsorção teórica) (mg/g), n é um parâmetro empírico ($1 < n < 10$ indicam adsorção favorável), C_e é a concentração do adsorbato no equilíbrio na solução (mg/L) e Q_e é a quantidade adsorvida por grama do adsorvente (mg/g).

2.6 Cinética de adsorção

A cinética de adsorção corresponde a taxa de remoção do adsorbato na solução em relação ao tempo, determinando a velocidade do processo de adsorção do adsorbato no adsorvente (PINO, 2005). A cinética pode ser observada através de diferentes processos (INGLEZAKIS et al., 2018):

- Através da transferência de massa: massa de moléculas da fase líquida para a superfície externa da partícula adsorvente;
- Através da difusão no poro: fenômeno de difusão das moléculas do fluido para o interior dos poros do adsorvente;
- Através da difusão na superfície: fenômeno de difusão das moléculas adsorvidas ao longo da superfície do poro.

Para realizar este estudo, usualmente se empregam dois modelos denominados de modelos de pseudoprimeira ordem e modelo de pseudosegunda ordem.

Os modelos de pseudoprimeira ordem se baseiam na suposição que a taxa de adsorção é proporcional ao número de sítios ativos livres, sendo expresso pela Equação (6):

$$q(t) = q_e [1 - \exp(-k_1 t)] \quad (6)$$

Sendo $q(t)$ é a quantidade adsorvida no tempo t [mg/g], q_e é a quantidade adsorvida no equilíbrio [mg/g] e k_1 é a constante da cinética [min^{-1}].

Por outro lado, os de segunda ordem se baseiam na suposição que a taxa de adsorção está ligada ao quadrado do número de sítios ativos não ocupados e, pode ser

expresso pela Equação (7):

$$q(t) = q_e \frac{k_2 t}{1 + k_2 t} \quad (7)$$

Sendo $q(t)$ a quantidade adsorvida no tempo t [mg/g], q_e a quantidade adsorvida no equilíbrio [mg/g] e k_2 corresponde a constante da cinética [$\text{g min}^{-1}\text{mg}^{-1}$].

3 I METODOLOGIA

3.1 Preparo da amostra

As cascas de laranja utilizadas no experimento são do tipo *Hamlin*, cedidas por uma indústria do ramo alimentício produtora de suco de laranja. O material foi processado até se obter uma farinha. Para isso, foi realizada uma secagem de 5,7 kg de casca, em estufa com circulação de ar, durante o período de 32 horas a 70°C. Na sequência, o material seco foi triturado em um moinho de facas e depois tamisado em 10 e 40 mesh, a fim de padronizar a granulometria.

Em seguida, uma parte da farinha foi reservada, sendo denominada farinha da casca de laranja natural (FN), já a outra parte da farinha passou por um tratamento químico de ativação, gerando a farinha da casca de laranja ativada (FA). A ativação foi realizada com ácido clorídrico 0,1 mol.L⁻¹, na proporção de 10 mL/g de farinha a fim de promover a liberação dos sítios adsorptivos presentes na fibra da casca. A mistura permaneceu em agitação por 30 minutos e o líquido foi descartado. Todo o material foi lavado com água destilada repetidas vezes e seco em estufa com circulação de ar a 55°C durante 24 horas (NASCIMENTO et al., 2019).

3.2 Preparo da solução de Cr

Para realizar os testes de adsorção, foi utilizado o dicromato de potássio (K₂Cr₂O₇) como efluente sintético de cromo hexavalente. A solução de efluente sintético foi preparada em uma concentração de 50 ppm, equivalente a aproximadamente 17,7 ppm de cromo.

3.3 Experimento de bioadsorção

Para os ensaios de adsorção, foram utilizadas primeiramente oito alíquotas de 50 mL do efluente sintético na concentração de 50 ppm, quatro misturadas com FN e as outras quatro com FA, com diferentes massas de bioadsorvente, 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 g (DE SOUZA et al., 2012). As misturas foram agitadas em mesa agitadora a 150 rpm, durante 1440 minutos a 25°C, seguido de filtração das amostras. Após este período, foi retirada uma alíquota de aproximadamente 40 mL.

Para verificar a eficiência de adsorção do cromo hexavalente, foi utilizado 1 mL de

cada alíquota diluído 100 vezes em ácido nítrico 5% (v/v), a fim de realizar um comparativo com uma curva de calibração realizada a partir de uma solução padrão de cromo (Specsol®) nas concentrações de 0,1; 1,0; 5,0; 10,0; 15,0 ppm e submetidos a leitura em um espectrômetro de emissão atômica com plasma induzido por micro-ondas (MP-AES). Nas Figuras (3) e (4) estão descritos os processos de obtenção da amostra e o ensaio de adsorção, respectivamente.



Figura 3. Processo de obtenção da farinha da casca da laranja. (Fonte: Próprios autores.)

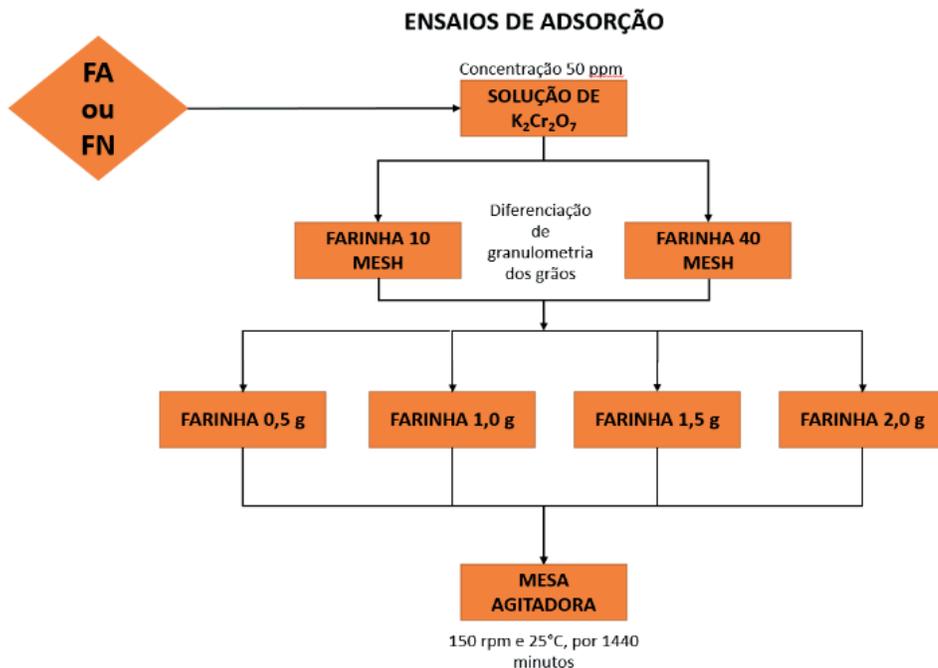


Figura 4. Processo do ensaio de bioadsorção. (Fonte: Próprios autores.)

3.4 Cinética de Adsorção

Para realizar o estudo cinético, foi selecionado a FA de 40 mesh em concentração de 2,0 g. Esta foi imersa em 50 mL de efluente sintético por 1440 minutos. Aliquotas de 1,2 mL foram retiradas a cada 15 minutos durante 150 minutos, depois outra em 900 minutos e a última em 1440 minutos, seguidas de uma diluição de cem vezes, para leitura em MP-AES. Na Figura (5), está descrito o processo de cinética de adsorção.

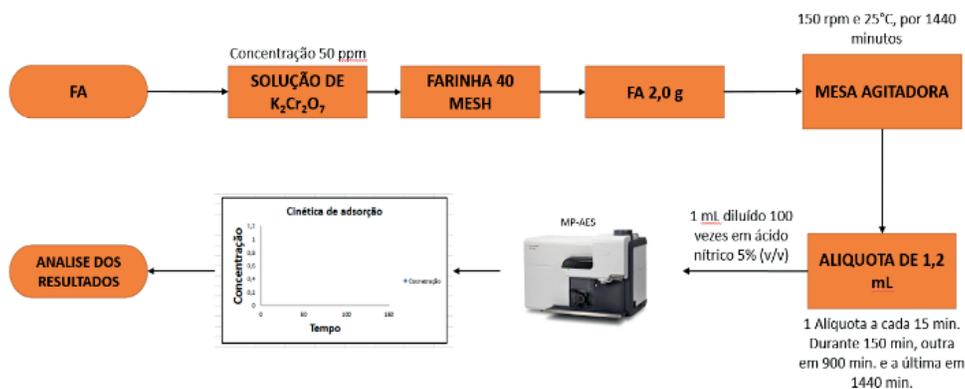


Figura 5. Processo de Cinética de Adsorção utilizando casca de laranja ativada. (Fonte: Próprios autores.)

3.5 Determinação da remoção do Cr (VI)

Os percentuais de remoção de Cr (VI), foram determinados a partir da Equação (8). Sendo C_0 é a concentração de cromo (IV) inicial e C_f é a concentração de cromo (IV) final.

$$Remoção (\%) = \left(\frac{C_0 - C_f}{C_0} \right) \cdot 100 \quad (8)$$

Os cálculos das isotermas de adsorção foram obtidos por meio dos modelos de Langmuir e Freundlich. A Equação (9) apresenta o modelo de Langmuir.

$$\frac{1}{Q_e} = \frac{1}{Q_m} + \frac{1}{Q_m K_L C_e} \quad (9)$$

Sendo Q_m a constante de Langmuir (capacidade de adsorção teórica) (L/g), K_L é a constante relacionada a energia de adsorção (L/mg), C_e é a concentração do adsorbato no equilíbrio na solução (mg/L) e Q_e é a quantidade adsorvida por grama do adsorvente (mg/g). O modelo de Freundlich foi determinado pela Equação (10).

$$\ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} \ln C_f \quad (10)$$

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

O fenômeno da adsorção é altamente dependente da superfície de contato do material adsorvente e da disponibilidade de seus grupos funcionais para realizar as interações químicas com o adsorvato (SOUZA et al., 2012). Como adsorvente, foram utilizadas cascas de laranja do tipo *Hamlin*, processadas em duas granulometrias, 10 e 40 mesh. Foi possível avaliar que com a redução do diâmetro médio dos grânulos, há o aumento da área de contato, favorecendo o processo de adsorção.

As Tabelas (1 e 2) apresentam os resultados relacionados a remoção do Cr (VI) em função da massa de adsorvente com 10 e 40 mesh, respectivamente. Vale ressaltar que para cada mesh, foi analisado o comportamento da farinha natural e ativada. A ativação promove o aumento da área superficial do material.

10 mesh				
Massa (g)	FN		FA	
	Concentração de Cr (mg/L)	% de Decaimento de Cr	Concentração de Cr (mg/L)	% de Decaimento de Cr
0,5	9,07	47,6	7,41	57,2
1,0	9,08	47,5	6,72	61,2
1,5	9,87	42,9	6,82	60,6
2,0	10,75	37,9	6,74	61,0

Tabela 1. Resultados do processo de remoção do Cr (VI) em efluente sintético, por meio da farinha da casca de laranja com 10 mesh, sem ativação (FN) e ativada (FA).

Fonte: Próprios autores.

40 mesh				
Massa (g)	FN		FA	
	Concentração de Cr (mg/L)	% de Decaimento de Cr	Concentração de Cr (mg/L)	% de Decaimento de Cr
0,5	8,25	52,3	7,36	57,5
1,0	8,06	53,4	5,37	69,0
1,5	8,89	48,6	4,67	73,0
2,0	9,26	46,5	5,01	71,0

Tabela 2. Resultados do processo de remoção do Cr (VI) em efluente sintético, por meio da farinha da casca de laranja com 40 mesh, sem ativação (FN) e ativada (FA).

Fonte: Próprios autores.

De acordo com os resultados apresentados acima, observa-se que as farinhas de 10

e 40 meshes com e sem ativação, foram capazes de remover uma dada quantidade de cromo (VI) do efluente. Contudo, para os adsorventes com menor diâmetro médio (40 mesh), a remoção do metal foi maior. De acordo com o trabalho de Marin e colaboradores (2015), a adsorção de um corante, por meio do adsorvente comercial Dowex™ Optipore™ SD-2, com partícula de menor diâmetro, foi superior. Dessa forma, quanto menor o diâmetro médio das partículas, maior será a superfície de contato, favorecendo a adsorção. Comparando as farinhas ativadas para ambos os meshes, com a farinha natural, observa-se que para 2g de farinha, houve um aumento na remoção do cromo (34,6% (10 mesh) e 37,8% (40 mesh), indicando que a ativação ácida promoveu o aumento da área superficial (DE SOUZA et al., 2012; SILVA, 2014). Além disso, pode-se inferir que o material adsorvente possui grupos funcionais capazes de interagir com o metal (NASCIMENTO et al., 2019).

Outra variável estudada foi a massa do bioadsorvente, sendo 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 g, verificou-se que as massas de 0,5 g de bioadsorvente para FN e 1,0 g para FA, na granulometria de 10 mesh, apresentaram os melhores resultados. Já na granulometria de 40 mesh o melhor resultado para FN foi de 1,0 g de bioadsorvente e para FA foi de 1,5 g. Este é um resultado interessante, porque para FN a menor massa de adsorvente resultou em uma maior capacidade de adsorção, corroborando com resultados obtidos por Teixeira et al. (2021), que observou que nem sempre uma maior concentração de bioadsorvente promove uma maior remoção de metal do efluente, devido a saturação do sistema. Entretanto, outros trabalhos apresentam que dentre as concentrações testadas, as maiores massas foram as que promoveram reduções superiores de metal no efluente (OLIVEIRA, 2013; SILVA, 2014). Fato observado para FA na granulometria de maior adsorção 40 mesh, para as massas de 1,5 e 2,0 g. Desta forma, optou-se por realizar o experimento de cinética de adsorção com FA de 40 mesh e 2g de massa de bioadsorvente, devido a maior remoção do metal. De acordo com Oliveira (2013) e Silva (2014), concentrações mais elevadas de bioadsorvente, promovem um maior decaimento do metal a ser removido.

A cinética de adsorção é a representatividade da taxa de remoção do adsorvato na solução em relação ao tempo, determinando a velocidade do processo de adsorção (PINO, 2005). O estudo da cinética de adsorção do Cr (VI) foi realizado até 1440 minutos, com leituras a cada 15 minutos iniciais, uma com 900 minutos e outra última com 1440 minutos. A Figura (6) mostra a remoção de Cr (VI) ao longo do tempo, utilizando os modelos cinéticos de pseudoprimeira e pseudosegunda ordem. Observou-se que a maior adsorção de Cr (VI) ocorreu nos 30 primeiros minutos de reação que prosseguiu tendo um aumento de decaimento de cromo até o tempo de 150 minutos. Depois deste período não houve mais adsorção como mostrado nos tempos de coleta de 900 e 1440 minutos, o que sugere um fenômeno de dessorção ocorrido no meio reacional.

Ao analisar os dados, nota-se que até 150 minutos, os dois modelos cinéticos apresentaram o mesmo comportamento, porém, em 900 minutos e 1440 minutos, o comportamento se distingue, indicando que o modelo de pseudoprimeira ordem é o mais

eficiente, devido a melhor linearização e $R^2 = 0,97$, superior ao de pseudosegunda ordem ($R^2 = 0,81$).

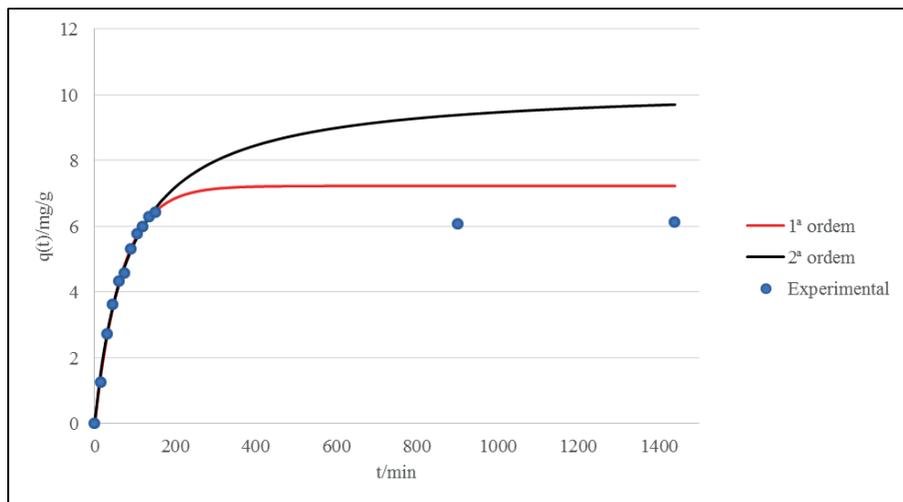


Figura 6. Cinética de decaimento da concentração de Cr (VI), realizada com a farinha ativada (FA) na concentração de 2,0 g. (Fonte: Próprios autores.)

Durante o experimento, observou-se que as amostras de 2,0 g de FA, de ambas as granulometrias, apresentaram uma certa viscosidade com o passar do tempo, isso se deve provavelmente ao fato de o material orgânico ter se intumescido com a água presente no meio e geleificado devido às fibras solúveis e os polissacarídeos presentes na casca da laranja (CLEMENTE et al., 2012). Este processo pode ter afetado o contato com os grupos funcionais do bioadsorvente e colaborado para o fenômeno de dessorção observado ao final da cinética.

De acordo com a cinética, a redução total de Cr (VI) foi de 74,40% até 150 minutos, indicando a viabilidade do processo de adsorção com o adsorvente oriundo da casca da laranja. De acordo com o trabalho de Carmo (2013), a remoção de cromo foi de 50% e 46% utilizando casca de coco e de jabuticaba, respectivamente. Teixeira e colaboradores (2021), obtiveram um resultado de aproximadamente 85,18%, utilizando biomassa proveniente de sementes de flamboyant.

Para avaliar a relação entre a superfície do adsorvente com o composto adsorvido no equilíbrio, foram determinadas as isotermas de adsorção a partir dos modelos de Langmuir e Freundlich (TEIXEIRA et al., 2021). As Figuras 7 e 8 apresentam os modelos linearizados de Langmuir e Freundlich para todas as massas de FA, em ambas as granulometrias. Através das equações obtidas o R^2 mostrou que o modelo de Freundlich foi o que melhor se ajustou por apresentar maior valor e consequentemente melhor linearização quando comparado ao modelo de Langmuir. O modelo de Langmuir, além de ter menor R^2 no comparativo das isotermas estudadas, apresentou resultados negativos no coeficiente

angular de sua reta, tanto para 10 quanto para 40 mesh, implicando em uma falha deste modelo matemático, aplicado aos dados obtidos no experimento, sendo assim, não pode ser utilizado. Esses resultados só seriam favoráveis caso C_e e q_e fossem diretamente proporcionais, ou seja, se quanto maior a concentração de Cr (VI) adsorvida por g de adsorvente maior o decaimento de Cr (VI).

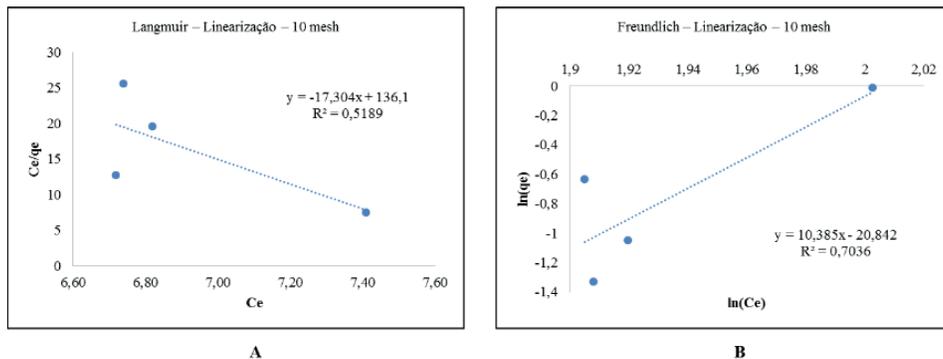


Figura 7. Isotherma de adsorção de Cr (VI) segundo o modelo de Langmuir para a farinha ativada de casca de laranja (FA) com granulometria de 10 mesh (A) e segundo o modelo de Freundlich para FA de 10 mesh (B). (Fonte: Próprios autores.)

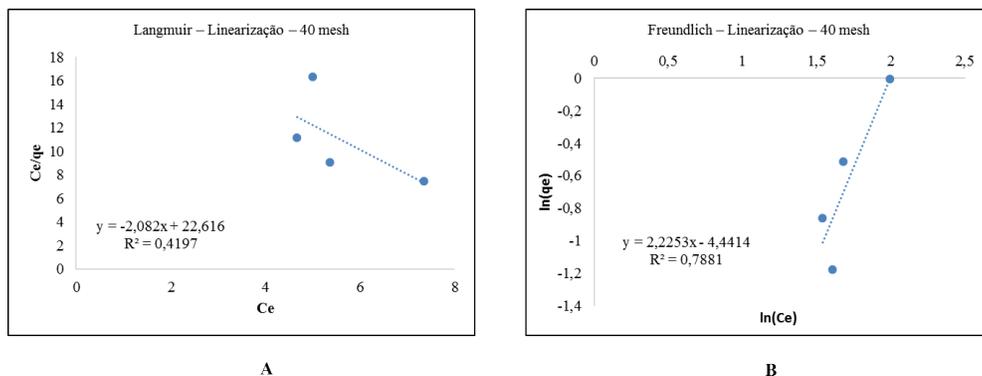


Figura 8. Isotherma de adsorção de Cr (VI) segundo o modelo de Langmuir para a farinha ativada de casca de laranja (FA) com granulometria de 40 mesh (A) e segundo o modelo de Freundlich para FA e 40 mesh (B). Fonte: Próprios autores.

Por meio da análise dos modelos matemáticos utilizados para as isothermas e para o estudo da cinética, percebeu-se que após o período de 150 minutos, acontece o fenômeno de dessorção no sistema. Este resultado, baseado no aspecto visual da alíquota que foi realizada a leitura espectrométrica, sugere uma possível ocorrência de alteração do material adsorvente, ocasionando em uma mudança das propriedades físico-químicas do meio, pois foi notado um aumento da viscosidade da solução com o decorrer da reação.

Após as análises da cinética, dos modelos aplicados para as isothermas e as alterações observadas no meio reacional, conclui-se que possivelmente a reação possa

ter alcançado o equilíbrio em um momento anterior a 1440 minutos, e que isso pode ter afetado o meio onde havia maior quantidade de bioadsorvente. Conforme mostrado nas isotermas de adsorção, o valor mais elevado que ocorreu com 0,5 g de adsorvente. No entanto, não exclui a hipótese que uma maior quantidade de bioadsorvente presente no meio pode favorecer uma maior redução de Cr (VI).

5 | CONCLUSÃO

A biomassa da casca da laranja apresenta capacidade adsorviva e a ativação química ácida, conferiu ao material um aumento na área superficial, melhorando a adsorção de Cr (VI). A redução máxima de Cr (VI) foi 74,4% em um tempo de 150 minutos para 2g de FA de 40 mesh, indicando que esse material pode ser utilizado como adsorvente, além de apresentar baixo custo, sendo considerado como resíduo industrial. Desta forma, a casca de laranja torna-se uma opção alternativa viável ao gerenciamento de resíduos de forma sustentável.

Deve-se levar em consideração o fato de que em 900 e 1440 minutos, foi observado um efeito de desadsorção do Cr (VI), provavelmente, isso ocorreu devido ao aumento da viscosidade, observada de forma visual. Portanto, sugere-se para trabalhos futuros, que sejam realizados experimentos de cinética em um menor intervalo de tempo, para investigar se o equilíbrio reacional em um menor tempo de interação e assim, otimizar as condições do método proposto.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade São Francisco por ceder seus laboratórios e a equipe técnica do laboratório, por todo suporte e auxílio necessário. À empresa do ramo alimentício de que doou as cascas de laranja utilizadas ao estudo. À Gabriela Ferri pelo auxílio quanto às informações sobre a laranja e, por fim, à empresa SurTec do Brasil, que permitiu realizar as análises em seu equipamento MP-AES.

REFERÊNCIAS

ANNADURAI, A., Juang, R.S., Lee, D.J., 2003, **Adsorption of heavy metals from water using banana and orange peels**, Water Science and Technology, Oxford, Vol. 47, pp. 185-190.

ANTONETTI, E. et al., 2021, **Análise dos processos de cromagem, niquelagem, zincagem e estanhagem**. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 7, n. 10, p. 96828-96839.

CAVALCANTE JR, C. L., 1998, **Separação de Misturas por Adsorção: dos Fundamentos ao Processamento em Escala Comercial**. Tese submetida ao concurso público para Professor Titular do Departamento de Engenharia Química da UFC – Universidade Federal do Ceará, T CAVA Sepa R 0001, , 188p

CLEMENTE, E., Flores, A. C., Rosa, C. I. L. F., & Oliveira, D. M., 2012. **Características da farinha de resíduos do processamento de laranja**. RECEN-Revista Ciências Exatas e Naturais, 14(2), 257-269.

COSTA, F.; Silva, A.; Carvalho, E.; Silva, V.; Lima, L., 2012, **Uso da casca da banana como bioadsorvente em leito diferencial na adsorção de compostos orgânicos**. Encontro Nacional de Ciência, Educação e Tecnologia, p.1-8.

DA ROSA, M. C., 2019. **Influência da temperatura e da composição química do banho de cromo sobre as propriedades do revestimento de cromo duro**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

DE SOUZA, J. V. T. M.; Massocatto, C. L.; Diniz, K. M.; Tarley, C. R. T.; Caetano, J.; Dragunski, D. C., 2012. **Adsorção de cromo (III) por resíduos de laranja in natura e quimicamente modificados**. v. 33, n. 1, p. 03-16.

DO CARMO, T. S., 2013. "Biossorção de cromo hexavalente em cascas de frutas". Tese (Mestrado), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil.

DOS SANTOS. Cruz, W. R., & Lima, Á. S., 2016. **Remoção De Íons De Bário Em Meio Aquoso Utilizando Casca De Laranja Como Adsorvente**. Tese (Mestrado), Universidade Tiradentes, Aracaju, Brasil.

DUBPERNELL, G., 2013. **Electrodeposition of chromium from chromic acid solutions**. Elsevier.

GONÇALVES, R., Medeiros, I. D., Gomes, K. C., Oliveira, A., & Galvão, G. (2019). **Efeitos Do Pós-Tratamento Térmico Em Superfícies Seletivas À Base De Óxidos De Cromo Obtidas Pelo Processo De Eletrodeposição**. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, 16(29).

HAMADI, N. K. et al., 2001. **Adsorption kinetics for the removal of chromium (VI) from aqueous solution by adsorbents derived from used tyres and sawdust**. Chemical Engineering Journal, v. 84, n. 2, p. 95-105.

INGLEZAKIS, V. J.; Fyrillas, M. M.; Park, J., 2018. **Variable diffusivity homogeneous surface diffusion model and analysis of merits and fallacies of simplified adsorption kinetics equations**. Journal of hazardous materials, v. 367, n. 5, p. 224-245.

KURNIAWAN, T. A.; Chan, G. Y. S.; Lo, W. H.; Babel, S., 2006. **Comparisons of low-cost adsorbents for treating wastewaters laden with heavy metals**. Science of the Total Environment, Amsterdam, v. 366, p. 409-426.

LUZ, A. B.; Sampaio, J. A.; França, S. C. A., 2010. **Tratamento de Minérios**. 5 ed. Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia Mineral, p.946.

MARTINS, W. A.; De Oliveira, A. M. B. M.; De Moraes, C. E. P.; De Oliveira Coelho, L. F.; De Medeiros, J. F., 2015. **Reaproveitamento de resíduos agroindustriais de casca banana para tratamento de efluentes**. Pombal - PB: Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento, v.10, n.1, p.96-102.

Marin, P., Borba, C. E., Módenes, A. N., de Oliveira, S. P. D., Figueiredo, L. S., & Passaia, N., 2015. **Avaliação do efeito da temperatura, ph e granulometria do adsorvente na adsorção do corante azul reativo 5g**. Engvista. 17(1), 59-68.

MELLA, B., 2013. **Remoção de cromo de banhos residuais de curtimento através de precipitação química e eletrocoagulação**. 106f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.

Montanher, C. C., de Camargo Coradin, D., & Fontoura-da-Silva, S. E. (2007). **Avaliação parasitológica em alfaces (*Lactuca sativa*) comercializadas em restaurantes self-service por quilo, da cidade de Curitiba, Paraná, Brasil**. Estudos de Biologia, 29(66).

MOREIRA, D., 2010. **Desenvolvimento de Adsorventes Naturais para Tratamento de Efluentes de Galvanoplastia**. 79f. Dissertação (Mestrado), Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Brasil.

MOREIRA, S. A., 2008. **Adsorção de íons metálicos de efluente aquoso usando bagaço do pedúnculo de caju: estudo de batelada e coluna de leito fixo**. 151 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

NASCIMENTO, J. D. L.; Magalhães, G. A.; Portela, R. R.; Sousa, V. D. O.; Buarque, P. M. C.; Oliveira, M. D. S.; Moura, C. P. D., 2019. **Aplicação de processo adsorativo para dessulfurização de combustíveis utilizando fibra de coco como adsorvente**. Matéria (Rio de Janeiro), v. 24, 2019.

NASCIMENTO, R. F. et al., 2014. **ADSORÇÃO: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. Fortaleza: Imprensa Universitária. 256 p.

OLIVEIRA, R. F., 2013. **Estudo da adsorção de cromo hexavalente em altas concentrações**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

PINO, G.A.H., 2005. **Biossorção de metais pesados utilizando pó da casca de coco verde (cocos nucifera)**. DISSERTAÇÃO (MESTRADO) – PUC-RIO. RIO DE JANEIRO.

PONTES, H. de A., 2000. **Tratamento líquido de efluentes de galvanoplastia**. Paraná: Departamento de Engenharia Química.

PORPINO, KKP., 2009. **Biossorção de ferro (II) por casca de caranguejo**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brasil.

RAMALHO, R., 2012. **Introduction to wastewater treatment processes**. Elsevier.

SALLET, K. T.; Chiquim, M. S.; Abaide, E. R., 2018. **Avaliação da capacidade de adsorção de corante azul de metileno utilizando casca de banana in natura como biossorvente**. 12º Encontro Brasileiro sobre Adsorção, Gramado-RS.

SILVA, N. C. R., 2014. **Utilização da casca de banana como biossorvente para a adsorção de chumbo (II) em solução aquosa**. 42f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, Brasil.

TEIXEIRA, T. M.; Landuci, C. C.; Koga, R. Y.; Da Costa, F. B. G. R.; Vicente, J. G. P., 2021. **Bioadsorção do cromo hexavalente através da biomassa da semente de flamboyant**. Journal of Innovation and Science: research and application, v. 1, n. 1, p.1- 9.

UCUN, H.; Bayhana, Y. K.; Kaya, Y.; Cakici, A.; Algur, O. F., 2003. **Biosorption of lead (II) from aqueous solution by cone biomass of Pinus sylvestris**. Desalination, v. 154, n. 3, p. 233-238.

VIEIRA, R. H.; Volesky, B., 2000. "Biosorption: a solution to pollution?" .International microbiology, v. 3, n. 1, p. 17-24.

WIEDERHOLT, W., 1965. **The Chemical Surface Treatment of Metals**. In: R. Draper, Editor, pp. 145–179. Teddington.

XAVIER, L. O. et al., 2016. **Avaliação da farinha da casca de banana como adsorvente para Al³⁺**. Instituto Federal Santa Catarina, Santa Catarina.

ANÁLISE DE AÇÕES DE SEGURANÇA EM REATORES NUCLEARES DO TIPO RBMK

Data de submissão: 28/04/2023

Data de aceite: 02/06/2023

Cláudio Daniel Molinari

Universidade São Francisco
Bragança Paulista - SP

Gabriel Ítalo Rodrigues Mendes

Universidade São Francisco
Bragança Paulista - SP

Monica Tais Siqueira D'Amelio Felipe

Universidade São Francisco
Bragança Paulista - SP
<https://lattes.cnpq.br/0347184334616712>

RESUMO: O presente artigo tem por finalidade ressaltar a importância do estudo de medidas de segurança para reatores nucleares, a partir de um estudo de caso, tendo como foco a prevenção de catástrofes com vazamento de material radioativo, que remete a acidentes históricos, como o de Chernobyl. O impacto deste tipo de material seja em solo, água ou pelo ar é alto e de grande escala, provocando problemas de mutação na flora, fauna e, também, nos seres humanos, o que muitas vezes a alta exposição ocasiona a morte do indivíduo. Para uma execução sem complicações, o controle da reação de fissão nuclear no elemento urânio precisa

ser controlada evitando que o descontrole leve a um superaquecimento do reator e, conseqüentemente, a explosão. Este trabalho mostrou o funcionamento e os motivos do acidente do reator nuclear de Chernobyl e comparou com os utilizados atualmente.

PALAVRAS-CHAVES: Reator nuclear; Chernobyl; Segurança nuclear.

ANALYSIS OF SAFETY ACTIONS IN RBMK NUCLEAR REACTORS

ABSTRACT: The purpose of this article is to emphasize the importance of studying safety measures for nuclear reactors, based on a case study, focusing on the prevention of catastrophes with leakage of radioactive material, which refers to historical accidents, such as that of Chernobyl. The impact of this type of material, whether on soil, water or through the air, is high and large-scale, causing problems of mutation in flora, fauna and also in humans, which often causes the death of the individual due to high exposure. For an uncomplicated execution, the control of the nuclear fission reaction in the uranium element needs to be controlled, preventing the lack of control from leading to overheating of the reactor and,

consequently, the explosion. This work showed the operation and reasons for the accident of the nuclear reactor at Chernobyl and compared it with those currently used.

KEYWORDS: Nuclear reactor; Chernobyl; nuclear safety.

1 | INTRODUÇÃO

A energia proveniente da queima de derivados do petróleo, como a gasolina, diesel entre outros, causa grandes problemas ao meio ambiente, além de não renovável. Houve então investimento no desenvolvimento de alternativas energéticas, como as energias hidrelétricas, eólicas, geotérmicas, solares e energia nuclear. Os países europeus, principalmente, a parte ocidental, por se tratar de uma região desfavorável para as hidrelétricas e geotérmicas, têm investido na energia nuclear, pois é isenta na geração de GEE. A radiação proveniente deste processo apresenta outros benefícios, como a utilização em aparelhos médicos como o raio x, ultrassom, ressonância magnética, tomografia computadorizada, além da produção de isótopos que auxiliam no tratamento do câncer (radiofármacos). Ademais as estruturas de uma usina nuclear podem ser instaladas facilmente em áreas menores e evitando devastação do meio ambiente (EDWARDS et al., 2016).

Dentre os problemas deste processo de geração de energia, há a produção de resíduos radioativos, chegando a acumular em um ano 30 toneladas (urânio infértil, mas ativo), além do risco de acidentes. Um exemplo é o que aconteceu no reator nuclear de Chernobyl na Ucrânia, que teve uma explosão devido a uma falha no sistema de resfriamento causando um superaquecimento, o que provocou sua explosão. Esta liberou material radioativo para a atmosfera atingindo cidades da região e até sendo encontrado vestígios em alguns países vizinhos.

Neste âmbito, este artigo fez uma revisão sobre as condições de operação do reator nuclear de Chernobyl que provocou o acidente, e comparou com as novas condições de operação dos reatores atuais e os métodos de segurança.

2 | METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho consistiu inicialmente em um estudo teórico sobre reatores nucleares, o qual teve por base artigos publicados por Institutos Educacionais, como o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), empresas e especialista em usina nucleares, e aqueles disponíveis em plataformas digitais como o Google Acadêmico e o Research Gate. Todas as pesquisas realizadas utilizaram palavras-chaves reatores, cinética, balanço de massa e energia, Chernobyl e segurança nuclear. O estudo foi dividido em quatro etapas: estudo teórico sobre reatores nucleares do tipo RBMK-1000 (reator canalizado de alta potência), a tragédia de Chernobyl, estudo da cinética de reação

nuclear e o estudo da segurança em reatores nucleares para que se pudesse contribuir cientificamente sobre o tema.

3 | RESULTADO E DISCUSSÃO

3.1 A Usina Nuclear

A usina nuclear é a instalação onde será aplicada toda a reação, ou seja, ela é composta do elemento combustível, barras de controle, pressurizador, vaso de pressão, condensador, bombas elétricas, gerador de vapor e um envoltório de concreto para abrigar o reator. O reator nuclear é o equipamento em que ocorre a reação de fissão nuclear em cadeia. Existem reatores nucleares com diversas finalidades e funções, como reatores de água leve; reator de água pressurizada (PWR) que consiste em utilizar a água na forma de resfriamento e também de moderador; reator de água fervente (BWR) que funciona exatamente como o PWR, porém, com apenas um circuito que a água está em menor pressão; reator de água moderado por grafite (LWGR) que possui mesmo funcionamento das demais, porém, seu processo de resfriamento é através da água com moderador feito a grafite (PERROTA, 1999). Já os reatores do modelo RBMK consistem em utilizar canais pressurizados e refrigerados à água com canais individuais de combustível passando pelos blocos de grafites presentes no processo, ele utilizava uma combinação de grafite como moderador, água como refrigerante e urânio enriquecido como combustível, sua principal função era a produção de plutônio e como subproduto a eletricidade. essa combinação é exclusiva para esse modelo de reator (CHERNOUSENKO, 1991). A tecnologia utilizada no RBMK tinha sua vantagem de permitir a manutenção do reator sem que precisasse desligá-lo.

3.2 A Usina Nuclear de Chernobyl

A usina nuclear de Vladimir Ivich Lenin/V.I.Lenin foi construída estrategicamente a 183 Km de Kiev e 20 Km de Chernobyl, mais precisamente na cidade de Pripyat, para abastecer energeticamente os polos industriais e grandes centros e, conseqüentemente, a pequena civilização de 20 mil habitantes formada pelos trabalhadores da usina, além de parte de Kiev ao qual era comercializada pela empresa Comecon. Ficou conhecida como Usina nuclear de Chernobyl por ser a cidade mais próxima da usina. Funcionava com quatro reatores RBMK, sendo que cada reator tinha a capacidade produtiva de 1000 megawatts (MW), totalizando em conjunto cerca de 4000 MW, uma contribuição +/- 10% para o país.

O modelo RBMK foi escolhido por ter sido desenvolvido por um soviético e por possuir um moderador de grafite (material que abaixa a velocidade do nêutron aumentando assim a probabilidade de colisão com outros núcleos) que, além de ser ótimo na função, possui um

baixo valor agregado. Com seu uso, os soviéticos descobriram que com o enriquecimento do urânio na produção de energia elétrica o subproduto gerado é o plutônio que pode ser utilizado na criação de bombas nucleares. Acrescido a todas essas características, esse tipo de reator tem a vantagem de não precisar ser desligado para que se troque o combustível. Esta alta aplicabilidade permitiu que até 28 usinas com mesma formatação produtiva fossem usadas no território em 1986 até 2000.

Para um reator nuclear, o estudo da cinética é muito importante, uma vez que é uma reação muito exotérmica. O conhecimento da cinética permite que se controle a velocidade com que a reação ocorrerá de modo a ser estável durante o processo de emissão e absorção de nêutrons. Emissão é o choque do nêutron com outro núcleo, que então emite outro nêutron e que torna esse processo em cadeia, diferentemente da absorção que é a retirada desses nêutrons pelas barras de controle e líquido refrigerante.

Segundo Fonseca (2009), a reação nuclear pode ser caracterizada pela sua criticidade, possuindo três classificações: crítica, subcrítica e supercrítica, isso tudo está relacionado diretamente com a produção de nêutrons. A reação crítica acontece quando se atinge o equilíbrio de nêutrons, onde a criticalidade do reator existe em qualquer faixa de operação, porém a intensidade do fluxo neutrônico determina sua potência; a reação subcrítica sucede quando a produção de nêutrons é inferior à sua absorção juntamente com as fugas, e neste caso a reação nuclear não permanece sustentável ao longo do tempo; já a reação supercrítica ocorre quando a produção de nêutrons é superior a absorção e fugas, ocasionando o aumento da potência do reator, e neste caso, os dispositivos intrínsecos de controle deverão entrar em atuação no instante apropriado.

Para Galvão (2017), é vital conhecer a reatividade dentro do reator para que se evite situações emergenciais, pois mesmo sabendo a criticidade em que seu reator opera, isso não garante que essa se manterá assim, pois as interferências internas e externas do reator podem alterá-la. Por isso os sensores devem estar calibrados e devidamente aferido para que se tenha o controle: de quanto do urânio já foi fissionado, temperatura do líquido refrigerante e concentração de boro nele, o quanto as barras de controle estão retirando de nêutrons, quais produtos estão sendo formados e principalmente o xenônio e temperatura do combustível. A reação em cadeia é o caminho crítico deste tipo de produção térmica, pois em poucos minutos algo que parecia rotineiro se torna uma situação emergencial. Entretanto, a liberação desordenada de fissão nucleofílica urânica de calor é controlada crucialmente pela inserção de barras de controle e a concentração de boro na água que faz a refrigeração do reator.

Barras de controles são as principais medidas de segurança de qualquer reator, elas são compostas de materiais que possuem a capacidade de absorver nêutrons para diminuir a fissão nuclear ou cessá-la, dependendo de quantas barras forem inseridas. Os principais elementos químicos constituintes dessa liga metálica são: Prata (Ag), Índio (In), Cádmio (Cd), Zircônio (Zr), Cerâmicas e um adsorvente que pode ser utilizado na forma de ácido,

normalmente o Boro (GALVÃO, 2017).

O controle químico é feito de forma volumétrica substituindo parte do circuito refrigerante composto de boro por água desmineralizada, essa ação é tomada fazendo com que a interação de reatividade seja quase nula, no período em que o urânio está sendo consumido e sintetizando subprodutos radioativos sejam eles internamente ou externamente. Alguns desses subprodutos são: Plutônio (Pu), Netúnio (Nt), Americício (Am), Cúrio (Cm), que por serem formados a partir do urânio eles são descritos como elementos transurânicos. Para não se contaminarem dentro do núcleo do reator, eles são retirados por meio de dispositivos que compõem o próprio sistema de segurança. Os revestimentos das barras de controle e das pastilhas que leva as varetas radioativas possuem cerâmicas e liga à base de zircônio denominada zircaloy que retiram eles separadamente (GALVÃO, 2017; SCHULTZET et al., 2014).

Para Schultz et al. (2014), elementos de núcleo leve são aqueles que sua massa atômica (A) varia numa faixa de 80 a 160 e durante a linha produtiva do reator formam-se diversos elementos de núcleos leves. A maioria dos produtos de fissão leve geram atrito ao se colidirem nos nêutrons de fissão e, portanto, isso deve ser considerado e balanceado na reação evitando maiores problemas térmicos.

Juntamente com o urânio, outro componente importante para o funcionamento de reatores nucleares são os nêutrons. Por definição, são pequenas partículas isentas de carga elétrica e que possuem massa. Devido a essas características peculiares a interação em matéria é nucleofílica, podendo ser de dois tipos: espalhamento elástico e inelástico ou absorção. Espalhamento é uma espécie de efeito elástico, no qual somente a energia cinética é transferida entre os núcleos, não tendo nenhuma modificação estrutural, diferente do inelástico que, além de transferir energia cinética a uma modificação estrutural momentânea, devido à força do choque, arranca um nêutron liberando radiação gama no retorno da sua camada de estabilidade (REZENDE, 2009).

A absorção possui dois processos: o de captura radioativa e o preferencial. No primeiro, é o caminho em que se deseja diminuir, pois é onde o núcleo excitado pelo nêutron gera um salto energético liberando fóton é transurânico. O segundo, é o caminho da fissão nuclear onde ao se chocar com um nêutron há a divisão para núcleos menores e cada novo núcleo libera um neutro dando início ao processo de reação em cadeia. Por se tratar de um processo forçado em pressão e temperatura controlados há uma grande quantidade de energia em forma de calor liberada que futuramente é convertida em energia elétrica.

Dentro da análise da cinética há muitos parâmetros, um imprescindível se refere à vida útil do nêutron imediata, a definição para este termo se refere que quando dentro de um reator o tempo médio é calculado entre a emissão de nêutrons pela fissão nuclear do urânio até a sua absorção final no reator. Em um reator térmico esse tempo é somado ao tempo médio de desaceleração de nêutron, que é o tempo para transformação em energia térmica, e ao tempo médio de difusão, que é o tempo para difusão da energia térmica até o

ponto de absorção. Em todos os reatores térmicos, o tempo de difusão é muito maior que o tempo de desaceleração, em torno de 10 segundos, o que torna o tempo de vida imediata dos nêutrons bem próximo ao próprio tempo de difusão (BENNET E THOMSON, 1989).

A reação exotérmica liberada pela fissão é dividida em dois tipos diferentes de nêutrons: rápidos e atrasados. Os rápidos são os que dão início à reação em cadeia que ao se chocarem com os núcleos pesados lhe subdividem e os sistemas de segurança são retirados ao final. Os nêutrons atrasados são emitidos a partir do decaimento dos subprodutos urânicos e por terem menor velocidade a taxa de colisão e reação é maior não podendo ser desconsiderado na equação (DUDERSTADT E HAMILTON, 1976).

Diferentemente do método acima descrito, o método da cinética pontual é amplamente utilizado nas simulações de modelagem de fluxo neutrônico que considera que independentemente da localização espacial, a variação ocorre somente na amplitude. Fundamentado nessa teoria, o modelo matemático são as equações diferenciais como a apresentada acima, e quanto mais preciso e assertivo forem os cálculos, melhor se tem uma previsão da potência que seu reator desempenha e quanto tempo dependerá. Este controle é de suma importância, pois se conhecido os parâmetros, é possível fazer intervenções na produção energética antecedendo riscos, o que contribui para mais bem medidas de segurança (VOESE ET AL, 2018).

3.3 A Tragédia de Chernobyl

A usina de Chernobyl era composta por quatro reatores do modelo RBMK-1000. No dia 26 de abril de 1986, o quarto reator precisava passar por uma troca de combustível e manutenção anual por um pedido do comitê estatal. Com isso, testes foram feitos para descobrir uma forma de manter as bombas elétricas funcionando caso houvesse uma falha na energia até que o gerador fosse ligado. As bombas tinham o objetivo de levar água fria para o núcleo do reator e assim impedir um eventual aquecimento e possível explosão. O reator operava em uma potência de 3.200 MW (Megawatts), porém, para realização dos testes ele precisava estar na margem de segurança, que era de 700 MW a 1.000MW. Por ordem do engenheiro chefe que era responsável pelo processo, foi pedido que o reator chegasse a uma potência de 200MW (ESTEVES, 2013).

Os operadores iniciaram os testes e assim o sistema de turbina foi desligado e a bomba de água de resfriamento desativada. À medida que a água que passa pelo núcleo do reator diminui, a reatividade aumenta, a troca de calor aumenta e a água restante no reator se torna vapor. O excesso de vapor cria um coeficiente de vazio positivo que ocasiona no aumento ainda maior da reatividade e da potência do reator (CHERNOBYL, 2019). Durante a operação ocorre a produção de Xenônio (absorvedor de nêutrons) que em altas temperaturas não é prejudicial por possuir nêutrons suficientes para ele se estabilizar, porém, como o reator estava operando em baixa potência, a temperatura acabou ficando mais baixa e assim não tinha nêutrons suficientes para estabilização, gerando um acúmulo

do elemento que resultou num envenenamento do reator (CHERNOUSENKO, 1991).

A potência do reator despencou e obrigou os trabalhadores a aumentarem, porém, o reator estava instável com seu funcionamento em baixa potência, informação desconhecida pelos operadores. Visto que a situação estava crítica, o engenheiro responsável ordenou que fosse apertado o botão emergencial AZ-5 que baixaria todas as hastes de controle e pararia o reator. Entretanto, como o calor no interior do reator estava intenso, as barras de combustíveis foram derretidas e impediram que as hastes de controle descessem, com isso elas foram soltas e como eram compostas de boro que servia para absorver os nêutrons liberados e suas pontas eram feitas de grafite, o resultado foi em uma aceleração na reação em vez da diminuição. (CHERNOUSENKO, 1991) e (INTERNATIONAL AGENCY OF ENERGY ATOMIC, 2003-2005).

A potência do reator disparou e com isso ocorreu um aumento na pressão e fez com que ocorresse uma reação de elementos combustíveis com o vapor, gerando o hidrogênio. O teto do reator possuía já alguns danos causados, com isso, permitiu a entrada de oxigênio que ao se misturar com o hidrogênio e grafite se tornou explosiva. O hidrogênio acumulado gerou várias outras explosões, mas de forma incendiária, isso fez com que ocorresse a liberação de combustível, grafite e gases radioativos para atmosfera. Esses gases liberados vazaram por cerca de 10 dias (CHERNOUSENKO, 1991).

O negligenciamento e a violação de várias medidas de segurança pelos operadores e supervisores preconizadas para que se evite o risco de um superaquecimento ou explosão, durante um teste para saber a efetividade das bombas de resfriamento caso a queda de energia acontecesse, desencadeou uma tragédia com danos diretos e colaterais inimagináveis, o que ficou conhecido como a cidade fantasma após a explosão do reator nº4 de Chernobyl em 1986, deixando inabitável a região (HAWKES; LEIGH; MCKIE ET AL., 1986).

A primeira e principal preocupação após o acidente foi tentar conter a radiação lançada na atmosfera e impedir que ela se espalhasse. Segundo Hawkes (1986), a equipe meteorológica registrou que as nuvens presentes no local tiveram um aumento de radiação e estavam indo em direção à parte oeste e leste da Europa. Uma usina nuclear instalada a 1600 km da Suécia continha cerca de 700 colaboradores que registraram um acúmulo de radiação em suas roupas um dia após o acidente, então, iniciou uma busca de informações para saber a real situação. França e Estados Unidos, sabendo da tragédia, utilizaram satélites de alta resolução para identificar os danos causados.

3.4 Evolução da Segurança dos Reatores

Desde que a usina foi desativada, diversas melhorias foram aplicadas nas unidades RBMK para eliminar as deficiências persistentes, as melhorias consistem na redução do coeficiente de vazio de reatividade; melhoria do sistema de proteção de emergência para se tornar mais eficaz; implantação de programas de cálculo para fornecer o número efetivo

de barras de controle restantes no núcleo e sendo exibido na sala de controle para os engenheiros responsáveis, o aumento do espaçamento da estrutura de grafite no núcleo e a melhoria mais importante foi a proibição de desligamento do sistema de segurança manualmente. Todas essas adaptações passaram a ser testadas e implementadas nas usinas de Ignalina e Leningrado, e aos poucos os modelos RBMK foram substituídos por MKER-1000, que seria o modelo anterior com as melhorias aplicadas (WORD NUCLEAR ORGANIZATION, 2022). No atual momento, os reatores possuem proteções mais reforçadas contra fenômenos naturais ou colisão de projéteis (PINGUELLI ROSA, 1980).

O reator mais utilizado tanto por praticidade no processo, quanto pela segurança é o reator PWR que atualmente conta com mais de 230 reatores nucleares no mundo. Sua principal característica que se diferencia dentre os outros modelos é o uso de água sob alta pressão no circuito primário para evitar que ferva. O núcleo do reator contém barras de combustível nuclear. Uma reação nuclear ocorre dentro do reator, produzindo muito calor e por razões de segurança, o PWR não pode exceder uma certa temperatura para evitar o derretimento. Portanto, as barras de combustível devem ser resfriadas, seu resfriamento é realizado pela circulação de água através de um conjunto de bombas. A troca de calor entre os circuitos primário e secundário deve ocorrer sem mistura de água, porque água no circuito primário é radioativa.

Existem alguns fatores que fazem com que o reator PWR seja melhor que o RBMK, desde sua estrutura e segurança, são eles:

- O PWR utiliza água como moderador e como meio de resfriamento também. Já o RBMK utiliza grafite como moderador e água como resfriamento, dificultando um pouco mais o processo e menos seguro;
- A inserção de hastes de controle em um reator RBMK leva cerca de 30 segundos, já no PWR o tempo é de 1 segundo;
- O fator do RBMK possuir o coeficiente de vazio positivo torna ele um reator instável em certas condições;
- PWR foi projeto com o intuito de agregar a sociedade, já o RBMK surgiu dos soviéticos com o intuito de produzir plutônio, porém, conseguiram também a geração de energia elétrica;
- Todos os reatores do modelo PWR possuem uma contenção de acordo com as normas estabelecidas pelo comitê nacional de energia nuclear (CNEN), ao redor do reator para conter a radiação liberada. Já nos modelos RBMK essa norma não era respeitada.
- Existe uma adesão no mundo de aproximadamente 64%;
- O PWR possui isolamento físico para cada fonte sendo elas: gerador de vapor primário, gerador de vapor secundário e refrigeração, assim a fissão nuclear é contida, evitando danos do elemento combustível;

- A potência da usina pode ser aumentada através do aumento da área dos geradores de vapor com o líquido refrigerante.
- Os reatores PWR se tornam uma opção mais viável e segura pelo fato de todos os problemas citados não funcionarem nesse sistema.

Diante do assunto abordado, fica evidente que as medidas de segurança são de extrema importância e devem ser seguidas rigidamente. Um dos pontos vistos em Chernobyl, foi as atitudes tomadas pelo engenheiro superior responsável pelo andamento da produção. O sistema de segurança foi desligado manualmente para que fosse possível a realização de testes com o reator em funcionamento. Este ato já era considerado perigoso, pois o reator ficava instável e foi o que aconteceu. Ocorreu o aquecimento no núcleo, não existia resfriamento uma vez que a segurança estava inativa e com isso, aconteceu a explosão e liberação da radiação para atmosfera. O exterior do reator foi um dos motivos que gerou discussão, pois não havia contenção robusta para segurar qualquer tipo de dano seja por fenômenos naturais ou causas por reações, o recomendado de acordo com a comitê de energia nuclear era uma estrutura de concreto com camadas de 3m de espessura, com isso, evitaria que causasse um dano e permitindo a saída dos resíduos para atmosfera.

O acidente mostrou que a modelagem de um sistema eficiente para operação energética em usina nuclear onde se opera precisa ter estabilidade e controle tanto do combustível quanto da cinética neutrônica, a qual é primordial na atuação de todas as medidas de segurança. A modelagem da cinética pontual ou gráfica ensina e indica as melhores interações entre combustível e modeladores, assim como reduzir a interação de nêutrons atrasados que, se desconsiderados, podem superaquecer o reator. A aplicabilidade teórica de modelos matemáticos permite uma melhor assertividade tanto nas melhorias quanto em montar e operar usinas nucleares independentemente do reator, pois a cinética não muda.

3.5 Segurança dos Reatores Nucleares

A segurança dos reatores nucleares é um dos pontos mais importantes e trabalhados durante sua construção. Toda possibilidade de acidente é analisada e gerada uma solução, tanto humana, quanto em sistemas automáticos. Quando se pensa em construir um reator nuclear, pontos importantes são considerados, como o local que será ocupado, pois é preciso prever possíveis danos ao meio ambiente e à região, fenômenos naturais como tempestades, terremotos e além de possíveis quedas de aviões. Essas são situações que alteram a estratégia feita através de cálculos das estruturas para realizar a construção.

Durante todo o processo de construção existe uma fiscalização forte para cada passo, sendo analisadas as estruturas, tecnologia e os componentes de segurança instalados em cada processo. Cada operador passa por um treinamento de pelo menos 2 ou 3 anos para estar preparado para evidentes problemas na operação do reator, sendo realizadas diversas simulações com possíveis riscos.

As barreiras feitas durante sua construção são chamadas de sistemas passivos de segurança, sendo elaboradas para que evite a exposição da radiação para atmosfera, mas caso ocorra alguma falha, existem sistemas que são criados para operar e fazer com que o processo do reator seja interrompido. Durante um período de 41 anos ocorreram apenas três acidentes de grandes proporções envolvendo reatores nucleares, o primeiro foi em 28 março de 1979, Three-Mile Island que se localiza nos Estados Unidos; segundo foi em Chernobyl localizado na Ucrânia em fevereiro de 1986 e o terceiro em março de 2011 num reator nuclear em Fukushima no Japão.

Segundo a Associação Mundial de operações nucleares, desde os incidentes das décadas de 80 e 90 houve grande evolução na segurança operacional de usinas nucleares.

4 | CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi o estudo das ações de segurança de um reator nuclear do tipo RBMK, o mesmo que teve o incidente em Chernobyl.

Com a pesquisa teórica realizada, verificou-se que há a necessidade de suprir a demanda de energia elétrica e por isso várias fontes energéticas foram sendo utilizadas e aprimoradas para ter maior rendimento como: hidroelétricas, eólica, petróleo, geotérmica, nuclear etc. A produção a partir de usinas nucleares demandou regulamentações e cuidados maiores devido aos combustíveis por serem radioativos, que conseqüentemente são nocivos aos seres humanos e ao meio ambiente, principalmente após os vários incidentes, como o de Chernobyl.

O estudo mostrou que a principal problemática ocorre quando se tem a fissão do urânio, processo ao qual ocorre em cadeia liberando muita energia na forma de calor, mal controlada, seja na troca de calor ou na paralisação da reação entre os nêutrons e os núcleos, uma vez que há formação e interação entre os subprodutos ali presentes elevando a pressão. Se acumulado houver o contato com o oxigênio pode levar a explosões, como ocorreu a catástrofe na usina de Chernobyl.

Referente a este acidente, concluiu-se que é de extrema importância seguir protocolos de operação e acidentes, uma vez que essa catástrofe se deu pela má tomada de decisões do engenheiro responsável. Ademais, mostrou que os limites de segurança previstos pelos projetistas são importantes e verídicos.

Somente após o acidente, surgiu a preocupação sobre a segurança do reator. O reator modelo RBMK recebeu diversas melhorias internas e externas como melhoria do sistema de proteção de emergência para se tornar mais eficaz; implantação de programas de cálculo para fornecer o número efetivo de barras de controle restantes no núcleo e sendo exibido na sala de controle para os engenheiros responsáveis, aumento do espaçamento da estrutura de grafite no núcleo e a estrutura externa precisou ter uma parede de concreto com pelo menos 3m de espessura. Verificou-se também a importância do treinamento

dos operadores dos reatores, tanto na parte computacional quanto na operacional. Isso proporcionou confiabilidade na operação das usinas nucleares atuais. Surgiu então um novo modelo, o PWR, considerado o mais seguro e tecnológico.

A intensificação de melhoria nos modelos de reatores RBMK e o desenvolvimento de novos reatores como o PWR preconizavam exclusivamente primeiro a segurança, seguido de maior eficiência energética e através disso o estudo da cinética teórico teve maior desenvoltura e compreensão. A simulação antecipada do comportamento dos nêutrons a partir do bombardeamento em outros núcleos e como a reação em cadeia atua, sendo ela o caminho crítico, permitiu ampliar e inserir melhores moduladores de nêutrons como a água, passando a aumentar a quantidade de barras de controles que são varetas. Estas agora possuem composição de elementos capazes de absorver nêutrons e, conseqüentemente, parar a reação em cadeia. Todas essas medidas de segurança foram aprimoradas e inseridas a partir da compreensão de como o combustível uriféero reage em altas pressões gerando energia sem que haja qualquer descontrolo.

Devido à alta aplicabilidade da energia nuclear tanto para montagem de equipamentos como raios X, ressonância, remédios de tratamentos de câncer comumente chamados de radiofármacos, geração de energia além do desenvolvimento nuclear, é uma das energias mais utilizadas no mundo.

Concluiu-se com este trabalho que os acidentes nucleares, mesmo afetando milhares de pessoas, permitiu a evolução da energia nuclear no mundo, e que esta evolução pode ser obtida pelo estudo e melhoria contínua. É importante aplicar os conhecimentos de lições aprendidas para que os erros não se repitam, e o estudo das medidas de segurança nos possibilita trabalhar sem que haja comprometimento de qualquer área.

REFERÊNCIAS

CHERNOUSENKO, V. M. **Chernobyl: Insight from the Inside**. Springer-Verlag: Berlim, 1991

CHERNOBYL. Direção: Johan Renck. Roteiro: Craig Mazin. Estados Unidos: HBOMax. 2019. 1 minissérie (5h18min). 5 episódios, son., color.

EDWARDS, J.; BINDRA, H.; SABHARWALL, P.; **Exergy Analysis of Thermal Energy Storage Options With Nuclear Power Plants**. *Annals of Nuclear Energy* 96, 104–111, 2016.

GALVÃO, H. P. (2017). **Modelagem Dinâmica do Circuito Primário e Secundário de Reatores PWR aplicando critérios de estabilidade**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

HAWKES, N.; LEAN, G.; LEIGH, D.; McKIE, R.; PRINGLE, P.; WILSON, A. **The Worst Accident in the World – Chernobyl: the end of the nuclear dream**. Pan Books & William Heinemann, London, 1986.

HOLCOMB, W.B., **A history of ocean disposal of package low-level radioactive waste**, Nucl. Saf., 1982

INTERNATIONAL AGENCY OF ENERGY ATOMIC. **Chernobyl legacy: Health, environmental and socio-economic impacts and recommendations to the governments of Belarus, the Russian Federation**[http](http://www.iaea.org). Disponível em://www.iaea.org and Ukraine 2003-2005.

PERROTA, J.A. **Curso de Introdução à Engenharia dos Reatores**. 1999

EXTRAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DE GERÂNIO

Data de submissão: 28/04/2023

Data de aceite: 02/06/2023

Deliene Semezzato Vieira

Curso de Engenharia Química,
Universidade São Francisco
Itatiba - São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/5789779243002953>

Erika Silva Cerqueira Amaro

Curso de Engenharia Química,
Universidade São Francisco
Itatiba - São Paulo
<https://lattes.cnpq.br/6005074870491159>

Monica Tais Siqueira D'Amelio Felipe

Curso de Engenharia Química,
Universidade São Francisco
Itatiba - São Paulo
<https://lattes.cnpq.br/0347184334616712>

sendo estes a destilação por arraste a vapor e por hidrodestilação, utilizando amostras da planta fresca e da planta seca. Para quantificação, foram realizadas análises de determinação dos óleos essenciais extraídos por meio da cromatografia gasosa acoplada a espectrofotometria de massa, densidade, espectrofotômetro, refração e organoléptica. O óleo essencial que apresentou os melhores resultados, sendo correspondente a literatura, foi o obtido pelo método de hidrodestilação da planta seca, com 0,2% de produção.

PALAVRAS-CHAVE: óleo essencial, óleo essencial de gerânio, extração, destilação por arraste a vapor, hidrodestilação.

RESUMO: A busca por tratamentos com produtos naturais para transtornos mentais como a ansiedade e depressão vêm crescendo no decorrer dos últimos anos. O uso de óleos essenciais se apresenta como um tratamento alternativo às terapias medicamentosas. O óleo essencial de gerânio mostra-se potencialmente importante, devido a sua composição química, e por isso, é utilizado na aromaterapia. Neste âmbito, este projeto comparou dois métodos de extração do óleo essencial de gerânio,

GERANIUM ESSENTIAL OIL EXTRACTION

ABSTRACT: The search for treatments with natural products for mental disorders such as anxiety and depression has been growing in recent years. The use of essential oils is presented as an alternative treatment to drug therapies. Geranium essential oil is considered potentially important, due to its chemical composition, and therefore, it is used in aromatherapy. In this context, this project compared two methods of extracting

the geranium essential oil, these being steam distillation and hydrodistillation, using fresh plant and dry plant samples. For quantification, analyses were performed to determine the essential oils extracted by the means of gas chromatography coupled with mass spectrophotometry, density, spectrophotometer, refraction and organoleptic. The essential oil that presented the best results, corresponding to the literature, was the one obtained by the hydrodistillation method of the dry plant, with a production of 0.2%.

KEYWORDS: essential oil, geranium essential oil, extraction, steam distillation, hydrodistillation.

1 | INTRODUÇÃO

Na sociedade, transtornos mentais como a ansiedade e depressão são problemas graves de saúde que afetam grande parte da população. Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS, 2017), em 2017, o Brasil possuía cerca de 5,8% de pessoas afetadas pela depressão. A entidade indicou também, que o país teve a maior taxa na América Latina em relação aos transtornos de ansiedade, sendo 9,3% de brasileiros atingidos. Com a chegada da pandemia da Covid-19, a OMS (2022), divulgou que no primeiro ano da doença, houve um aumento de 25% na prevalência de ansiedade e depressão no mundo todo. Em um estudo feito pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS, 2020) durante a epidemia do Covid-19, 80% dos brasileiros se sentiram mais ansiosos e cerca de 68% tiveram sinais depressivos. Ademais, em mulheres, a depressão e irritabilidade podem apresentar sintomas severos no período pré-menstrual (TPM), sendo a patologia conhecida como transtorno disfórico pré-menstrual (TDPM). Casos fatais atingem entre 5% a 8% das mulheres (EVERETT, 2017). Infelizmente, o uso de terapias medicamentosas nem sempre são eficazes e podem levar ao uso de drogas e dependência (AGATONOVIC-KUSTRIN et al., 2020).

Uma alternativa, é o tratamento com produtos naturais, como a aromaterapia e o uso de óleos essenciais, que são utilizados para aliviar os sintomas de ansiedade e depressão (WORONUK et al, 2010). A procura por óleos essenciais para o controle da ansiedade aumentou muito durante a pandemia Covid-19 (SOARES, 2021). Os óleos essenciais apresentam menos efeitos colaterais em comparação com os medicamentos tradicionais (ZHANG; YAO, 2019).

O óleo essencial de gerânio mostra-se potencialmente importante, devido a sua extensa lista de aplicabilidades, na aromaterapia, por exemplo, pode ser utilizada no auxílio do tratamento de regulação hormonal (AROMA, 2019) e também no tratamento de ansiedade (OLIVEIRA; AMARAL, 2019); na indústria, é usado no setor de cosméticos e de perfumaria (SAXENA et al, 2000). Este óleo essencial é obtido através da extração da planta gerânio (*Pelargonium Graveolens*) que é uma espécie de flor aromática e medicinal que pertence ao gênero *Pelargonium*. Neste gênero, encontram-se aproximadamente 280 espécies de plantas (NICULAU et al, 2020). Nativa da África do Sul, faz parte da família

Geraniaceae.

O óleo de gerânio é extremamente volátil e pode ser obtido através da hidrodestilação e da destilação por arraste a vapor (ABOUELATTA et al., 2021). O rendimento da extração é de 500 kg de planta para 01 kg de óleo essencial (AMARAL, 2015). Por ter um baixo rendimento e por sua vasta estabilidade, é considerado um dos óleos mais caros do mundo.

Diante do exposto, esse trabalho tem como objetivo a extração do óleo essencial de gerânio, por meio da hidrodestilação e da destilação por arraste a vapor, comparando a extração da planta fresca e da planta seca e como esta variável influencia no processo. Também será estudado métodos de análise de determinação do óleo extraído.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização das plantas

A caracterização foi realizada na planta fresca e na planta seca. Foi medida a altura da planta, desde a extensão do seu caule até as flores com o auxílio de uma régua. Também foi aferida sua espessura.

2.2 Preparação das plantas

Foram realizados testes experimentais com amostras das plantas frescas e secas de gerânio. A planta seca foi obtida a partir da secagem natural realizada durante quinze dias antes do experimento laboratorial.

2.3 Extração do óleo essencial

As extrações foram realizadas pelo método de hidrodestilação e destilação por arraste a vapor. Foram utilizadas porções de 100g contendo flores e folhas de gerânio (ou fresca ou seca) para cada teste em cada método. As plantas foram maceradas com o auxílio de um cadinho para a realização dos testes para aumentar a área superficial. Após a maceração, aferiu-se novamente a massa das plantas para verificar se houve perda de massa durante esse processo. Para determinar a perda de massa nessa etapa, fez-se o cálculo de balanço de massa através da Equação 1.

$$m_{planta} = m_{triturada} + m_{perdida} \quad (1)$$

Em que m_{planta} é a massa total da planta utilizada na trituração, $m_{triturada}$ é a massa que foi utilizada na extração, $m_{perdida}$ é a massa perdida no processo de trituração.

Para o método da hidrodestilação, utilizou-se o aparelho tipo Clevenger. As amostras foram colocadas no balão de fundo redondo e foi adicionada água destilada até a imersão da planta dentro do balão, iniciando-se em seguida o processo de extração por meio do arraste do óleo essencial pelo vapor de água. Fez-se necessário o controle da temperatura para que não ultrapassasse 100 °C. Ao final da extração, a amostra foi coletada e colocada

em funil de decantação para a separação do óleo essencial do hidrolato. Adicionou-se cerca de 1 g de Sulfato de Sódio Anidro (Na₂SO₄) para que separasse a fase aquosa (hidrolato) do óleo essencial.

Na destilação por arraste a vapor, foi montado um sistema de destilação. Este sistema era composto por um balão de fundo redondo com água destilada em aquecimento, que se ligou a um tubo de conexão, e este conectou-se a um balão volumétrico de três bocas, contendo a planta triturada. O balão de fundo redondo de três bocas foi conectado em um condensador, onde o vapor foi arrastado e resfriou-se. Fez-se necessário o controle da temperatura para que atingisse temperaturas superiores a 90°C. Ao final da extração, a amostra foi coletada e colocada em funil de decantação para a separação do óleo essencial do hidrolato. Adicionou-se cerca de 1 g de Sulfato de Sódio Anidro (Na₂SO₄) para que separasse a fase aquosa (hidrolato) do óleo essencial.

2.4 Rendimento das extrações

Através da Equação 2 (SANTOS et al, 2004), foi possível determinar o rendimento das extrações.

$$R(\%) = \frac{V_o}{BM} \times 100 \quad (2)$$

em que, R (%) = rendimento da extração em porcentagem; Vo = volume de óleo essencial; BM = biomassa vegetal; 100 = fator de conversão para porcentagem.

2.5 Determinação do óleo extraído

Para determinação do óleo extraído, foram realizadas as seguintes análises: Cromatografia gasosa acoplada à espectrometria, densidade, espectrofotometria, refração e análises organolépticas.

As análises da composição química dos óleos extraídos foram realizadas por meio do cromatógrafo gasoso (CG-EM), em laboratório externo. Preparou-se soluções com duas gotas de cada óleo extraído em 1 ml de álcool etílico 70% e colocou-as em vials de vidro. Fez-se a comparação dos resultados obtidos com a amostra do óleo essencial de gerânio comercial da fabricante TerraFlor. Os laudos técnicos do OE comercial foram adquiridos no site eletrônico do próprio fabricante.

Fez-se a varredura dos óleos extraídos por meio do espectrofotômetro, no Laboratório da USF no Campus Swift e mediu-se as absorvâncias de cada OE. Compararam-se os resultados obtidos em cada equipamento.

Através do refratômetro analógico para % Brix, fizeram-se as análises de densidade e de refração dos OE. Para a análise de cada óleo essencial extraído, foram adicionadas duas gotas do óleo no aparelho e fez-se a leitura em graus brix . Após o uso, limpou-se o visor com pano macio.

Fez-se necessário a conversão dos resultados em graus brix para densidade em g/cm³ através da Tabela de Equivalência de densidade em relação a °Plato/°Brix e para o índice de refração em nD através da Tabela de Conversão %/ n20D. Os resultados obtidos

foram comparados com o laudo emitido pela empresa Ferquima (2022) e com o laudo da fabricante TerraFlor (SCHOPPAN,2022). Também foram feitas as análises organolépticas, caracterizando a cor e o cheiro dos óleos extraídos.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos estão divididos em caracterização do material, obtenção do óleo essencial e suas análises.

3.1 Caracterização das plantas

As informações das plantas fresca e seca de gerânio estão presentes no Quadro 1. Com esse quadro, percebe-se que a planta fresca é maior em suas dimensões (caule e folhas) do que a planta seca. O caule perdeu cerca de 15 cm em relação à planta fresca e as folhas perderam 2 cm em relação ao comprimento e 3 cm em relação à largura. A coloração da planta seca também foi diferente da planta fresca, indicando decomposição da mesma. Isso pode ser explicado pelo fato de que as plantas são constituídas em mais de 90% de água e a absorvem do solo através de suas raízes. A água é responsável por manter a turgência das células. Portanto, com a falta dessa fonte, as plantas murcham e com isso, ocorrem mudanças em sua estrutura, espessura e coloração (OLIVEIRA, 2021).

	Planta Fresca	Planta Seca
Caracterização da planta	Poucas flores, porém arbustos com várias ramificações e muitas folhas.	Muitas folhas previamente secas naturalmente.
Caracterização do caule	Comprimento de aproximadamente 30 cm	Comprimento de aproximadamente 15 cm
Caracterização das flores	Flores vermelhas e também flores rosas com manchas brancas. Comprimento da pétala: Aproximadamente 1,5 cm. Largura da pétala: Aproximadamente 1,5cm. Flores com média de 04 a 05 pétalas em cada flor	Não foi possível caracterizar as flores, pois as pétalas esfarelaram durante o processo de desidratação, misturando-se com as folhas secas.
Caracterização das folhas	Folhas verdes com textura aveludada. Comprimento da folha: Aproximadamente 6 cm. Largura da folha: Aproximadamente 6,5 cm.	Folhas de coloração amarronzada e com textura seca. Comprimento da folha: Aproximadamente 4 cm. Largura da folha: Aproximadamente 3,5 cm.

Quadro 1. Caracterização da planta fresca e da planta seca da flor de gerânio usada nos testes experimentais

Fonte: Próprio autor

3.2 Balanço de massa no processo de maceração das plantas

Através da Equação 1, foi possível determinar a quantidade de massa perdida após a maceração das plantas, tanto na planta fresca como na seca. A Tabela 1 mostra os resultados obtidos nesse processo.

Com a Tabela 1, pode-se observar que a perda de massa foi maior na planta seca para os dois métodos de extração utilizados. Isso pode ser explicado devido ao fato de que a planta seca se esfarela e se perde com maior facilidade do que a planta fresca, fazendo com que haja perda de massa durante o processo de maceração da planta.

Método Analisado	Massa inicial	Massa final	Massa perdida	(%) de perda
Arraste a Vapor - Planta Fresca	100,69g	94,34g	6,35g	6,31%
Arraste a Vapor - Planta Seca	108,48g	101,06g	7,42g	6,84%
Hidrodestilação - Planta Fresca	100,91 g	97,77g	3,14g	3,11%
Hidrodestilação - Planta Seca	100,02g	89,79g	10,23g	10,23%

Tabela 1. Dados provenientes do balanço de massa no processo de maceração das plantas

Fonte: Próprio autor

3.3 Determinação dos óleos essenciais

Os óleos essenciais foram extraídos e permaneceram no funil de decantação. Os óleos essenciais permaneceram em uma fina camada na parte superior do funil de decantação, o que dificultou a identificação e a caracterização destes óleos.

Os óleos extraídos apresentaram diferentes caracterizações. As análises organolépticas dos OE extraídos estão presentes na Tabela 2.

Parâmetro de Análise	Destilação por Arraste a Vapor - Planta Fresca	Destilação por Arraste a Vapor - Planta Seca	Hidrodestilação - Planta Fresca	Hidrodestilação - Planta Seca
Organoléptica	Óleo levemente turvo e com aroma herbáceo suave.	Óleo transparente e com aroma herbáceo forte.	Óleo levemente turvo e com aroma suave de rosas.	Óleo amarelado e com aroma herbáceo forte.

Tabela 2. Análise organoléptica dos óleos essenciais extraídos.

Fonte: Próprio autor

Conforme os dados da Tabela 2, pode-se observar que o OE obtido por hidrodestilação da planta seca apresentou coloração amarelada, enquanto os outros tiveram coloração transparente. Isso pode ter ocorrido devido ao fato de a planta seca apresentar uma

coloração amarronzada e ter se difundido na água durante a extração, fazendo com que esta mudasse de cor, e por isso, o hidrolato e o óleo extraído deste processo apresentaram coloração amarelada.

De acordo com o laudo emitido pela fabricante Ferquima (2022), o OE de gerânio possui coloração amarelo a esverdeado e odor floral. Segundo o laudo da fabricante TerraFlor (SCHOPPAN,2022), o OE comercial possui aspecto amarelo esverdeado e aroma floral suave. Conforme descrito por Amaral (2015), os OE de gerânio extraídos de flores frescas possuem aroma floral seco, semelhante ao odor de rosa. Nos testes experimentais realizados, foram feitas extrações com a planta fresca e com a planta seca, portanto, os OE obtidos das plantas secas apresentaram um odor característico de planta seca. O OE extraído pelo método da hidrodestilação da planta fresca apresentou odor semelhante ao ser comparado com os dois óleos de gerânio comerciais. Em relação a coloração, o OE obtido da hidrodestilação da planta seca apresentou coloração semelhante aos dois óleos comerciais de gerânio.

Para confirmar a coloração de cada extração, foram realizadas varreduras no espectrofotômetro dos OE extraídos. Obteve-se leitura apenas em 300 nm para todos os OE. Isso pode ser explicado devido ao fato de que todos os OE extraídos não apresentaram coloração, isto é, eram transparentes a levemente amarelado. A absorvância de cada OE está presente na Tabela 3.

Método de extração do óleo essencial	Absorbância
Destilação por arraste a vapor da planta fresca	1,1063
Destilação por arraste a vapor da planta seca	0,3532
Hidrodestilação da planta fresca	0,6273
Hidrodestilação da planta seca	0,6387

Tabela 3. Absorbâncias dos óleos essenciais extraídos

Fonte: Próprio autor

Conforme apresentado na Tabela 3, pode-se concluir que o OE que possui a maior concentração foi o OE que apresentou a maior absorvância, sendo este o OE obtido por meio da destilação por arraste a vapor da planta fresca, seguido do OE obtido pelo método da hidrodestilação da planta seca, posteriormente o OE da hidrodestilação da planta fresca e por último, o OE obtido da destilação por arraste a vapor da planta seca.

Isso pode ser explicado pelo fato de que quanto maior for a concentração de uma amostra, maior será a absorção de luz (KASVI, 2018).

3.4 Rendimento das extrações

Através da Equação 2, determinou-se o rendimento das extrações. Os resultados obtidos estão presentes na Tabela 4.

Rendimento da extração	Destilação por Arraste a Vapor	Hidrodestilação
Planta Fresca	0,16%	0,2%
Planta Seca	0,13%	0,2%

Tabela 4. Rendimento das extrações obtidas nos testes experimentais

Fonte: Próprio autor

Apesar das extrações apresentarem um rendimento baixo, segundo Amaral (2015), a extração do óleo essencial de gerânio é 1 kg de óleo essencial para 500 kg de planta, ou seja, um rendimento de 0,2%. Portanto, as extrações apresentaram um rendimento satisfatório e dentro do esperado para o óleo essencial de gerânio, sendo que os óleos obtidos por hidrodestilação tiveram um rendimento máximo de extração.

3.5 Análise de densidade e refração dos óleos extraídos

Os resultados referentes às análises de densidade e refração dos óleos essenciais extraídos estão presentes na Tabela 5.

Parâmetro de Análise	Destilação por Arraste a Vapor - Planta Fresca	Destilação por Arraste a Vapor - Planta Seca	Hidrodestilação-Planta Fresca	Hidrodestilação-Planta Seca
Densidade	1,001 g/cm ³	1,001 g/cm ³	1,001 g/cm ³	1,001 g/cm ³
Refração	1,333 N/D	1,333 N/D	1,333 N/D	1,333 N/D

Tabela 5. Análise de densidade e refração dos óleos essenciais extraídos

Fonte: Próprio autor

Conforme laudo emitido pela empresa Ferquima (2022), o OE de gerânio possui uma variação de densidade entre 0,885-0,905 e refração em 1,461-1,475. De acordo com o laudo da fabricante TerraFlor (SCHOPPAN,2022), o OE possui densidade de 0,950 g/cm³ e refração 1,455 N/D. Portanto, pode-se concluir que os óleos essenciais extraídos apresentaram algumas diferenças em relação aos dois fabricantes, porém aproxima-se dos resultados da fabricante TerraFlor. Isso pode ser explicado pelo fato de que o OE de gerânio possui alguns geotipos diferentes e o OE da fabricante Ferquima possui origem no Egito e da TerraFlor possui origem no Brasil. As plantas utilizadas na extração foram cultivadas no Brasil, portanto, isso explica a proximidade dos resultados com este fabricante.

3.6 Análise dos óleos extraídos por cromatografia (CG-EM)

A cromatografia a gás acoplada à espectrometria de massas forneceu informações referentes à composição química dos óleos extraídos. No Gráfico 1, estão apresentados os dados da leitura de todos os óleos essenciais extraídos e seus respectivos métodos.

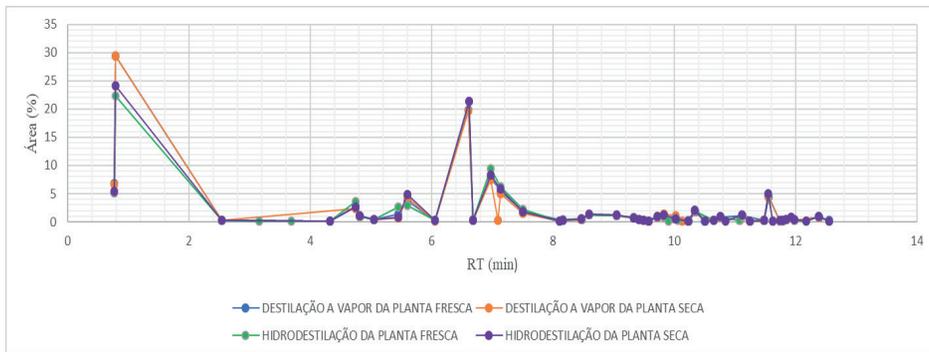


Gráfico 1. Leitura por cromatografia (CG-EM) dos OE extraídos

Fonte: Próprio autor

De acordo com o Gráfico 1, os OE apresentam composição química muito próximas uns dos outros. Para o óleo essencial obtido pelo método de destilação por arraste a vapor da planta fresca, foram identificados 33 constituintes químicos. Os compostos majoritários encontrados foram: Acetato de citronelila (5,79%), Acetona (6,75%), Citronelol (19,89%), Etanol (29,35%), Farnesol (4,45%), Formiato de geranila (1,77%), Isomentona (5,12%), Linalol (2,73%) e Geraniol (7,95%). Para o OE obtido pelo método de destilação por arraste a vapor da planta seca, foram identificados 36 constituintes químicos. Os compostos majoritários encontrados foram: Acetato de citronelila (5,26%), Citronelol (19,67%), Etanol (29,37%), Farnesol (4,45%), Formiato de geranila (1,6%), Geraniol (7,5%), Isomentona (5,12%), Linalol (2,73%) e Metanol (6,7%).

Pelo método da hidrodestilação da planta fresca, o óleo essencial apresentou 40 constituintes químicos. Os compostos majoritários encontrados foram: Acetato de citronelila (6,7%), Acetona (5,14%), Citronelol (21,32%), Etanol (22,34%), Farnesol (4,93%), Formiato de geranila (2,24%), Geraniol (9,48%), Isomentona (5,54%), Linalol (3,65%) e Metanol (6,7%). E por último, o óleo essencial obtido pelo método da hidrodestilação da planta seca, foram identificados 39 constituintes químicos. Os compostos majoritários encontrados foram: Citronelol (21,4%), Etanol (24,12%), Farnesol (4,97%), Formiato de citronelila (5,86%), Formiato de geranila (1,78%), Geraniol (8,27%), Isomentona (5,68%), Linalol (2,65%) e Metanol (5,39%).

As diferenças nas composições químicas dos óleos podem ser explicadas pelo fato dos óleos essenciais terem sido obtidas por processos e amostras diferentes (planta fresca ou planta seca).

De acordo com a análise por cromatografia do óleo da fabricante TerraFlor (SCHOPPAN,2022), os componentes do óleo são: Citronelal (2,9%), Citronelol (35,6%), Formiato de citronelila (15,2%), Formiato de geranila (6,6%), Geraniol (24,3%) e Linalol (5,1%). Conforme apresentado por Peterson et al (2006), os óleos essenciais são

compostos majoritariamente por citrionelol e geraniol. O OE da fabricante TerraFlor teve maiores porcentagem desses componentes químicos e todos os OE extraídos também. De acordo com Juliani et al (2006), os OE podem ter formiato de citrionelila, formiato de geranila, isomentona e linalol em menores quantidades. O OE da fabricante TerraFlor possui a maioria desses compostos e todos os OE extraídos apresentaram formiato de geranila, isomentona e linalol em sua composição, mas apenas o óleo extraído pelo método de hidrodestilação da planta seca apresentou formiato de citrionelila.

Portanto, pode-se concluir que o óleo essencial de gerânio obtido pelo método de hidrodestilação da planta seca, foi o que obteve resultados próximos em relação a coloração e composição química ao ser comparado com o OE de gerânio comercial e por este método, obteve-se um rendimento máximo de extração.

4 | CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi a extração do óleo essencial de gerânio através de dois métodos de destilação: hidrodestilação e por arraste a vapor. Este trabalho comparou a extração da planta fresca e da planta seca e como esta variável influenciou neste processo. Também foi estudado os métodos de quantificação dos óleos extraídos.

Conforme os testes experimentais e estudos realizados, pode-se concluir que utilizar-se da planta fresca ou da planta seca interfere diretamente na extração do óleo essencial de gerânio, bem como os métodos de extração realizados. No cálculo de balanço de massa, verificou-se que houve perda de massa da planta seca porque esta esfarelou-se e perdeu massa com maior facilidade ao ser comparado com a planta fresca.

Em relação às análises organolépticas, concluiu-se que a condição da planta, fresca ou seca, influencia na coloração e aroma do óleo obtido por hidrodestilação, não sendo observado o mesmo para a destilação a vapor. Desta forma, a obtenção do óleo essencial de gerânio obtido pelo método de hidrodestilação da planta seca foi aquele que apresentou resultados satisfatórios ao ser comparado com as amostras de OE de gerânio comercial, pois foi o único de coloração amarelada. A respeito das análises de densidade e refração, todos os óleos essenciais obtidos apresentaram resultados satisfatórios e semelhantes com o óleo essencial comercial de origem brasileira.

Em relação às análises no espectrofotômetro, pode-se concluir que o óleo essencial obtido pela destilação por arraste a vapor da planta fresca apresentou a maior absorvância o que indica maior extração de óleo de gerânio.

A análise de cromatografia mostrou que independentemente do método utilizado, todos os óleos essenciais extraídos apresentaram a maioria dos compostos químicos presentes na literatura e no óleo essencial comercial, sendo estas grandes quantidades de citrionelol e geraniol e formiato de geranila, isomentona e linalol em pequenas quantidades. Esta análise identificou também que a falta de coloração amarelada nos OE obtidos foi

devido à ausência de formiato de citronelila em sua composição. O óleo essencial obtido pelo método de hidrodestilação da planta seca foi o único que apresentou esse pico, por isso sua coloração levemente amarelada.

As extrações foram realizadas com êxito e apresentaram rendimentos satisfatórios e dentro do esperado, sendo os óleos essenciais obtidos pelo método de hidrodestilação (tanto da planta fresca quanto da planta seca), tiveram rendimento máximo de extração (0,2%) ao ser comparado com a literatura.

Comparando todas as análises, conclui-se que o óleo essencial obtido pelo método de hidrodestilação utilizando-se da planta seca foi o que apresentou os melhores resultados ao ser comparado com a amostra de óleo de gerânio comercial, sendo este de coloração amarelada semelhante, bem como composição química correspondente e este óleo essencial também teve o rendimento máximo de extração.

REFERÊNCIAS

ABOUELATTA, Ahmed Mohamed et al. **The Effect of Air Drying and Extraction Methods on the Yield and Chemical Composition of Geranium (*Pelargonium graveolens* L.'Hér) Essential Oils.** American Journal of Applied and Industrial Chemistry, Egypt, ano 2021, n. 1, p. 17-21, 7 abr. 2021.

AMARAL, Fernando. **Técnicas de Aplicações de óleos essenciais: terapias de saúde e beleza.** São Paulo: Cengage Learning, 2015. 236 p.

AROMA, Vishwa (org.). **Guia Prático de Aromaterapia.** Alto Paraíso de Goiás. 2019. *E-book* (51p.) color.

Densidade específica, graus Plato e graus Brix. Disponível em: <http://www.mundokveik.com/p/densidade-especifica-graus-plato-e.html>. Acesso em: 19 set. 2022.

Espectrofotometria: Análise da concentração de soluções. 2018. Elaborado por KASVI. Disponível em: <https://kasvi.com.br/espectrofotometria-analise-concentracao-solucoes/>. Acesso em: 15 out 2022.

EVERETT, Lucinda. **Transtorno disfórico pré-menstrual: a 'super TPM' que leva algumas mulheres à internação psiquiátrica.** 2017. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-40451628>. Acesso em: 22 mar. 2022.

JULIANI, H. Rodolfo et al. **Quality of Geranium Oils (Pelargonium Species): case studies in southern and eastern africa.** Journal Of Essential Oil Research, [S.L.], v. 18, n. 1, p. 116-121, jan. 2006. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10412905.2006.12067131>.

Laudo Técnico Óleo Essencial de Gerânio Egito. Disponível em: <https://www.ferquima.com.br/novo/produtos/pdf/GERANIO%20EGITO%20OE.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2022.

NICULAU, Edenilson dos Santos et al. **Chemical Profile and Use of the Peat as an Adsorbent for Extraction of Volatile Compounds from Leaves of Geranium (*Pelargonium graveolens* L' Herit).** Molecules, [S.L.], v. 25, n. 21, p. 4923, 24 out. 2020. MDPI AG.

OLIVEIRA, Carina. **Como ocorre e quais os efeitos do estresse hídrico nas plantas**. 2021. Disponível em: <https://blog.aegro.com.br/estresse-hidrico-nas-plantas/>. Acesso em: 12 set. 2021.

OLIVEIRA, C. J. R.; AMARAL, F. do. **Estresse | ansiedade | aromaterapia: Pelo olhar da Osmologia, ciência do olfato e do odor**. Brazilian Journal of Natural Sciences, [S. l.], v. 2, n. 2, p. página 92, 2019. DOI: 10.31415/bjns.v2i2.57

Organização Mundial da Saúde. **OMS registra aumento de casos de depressão em todo o mundo; no Brasil são 11,5 milhões de pessoas**. 2017. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/75837-oms-registra-aumento-de-casos-de-depressao-em-todo-o-mundo-no-brasil-sao-115-milhoes-de>. Acesso em: 23 mar. 2022.

Organização Mundial da Saúde. **Pandemia de COVID-19 desencadeia aumento de 25% na prevalência de ansiedade e depressão em todo o mundo**. 2022. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/noticias/2-3-2022-pandemia-covid-19-desencadeia-aumento-25-na-prevalencia-ansiedade-e-depressao-em#:~:text=M%C3%BAltiplos%20fatores%20de%20estresse,e%20envolvimento%20em%20suas%20comunidades>. Acesso em: 23 mar. 2022.

PETERSON, Amelia et al. **Extraction of essential oil from geranium (Pelargonium graveolens) with supercritical carbon dioxide**. Journal Of Chemical Technology & Biotechnology, [S.L.], v. 81, n. 2, p. 167-172, 2006.

SANTOS, Alberdan Silva et al. **Descrição de Sistema e de Métodos de Extração de Óleos Essenciais e Determinação de Umidade de Biomassa em Laboratório**. Belém: Embrapa, 2004.

SAXENA, Gauri et al. **An efficient in vitro procedure for micropropagation and generation of somaclones of rose scented Pelargonium**. Plant Science, [S.L.], v. 155, n. 2, p. 133-140, jun. 2000. Elsevier BV.

SCHOPPAN, Vishwa. **Gerânio Brasil orgânico 5 ml**. Disponível em: <https://terra-flor.com/loja/oleos-essenciais/geranio-brasil-organico-5ml/>. Acesso em: 25 set. 2022.

SOARES, Sofy. **Mercado de Óleos Essenciais Cresce com Isolamento Social**. São Paulo: AGEMT, 2021. Disponível em: <https://agemt.pucsp.br/noticias/mercado-de-oleos-essenciais-cresce-com-isolamento-social>. Acesso em: 11 mar. 2022.

Tabela de Conversão %/n20D. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/317812193/Tabela-de-Conversao-Brix-nd>. Acesso em: 19 set. 2022.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul. **As sequelas emocionais da pandemia**. 2020. Disponível em: [http://www.ufrgs.br/ufrgs/noticias/as-sequelas-emocionais-da-pandemia#:~:text=Os%20resultados%20revelam%20que%2C%20em,683%20\(34%2C%25\)..](http://www.ufrgs.br/ufrgs/noticias/as-sequelas-emocionais-da-pandemia#:~:text=Os%20resultados%20revelam%20que%2C%20em,683%20(34%2C%25)..) Acesso em: 23 mar. 2022.

WORONUK, Grant et al. **Biosynthesis and Therapeutic Properties of Lavandula Essential Oil Constituents**. Planta Medica, [S.L.], v. 77, n. 01, p. 7-15, 21 jul. 2010. Georg Thieme Verlag KG.

ZHANG, Nan; YAO, Lei. **Anxiolytic Effect of Essential Oils and Their Constituents: a review**. Journal Of Agricultural And Food Chemistry, [S.L.], v. 67, n. 50, p. 13790-13808, 31 maio 2019. American Chemical Society (ACS).

PNEUS INSERVÍVEIS EM CONCRETO PERMEÁVEL PARA A SUSTENTABILIDADE HÍDRICA

Data de submissão: 28/04/2023

Data de aceite: 02/06/2023

Giovanna Fávero de Almeida

Universidade São Francisco,
Departamento de Engenharia Civil
Bragança Paulista – São Paulo
<https://lattes.cnpq.br/8423991767562470>

Estephane Caroline Silva Santos

Universidade São Francisco,
Departamento de Engenharia Civil
Bragança Paulista – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/1871468073142343>

Cristina das Graças Fassina

Universidade São Francisco,
Departamento de Engenharia Civil
Bragança Paulista – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/3593793991674607>

Hélio França Junior

Universidade São Francisco,
Departamento de Engenharia Civil
Bragança Paulista – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/4075436831455801>

Renata Lima Moretto

Universidade São Francisco,
Departamento de Engenharia Civil
Campinas – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/9818772550330671>
<https://orcid.org/0000-0001-7431-1651>

RESUMO: O crescimento desordenado das áreas urbanas reflete no aumento das áreas pavimentadas, construídas e na diminuição da sua permeabilidade. Nesse cenário, torna-se um desafio adequar o progresso com a preservação do meio ambiente. Dentre os principais problemas de regiões habitadas, está a ocorrência de enchentes, porém não são efeito apenas da falta de superfície permeável, pois o descarte incorreto de dejetos também pode ser um dos fatores que agravam o problema ambiental, como é o caso do alto índice de descarte inadequado de pneus inservíveis no Brasil. Esse trabalho tem como objetivo avaliar as características de permeabilidade, morfologia e resistência mecânica da incorporação de pneus inservíveis em concreto permeável, visando a sua aplicação em pavimentação de baixo impacto. Foram realizados o levantamento bibliográfico a respeito do tema e o desenvolvimento experimental de concreto permeável com a incorporação de diferentes proporções de pneu inservível. A avaliação da viabilidade técnica se deu por meio de ensaios de resistência à compressão e ensaio de permeabilidade. Os resultados indicaram

PALAVRAS-CHAVE: Concreto Permeável.

UNUSABLE TIRES IN PERMEABLE CONCRETE TO THE WATER RESOURCES SUSTAINABILITY

ABSTRACT: The disorderly growth of urban areas is reflected in the increase in paved and built areas and in the decrease of their permeability. In this scenario, it becomes a challenge to match progress with the preservation of the environment. Among the main problems in inhabited regions is the occurrence of floods, but they are not just an effect of the lack of permeable surface, since the incorrect disposal of waste can also be one of the factors that aggravate the environmental problem, as is the case of the high index of improper disposal of waste tires in Brazil. This work aims to evaluate the technical feasibility of incorporating waste tires into permeable concrete, aiming at producing a permeable paving to be used in low-traffic areas, as a sustainable action. A bibliographic survey was carried out on the subject and the experimental development of pervious concrete with the incorporation of different proportions of waste tire. The evaluation of the technical viability took place through compressive strength tests and permeability tests. The results indicated

KEYWORDS: Permeable Concrete. Urban Drainage. Civil Engineering. Permeable Pavemente. Urban Sustainability.

1 | INTRODUÇÃO

A impermeabilização do solo tem crescido de forma intensa em decorrência do crescimento urbano desordenado. Segundo Tucci (2008, apud RAMOS, 2018), a falta de planejamento adequado e de fiscalização contínua intensifica tais problemas.

A impermeabilização proporciona um forte impacto negativo ao solo, uma vez que acaba com quase todas as suas funções naturais. Sendo assim, o solo vem sendo impedido de infiltrar as águas pluviais e isso acontece, devido à utilização de materiais impermeáveis, como as lajotas de basalto, concreto asfáltico e construções (RAMOS, 2018). Além das complicações na drenagem dos resíduos, a impermeabilização do solo gera um impacto hidrológico, pois influencia na movimentação do fluxo de água na bacia e causa uma diminuição do nível do lençol freático (RAMOS, 2018).

Segundo Tucci (2008), o desenvolvimento urbano aumentou especialmente na metade do século XX a fim de garantir as necessidades da população frente a problemas econômicos e sociais, o que produziu competição pelos recursos naturais e assim, boa parte da biodiversidade natural foi sendo destruída.

Hoje, os frequentes acontecimentos de enchentes devido à impermeabilização do solo são consequência do entendimento errôneo de gestão, desde muitos anos atrás. Até o século XX, a “gestão” das águas residuárias urbanas era basicamente com o uso de fossas, sem tratamento.

De acordo com Tucci (2008), pode-se identificar diferentes fases do desenvolvimento das águas urbanas, sendo elas, a pré-higienista, até início do século XX, com grande

número de doenças, epidemias e inundações; a higienista, antes de 1970, com transporte de esgoto distante das pessoas, mas com rios contaminados e inundações; a corretiva, entre 1970 e 1990, com tratamento de esgoto, buscando a recuperação dos rios e; a fase atual, pós 1990, buscando o tratamento terciário e escoamento pluvial, com foco na conservação ambiental e redução de inundações e melhoria da qualidade de vida.

Atualmente, as regiões metropolitanas já passaram por um processo de adequação e boa parte dos problemas hidráulicos foram resolvidos ou estão em andamento. Entretanto, muitos problemas estão se repetindo nas cidades de médio porte, o que mostra que mesmo com a melhoria apresentada ainda há problemas hidráulicos, sobretudo, as enchentes. Tucci (2008) afirma que, “a base desse desenvolvimento no uso do solo é a implementação da urbanização, preservando os caminhos naturais do escoamento e priorizando a infiltração”.

O concreto permeável é um revestimento com alta capacidade de permeabilidade por conta de sua estrutura porosa. De acordo com Silva (2019), ele garante infiltração total ou parcial da água proveniente de precipitações devido às suas características, e por isso aparece como uma maneira para mitigar enchentes, de modo a favorecer a percolação da água. Botteon (2017) afirma que, o concreto permeável apresenta um alto índice de vazios devido à combinação entre o aglomerante, o agregado graúdo e a água, preparado com pouco ou nenhum agregado miúdo. A restrição do agregado miúdo no traço do concreto causa poros interconectados que facilitam a infiltração de água em seu material.

Os primeiros registros da utilização de concreto permeável foram encontrados na década de 30 no Reino Unido, e de acordo com Botteon (2017), apenas na década de 40 que essa técnica ganhou força, especialmente por conta da utilização no sistema “Wimpey no-fines house”. Esse método construtivo utilizava um concreto com uma quantidade muito pequena de areia e de agregados finos/miúdos.

No Brasil, o uso do concreto permeável teve seus primeiros registros em aeroportos, em meados de 1980 como revestimento asfáltico e logo em seguida como revestimento asfáltico drenante. Segundo Oliveira (2003 apud BOTTEON, 2017), nas rodovias, o uso iniciou em 1992, na Rodovia dos Bandeirantes, em São Paulo, e logo em seguida em 1997 foi utilizado na via marginal da Rodovia Presidente Dutra como revestimento asfáltico. O uso envolvendo a drenagem foi exclusivamente no ano de 2000.

A utilização de um índice menor de agregados miúdos na composição do concreto permeável pode interferir em sua resistência, e por esse motivo, Holtz (2011), afirma que, na maioria dos casos, a utilização do revestimento é indicada para áreas com tráfego leve ou pouco intenso.

Uma atenção especial deve ser dada ao solo que irá receber o revestimento, pois não se pode simplesmente aplicá-lo e esperar respostas extremamente positivas se não houver uma análise da capacidade de infiltração do solo. Holtz (2011), afirma que a real absorção é dada pelo solo, que deve contribuir para a percolação efetiva da água.

A utilização desse revestimento apresenta vantagens econômicas e de uso. Segundo

Botteon (2017), o concreto permeável “pode ser utilizado como alternativa aos sistemas de drenagem complexos e áreas de retenção de água, sendo uma alternativa econômica, viável e ecologicamente correta para áreas urbanas”. Holtz (2011), afirma que, por conta da baixa densidade, esse revestimento pode ser executado in loco e assim, evitam-se gastos elevados com transporte.

O pneu é um item muito utilizado atualmente já que compõe de forma essencial os processos de transporte. Porém, no Brasil esse material é descartado incorretamente, na mesma proporção que é usufruído e demoram anos para se decomporem no meio ambiente. Segundo Bertollo (2002), quando ocorrem as chuvas, o pneu acaba acumulando a água e com isso tem a possibilidade que o ambiente proporcione a proliferação de mosquitos, roedores e outros vetores de doenças.

O descarte dos pneus não é um problema apenas pela borracha que os compõem, mas envolve também uma dificuldade em destinar todos os materiais que fazem parte da estrutura dos pneus assim como mostra a Tabela 1, e por isso é tão complexo garantir uma disposição final para esse produto.

ELEMENTO	DESCRIÇÃO
Carcaça	Parte resistente do pneu que deve resistir à pressão, peso e choques. Compõe-se de lonas de poliéster, nylon ou aço
Talões	Constituem-se internamente de arames de aço de grande resistência, tendo por finalidade manter o pneu fixado ao aro da roda
Flancos	São as laterais da carcaça. Sendo revestidos por uma mistura de borracha com alto grau de flexibilidade e alta resistência à fadiga
Cintura	Compreende o feixe de cintas (lonas estabilizadoras) que são dimensionadas para suportar cargas em movimento
Banda de Rodagem	Parte do pneu que fica em contato direto com o solo

TABELA 01 – Partes constituintes do pneu

Fonte: Rodrigues (2008).

Rodrigues (2008), afirma que “para que possamos realmente resolver a questão, temos que mudar a ótica de destinação final adequada para melhor tecnologia de tratamento disponível, ambientalmente segura e economicamente viável para os pneus inservíveis”.

Diante disso, segundo Rodrigues (2008), 29 a Resolução SMA/SS-1, publicada no Diário Oficial do Estado de São Paulo, na data 5 de março de 2002, garante novas normas para a destinação final ambientalmente apropriada de pneus em aterros sanitários. A autora ainda afirma que os pneus inservíveis, quando depositados em aterros sanitários, devem ser triturados e misturados com resíduos domiciliares para garantir que após serem aterrados, não interfiram na desestabilização dos aterros sanitários.

Contudo, observa-se ainda que é necessário o aperfeiçoamento nas leis e nas normas existentes, além de uma garantia melhor na fiscalização por parte das autoridades, já que cada vez mais fica evidente os impactos negativos que o homem provoca na

natureza, causados pela poluição, destruição de habitats, e principalmente pelo acúmulo de resíduos sólidos, como por exemplo os pneus inservíveis.

Como a reciclagem da borracha é consideravelmente improvável atualmente, seria muito interessante se o pneu passasse a ser tratado corretamente quando considerado inservível. Rodrigues (2008) afirma que, “se admitirmos que a melhor solução consiste em dar tratamento ao resíduo e não simplesmente a sua “destinação final adequada”, teremos um maior ganho ambiental para a sociedade e uma série de utilidades para as carcaças de pneus”.

Por isso, tendo em vista a dificuldade em conseguir reciclar de modo ambientalmente seguro o pneu, atualmente é sugerido como alternativa o tratamento desse resíduo através do reuso ou da inserção do material na construção civil. Além disso, o pneu também pode ser utilizado, segundo Rodrigues (2008), como matéria prima na fabricação de brinquedos de playground, na contenção de encostas e, em projetos de aterros sanitários que utilizam a estabilização da manta impermeável com pneus amarrados.

Segundo Rodrigues (2008), o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) a resolução nº 258, reforça a obrigatoriedade de um destino adequado para os pneus. Segundo a autora, a resolução entende como pneu, “todo artefato, inflável, constituído basicamente por borracha e materiais de reforço utilizados para rodagem em veículos.”

Cada vez mais os fabricantes têm investido em recursos tecnológicos para garantir uma durabilidade maior dos pneus. Segundo Bertollo (2002), um dos processos de reutilização do pneu é a recauchutagem, que se troca a banda de rodagem desgastada por uma nova camada de borracha, sendo assim aproveita-se a carcaça por mais duas vezes. Porém, se a carcaça do pneu não estiver em condições de reciclagem a recauchutagem não pode ser feita, surgindo assim os pneus inservíveis.

Segundo Bertollo (2002), a engenharia civil traz projetos que envolvem a utilização do pneu, e garante soluções que na maioria das vezes são de custos baixos. Alguns exemplos do uso do pneu na engenharia civil são: aplicação em obras de contenções nas margens de rios, construção de parques infantis, barreiras em acostamento e uso em obras de contenções.

No Brasil, entretanto, a tecnologia ainda está em análise e em estudo, mas o uso dos pneus na pavimentação seria interessante, visto que o país possui um número considerável de rodovias pavimentadas. Desse modo, é importante avaliar a alternativa dessa inserção, visto que se deve levar em conta também o problema ambiental que estaria sendo minimizado. De acordo com Ballié e Roffé (2000, apud BERTOLLO, 2002), os revestimentos asfálticos com adição de borracha também podem garantir uma melhora nas condições de circulação, pois tendem a diminuir os riscos de derrapagem no caso de pista molhada, e são capazes de diminuir os ruídos causados no contato do pneu dos carros com o pavimento.

Existem dois processos para a inserção da borracha no asfalto, sendo eles chamados

de “processo úmido” e “processo seco”. De acordo com Bertollo (2002), no processo úmido, o cimento asfáltico aquecido recebe partículas finas de borracha, e assim é produzido um ligante denominado “asfalto-borracha”. De modo geral, o asfalto obtido a partir do processo úmido tem seu uso aconselhado apenas para selagem de trincas e juntas ou quando for necessário um reforço. Sobre o processo seco, é obtido um asfalto modificado com adição de borracha. Segundo Bertollo (2002), nesse caso, os agregados pétreos que compõem o pavimento são substituídos por partículas maiores de borracha e a resposta da interação com a incorporação do ligante asfáltico é um asfalto conhecido como “concreto asfáltico modificado com adição de borracha”

Do ponto de vista de Bertollo (2002, p. 91), o método mais indicado para o Brasil seria pelo processo seco, já que se adequa melhor ao contexto brasileiro, especialmente por conta de se adaptar com mais facilidade às usinas além de exigir maior consumo de pneus. A autora ainda afirma que:

No Brasil, a necessidade de estudos complementares, para um melhor entendimento dos efeitos dos fatores intervenientes sobre as propriedades de engenharia das misturas asfálticas com adição de borracha de pneus usados, ganha ainda maior importância em razão de termos diferentes materiais (agregados pétreos e ligantes asfálticos), técnicas e cuidados construtivos e condições climáticas quando comparado com as condições que prevalecem nos Estados Unidos e Europa. (BERTOLLO, 2002, p. 92).

Esse trabalho tem como principal objetivo avaliar as características de permeabilidade, morfologia e resistência mecânica da incorporação de pneus inservíveis em concreto permeável, visando a sua aplicação em pavimentação de baixo impacto.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O primeiro ensaio realizado foi o de granulometria do pneu e da brita. Foi essencial fazer esse ensaio para que fosse possível comparar a curva granulométrica de ambos os agregados. No caso do pneu, foi utilizado 1kg de material, que passou por um processo de separação em peneiras vibratórias. Foram utilizadas peneiras de 19, 9,5, 4,75, 2,36, 1,18 e 600 μ (mm) e as porções retidas em cada peneira foram pesadas e reservadas. Para o ensaio com a brita, foi utilizado 1kg de material, entretanto, as peneiras usadas foram de 9,5, 6,3, 4,75, 2,36 e 1,18mm, e foi realizado em peneiras vibratórias. As porções retidas em cada peneira foram pesadas e reservadas. Importante ressaltar que os ensaios foram realizados com base na ABNT NBR 7217:1987, e com os dados obtidos, foram formados os gráficos para a curva granulométrica do pneu e da brita.

Visando avaliar as características físicas e mecânicas do concreto permeável com adição de pneu, foi necessário inicialmente produzir os corpos de prova. Sendo assim, tendo como base a bibliografia estudada, foram definidos os traços dos concretos a serem produzidos e a partir da NBR 5735/91 e NBR 7225/93 (que tratam do Cimento Portland de

Alto-forno e dos Materiais de Pedra e Agregados Naturais, respectivamente) os agregados foram selecionados. Para confeccionar os corpos de prova utilizou-se como parâmetro a NBR 5738/03 que regulamenta sobre a Moldagem e Cura de Corpos-de-prova Cilíndricos ou Prismáticos de Concreto. Com relação aos materiais utilizados foram: Brita zero, água, cimento Portland CII, aditivo plastificante e pneu triturado.

Foram produzidos dezoito corpos de prova de 10x20cm de acordo com o traço 1:0:2,85 (sendo a proporção de cimento, areia e brita, respectivamente). No traço 1 não foi adicionada nenhuma quantidade de pneu, no traço 2 foi adicionado 7,5% de pneu e no traço 3, foi adicionado 10% de pneu, conforme indicados na Tabela 02. Importante ressaltar que a porcentagem de pneu é proporcional à quantidade de cimento no traço e o aditivo utilizado é do tipo plastificante.

Traço	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Água (l)	Pneu (g)	Aditivo (ml)
1	1,875	0	5,350	0,525	0	1,687
2	1,875	0	5,350	0,525	93,750	1,687
3	1,875	0	5,350	0,525	140,000	1,687

Tabela 02 - Traços desenvolvidos na moldagem dos corpos de prova analisados

Fonte: Autores (2022).

Após a moldagem dos corpos de prova, foram reservados por dois dias e no terceiro dia depois da confecção, colocados em cura úmida, que permaneceram por três dias. A partir disso, foi realizado o ensaio de compressão considerando 14 e 28 dias de idade, embasado na NBR 5739/07 que regulamenta sobre Ensaio de Compressão de Corpos-de-prova Cilíndricos.

Para avaliar a porosidade e a permeabilidade do concreto produzido foi realizado um ensaio adaptado pela NBR 9778:2005 que regulamenta sobre a Determinação da Absorção de Água, Índice de Vazios e Massa Específica. Os corpos de prova foram deixados por 72 horas em estufa a 80°C, antes da execução do ensaio, visando obter a melhor condição seca do material. Para o teste, em um balde contendo 4 litros de água, os corpos de prova de dimensões 10x20cm foram inseridos e ficaram submersos durante 20 minutos. Após esse tempo, mediu-se o volume de água com o corpo de prova. Logo após, foi obtido o volume do sólido que basicamente é a soma do volume de água com o volume do corpo de prova subtraído ao volume de água inicial. Com isso, calculou-se o volume de vazios, e a porosidade.

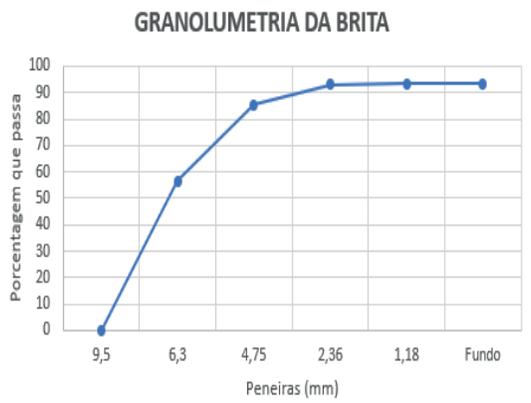
3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o ensaio de granulometria dos agregados realizados, foi possível observar uma certa semelhança entre a curva granulométrica da brita com a do pneu, o que

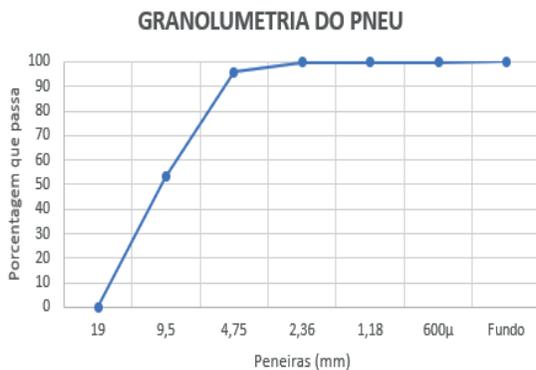
indica que a interação dos agregados com compõem o concreto, pode ser favorável com o pneu, assim como é com a brita, conforme indicam Figura 1:

Ao comparar os resultados obtidos durante os ensaios de compressão com os doze corpos de prova avaliados, constata-se que o melhor resultado encontrado foi no concreto com 7,5% de adição de pneu, visto que as maiores resistências foram observadas nesse traço tanto com 14 dias quanto com 28 dias de idade, a qual praticamente dobrou ao longo do tempo.

No concreto com 10% observou-se uma queda quando comparada ao traço de 7,5% de adição de pneu com a mesma idade, ficando por volta de 15,63% aos 14 dias e 14,43% aos 28 dias de idade.



(a)

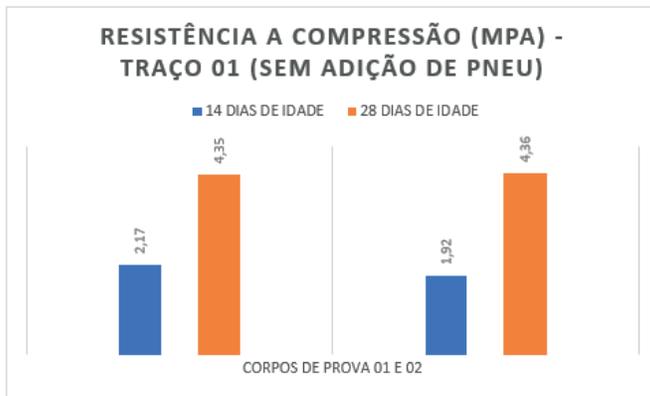


b)

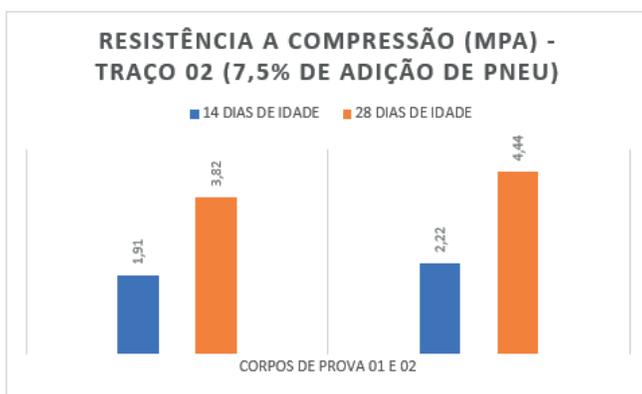
Figura 1 – Granulometria: a) Brita; b) Pneu.

Fonte: Autores, 2022.

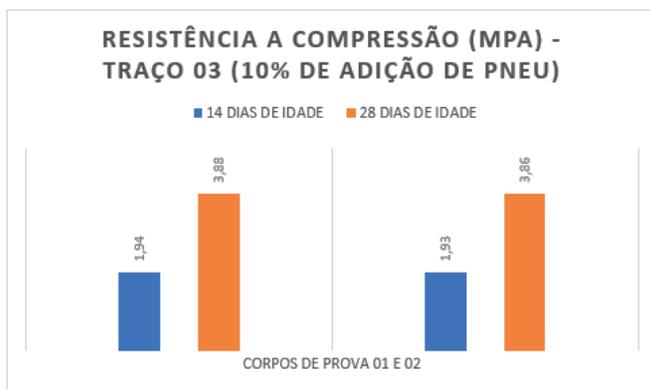
Os resultados podem ser avaliados conforme a Figura 2.



a)



b)



c)

Figura 2 - Resistência à compressão em MPa conforme a idade e o traço de cada corpo de prova: a) Traço 01 (sem adição de pneu); b) Traço 02 (com adição de 7,5% pneu); c) Traço 03 (com adição de 10% pneu)

Fonte: Autores, 2022

Analisando a questão da interferência do pneu na resistência à compressão do concreto permeável, entende-se que do primeiro para o segundo traço aos 14 dias de idade, houve praticamente os mesmos resultados, porém, é possível avaliar uma diminuição de aproximadamente 29% na resistência entre a incorporação de 7,5% para 10%. Com 28 dias de idade, os maiores resultados obtidos foram sem a incorporação de pneu, mas, do primeiro para o segundo traço, a queda ficou por volta dos 54%, enquanto do segundo para o terceiro traço, a queda avaliada foi de aproximadamente 56%. Assim como no concreto convencional, no concreto permeável com a inserção de pneu, houve um aumento das resistências à compressão conforme o tempo, sendo essa uma resposta positiva.

Para avaliar a porosidade do concreto confeccionado, foi adaptado o ensaio segundo a norma vigente, conforme o seguinte memorial de cálculos:

a) Volume sem o corpo de prova (VI):

Em um balde graduado de 25cm de diâmetro, foi adicionado 4 litros de água e a altura d'água observada foi de 11 cm. Com isso, foi calculado o volume sem o corpo de prova:

$$V = \pi * r^2 * h \rightarrow VI = 3,14 * 12,5^2 * 11 \rightarrow VI = 5,39L$$

b) Volume com o corpo de prova após 20 minutos (VF):

Cada corpo de prova ficou submerso por 20 minutos em cada balde, e após esse tempo, foi medida a diferença na altura d'água indicada no balde graduado. Analisou um aumento de 3 centímetros na altura d'água. Sendo assim, foi calculado o volume com o corpo de prova após o tempo de imersão:

$$V = \pi * r^2 * h \rightarrow VF = 3,14 * 12,5^2 * 14 \rightarrow VF = 6,86L$$

c) Volume do sólido (VS):

Para conseguir calcular o volume de vazios no ítem “e” é necessário calcular o volume do sólido, que é dado pela diferença entre os volumes medidos com e sem o corpo de prova.

$$VS = VF - VI \rightarrow VS = 6,86 - 5,39 \rightarrow VS = 1,47 L$$

d) Volume do molde (VM):

Como foram utilizados corpos de prova de 10cm de diâmetro por 20cm de altura, é necessário calcular o volume do molde para também aplicar na fórmula do volume de vazios do ítem “e”.

$$VM = \pi * r^2 * h \rightarrow VM = 3,14 * 5^2 * 20 \rightarrow VM = 1,57L$$

e) Volume de vazios (VV):

Para o cálculo da porosidade no ítem “f”, é necessário identificar o volume de vazios, ou também chamado de volume de poros.

$$VV = VM - VS \rightarrow VV = 1,57 - 1,47 \rightarrow VV = 0,10L$$

f) Porosidade

A porosidade (P) é dada pelo resultado da divisão entre o volume de vazios (VV) pelo volume total (Vt). Para isso, é necessário calcular o volume total (Vt), que é dado pela soma entre o volume do sólido (VS) pelo volume de vazios (VV).

$$Vt = VS + VV \rightarrow Vt = 1,47 + 0,10 \rightarrow Vt = 1,57L$$

$$P = \frac{VV}{Vt} \rightarrow P = \frac{0,10}{1,57} \rightarrow P = 0,00636 \rightarrow P = 6,37\%$$

Segundo Monteiro (2010), a porosidade obtida em um concreto permeável deve ficar entre 15 e 20%, e o índice alcançado neste trabalho ficou em torno de 6%, o que indica um resultado contrário ao esperado.

Analisando do ponto de vista econômico, o concreto permeável dispensa o uso de areia em seu traço, apresentando uma economia considerável, já que o metro cúbico desse agregado em nossa região custa por volta de R\$185,00 (Referência: dezembro/2023). Além disso, como esse revestimento pode ser executado “in loco”, existe também uma viabilidade econômica na questão do transporte, já que se evitariam gastos relacionados a isso.

Importante ressaltar que, de acordo com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), uma coleção de 17 metas globais estabelecidas pela Organização das Nações Unidas (ONU), esse tema se encaixa em quatro tópicos, os quais são eles: Indústria, Inovação e Infraestrutura; Cidades e Comunidades Sustentáveis; Vida na Água e Vida Terrestre, se mostrando como um importante tópico na promoção da sustentabilidade e na preservação do meio ambiente e dos recursos hídricos.

4 | CONCLUSÃO

A impermeabilização do solo é um fator decorrente do super desenvolvimento das cidades brasileiras e realmente traz diversos danos ambientais e hídricos, que conforme o passar dos anos, se intensificam e causam malefícios à população. Por isso, é sugerido o uso de pavimentos permeáveis, para garantir que o escoamento superficial seja absorvido pelo revestimento e assim, direcione a água pluvial para o solo ou para bacias de captação.

Conforme os resultados obtidos, nota-se que a granulometria do pneu não interfere negativamente na resistência do concreto permeável, visto que a curva granulométrica da brita é semelhante. Além disso, pode-se dizer que a inserção de borracha contribui para aumentar a incorporação de ar, tornando assim o concreto mais poroso, sendo esse um acontecimento importante para o concreto permeável.

A inserção de pneus no concreto permeável não interfere de forma significativa no

aumento da resistência à compressão, visto que esse índice é afetado principalmente pelo tempo de cura do concreto. Mesmo assim a inserção do pneu no concreto permeável é considerada válida partindo do princípio que não interfere negativamente nos principais pontos analisados, e refletindo sobre sustentabilidade e meio ambiente é interessante considerar sua inserção no meio da construção civil, já que estaria sendo reutilizado de forma correta e positiva. O traço mais adequado seria o com a incorporação de 7,5% de pneu proporcionalmente à quantidade de cimento.

Avaliando os quesitos técnicos apresentados no trabalho, a inserção de pneus inservíveis no concreto permeável é uma técnica válida em obras de pavimentação de baixo tráfego, em especial em locais que sofrem com a falta de permeabilidade no solo. Como esse revestimento pode ser executado “in loco”, existe também uma viabilidade econômica na questão do transporte, já que se evitariam gastos relacionados a isso.

Portanto, é extremamente válido sugerir o uso do concreto permeável já que é uma possível solução dentre problemas ambientais e hídricos, sendo tecnicamente fácil de se executar.

Recomenda-se também a execução do ensaio de permeabilidade para se determinar o valor do coeficiente de permeabilidade (K).

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7217. Agregados - Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778. Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5735. Cimento Portland de alto-forno.** Rio de Janeiro, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739. Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738. Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7225. Materiais de pedra agregados naturais.** Rio de Janeiro, 1982.

BERTOLLO, Sandra Aparecida Margarido. **Avaliação Laboratorial de Misturas Asfálticas Densas Modificadas com Borracha Reciclada de Pneus.** Orientador: José Leomar Fernandes Júnior. 2002. 252 f. (Tese de Doutorado em Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 2002. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18137/tde-14122015-152916/en.php>. Acesso em: 17 abr. 2022

BOTTEON, Letícia Machado. **Desenvolvimento e caracterização de concreto permeável para utilização em blocos intertravados para estacionamentos**. Orientadora: Camila Aparecida Abelha Rocha. 2017. 95 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2017. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/handle/1/5255>. Acesso em: 27 mar. 2022

HOLTZ, Fabiano da Costa. **Uso De Concreto Permeável Na Drenagem Urbana: Análise Da Viabilidade Técnica E Do Impacto Ambiental**. Orientador: Luiz Carlos Pinto da Silva Filho. 2011. 138 f. (Dissertação de Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/35615>. Acesso em: 27 mar. 2022

MONTEIRO, Anna Carolina Neves. **Concreto Poroso: Dosagem e Desempenho**. Orientador: André Luiz Bortolacci Geyer. 2010. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil, Universidade Federal Goiás, 2010. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/557672754/Concreto-Poroso-Dosagem-e-Desempenho#:~:text=CONCRETO%20POROSO%3A%20DOSAGEM%20E%20DESEMPENHO%20Trabalho%20de%20conclus%C3%A3o,Goi%C3%A1s%20para%20obten%C3%A7%C3%A3o%20do%20t%C3%ADtulo%20de%20Engenheiro%20Civil>. Acesso em: 26 out. 2022

OLIVEIRA, Carlos Gustavo Macedo. **Estudo de Propriedades Mecânicas e Hidráulicas do Concreto Asfáltico Drenante**. Orientador: José Camapum De Carvalho. 2003. 104 f. Tese (Mestrado em Geotecnia) - Faculdade de Tecnologia - Departamento De Engenharia Civil e Ambiental, UnB, Brasília, 2003. Disponível em: <https://docplayer.com.br/10222064-Estudo-de-propriedades-mecanicas-e-hidraulicas-do-concreto-asfaltico-drenante-carlos-gustavo-macedo-oliveira.html>. Acesso em: 10 mai. 2022.

RAMOS, Gustavo Moreira. **Análise Das Propriedades Do Concreto Permeável Com Adição De Agregado Miúdo E Resíduo (Cinza Madeira)**. Orientadora: Valéria Bennack. 2018. 90 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2018. Disponível em: <https://1library.org/document/zg8kw02yanalise-propriedades-concreto-permeavel-adicaoagregado-residuomadeira.html>. Acesso em: 05 abr. 2022

RODRIGUES, Mara Regina Pagliuso. **Caracterização E Utilização Do Resíduo Da Borracha de Pneus Inservíveis Em Compósitos Aplicáveis Na Construção Civil**. Orientadora: Akemi Ino. 2008. 290 f. (Tese de Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 2008. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-17112008-104700/en.php>. Acesso em: 10 abr. 2022

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Revista Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 97- 112, 2008. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10295>. Acesso em: 20 mar. 2022

ESTUDO DA EFICIÊNCIA DO TRATAMENTO OXIDATIVO AVANÇADO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS COM A PRESENÇA DE FÁRMACOS ATRAVÉS DE BIOENSAIOS DE TOXICIDADE

Data de submissão: 28/04/2023

Data de aceite: 02/06/2023

Thaina Aparecida de Souza

Universidade São Francisco
Campinas-SP
<http://lattes.cnpq.br/3259857285386504>

Suélien Dumer de Oliveira

Universidade São Francisco
Campinas-SP
<http://lattes.cnpq.br/4077053692928725>

André Augusto Gutierrez Fernandes Beati

Universidade São Francisco
<http://lattes.cnpq.br/1511136460506757>
<https://orcid.org/0000-0001-7578-9972>

Renata Lima Moretto

Universidade São Francisco
Campinas-SP
<http://lattes.cnpq.br/9818772550330671>
<https://orcid.org/0000-0001-7431-1651>

Laira Lúcia Damasceno de Oliveira

Universidade São Francisco
Campinas-SP
<http://lattes.cnpq.br/7923496512252395>
<https://orcid.org/0000-0001-6804-0082>

ecossistema aquático, o presente estudo propôs o tratamento de amostras sintéticas contendo os fármacos propranolol e paracetamol, com aplicação do Processo Oxidativo Avançado H_2O_2/UV e posterior verificação da eficácia deste tratamento pelos ensaios ecotoxicológicos, com amostras brutas e tratadas, utilizando como organismo-teste a espécie *Lactuca sativa* (Plantae, Magnoliophyta). Em condições de laboratório, desenvolveu-se a curva padrão para leitura de DQO e realizou-se as análises espectrométricas. A melhor degradação do paracetamol foi de 72,36% (15 minutos de coleta) e do propranolol foi de 80,28% (15 minutos de coleta). Nos bioensaios com as amostras brutas identificou-se o fenômeno *hormesis*, para ambos os medicamentos, com germinação acima de 85% nas réplicas. Tal efeito ocorreu novamente com as amostras tratadas de paracetamol, com uma germinação acima de 89%, exceto pela concentração de 100% (sem diluição) que apresentou a menor porcentagem de germinação, de 61,25%. Após o tratamento das amostras com propranolol foi obtido o CI_{50} (concentração que causou inibição na germinação de 50% das sementes expostas) de 19,73% com um intervalo de confiança de 95%, de 15,89 – 23,05%. Em

RESUMO: Através do alerta socioambiental envolto a identificação de microcontaminantes emergentes no

relação às amostras tratadas com paracetamol, não foi possível calcular este parâmetro de inibição de sementes. A partir dos resultados obtidos, foi possível verificar a degradação dos compostos farmacêuticos através de um alto nível de oxidação, além das condições tóxicas para as sementes após o tratamento das amostras com propranolol.

PALAVRAS-CHAVE: microcontaminantes emergentes, fármacos, ensaios ecotoxicológicos, tratamento, Processo Oxidativo Avançado H_2O_2/UV .

STUDY OF THE EFFICIENCY OF ADVANCED OXIDATIVE TREATMENT OF WASTEWATER WITH THE PRESENCE OF MEDICINES THROUGH TOXICITY BIOASSAYS

ABSTRACT: Through the socio-environmental alertness involved in the identification of emerging micro-contaminants in the aquatic ecosystem. The present study proposed the treatment of synthetic samples containing the medicine propranolol and paracetamol with the application of the H_2O_2/UV Advanced Oxidative Process and subsequent verification of the effectiveness of this treatment by ecotoxicological tests with raw and treated samples, using as test organism the species *Lactuca sativa* (Plantae, Magnoliophyta). Under laboratory conditions, the standard curve for COD reading was developed and spectrometric analyses were performed. The paracetamol degradation was 72.36% (15 minutes collection time) and propranolol was 80.28% (15 minutes collection time). In the bioassays with the crude samples, the hormesis phenomenon was identified for both drugs, with germination above 85% in the replicates. This effect occurred again with the paracetamol treated samples, with a germination above 89%, except for the 100% concentration (without dilution) that presented the lowest germination percentage of 61.25%. After treatment of the samples with propranolol, the CI50 (concentration that caused inhibition in the germination of 50% of the exposed seeds) of 19.73% was obtained with a 95% confidence interval of 15.89 - 23.05%. Regarding the samples treated with paracetamol, it was not possible to calculate this seed inhibition parameter. From the results obtained, it was possible to verify the degradation of pharmaceutical compounds through a high level of oxidation, in addition to the toxic conditions for seeds after the treatment of the samples with propranolol.

KEYWORDS: emerging micro-contaminants, drug, ecotoxicological tests, treatment, H_2O_2/UV Advanced Oxidative Process.

1 | INTRODUÇÃO

Por consequência do aumento populacional em grandes centros urbanos e o desenvolvimento industrial, têm-se diversos poluentes lançados em recursos naturais, além da formação de novos compostos a cada inovação industrial. O lançamento de efluentes líquidos domésticos e industriais contaminam os corpos hídricos em uma proporção preocupante, posto que afeta a biota aquática e suscita o desequilíbrio ambiental.

De acordo com Sodré, Locatello e Jardim (2010), dentre os contaminantes emergentes pode-se considerar os produtos farmacêuticos e de higiene pessoal, hormônios, derivados do colesterol e alguns subprodutos industriais. Já para Richardson e Ternes (2011 apud

Raimundo, 2011, p.2), tais substâncias também se enquadram nessa categoria, sendo estes: “novos agrotóxicos, drogas ilícitas, protetores solares, estrogênios, alquilfenóis e seus derivados, alguns produtos provenientes de processos de desinfecção de água, compostos de perfluorados, siloxanos, benzotiazóis, ácidos naftênicos, percloratos, líquidos iônicos, dioxinas, o antimônio, dentro os adoçantes a sucralose, além dos nanomateriais e alguns microrganismos e toxinas de algas”.

Frente à produção de fármacos em larga escala, o uso intensificado está relacionado à manutenção da saúde humana, à praticidade de eliminar dores provenientes do novo estilo de vida nos grandes centros urbanos e a fácil aquisição de medicamentos sem prescrição médica e como mercadorias, tanto que, interposto ao Instituto Datafolha, o Conselho Federal de Farmácia (CFF)¹ apurou que 77% dos brasileiros apresentaram a automedicação como uma prática comum durante os 6 meses que antecederam a pesquisa em 2019, sendo com maior frequência entre o público feminino, e cerca de 50% utilizaram antitérmicos e analgésicos, 42% os antibióticos e 24% os relaxantes musculares.

Além disso, a legislação ambiental brasileira que regulamenta a potabilidade da água não especifica uma quantidade mínima desses compostos lançados em corpos receptores, e a população não tem conhecimento de como realizar o descarte desse tipo de resíduo, tal como ainda na pesquisa do CFF (2019), 76% dos entrevistados o executam de maneira incorreta, sendo no lixo comum, em vasos sanitários, pias e tanques, com maior probabilidade de percorrer até lixões e aterros não licenciados. Ademais, o descarte incorreto de fármacos intensifica a concentração poluidora em corpos d'águas, além de causar outros impactos ambientais negativos. Conforme aponta Kümmerer (2004 apud Tambosi, 2008) esses impactos podem ser toxicidade em ambientes hídricos, possível resistência de bactérias patogênicas, toxidez que afeta o material genético e distúrbios endócrinos.

Os compostos farmacêuticos são substâncias que por meio de princípios ativos e pela dosagem correta, atuam para tratar doenças e dores internas e externas ao organismo do homem e do animal. Após a absorção do corpo e metabolização das moléculas, parte dessas substâncias são eliminadas pela excreção. De acordo com as características das substâncias e também com as vias de administração, a excreção pode ocorrer de diversas formas. Zanini, Oga e Batistuzzo (2018), apontam maneiras de atividade de excreção, sendo: via pulmonar para analgésicos gerais e álcool, pelos rins para os compostos polares e hidrossolúveis, pela ação de defecação para drogas de via de administração oral não absorvidas pelo organismo, ou absorvidas e eliminadas junto com a bile, além das excreções externas, como salivar, lacrimal, nasal e sudorípara, em alguns casos até através do leite materno, mesmo que seja em parcelas mínimas.

Dentre os fármacos que vêm despertando o interesse da comunidade científica por

¹ Conselho Federal de Farmácia. 2019. Disponível em: <<https://www.cff.org.br/noticia.php?id=5267>>. Acesso em: 18 dez. 2021.

serem produzidos e vendidos em grande volume e surgem com grande frequência nos estudos de monitoramento do ambiente aquático, estão o propranolol (anti-hipertensivo) e o paracetamol ou acetaminofeno (analgésico/ antitérmico). Para a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) o medicamento propranolol, $[C_{16}H_{21}NO_2]$, é um betabloqueador, que possui ação inibitória a estímulos dos receptores beta-adrenérgicos (β -1 e β -2) presentes no organismo e é indicado para controle de hipertensão, entre outras indicações. Já o paracetamol, $[C_8H_9NO_2]$, é definido pela ANVISA como um analgésico e antitérmico, indicado para diminuição de febre e alívio a dores não intensas.

Em vista disso, identifica-se o conjunto de Processos Oxidativos Avançados (POAs) como uma alternativa de tratabilidade da água contaminada com fármacos, posto que, ao liberarem altas quantidades de radicais livres de hidroxila ($\bullet OH$), que são obtidos através de oxidantes como peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e ozônio (O_3), com ou sem conjugação da luz ultravioleta (UV), é possível obter uma completa mineralização, sendo um ótimo processo na eliminação desses poluentes, conforme pontuado por Andreozzi e Marotta (2004 apud Tambosi, 2008).

Deve-se ressaltar que as análises de toxicidade têm como finalidade demonstrar os efeitos que tais substâncias podem causar na biota aquática e terrestre, por isso é um campo complementar ao tratamento de água, uma vez que destaca ainda mais a sua importância. Com o avanço nas pesquisas e testes desenvolvidos para obter o percentual de toxicidade nos corpos d'águas através de bioindicadores, os resultados têm sido satisfatórios, devido a sensibilidade aos compostos tóxicos existentes em diferentes proporções no meio. Por intermédio dos mesmos, é possível obter diagnósticos relacionados à exposição de curto ou longo prazo.

Neste contexto, o presente estudo propôs a avaliação da eficácia do tratamento oxidativo avançado - Peróxido de Hidrogênio/Radiação Ultravioleta, de amostras de águas residuárias com a presença dos fármacos: propranolol e paracetamol, por meio de bioensaios de fitotoxicidade utilizando a espécie *Lactuca sativa* (Plantae, Magnoliophyta), em condições de laboratório, além de análises espectrométricas que podem garantir resultados mais eficientes.

2 | METODOLOGIA

O fluxograma abaixo (Figura 1) mostra as etapas laboratoriais que compõem o presente estudo, de forma a ressaltar a importância de cada análise e demonstrar a ordem seguida dos testes.

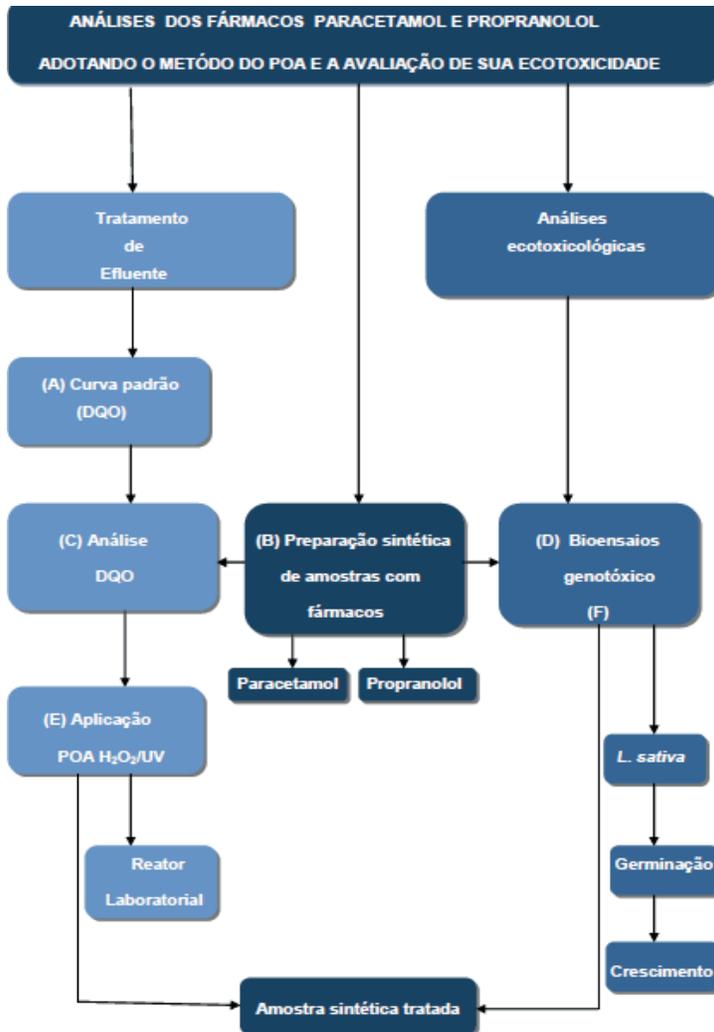


Figura 1 – Fluxograma das etapas de desenvolvimento analítico. (Fonte: Próprio autor)

Todos os testes de Demanda Química de Oxigênio (DQO), bioensaios e tratamento das amostras foram realizados no Laboratório de Engenharia Ambiental da Universidade São Francisco, Campus Swift, Campinas-SP. O primeiro foi o desenvolvimento da Curva Padrão para utilização da espectrométrica nessa pesquisa, sendo possível a realização da análise da DQO das amostras brutas e tratadas. Para a execução deste, foram preparados os seguintes reagentes, de acordo com Standard Methods 5220 D:

- Solução digestora: foram adicionados, em 125 mL de água destilada, 2,554 g de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$), seco em estufa a 103°C por duas horas; 41,75 mL de ácido sulfúrico; 8,325 g de sulfato de mercúrio ($HgSO_4$). Após dissolver e esfriar, foi completado com água destilada o volume até 250 mL, correspondente ao balão volumétrico.

- Reagente de ácido sulfúrico: em 200 mL de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) foi adicionado 2,03 g de sulfato de prata (Ag_2SO_4). A dissolução completa do sulfato de prata ocorreu em 24 horas.
- Solução padrão de biftalato de potássio: em 500 mL de água destilada foram acrescentados 450,0 mg de biftalato de potássio ($HOCC6H4COOK$), seco a $120^\circ C$ por duas horas. Após o biftalato ser dissolvido, foi completado o volume para 1000 mL em balão volumétrico. Sob refrigeração, tal solução permanece estável por até 3 meses. Relação teórica entre o biftalato de potássio e a DQO: 1 mg de biftalato de potássio= 1,171 mg O_2 .

Foram retirados diferentes volumes da solução padrão e dissolvidos em água destilada até completar 100mL, tais volumes correspondem a 10mL, 20mL, 40mL, 60mL, 80mL e 100mL. Em seguida foi realizado o procedimento de análise de DQO sem as amostras em estudo, de modo a calibrar a curva padrão.

As amostras sintéticas foram preparadas no Laboratório e posteriormente iniciaram-se as etapas seguintes:

- De acordo com os cálculos de massa e concentração, foram pesados 0,1 g de cada medicamento;
- Moagem manual do propranolol feita num cadinho;
- Solubilidade dos fármacos separadamente em balões volumétricos, com água destilada até completar 100 ml (solução utilizada no lugar do padrão);
- Os volumes retirados dessa solução foram de 0,75; 1,5 e 3 ml para ambos, e posteriormente completados com água destilada até 10 ml em um balão volumétrico. Após o cumprimento das fases citadas anteriormente, iniciou-se a Análise DQO (Figura 2).

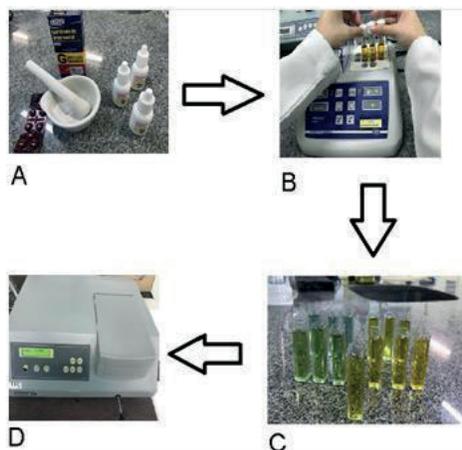


Figura 2 – Etapas metodológicas de ensaios de DQO das amostras com fármacos: A) Preparação dos fármacos (trituração do propranolol para facilitar a solubilidade); B) Disposição das amostras no tubo digestor para acelerar as reações químicas; C) amostras dispostas nas cubetas; e D) leitura da DQO em Absorbância no espectrofotômetro. (Fonte: Próprio autor)

Para a realização dos parâmetros comparativos de degradação dos fármacos nas análises de estequiometria oxidante/redutor, foram consideradas a soma da DQO da amostra com fármaco + DQO da amostra com fármaco e peróxido, sendo 4413,5 ppm - paracetamol e 4511,75 ppm - propranolol, para os testes de tratamento com H_2O_2 apenas e com H_2O_2 e luz UV.

Em relação aos bioensaios de fitotoxicidade, estes foram sucedidos antes do tratamento e pós-tratamento, com o escopo de obter uma análise real resultante do contato entre fármacos e fase de germinação das sementes, bem como demonstrar mais um parâmetro de comprovação da possível mineralização dessas substâncias.

Para iniciar os testes com a espécie *Lactuca sativa* (Plantae, Magnoliophyta), após a obtenção das sementes de alface, foram mantidas em ambiente seco, de modo a permanecer dormente para que a validade não fosse expirada. Foram calculadas as concentrações das somatórias entre amostra e água reconstituída, sendo consideradas as seguintes diluições percentuais de amostra bruta e tratada: 0,00 (água reconstituída); 3,12; 6,25; 12,5; 25; 50; 75 e 100% (sem diluição). Os testes foram realizados em 4 réplicas para cada diluição percentual, sendo que foram colocadas 20 sementes em cada placa, onde foram dispostos papéis filtro e adicionados um volume total de 4 mL, sendo o resultado da soma entre volume de amostra e da água reconstituída. As placas foram cobertas com filme plástico mantidas por 5 dias (120 horas) na ausência de luz e em temperatura ambiente. Após esses processos, foram realizadas as contagens das sementes germinadas ou não, além do tamanho das radículas (USEPA, 1996; OECD, 2003 apud Castro, 2013). As medições foram realizadas através de régua, e tomou-se o devido cuidado para que não houvesse o rompimento entre as radículas e as raízes.

Após a determinação da porcentagem de inibição, estes valores foram sumarizados e analisados, utilizando o método estatístico Trimmed Spearman-Kärber (HAMILTON et al., 1977). A água reconstituída foi preparada a partir de duas soluções padrões, a primeira foi feita com 1,5 g de Sulfato de Cálcio desidratado ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) dissolvido em 1 L de água destilada, na segunda utilizou-se 0,1 g de Cloreto de Potássio (KCl), 2,4 g de Bicarbonato de Sódio ($NaHCO_3$) e 3,05 g de Sulfato de Magnésio ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) dissolvidos em 500 mL de água destilada, após a finalização das soluções padrão, as mesmas foram diluídas em 28,5 L de água destilada, totalizando 30 L de água reconstituída que foi mantida durante 24 horas em um recipiente fechado e sob aeração, conforme é recomendada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004, 2005).

De modo a compreender a relação química de oxidação entre os fármacos e o agente oxidante utilizados neste estudo, identificou-se a quantidade de mol necessária para degradar os medicamentos, de forma teórica, conforme a descrição (Figura 3).

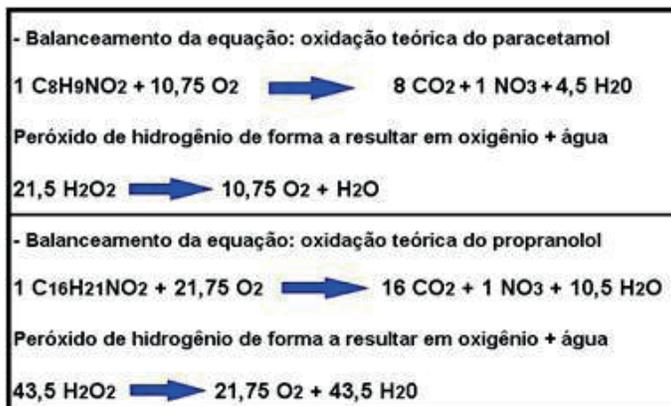


Figura 3 – Possível oxidação dos fármacos em estudo (Fonte: Próprio autor)

Para tratar em uma proporção maior, aumentou-se a concentração da amostra proporcionalmente a 0,1g/250ml para 0,4g/1000ml, com uma massa de peróxido de hidrogênio correspondente a 100% do reagente, sendo 49,43 g para degradar o propranolol e 6,26 g para oxidar o paracetamol. Já no tratamento com o uso do reator químico de laboratório, elevou-se a concentração para 4g/10.000ml, sendo considerado 493 g de H_2O_2 para oxidar o propranolol e 62,6 g para degradar o paracetamol.

Após a pesagem dos produtos farmacêuticos e dissolução em água destilada, foram adicionados às amostras no reator eletroquímico e H_2O_2 . Foram feitas as coletas para leitura de DQO após 15, 30 e 60 minutos, sendo que 2,5 ml foram retirados de cada coleta e acrescentados aos tubos HACK e a análise foi realizada em duplicata.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Curva padrão e análise de DQO inicial

O primeiro resultado foi a padronização da Curva Padrão de DQO a ser seguida durante a pesquisa, como um forte parâmetro, sendo gerado também a equação, fator de erro e fórmula para cálculo de ppm de acordo com a calibração da curva (Figura 4).

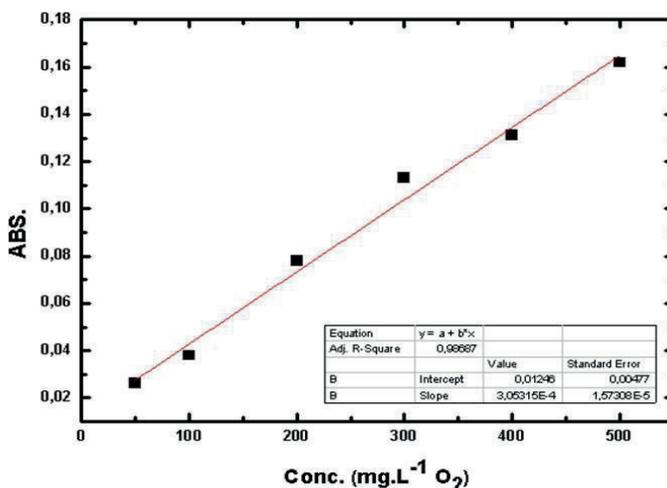


Figura 4 – Curva de Calibração de DQO (Fonte: Próprio autor)

$$C = (ABS - 1,246 \cdot 10^{-3}) / 3,05315 \cdot 10^{-4}$$

Baydum (2012) cita que a estequiometria oxidante é um parâmetro requisitado sempre que há pretensão de se utilizar um oxidante. Por este motivo, neste estudo foi desenvolvida uma Curva Padrão a ser seguida como padrão de análise. Neste enquadramento, os resultados das Absorbâncias e da DQO em ppm das amostras brutas, podem ser observados na Tabela 1.

ANÁLISE ESTEQUIOMÉTRICA DE AMOSTRAS BRUTAS			
FÁRMACO	CONCENTRAÇÃO DO PRINCÍPIO ATIVO (ppm)	MÉDIA DE ABSORBÂNCIA (A)	DQO (ppm)
PARACETAMOL	75	0,027	84,35
	150	0,054	172,78
	300	0,122	395,5
PROPRANOLOL	75	0,05	159,68
	150	0,047	149,85
	300	0,081	261,22

Tabela 1 – Análise de estequiometria oxidante de amostras brutas com paracetamol e propranolol.

Fonte: Próprio autor

A concentração inicial de 75 ppm para ambos os fármacos foi considerada de acordo com a solubilidade do propranolol, de 75 mg/l, sendo o fármaco com maior quantidade de carbono em sua composição química, o que explica a solubilidade ser menor em relação ao paracetamol, que por sua vez possui uma quantidade menor de carbono e a solubilidade é de 12,75 g/l. Nesse sentido, foi possível estabelecer uma Curva Padrão que abrange os dois medicamentos. Para a obtenção da média de absorbância os testes foram executados em triplicata. Mesmo com uma massa de 0,1g o cloridrato de propranolol não dissolveu

completamente durante toda a análise de DQO, dado que sua solubilidade é correspondente a 75, o que resultou em uma variação significativa referente a concentração de 300 ppm, visto que as três leituras demonstraram valores em absorvância não tão próximos como as leituras de outras concentrações dos fármacos. É válido ressaltar que os valores em Absorvância (A) estão dentro da Curva Padrão de DQO, que está especificada com os valores máximos de Absorvância igual a 0,180 e 500 ($\text{mg.L}^{-1} \text{O}_2$), com o seguinte parâmetro: amostra com propranolol apresentou menor média de Absorvância na concentração de 150 ppm (0,047 A) e paracetamol na concentração de 75 ppm (0,122 A).

Análise do tratamento de água em escala de bancada

De modo empírico, foi possível analisar a ação oxidativa do peróxido de hidrogênio. Após a agitação por 60 minutos e coleta de amostras para leitura espectrométrica, obteve-se os resultados representados na Tabela 2.

ANÁLISE ESTEQUIOMÉTRICA DE AMOSTRAS TRATADAS COM H_2O_2 - SEM LUZ UV			
	COLETA	MÉDIA (A)	DQO (PPM)
PARACETAMOL	Fármaco	0,590	1928,35
	Fármaco + H_2O_2	0,760	2485,15
	15 minutos	0,830	2714,42
	30 minutos	0,512	1672,87
	60 minutos	0,502	1659,78
PROPRANOLOL	Fármaco	0,490	1600,81
	Fármaco + H_2O_2	0,890	2910,94
	15 minutos	0,925	3025,00
	30 minutos	0,547	1787,51
	60 minutos	0,705	2305,00

Tabela 2 – Análise de estequiometria oxidante de amostras com paracetamol e propranolol tratadas com H_2O_2

Fonte: Próprio autor

Jardim e Teixeira (2004) apud Baydum (2012) salientam que a obtenção de êxito na oxidação química depende do escopo do tratamento, se é mineralização de uma substância química particular, se é diminuição da carga orgânica, eliminação de cor ou redução tóxica. E ainda, menciona que a condição residual de um oxidante pode resultar em subproduto após a ação de tratabilidade, bem como não ser aconselhável economicamente. Baydum (2012) aborda que o peróxido de hidrogênio, assim como outros oxidantes, gera subprodutos, como ácidos orgânicos e quinonas, comumente produzidos.

Pelo tempo mínimo para a execução dos ensaios propostos, nesta pesquisa avaliativa não foram realizados testes ou adição de substâncias e compostos para identificação e correção de peróxido de hidrogênio residual. Em pesquisas científicas é possível encontrar

métodos de realizar tais testes, como no estudo realizado por Fernandes (2015), que após o emprego do UV/H₂O₂ para mineralização do fármaco propranolol, procedimento fotocatalítico, foi utilizado, sob agitação, o uso de 307 mg de Bissulfito de Sódio (NaHSO₃) para inibir a reação do oxidante como residual na amostra, posteriormente, através da adição de NaHSO₃, onde obteve-se a confirmação de remoção total do resíduo, indicada através da fita indicadora de peróxido na faixa 0 – 25 mg.L⁻¹ H₂O₂.

Diante dessa análise literária científica, neste estudo procurou-se a redução de carga orgânica presente nas amostras com os fármacos propranolol e paracetamol, a fim de obter uma degradação. Desse modo, verificou-se que houve oxidação de ambos os medicamentos, e que em 60 minutos o paracetamol atingiu uma remoção de DQO de 62,4% (de 4413,5 ppm para 1659,78 ppm) e o propranolol de 48,92% (de 4511,75 ppm para 2305 ppm), valores de degradação. Há a possibilidade de se ter uma interferência dos subprodutos do peróxido, o que pode ter estagnado a ação de degradação.

Análise do tratamento de água pelo reator laboratorial

Após o teste com reator fotoquímico laboratorial e adição de peróxido de hidrogênio foi possível visualizar a oxidação química pela mudança de cor do transparente das duas amostras para rosa (propranolol) e amarelo (paracetamol), reação que mostrou-se apenas em teste de escala maior, embora a degradação dos produtos tenha ocorrido nas duas análises.

É relevante ser considerado que os fármacos deste estudo são compostos também por outras substâncias, como cita a ANVISA, cada comprimido de cloridrato de propranolol de 40 mg contém ácido esteárico, lactose monoidratada, celulose microcristalina, estearato de magnésio e dióxido de silício, além do paracetamol que cada mL (entre 14 e 16 gotas) contém 200 mg de paracetamol, ácido cítrico, benzoato de sódio, ciclamato de sódio, sacarina sódica, metabissulfato de sódio, macrogol 400, aroma de caramelo, aroma de laranja, corante amarelo crepúsculo n° 6 e água purificada. Em vista disso, a degradação dos medicamentos neste estudo não atua somente sobre os fármacos, mas ainda de outras substâncias, que inclusive podem ser excretadas pelo organismo no sistema sanitário. Os valores expressos na tabela a seguir representam a oxidação das amostras em três momentos, após 15, 30 e 60 minutos de ação do peróxido de hidrogênio sob a luz UV.

ANÁLISE ESTEQUIOMÉTRICA DE AMOSTRAS TRATADAS COM H ₂ O ₂ /UV - REATOR			
	COLETA	MÉDIA (A)	DQO (PPM)
PARACETAMOL	Fármaco	0,59	1928,35
	Fármaco + H ₂ O ₂	0,76	2485,15
	15 minutos	0,267	870,42
	30 minutos	0,274	893,35
	60 minutos	0,257	837,67
PROPRANOLOL	Fármaco	0,49	1600,81
	Fármaco + H ₂ O ₂	0,89	2910,94
	15 minutos	0,382	1247,08
	30 minutos	0,31	1011,26
	60 minutos	0,368	1201,23

Tabela 3 – Análise de estequiometria oxidante de amostras com paracetamol e propranolol tratadas com H₂O₂/UV.

Fonte: Próprio autor

Observou-se que houve uma oxidação elevada dos fármacos pelo tratamento oxidativo proposto pelo estudo, o qual se mostrou eficiente na mineralização não só dos medicamentos, mas também das outras substâncias que os compõem, já que são medicamentos comerciais. Tal mineralização pode ser observada em porcentagem na Tabela 4.

DEGRADAÇÃO: FÁRMACOS PELO TRATAMENTO H ₂ O ₂ /UV		
FÁRMACO	AMOSTRA	DEGRADAÇÃO (%)
PROPRANOLOL	Coleta após 15 minutos	72,36
	Coleta após 30 minutos	77,59
	Coleta 1 hora	73,38
PARACETAMOL	Coleta após 15 minutos	80,28
	Coleta após 30 minutos	79,76
	Coleta 1 hora	81,02

Tabela 4 – Degradação dos fármacos propranolol e paracetamol obtidos pelo tratamento H₂O₂/UV.

Fonte: Próprio autor

Para ambos os fármacos o melhor resultado foi a degradação no tempo de coleta de 15 minutos (paracetamol: de 4413,5 ppm 870,42 ppm e propranolol de 4511,75 ppm para 1247,08), pois em pouco tempo houve oxidação de 70% das amostras. Notou-se que a taxa de variação entre os tempos de coleta é mínima, ou seja, após 15 minutos diminuiu a velocidade de degradação, sendo que não compensa em uma análise custo e benefício, gasta-se mais energia para oxidar uma pequena fração do restante da amostra.

Os parâmetros de degradação obtidos neste estudo são distintos de outras abordagens na literatura. Como resultados opostos a remoção do propranolol nessa avaliação (72,36% de 4g/10L em 15 minutos com lâmpada de 15W), Robinson et al (2007) apud Baydum (2012) conseguiu atingir uma degradação de 11-68% em 40 ugL⁻¹ de propranolol por meio de fotólise com lâmpada de 290 nm. Outro estudo atingiu valores significativos à degradação do paracetamol diferente das condições da evidente avaliação (80,28% de 4g/10L em 15 minutos com lâmpada de 15W), como mencionado por Nogueira

et al (2007) apud Napoleão et al. (2015). Em uma pesquisa, o melhor teste identificado com 100% de degradação do paracetamol foi apresentado pelas seguintes condições: processo H_2O_2/UV , pH entre 3 e 4; massa do fármaco menor que o limite de detecção do estudo ($< 0,002 \text{ mg.L}^{-1}$), $4\mu\text{L}$ de H_2O_2 e sem adição de ferro. Outro ensaio que se revelou positivo com 96,2% de mineralização do composto, houve degradabilidade de $0,038 \text{ mg.L}^{-1}$ de paracetamol na amostra (NAPOLEÃO et al., 2015). Percebe-se que em ambos os resultados encontrados na literatura, as concentrações dos medicamentos são menores do que a utilizada na presente avaliação oxidativa, sendo válido destacar que quanto maior a concentração dos produtos xenobióticos, maior a quantidade de agente oxidante e mais dificultoso a tratabilidade dos mesmos.

Análise de Nitrato em amostras tratadas

Por meio da análise de identificação de Nitrato por eletrodo, através de indicador cloraminas, realizada por um colaborador externo, demonstrou-se a presença de nitrato nas amostras após tratamento. Como parâmetro legislativo no Brasil, tem-se a Portaria de Consolidação Nº 5 de 38 de setembro de 2017, do Anexo XX que dispõe sobre o controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, permite 10 mg/l de nitrato presente em água. Considerando isso em uma análise comparativa, percebe-se que a amostra com cloridrato de propranolol apresentou valor superior ao permitido como potabilidade da água, $11,5 \text{ mg/l}$. Em vista dessa avaliação, já o paracetamol apresentou-se dentro do parâmetro, com $7,5 \text{ mg/l}$.

Como consequência do contato com nitrato, Nicolai (2001) menciona que em concentrações acima de 10mg/l pode suscitar metahemoglobina e câncer, além de ser uma das maneiras de persistência e com movimentação contínua em ambientes hídricos subterrâneos (RITTER, 1990 apud NICOLAI, 2001), sendo mais um parâmetro relevante a ser considerada no tratamento H_2O_2/UV dos compostos farmacêuticos em estudo.

Ainda nessa esfera, de acordo com Georgiou et al. (2002), a fotodegradação sucede a formação de alguns íons inorgânicos, como os íons nitrato, onde se encontram em um estado mais oxidativo de degradação, o que justifica a geração de nitrato como um subproduto após o tratamento com luz UV e peróxido de hidrogênio, e além disso, já era esperado essa produção de íons, uma vez que na composição química tanto do propranolol quanto do paracetamol ocorre dióxido de nitrogênio, e ao reagir produziu nitrato como subproduto.

Outra abordagem revela que as hortaliças folhosas como alface propende a acumular nitrato em seus tecidos, como cita o autor Faquin (sem data). Esse fator se torna interessante, pois é necessário que o tratamento avançado seja eficiente não só na mineralização dos compostos orgânicos, mas também na redução da concentração de nitrato, uma vez que pela reação da cadeia pode ocorrer contaminação em escala crescente.

Bioensaios de fitotoxicidade com sementes de *Lactuca sativa* - Antes do tratamento

Iniciaram-se os ensaios com organismo-teste *Lactuca sativa*, sendo consideradas 1200 sementes no total entre os dois compostos farmacêuticos. Os resultados destes bioensaios podem ser observados pela Tabela 5, como a germinação acima de 80% para ambas as amostras brutas em todas as réplicas.

TESTES DE FITOTOXICIDADE ANTES DO TRATAMENTO - GERMINAÇÃO DE SEMENTES			
FÁRMACO	DILUIÇÃO (%)	Nº SEMENTES GERMINADAS NAS 4 RÉPLICAS	GERMINAÇÃO (%)
CONTROLE	Controle	70	87,5
	3,12	77	96,25
PROPRANOLOL	6,25	71	88,75
	12,5	78	97,5
	25	72	90
	50	76	95
	75	76	95
	100	79	98,75
PARACETAMOL	3,12	75	93,75
	6,25	77	96,25
	12,5	79	98,75
	25	79	98,75
	50	75	93,75
	75	73	91,25
	100	76	95

Tabela 5 – Média da germinação de sementes de *Lactuca sativa* em amostras brutas nas sete diluições dos fármacos propranolol e paracetamol e no controle.

Fonte: Próprio autor

De acordo com o alto percentual de germinação das réplicas, observou-se que ambos os fármacos estimularam o crescimento das radículas, reação esta, adversa ao esperado como resposta. Tais resultados possivelmente se caracterizam como fenômeno *hermesis*², que se trata de uma reação positiva demonstrada pelo organismo-teste, no caso pelas sementes, em contato com a substância contaminante, mas essa detecção pode não ser considerada como benéfica, já que tais elementos podem se revelar tóxicos diante de ensaios ecotoxicológicos crônicos e agudos em concentrações maiores, e que ainda se refere a uma resposta de adaptação do organismo como rejeitar a extinção da própria espécie, abordado por Calabrese (2008 apud Diniz, 2015). Entretanto, não foram encontrados na literatura estudos científicos que abordassem a ocorrência desse fenômeno em ensaios com as sementes de alface, e referente a ambos os medicamentos, o que indica que é necessário maiores estudos científicos sobre o tema.

Diversos autores ressaltam sobre a conexão entre bioensaios, efluentes e o efeito

*hormesis*², tanto que segundo Georgetti (2010) os resultados de toxicidade do efluente coletado no Laboratório de Química de Síntese de Produtos Naturais da Universidade Federal de São Carlos, ocorreu o mesmo efeito *hormesis* com organismos expostos na 0,25%, portanto, houve um estímulo à reprodução dos cladóceros *Ceriodaphnia dubia*. Ainda no mesmo estudo referente aos bioensaios com sementes da espécie *Lactuca sativa*, o autor identificou que na concentração de 50% do efluente sem diluição utilizado nos biotestes (do laboratório de Química de Produtos Naturais) foram estimuladas, com resultados radiculares maiores. De forma similar ao estudo citado, as amostras brutas com a presença dos fármacos propranolol e paracetamol não afetaram a germinação das sementes, porém, isso ocorreu em todas as diluições percentuais.

Mediante a estudos realizados por Baydum (2012), os testes com propranolol demonstram que mesmo em baixa concentração, o fármaco na condição não tratada inibiu a germinação de *Lactuca sativa*, como entre as concentrações 0 e 0,2 % v/v que resultou em 0,5 IG x 100%, resposta adversa da ocorrente neste trabalho com cloridrato de propranolol e paracetamol, que incitaram a germinação das sementes. Neste contexto, a porcentagem de inibição das sementes foram analisadas através do método estatístico Trimmed Spearman-Kärber (HAMILTON et al.,1977) e devido ao percentual elevado de germinação, não foi possível obter resultados de inibição das sementes.

Ao término do período de incubação de 5 dias e realização das medições das radículas, obteve-se o crescimento médio das mesmas, sendo que a mais baixa do propranolol é referente a diluição de 25% e relativo ao paracetamol a menor média ocorreu na maior diluição, ou seja, de 100%, respectivamente, conforme mostrado na Tabela 6.

2 *Hermes*: "O uso de substâncias, por definição consideradas tóxicas, em doses muito menores que a utilizada para estimular o desenvolvimento vegetal, é conhecido como "hormese" (Calabrese e Baldwin 2002a apud Silva et al. 2012).

TESTES DE FITOTOXICIDADE ANTES DO TRATAMENTO - CRESCIMENTO DAS RADÍCULAS		
FÁRMACO	CONCENTRAÇÃO (%)	MÉDIA DE CRESCIMENTO DAS RADÍCULAS (cm)
CONTROLE	Controle	4,65
	3,12	7,07
PROPRANOLOL	6,25	6,63
	12,5	6,65
	25	4,37
	50	5,4
	75	4,9
	100	3,48
	3,12	6,64
PARACETAMOL	6,25	5,68
	12,5	6,78
	25	6,51
	50	6,03
	75	6,11
	100	5,28

Tabela 6 – Média de crescimento das radículas em (cm) de *Lactuca sativa* nas sete diluições dos fármacos propranolol e paracetamol e no controle de amostras brutas.

Fonte: Próprio autor

Observou-se que o crescimento médio das concentrações ocorreu acima de 3 cm, sendo que a maior média entre os dois compostos farmacêuticos foi a do propranolol de 7,07 cm na diluição mínima de 3,12%. Notou-se que houve uma curta variação da média de crescimento nas diluições do paracetamol. Tal comportamento revela que não houve ação inibitória suficiente para um comparativo ecotoxicológico em curto período de exposição, conforme também ocorreu no estudo de França (2011). O autor mencionado ressalta que as sementes de *Lactuca sativa* e outras espécies de sementes não apresentaram sensibilidade suficiente para uma avaliação ecotoxicológica do paracetamol. Quanto ao cloridrato de propranolol não foi encontrado nenhum estudo na literatura a respeito de bioensaios com sementes.

Bioensaios de fitotoxicidade com sementes de *Lactuca sativa* - Após o tratamento

Para os bioensaios foram consideradas as amostras com menor valor de DQO, sendo 837,67 ppp referente ao paracetamol (coleta de 60 minutos) e 1011,26 ppm ao propranolol (coleta de 30 minutos), de modo que na diluição de 75 e 100% do cloridrato de propranolol não houve germinação. Já para a diluição de 100% do paracetamol foi revelado a menor porcentagem de germinação, não validando o teste nessa diluição, consoante a

Tabela 7.

TESTES DE FITOTOXICIDADE APÓS TRATAMENTO - GERMINAÇÃO DE SEMENTES			
FÁRMACO	DILUIÇÃO (%)	Nº SEMENTES GERMINADAS NAS 4 RÉPLICAS	GERMINAÇÃO (%)
CONTROLE	Controle	77	96,25
PROPRANOLOL	3,12	70	87,5
	6,25	59	73,75
	12,5	63	78,75
	25	29	36,25
	50	16	20
	75	0	0
	100	0	0
PARACETAMOL	3,12	78	97,5
	6,25	66	82,5
	12,5	76	96
	25	78	97,5
	50	77	96,25
	75	72	90
	100	49	61,25

Tabela 7 – Média da germinação de sementes de *Lactuca sativa* em amostras tratadas nas sete diluições dos fármacos propranolol e paracetamol e no controle.

Fonte: Próprio autor

Por meio das sementes não germinadas, o valor de CI_{50} foi de 19,73% com intervalo de confiança de 95% de 15,89 – 23,05%, para o fármaco propranolol. Trata-se de uma resposta obtida como inibição da germinação de 50% das sementes expostas, ou seja, cerca de 300 sementes num total de 600. Para o fármaco paracetamol não foi possível obter o CI_{50} , sendo observado que pode ter havido novamente o efeito *hormesis*, uma vez que o composto estimulou a germinação das sementes em todas as diluições, com o resultado menor de germinação 61,25% na diluição de 100%, ou o ambiente não se revelou tóxico.

Não houve germinação nas réplicas das diluições de 75% e 100% do propranolol, resultado oposto ao teste de fitotoxicidade com o fármaco em amostra sem tratamento, o que pode significar que há uma probabilidade de ter formação de H_2O_2 residual, de forma a tornar o ambiente super tóxico. Não foi encontrado na literatura estudos que comprovem essa teoria, todavia, já foi ressaltado no presente estudo com base em pesquisas científicas que o peróxido de hidrogênio na condição residual pode ser gerado após um tratamento, sendo de suma relevância a tratabilidade do mesmo, como por exemplo através do bissulfito de sódio. Isso revela a necessidade de estudos que complementam essa pesquisa para aprimorar o tratamento avançado e a avaliação da eficiência em diversas concentrações, entre outros parâmetros.

A tabela a seguir aponta a média de crescimento das radículas em centímetros, valores que revelaram-se menores em relação à média de crescimento da amostra anterior ao tratamento, como mais um parâmetro do efeito dos dois medicamentos e possivelmente do peróxido residual.

TESTES DE FITOTOXICIDADE APÓS O TRATAMENTO - CRESCIMENTO DAS RADÍCULAS		
FÁRMACO	DILUIÇÃO (%)	MÉDIA DE CRESCIMENTO DAS RADÍCULAS (cm)
CONTROLE	Controle	6,35
	3,12	1,77
	6,25	2,14
	12,5	2,43
	25	1,67
	50	1,41
	75	0
	100	0
PROPRANOLOL	3,12	4,6
	6,25	5,03
	12,5	4,63
	25	4,08
	50	3,23
	75	2,7
	100	2,16
	PARACETAMOL	3,12
6,25		5,03
12,5		4,63
25		4,08
50		3,23
75		2,7
100		2,16

Tabela 8 – Média de crescimento das radículas em (cm) de *Lactuca sativa* nas sete diluições dos fármacos propranolol e paracetamol e no controle, em amostras tratadas.

Fonte: Próprio autor

Foi verificado que nesse teste ecotoxicológico, o crescimento das radículas foi menor em comparação com as amostras brutas, sendo mais uma teoria da possível reação entre peróxido de hidrogênio residual com os fármacos.

4 | CONCLUSÃO

Uma vez que os processos tradicionais e regimes legislativos não atendem critérios ecotoxicológicos e ambientais em relação aos contaminantes orgânicos, é necessário investimento em sistemas e políticas públicas que remediem o atual quadro de poluição das águas. Por esta razão, diversos setores de Pesquisa de Engenharia e Meio Ambiente atuam no desenvolvimento de estudos e análises correlatos a novas tecnologias sustentáveis, de forma a contribuir com os setores econômico, ambiental e social. Esse avanço científico pode representar significativa melhoria na qualidade de vida, já que esses tipos de poluentes são responsáveis por uma contaminação contínua, ocorrendo por um

período sucessivo, de modo a desequilibrar a cadeia trófica.

Destaca-se o desenvolvimento sustentável como um ponto crucial para toda a elaboração da análise envolvida na presente pesquisa acadêmica, sendo a busca por alternativas conjugadas e paralelas que podem ser uma das soluções para aprimoramento do tratamento hídrico já existente, porém não tão eficiente quanto a geração dos produtos oriundos da nova sociedade.

O escopo deste estudo foi atingido, de forma a alcançar uma eficiência na tratabilidade da amostra sintética com propranolol e paracetamol. O melhor resultado de degradação para ambos os medicamentos foi no tempo de coleta de 15 minutos, com 72,36% de material oxidado do cloridrato de propranolol e 80,28% de oxidação do paracetamol. Mesmo não sendo o maior percentual de mineralização dos compostos farmacêuticos, em 15 minutos atingiu-se mais de 70% de degradação, e após esse tempo houve redução da ação oxidativa, além da variação entre todos os resultados ser baixa. Todavia, de modo a trabalhar com projeções futurísticas as concentrações utilizadas nos ensaios do tratamento de águas residuárias H_2O_2 /UV foram consideradas altas (4g/10L) em comparação com os estudos na literatura (tanto de amostragem sintética quanto real, que utilizam comumente microgramas). Além disso, identificou-se inibição Cl_{50} de 19,73% apenas em amostras tratadas com cloridrato de propranolol, resposta referente a 50% das sementes expostas, porém não houve inibição do desenvolvimento das sementes nas amostras brutas de ambos os medicamentos, bem como nas amostras tratadas de paracetamol.

Nesse estudo, as sementes demonstraram uma possível adaptação a ambientes com presença de medicamentos, sendo estes comprovados por diversas literaturas que são tóxicos à biota aquática. Essa possível adaptação é o efeito *hermesis*, fenômeno que pode ocorrer quando organismos apresentam desenvolvimento em possíveis ambientes tóxicos. Outra abordagem é que a inibição constatada pelas amostragens tratadas, pode ter ocorrido pela reação química entre os medicamentos e o peróxido de hidrogênio, uma vez que não houve esse parâmetro ocorrente nas amostras brutas.

Em outro âmbito, o íon nitrito reagiu com o peróxido de hidrogênio, e resultou na forma de nitrato. O valor expresso nas amostras tratadas de propranolol, não está em conformidade com a Portaria de Consolidação N° 5, acima de 10 mg/l, com 11,5 mg/l, em contrapartida a amostra tratada com paracetamol apontou a concentração de 7,5 mg/l. Em síntese, mesmo com resultados satisfatórios de caráter experimental identificou-se dificuldades a serem consideradas de suma importância para aprimoramento científico da área de tratamento de águas residuais e de ensaios de fitotoxicidade. Através do presente estudo percebeu-se que há necessidade de diversas análises e de continuar as pesquisas analíticas e avançadas, bem como constatação ou não de uma geração de peróxido de hidrogênio residual que interferia na germinação de sementes junto com o fármaco propranolol, uma vez que houve degradação do medicamento e em amostra bruta não apresentou toxicidade. Outra análise relevante se trata da inclusão de bioensaios

com outros organismos, uma vez que as sementes de *Lactuca sativa* não apresentaram sensibilidade às amostras brutas de paracetamol e propranolol e com amostra tratada de paracetamol.

REFERÊNCIAS

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004). NBR 12713. **Aquatic ecotoxicology—acute toxicity—test with *Daphnia* spp (Crustacea, Cladocera)**, Rio de Janeiro, Brazil.

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005). NBR 13373. **Aquatic ecotoxicology—chronic toxicity— test with *Ceriodaphnia* spp (Crustacea, Cladocera)**, Rio de Janeiro, Brazil.

BAYDUM, V. P. A. **Degradação de propranolol em efluente modelo através de processos oxidativos**. 2012. 110 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Programa de Pós- Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/19024>>. Acesso em: 19 nov.2018

CASTRO, F. J. **Avaliação ecotoxicológica dos percolados das colunas de cinza de carvão e de solos com cinza de carvão utilizando *Lactuca sativa* e *Daphnia similis* como organismos teste**. 2013. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Materiais), Autarquia Associada à Universidade de São Paulo. São Paulo. 2013.

CONSELHO FEDERAL DE FARMÁCIA. **Farmácias de elite**. 2016. Disponível em: <<http://www.cff.org.br/noticia.php?id=3879>>. Acesso em: 22 abr.2018.

CONSELHO FEDERAL DE FARMÁCIA. **Quase metade dos brasileiros que usaram medicamentos nos últimos seis meses se automedicou até uma vez por mês**. 2019. Disponível em: <<https://www.cff.org.br/noticia.php?id=5267>>. Acesso em: 18 dez. 2021.

DINIZ, L. M. **Avaliação do reagente fenton e foto-fenton na remoção de matéria orgânica e toxicidade em um efluente hospitalar**. 2015. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/BUBD-A32PL3>>. Acesso em: 7 nov. 2018.

FAQUIN, V. **Acúmulo de nitrato em hortaliças e saúde humana**. Lavras, MG. Disponível em: <[http://www.dcs.ufla.br/site/_adm/upload/file/pdf/Prof_Faquin/Acumulo%20de%20NO3%20e%20saude%20humana%20texto%20isolado\[1\].pdf](http://www.dcs.ufla.br/site/_adm/upload/file/pdf/Prof_Faquin/Acumulo%20de%20NO3%20e%20saude%20humana%20texto%20isolado[1].pdf)>. Acesso em: 27 nov. 2018.

FERNANDES, A. A. S. **Aplicação de processos oxidativos na degradação de propranolol e avaliação de sua toxicidade**. 2015. 81 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Brasil, 2015.

FRANÇA, D.M. **Degradação de Paracetamol empregando Tecnologia Oxidativa Avançada baseada em fotocatalise heterogênea usando irradiação artificial e solar**. 2011. 102 f. Dissertação (Mestrado em Química - área de concentração Físico-Química), Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. 2011.

GEORGIU, D.; MELIDIS, P., AIVASIDIS, A., GIMOUHOPOLOS, K. Degradation of azoreactive dyes by ultraviolet radiation in the presence of hydrogen peroxide. **Dyes Pigments**, v.52, 69-78, 2002.

HAMILTON, M. A. RUSSO, R. C. THURSTON, R. U. Trimmed Spearman-Kärber method for estimating median lethal concentrations in toxicity bioassays. **Environmental Science Technology**, v.11, n.7, p. 714-719, 1977. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1021/es60130a004>>. Acesso em 29 abr.2018.

NAPOLEÃO, D. C. et al. Degradação do contaminante emergente paracetamol empregando processos oxidativos avançados. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental - REGET/ UFSM**. v. 19. n.3. p. 725-734, 2015. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/18577/pdf>>. Acesso em: 19 nov.2018.

NICOLAI, G. **Avaliação das concentrações de nitratos na água subterrânea do município de Chapecó-SC**. 2001. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

OGA, S.; CAMARGO, M. M. A.; BATISTUZZO, J. A. O. **Fundamentos de Toxicologia**. 3 ed. Editora Atheneu. 2008.

RAIMUNDO, C. C. M. **Contaminantes emergentes em água tratada e seus mananciais: sazonalidade, remoção e atividade estrogênica**. 2011. 203 f. Tese (Doutorado em Química) - Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/249643/1/Raimundo_CassianaCarolinaMontagner_D.pdf>. Acesso em : 13 mar.2018.

SODRÉ, F. F.; LOCATELLI, M. A. F.; JARDIM, W. F. Sistema limpo em linha para extração em fase sólida de contaminantes emergentes em águas naturais. **Química Nova**. São Paulo. v. 33, n.1, p.216-219, 2010. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/202487>>. Acesso em: 11 abr. 2018.

TAMBOSI, J. L. **Remoção de fármacos e avaliação de seus produtos e degradação através de tecnologias avançadas de tratamento** 2008. 141 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Química - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/90956/262420.pdf?sequence=>>>. Acesso em 9 abr.2018.

ZANINI, A.C.; OGA, S.; BATISTUZZO, J. A. O. **Farmacologia aplicada**. São Paulo: Atheneu, 2018.

ANÁLISE DA QUALIDADE DE COMPRIMIDOS DE CLORIDRATO DE AMITRIPTILINA DISTRIBUÍDOS NO SISTEMA PÚBLICO DE SAÚDE

Data de submissão: 28/04/2023

Data de aceite: 02/06/2023

Carlos Alberto André

Curso de Farmácia
Universidade São Francisco, Campinas,
São Paulo

Joelson Merith

Curso de Farmácia
Universidade São Francisco, Campinas,
São Paulo

Lucas de Souza Detoni

Curso de Farmácia
Universidade São Francisco, Campinas,
São Paulo

Iara Lúcia Tescarollo

Doutora em Fármaco e Medicamentos –
Produção e Controle Farmacêuticos
Curso de Farmácia
Universidade São Francisco, Campinas,
São Paulo
Grupo de Pesquisa em Meio Ambiente e
Sustentabilidade – GPMAS
<http://lattes.cnpq.br/7236475214443844>
<https://orcid.org/0000-0002-8110-8771>

principais ensaios oficiais aplicados em comprimidos, destacam-se a avaliação do peso médio, dureza, friabilidade; tempo de desintegração, dissolução, teor e uniformidade de doses unitárias. O objetivo do presente trabalho consistiu em realizar o controle de qualidade de comprimidos de cloridrato de amitriptilina, classificado como produto similar, distribuído gratuitamente em rede pública de um município do Estado de São Paulo, Brasil. Os comprimidos avaliados permaneceram dentro dos critérios farmacopeicos estabelecidos para o produto. Com relação ao teste de uniformidade de doses unitárias os resultados permaneceram dentro dos limites estabelecidos.

PALAVRAS-CHAVE: Amitriptilina; controle de qualidade; saúde pública.

QUALITY ANALYSIS OF AMITRIPTYLINE HYDROCHLORIDE TABLETS DISTRIBUTED IN THE PUBLIC HEALTH SYSTEM

ABSTRACT: Quality control consists of a set of operations that allow checking whether the product complies with the specifications established for it. Among the main official tests applied to tablets, the

RESUMO: O controle de qualidade consiste em um conjunto de operações que permitem verificar se o produto está em conformidade com as especificações estabelecidas para o mesmo. Entre os

evaluation of average weight, hardness, friability, disintegration time, dissolution, content and uniformity of unit doses. The objective of the present study was to carry out the quality control of amitriptyline hydrochloride tablets, classified as a similar product, distributed free of charge in a public network in a city in the State of São Paulo, Brazil. The evaluated tablets remained within the pharmacopoeial criteria established for the product. Regarding the unit dose uniformity test, the results remained within the established limits.

KEYWORDS: Amitriptyline; quality control; public health

1 | INTRODUÇÃO

Segundo a Resolução RDC nº 658 (BRASIL, 2022a) que dispõe sobre as diretrizes gerais de Boas Práticas de Fabricação (BPF) de medicamentos, as especialidades farmacêuticas devem atender aos atributos de segurança, qualidade e eficácia, logo, o controle de qualidade dos produtos disponíveis no mercado ou distribuídos na rede pública, torna-se relevante. Especialidades farmacêuticas podem ser definidas como medicamentos industrializados, produzidos em escala, registrados no Ministério da Saúde de acordo com as exigências vigentes.

No mercado nacional, especialidades farmacêuticas contendo cloridrato de amitriptilina são classificadas como medicamentos de referência, genéricos e similares, sendo que a qualidade dos mesmos deve obedecer aos requisitos estabelecidos por resoluções específicas. A Resolução RDC nº 658 (BRASIL, 2022a) reúne as definições de medicamentos de referência, genéricos e similares. O medicamento de referência é denominado como produto inovador registrado no órgão federal responsável pela vigilância sanitária e comercializado no Brasil, cuja eficácia, segurança e qualidade foram comprovados cientificamente junto ao órgão federal competente, por ocasião do registro. O medicamento genérico é similar a um produto de referência ou inovador, que pode ser intercambiável, geralmente produzido após a expiração ou renúncia da proteção patentária ou de outros direitos de exclusividade, comprovada sua eficácia, segurança e qualidade, designado pela Denominação Comum Brasileira (DCB) ou pela Denominação Comum Internacional (DCI). O medicamento similar é definido como produto que contém o mesmo Insumo Farmacêutico Ativo (IFA), ou princípio ativo, na mesma concentração, forma farmacêutica, via de administração, posologia e indicação terapêutica, e que é equivalente ao medicamento registrado no órgão federal responsável pela vigilância sanitária, podendo diferir somente em características relativas ao tamanho e forma, prazo de validade, embalagem, rotulagem, excipientes e veículos, devendo sempre ser identificado por nome comercial ou marca. Estes medicamentos devem ser formulados para cumprir com as mesmas especificações da Farmacopeia Brasileira e, na ausência destas, com as de outros códigos autorizados pela legislação vigente ou, ainda, com outros padrões aplicáveis de qualidade (BRASIL, 2022a; BRASIL, 2019a; BRASIL, 2019b).

O cloridrato de amitriptilina é conhecido quimicamente como sal cloridrato de

3-10,11-diidro-5-H-dibenzo[a,d]ciclohepteno-5-ilideno)-N,N-dimetil-1-propanamina. Se apresenta como pó branco ou quase branco ou cristais incolores, facilmente solúvel em água e álcool etílico, cujo peso molecular é 313,87 e fórmula empírica $C_{20}H_{23}N.HCl$, faixa de fusão entre 195° C a 199° C (BRASIL, 2019b). O fármaco é classificado como antidepressivo tricíclico com propriedades anticolinérgicas e sedativas. Um dos mecanismos de ação envolve o bloqueio da recaptação de norepinefrina e serotonina nos terminais nervosos, potencializando assim a ação desses neurotransmissores. No sistema nervoso central, a atividade antinociceptiva desse agente pode envolver alta afinidade de ligação e inibição dos receptores N-metil-D-aspartato (NMDA) e/ou intensificação da ação da serotonina nos terminais espinhais causando analgesia intrínseca. É muito utilizado pela população brasileira como comprimidos ou cápsulas manipuladas. Está incluído na Relação Nacional de Medicamentos Essenciais (RENAME) na forma farmacêutica comprimidos de 25mg e 75mg (BRASIL, 2022b) sendo ofertado de maneira contínua para a rede pública de saúde por fazer parte da relação de itens do Componente Básico (CB).

É importante destacar que a disponibilidade ambulatorial de medicamentos no Sistema Único de Saúde (SUS) ocorre por meio dos Componentes da Assistência Farmacêutica sendo o CB inclui os medicamentos que tratam os principais problemas e condições de saúde da população brasileira na Atenção Primária à Saúde. Com o surgimento da pandemia da COVID-19, os problemas de saúde mental como ansiedade e depressão tornaram-se ainda mais frequentes, assim como o uso de psicofármacos. Devido seu potencial efeito antidepressivo, o aumento do uso do cloridrato de amitriptilina tem sido evidenciado durante a pandemia da COVID-19 (LOPES et al., 2022). Também tem sido reportado seu uso no tratamento da cefaleia pós-COVID-19 (GONZALES-MARTINEZ et al., 2022).

Segundo a Resolução RDC nº 658 (BRASIL, 2022a) o fabricante é responsável pela qualidade dos produtos, devendo assegurar que os mesmos sejam adequados para os fins aos quais se destinam, cumprindo com requisitos estabelecidos de segurança, qualidade e eficácia. Além disso, o fabricante deve garantir que os medicamentos atendam aos padrões exigidos dentro das BPF. O Controle de Qualidade é a parte das BPF sendo responsável pela amostragem, estabelecimento das especificações e à execução de testes, bem como à organização, à documentação e procedimentos de liberação que asseguram que as análises necessárias e relevantes sejam executadas, e que os materiais ou produtos não sejam liberados para uso, comercialização ou distribuição, até que a sua qualidade tenha sido considerada satisfatória (ORDONES et al., 2012; TESCAROLLO e SILVA, 2020; BRASIL, 2022a). Entre os principais ensaios oficiais preconizados para cloridrato de amitriptilina comprimidos estão identificação, determinação de peso, teste de dureza, teste de friabilidade, teste de desintegração, uniformidade de doses unitárias, teste de dissolução, ensaios de pureza, segurança biológica e doseamento (BRASIL, 2019a; BRASIL 2019b).

A aquisição de medicamentos no serviço público de saúde brasileiro ocorre por meio do processo de licitação com critério de menor preço, independentemente de sua classificação como genérico, similar ou referência, o que gera preocupação com a qualidade dos produtos distribuídos à população. O cloridrato de amitriptilina apresenta importância na prática clínica no Brasil, por ser amplamente utilizado como antidepressivo na Atenção Primária à Saúde. O objetivo do presente trabalho consistiu em realizar o controle de qualidade de comprimidos de cloridrato de amitriptilina, classificado como produto similar, distribuído gratuitamente em rede pública de um município do Estado de São Paulo, Brasil.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Substâncias Químicas de Referência e Reagentes

Foram utilizados como padrão secundário de cloridrato de amitriptilina (Lote: AMT-05 e potência 100,04%). Os reagentes utilizados para este estudo foram: HCl 0,1 mol.L⁻¹; AgNO₃ SR; e NH₄OH 6 mol.L⁻¹ preparados conforme as recomendações da Farmacopeia Brasileira (BRASIL, 2019a; BRASIL, 2019b).

2.2 Amostra

A amostra de cloridrato de amitriptilina 25 mg comprimidos revestidos, foi gentilmente doada pelo serviço público de um município do interior de São Paulo, Brasil, classificado como produto similar, sendo a marca e o fabricante omitidos.

2.3 Avaliação do aspecto dos comprimidos

Foram observados os caracteres visuais da forma farmacêutica obtida em relação ao aspecto, formato, coloração, presença sulcos, estrias, partículas ou material estranho à formulação.

2.4 Dimensões

Espessura e diâmetro de 10 comprimidos foram obtidos por meio de paquímetro, sendo a média das medidas expressas em milímetros (mm).

2.5 Identificação

A determinação da identidade do cloridrato de amitriptilina nos comprimidos foi efetuada a partir da identificação do íon cloreto. Foram pesados 10 comprimidos, obtendo-se peso médio, em seguida os mesmos foram pulverizados. Quantidade do pó equivalente a 10 mg de cloridrato de amitriptilina foi diluída em água e filtrada. Na solução resultante, foi adicionado 0,5mL de AgNO₃ SR. As soluções de cloreto produzem um precipitado branco grumoso, que é insolúvel em ácido nítrico, porém solúvel em um ligeiro excesso de hidróxido de amônio 6,0 mol.L⁻¹. Segundo a Farmacopeia Brasileira (BRASIL, 2019a; BRASIL, 2019b) a solução deve satisfazer às reações do íon cloreto.

2.6 Peso Médio

Segundo a Farmacopeia Brasileira (BRASIL, 2019a) o teste se aplica a formas farmacêuticas sólidas em dose unitária. Foram pesados, individualmente, 20 comprimidos em balança analítica calibrada da marca Mettler (modelo AJ100), determinando-se a seguir o peso médio, Desvio-Padrão (DP) e o Desvio Padrão Relativo (DPR%). Para o estabelecimento dos critérios de aceitação adotou-se faixa de tolerância de 7,5%.

2.7 Dureza

O teste foi realizado com 10 comprimidos, eliminando qualquer resíduo superficial antes de cada determinação. Os comprimidos são testados individualmente com durômetro tipo mola (Nova Ética), obedecendo sempre a mesma orientação. Os resultados foram expressos como a média dos valores obtidos nas determinações em termos de Kgf. O resultado do teste é considerado informativo (BRASIL, 2019a).

2.8 Desintegração

Os comprimidos foram avaliados em aparelho para desintegração (Nova Ética). Foram empregados seis comprimidos no teste. As amostras foram transferidas em cada um dos seis tubos da cesta, colocando-se um disco a cada tubo. O aparelho foi ligado e a água mantida a $37^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$, como líquido de imersão. Ao final do teste, todos os comprimidos devem estar completamente desintegrados. O limite de tempo estabelecido como critério geral para a desintegração de comprimidos revestidos é de 30 minutos (BRASIL, 2019a).

2.9 Doseamento

O doseamento foi efetuado empregando-se o método por espectrofotometria de absorção no ultravioleta (BRASIL, 2019b). Amostra de 20 comprimidos foi pesada e pulverizada. Quantidade do pó equivalente a 10 mg de cloridrato de amitriptilina foi transferida para balão volumétrico de 100 mL e diluída em 75 mL de HCl 0,1 mol.L⁻¹. A dispersão foi agitada mecanicamente por 15 minutos e deixada em banho de ultrassom por mais 15 minutos. Completou-se o volume com o mesmo solvente. Filtrou-se, em seguida, foram transferidos 5 mL do filtrado para balão volumétrico de 50 mL completando-se o volume com o mesmo solvente, obtendo-se uma solução final com a concentração teórica de 0,001% (p/v) correspondendo a 0,01mg/mL. A solução padrão foi preparada na mesma concentração, utilizando o mesmo solvente. As absorbâncias das soluções resultantes foram determinadas em 239 nm, utilizando HCl 0,1 mol.L⁻¹ para ajuste do zero. A quantidade (mg) de cloridrato de amitriptilina nos comprimidos, foi calculada a partir das leituras obtidas, segundo a equação:

$$\text{AMT (mg)} = \text{Abs(amostra)}/\text{Abs(pad\~{r}ao)} \times C_p \times D \times \text{PM}/\text{TE}$$

Onde: AMT(mg): corresponde à quantidade (mg) de cloridrato de amitriptilina nos comprimidos; Abs(amostra): Absorbância da solução da amostra; Abs(padão): Absorbância da solução do padrão; Cp: Concentração do padrão (mg/mL); D: Fator de diluição; PM: Peso-médio dos comprimidos (g); TE: Tomada de ensaio (g).

Os comprimidos devem conter, no mínimo, 90,0% e, no máximo, 110,0% da quantidade declarada de cloridrato de amitriptilina (BRASIL, 2019b). O ensaio foi efetuado em triplicata sendo realizada duas determinações para cada teste.

2.10 Dissolução

O teste de dissolução foi realizado em Dissolutor (Nova Ética), com o objetivo de determinar a porcentagem de princípio ativo liberado em um meio de dissolução em determinado tempo. O ensaio de dissolução seguiu conforme procedimento farmacopeico para cloridrato de amitriptilina na forma farmacêutica comprimido revestido. Foram empregadas as seguintes condições de ensaio: meio de dissolução HCl 0,1 mol.L⁻¹; volume de 900 mL; temperatura de 37°C ± 0,5°C, agitação com o uso de cesta na velocidade de 100 rpm e tempo de 45 minutos. Após o período determinado retirou-se uma alíquota de 20 mL que foi filtrada em membrana de 0,45µm, desse filtrado foram transferidos 10mL para balão volumétrico de 25mL de obtendo-se a concentração final teórica de 0,011mg/mL. Realizou-se a leitura da absorbância das amostras e padrão comprimento de onda de 239 nm (BRASIL, 2019b). A quantidade de cloridrato de amitriptilina dissolvida no meio de dissolução foi calculada comparando-se com a solução padrão, na concentração de 0,001% (p/v), preparada no mesmo solvente, conforme equação:

$$\% \text{ Dissolução} = \text{Abs(amostra)}/\text{Abs(padão)} \times \text{Cp} \times \text{D}/\text{VR} \times 100$$

Onde: %: Porcentagem de cloridrato de amitriptilina liberada no meio de dissolução; Abs(amostra): Absorbância da solução da amostra; Abs(padão): Absorbância da solução do padrão; Cp: Concentração do padrão (mg/mL); D: Fator de diluição; VR: Valor rotulado.

A especificação farmacopeica define tolerância de no mínimo 75% (Q) da quantidade declarada cloridrato de amitriptilina se dissolve em 45 minutos (BRASIL, 2019b).

2.11 Uniformidade de doses unitárias por determinação de conteúdo

A uniformidade de doses foi efetuada pelo método de uniformidade de conteúdo conforme descrito na Farmacopeia Brasileira (2019a). Neste método a quantidade de fármaco por unidade é determinada a partir do doseamento individual seguindo o procedimento farmacopeico destinado para o cloridrato de amitriptilina. O teste foi realizado pesando-se exatamente e individualmente 10 comprimidos, preservando a identidade de cada um, a seguir, adotou-se o mesmo procedimento para a determinação do teor. Para

verificar o atendimento à especificação, foram adotados os cálculos da uniformidade de doses unitárias e cálculo do valor de aceitação (VA) que deve ser inferior a 15 na etapa L1.

2.12 Uniformidade de doses unitárias por Variação de Peso

A uniformidade de doses foi efetuada pelo método de variação de peso conforme descrito na Farmacopeia Brasileira (BRASIL, 2019a). Neste método a quantidade de fármaco por unidade é estimada a partir do resultado do doseamento e dos pesos individuais, assumindo-se distribuição homogênea do componente ativo. O teste foi realizado pesando-se, individualmente, 10 comprimidos, preservando a identidade de cada um. Calculou-se o peso médio, Desvio-Padrão (DP) e Desvio-Padrão Relativo (DPR %) a partir do resultado do doseamento, estimou-se a quantidade de componente ativo em cada unidade. Os resultados individuais foram expressos em porcentagem da quantidade declarada.

2.13 Critérios para os cálculos da uniformidade de doses unitárias

O Valor de Aceitação do teste uniformidade de doses unitárias por determinação de conteúdo foi calculado a partir da equação:

$$VA = IM - X_m + Ks;$$

Onde: X_m : Média dos resultados dos conteúdos individuais, expresso como percentual sobre a quantidade declarada; M : Valor de Referência; K : Constante de aceitabilidade sendo 2,4 para $n=10$ e 2,0 para $n=30$; s : Desvio-padrão dos resultados.

O Valor de referência (M) assume diferentes índices de acordo com a quantidade de ativo adicionada pelo fabricante e do resultado médio dos conteúdos. O produto cumpre o teste de uniformidade de doses unitárias se o VA calculado para as 10 primeiras unidades testadas não é maior que L_1 . Se o VA for maior que L_1 , testar mais 20 unidades e calcular o novo VA. O produto cumpre o teste de uniformidade de doses unitárias se o Valor de aceitação final calculado para as 30 unidades testadas não é maior que L_1 e a quantidade de componente ativo de nenhuma unidade individual é menor que $(1 - L_2 \times 0,01)M$ ou maior que $(1 + L_2 \times 0,01)M$. A menos que indicado de maneira diferente na monografia individual, L_1 é 15,0 e L_2 é 25,0.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme destacado por Costa e colaboradores (2019) a aquisição de medicamentos por processo licitatório impõe desafios e constitui-se numa etapa crítica do ciclo da Assistência Farmacêutica sendo necessário integrar os aspectos relacionados à economicidade aos atributos de qualidade propostos pela Política Nacional de Medicamentos. O cloridrato de amitriptilina faz parte da RENAME sendo distribuído gratuitamente nas farmácias da rede pública como antidepressivo na Atenção Primária à Saúde (BRASIL, 2022b). A aquisição

de comprimidos de cloridrato de amitriptilina no serviço público ocorre por meio do processo de licitação com critério de menor preço, independentemente de sua classificação como genérico, similar ou referência. Estudos evidenciam o aumento do consumo de antidepressivos no período da pandemia da COVID-19 e pós-pandemia (LOPES et al., 2022; GONZALES-MARTINEZ et al., 2022; SILVA et al., 2021) e a amitriptilina está entre os medicamentos mais consumidos. Dada a importância do assunto, o objetivo do presente trabalho consistiu em realizar o controle de qualidade físico-químico de produto similar, distribuído gratuitamente em rede pública de um município do Estado de São Paulo, Brasil.

Para garantir que os medicamentos sejam produzidos com qualidade, as indústrias farmacêuticas devem cumprir as normas estabelecidas pela Resolução RDC nº 658 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, a qual determina a implementação das Boas Práticas de Fabricação de Medicamentos (BPF) (BRASIL, 2022a). As BPF são normas que asseguram parâmetros básicos de qualidade e visam diminuir riscos inerentes ao produto, através da utilização de processos que estejam validados e assim garantir a qualidade, segurança e eficácia do medicamento. A realização destes testes de controle de qualidade não abole a necessidade de atendimento aos requerimentos relacionados nas monografias farmacopeicas. Para este trabalho, os ensaios utilizados para avaliar qualidade de comprimidos de cloridrato de amitriptilina distribuídos gratuitamente em rede pública foram: determinação do aspecto; identidade, peso-médio, dureza, doseamento, dissolução e uniformidade de doses unitárias por determinação de conteúdo (BRASIL, 2019a; BRASIL 2019b). A não conformidade de qualquer destes parâmetros pode comprometer a qualidade do produto.

Em termos de qualidade, os comprimidos podem sofrer variações entre si quanto à espessura, diâmetro, tamanho, peso, forma, dureza, características de desintegração, dependendo do método de fabricação e da finalidade da sua utilização. Durante a produção de comprimidos, estes fatores devem ser controlados, a fim de assegurar a aparência do produto e a sua eficácia terapêutica (KLAUSNER; NAGEL, 2021; ALLEN et al., 2013). Além disso, os comprimidos devem apresentar estabilidade física e química, desintegrar-se no tempo previsto, ser pouco friáveis, apresentar integridade, superfície lisa e brilhante, sendo destituídos de alguns defeitos como falhas, fissuras e contaminação (KLAUSNER; NAGEL, 2021; ALLEN et al., 2013).

O aspecto físico de comprimidos é um critério importante de detecção de possíveis falhas no processo produtivo e contaminações visíveis a olho nu. Embora não exista especificação farmacopeica para este ensaio, os resultados obtidos neste estudo demonstraram que os comprimidos de cloridrato de amitriptilina se apresentaram íntegros, homogêneos, isentos de partículas estranhas, com formato circular, coloração levemente amarelada e presença de sulcos. Os comprimidos apresentaram espessura média de 3,46mm e diâmetro médio de 6,30mm.

Os ensaios de identidade envolvem um conjunto de testes que tem como

objetivo principal garantir a autenticidade e qualidade de um insumo, logo, os métodos de identificação são de natureza qualitativa e tem por objetivo comprovar que a amostra analisada é a substância que deve ser. Os métodos de identificação podem ser classificados em métodos de separação, métodos químicos ou clássicos e métodos instrumentais. Na prática não é realizado apenas um ensaio isolado, mas sim, um grupo de ensaios pela falta de seletividade de alguns métodos ou porque cada método identifica uma parte ou característica da molécula. Geralmente as farmacopeias recomendam dois ensaios para a determinação da identidade e também orientam sobre a ordem de realização dos mesmos (BRASIL, 2019a; BRASIL, 2019b).

Neste estudo, por limitações técnicas a determinação da identidade foi realizada a partir da identificação do íon cloreto estando em conformidade com a especificação farmacopeica para o produto em questão.

O peso dos comprimidos é determinado pela quantidade de pó ou granulado introduzido na matriz da máquina de comprimir, sendo que para os primeiros comprimidos produzidos, o volume do granulado ou do pó na matriz é regulado, a fim de que todos possuam conteúdo e peso ideais (KLAUSNER; NAGEL, 2021; ALLEN et al., 2013).

De acordo com a Farmacopeia Brasileira (BRASIL, 2019a), as amostras submetidas à determinação do peso médio devem estar dentro das especificações indicadas, sendo a variação individual permitida para comprimidos com peso médio entre 80 mg e 250 mg, é $\pm 7,5\%$. Os resultados do peso médio dos comprimidos analisados se apresentaram dentro dos limites estabelecidos estando entre 115,0 mg a 135,0 mg, sendo que o peso médio de 20 unidades foi de 124,80mg com Desvio-Padrão (DP) $< 0,001$.

Tanto a dureza como a friabilidade dos comprimidos dependem do processo produtivo bem como dos excipientes empregados na formulação dos mesmos. A dureza é necessária para garantir a integridade física do produto e está diretamente ligada à friabilidade (KLAUSNER; NAGEL, 2021; ALLEN et al., 2013). Os comprimidos avaliados apresentaram dureza acima de 50,0 Kgf. O estudo de friabilidade não foi realizado por se tratar de comprimido revestido. O limite de tempo estabelecido como critério geral para a desintegração de comprimidos revestidos é de 30 minutos utilizando água sob $37^\circ \pm 1^\circ\text{C}$ como líquido de imersão (BRASIL, 2019a). Os comprimidos avaliados apresentaram tempo de desintegração inferior a 10 minutos.

Os resultados da determinação do teor de cloridrato de amitriptilina nos comprimidos encontram-se na Tabela 1. De acordo com os resultados obtidos, foi possível observar que as amostras permaneceram dentro da faixa de 90% a 110% com DPR% inferior a 2% estando em concordância com os parâmetros de qualidade farmacopeicos.

Análises	Resultados	
	(mg/cp)	Teor (%)
1	25,02	100,09
	25,06	100,27
2	24,89	99,57
	24,96	99,86
3	25,10	100,42
	25,15	100,62
Média	25,03	100,14
Desvio padrão	0,09	0,35
DPR (%)	0,38	0,35

Tabela 1. Resultados obtidos na determinação do teor de comprimidos de cloridrato de amitriptilina 25mg por espectrofotometria de absorção no ultravioleta.

O teste de dissolução foi realizado para determinar a quantidade do fármaco solubilizado e liberado no meio de dissolução, a partir da forma farmacêutica comprimido. Os resultados do ensaio estão ilustrados na Tabela 2. Todas as unidades se mantiveram dentro do limite de 75% (Q+5%) para o Estágio 1 e com DPR % inferior a 6% (BRASIL, 2019a; BRASIL, 2019b).

Cubas	% Dissolução para 75% (Q+5%) E1
1	99,57
2	100,00
3	100,12
4	99,89
5	99,84
6	100,45
Média	99,98
Desvio-padrão (s)	0,27
DPR %	0,27

Q: Quantidade rotulada de cloridrato de amitriptilina; **E1:** Estágio 1.

Tabela 2. Resultados obtidos no teste de dissolução de comprimidos de cloridrato de amitriptilina 25mg.

A importância do teste uniformidade de doses unitárias, tanto por Variação de Peso como por Uniformidade de Conteúdo reside no fato de que na produção de comprimidos ou outra forma farmacêutica sólida, o fármaco é diluído com excipientes de diversas funções. Em tais processos, nem sempre é possível obter a homogeneidade absoluta da mistura do fármaco com os excipientes. Fatores como densidades e tamanhos diferentes

e formas de partícula diferenciadas contribuem para diversas tendências de sedimentação e características de fluxo, as quais podem causar variações na quantidade de substância ativa presente no fracionamento do lote (KLAUSNER; NAGEL, 2021; ALLEN et al., 2013). Por esses motivos, padrões e especificações farmacopeicos têm sido estabelecidos a fim de prover limites para variações admissíveis na quantidade de substância ativa em unidades individuais de dose única. Na prática, pequenas variações entre unidades são aceitas, e os limites para essas variações são determinados por meio de valores-padrão nas farmacopeias.

Logo, para assegurar a administração de doses corretas, cada unidade do lote de um medicamento deve conter quantidade do componente ativo próxima da quantidade declarada. Para este requisito, os produtos cumprem ao teste de uniformidade de doses unitárias tanto pelo método Variação de Peso como para Uniformidade de Conteúdo se o Valor de Aceitação (VA) calculado para as 10 primeiras unidades testadas é menor que L1 ($L1=15$), que corresponde ao desvio máximo permitido para cada unidade testada em relação ao valor de M (Valor de Referência) utilizado nos cálculos do Valor de Aceitação.

A Tabela 3 apresenta os resultados da avaliação da uniformidade de dose pelo método Variação de Peso dos comprimidos de cloridrato de amitriptilina 25mg. O Valor de Aceitação permaneceu dentro do limite aceitável, ou seja, $VA < 15$ e nenhuma unidade se apresentou abaixo de 85% ou acima de 115% conforme cálculos para o estabelecimento dos limites de aceitação, considerando $(1 \pm L1 \times 0,01) M$.

Análises (n)	Peso individual do comprimido (mg)	Teor estimado (%)
1	127,12	101,90
2	125,2	100,40
3	126,13	101,10
4	125,45	100,60
5	122,17	97,90
6	121,18	97,10
7	125,28	100,40
8	126,36	101,30
9	123,47	99,00
10	125,13	100,30
Média	124,75	100,00
Desvio-padrão (s)	1,90	1,90
DPR %	1,52	1,90

Tabela 3: Resultados obtidos na avaliação da uniformidade de dose pelo método Variação de Peso dos comprimidos de cloridrato de amitriptilina 25mg.

Embora o ensaio de uniformidade de peso seja o modo mais simples para averiguar variação da dose do fármaco, o que torna esse ensaio útil como um procedimento de

controle de qualidade durante a produção de comprimidos, deve-se considerar também a quantidade de adjuvantes presentes na unidade posológica. Se os constituintes ativos encerrarem maior parte da massa do comprimido, qualquer variação do peso, reflete de maneira evidente, variações no teor dos componentes ativos. Desse modo, o atendimento à especificação auxilia no sentido de assegurar que foi obtida a uniformidade de dose. Contudo, no caso de fármacos administrados em baixas doses, os adjuvantes representam grande parte do peso do comprimido, e uma correlação entre o peso do comprimido e o teor de substância ativa poderá ser fraca. Assim, o ensaio de variação de peso deve ser combinado com o ensaio de variação de conteúdo da substância ativa (KLAUSNER; NAGEL, 2021; ALLEN et al., 2013).

Com objetivo de avaliar a correlação entre o teste de uniformidade de doses unitárias por Variação de Peso e por Uniformidade de Conteúdo, os comprimidos de cloridrato de amitriptilina foram avaliados individualmente em relação ao teor de substância ativa presente. A Tabela 4 apresenta os resultados da avaliação da uniformidade de dose pelo método Uniformidade de Conteúdo dos comprimidos de cloridrato de amitriptilina 25 mg, bem como os resultados dos cálculos usados para definir o Valor de Aceitação e Limite de Aceitação.

Análises (n)	Teor individual (%)
1	100,20
2	100,10
3	99,40
4	99,60
5	100,20
6	100,00
7	100,20
8	99,80
9	100,30
10	99,90
Média	100,00
Desvio-padrão (s)	0,30
DPR %	0,30

Tabela 4: Resultados obtidos na avaliação da uniformidade de dose pelo método Uniformidade de Conteúdo dos comprimidos de cloridrato de amitriptilina 25mg.

Os mesmos demonstram que as amostras analisadas apresentaram Valor de Aceitação dentro do limite aceitável, ou seja, $VA < 15$ e nenhuma unidade se apresentou abaixo de 85% ou acima de 115% conforme cálculos para o estabelecimento dos limites de aceitação, considerando $(1 \pm L2 \times 0,01)M$.

Os comprimidos de cloridrato de amitriptilina, obtidos por processo licitatório

e caracterizados como produto similar, foram aprovados em todos os testes realizados por estarem em conformidade com os critérios farmacopeicos estabelecidos. O estudo apresentou limitações devido ao fato dos testes instrumentais de identidade, pureza e segurança biológica não terem sido executados. No entanto, os resultados obtidos suportam a viabilidade da pesquisa.

4 | CONCLUSÃO

Em vista dos argumentos apresentados é possível concluir que os comprimidos de cloridrato de amitriptilina, classificado como produto similar e distribuído gratuitamente em rede pública de um município do Estado de São Paulo, Brasil, estão qualificados e aptos para uso da população em geral. Os comprimidos foram aprovados em todos os testes aos quais foram submetidos, garantindo assim uma qualidade, segurança e eficácia no tratamento. Sugere-se a realização de outros testes como determinação da pureza, identidade e segurança biológica a fim de garantir que os medicamentos atendem a todos os requisitos exigidos, ampliando o acesso da população a medicamentos de qualidade.

REFERÊNCIAS

ALLEN JR, L.V.; POPOVICH, N.G.; ANSEL, H.C. **Formas Farmacêuticas e Sistemas de Liberação de Fármacos-9**. Artmed Editora, 2013.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC N° 658, de 30 de março de 2022a. Dispõe sobre as Diretrizes Gerais de Boas Práticas de Fabricação de Medicamentos. Brasília (DF): Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Disponível em: <https://ln.gov.br/web/dou/-/resolucao-rdc-n-658-de-30-de-marco-de-2022-389846242>. Acesso em: 12 de fev. 2023.

BRASIL. **Farmacopeia Brasileira**. 6.ed. Volume 1. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Brasília: Anvisa. 2019a.

BRASIL. **Farmacopeia Brasileira**. 6.ed. Volume 2. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Brasília: Anvisa. 2019b.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos. Departamento de Assistência Farmacêutica e Insumos Estratégicos. Aquisição de medicamentos para assistência farmacêutica no SUS: orientações básicas / Ministério da Saúde, Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos, Departamento de Assistência Farmacêutica e Insumos Estratégicos. – Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 56 p. – (Série A. Normas e Manuais Técnicos)

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Ciência, Tecnologia, Inovação e Insumos Estratégicos em Saúde. Departamento de Assistência Farmacêutica e Insumos Estratégicos. Relação Nacional de Medicamentos Essenciais RENAME 2022. Brasília: Ministério da Saúde, 2022b.

COSTA, Aline A.;CHAVES, Gabriela C.; BRITO, Monique A. Procurement of medications in the Brazilian public sector: the search for quality in bidding processes. **Revista Brasileira de Farmácia Hospitalar e Serviços de Saúde**, v. 10, n. 2, p. 413-413, 2019.

GONZALEZ-MARTINEZ, Alicia et al. Amitriptyline for post-COVID headache: effectiveness, tolerability, and response predictors. **Journal of Neurology**, v. 269, n. 11, p. 5702-5709, 2022.

KLAUSNER, E.A.; NAGEL, K. **Aulton's Pharmaceuticals: The Design and Manufacture of Medicines**. Elsevier, 2021, 968 p.

LOPES, Josyany Melo et al. Uso elevado de psicofármacos durante a pandemia da COVID-19: uma análise a partir de levantamentos epidemiológicos. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 8, p. e47511831180-e47511831180, 2022.

ORDONES, D.S.; CAMARGO, R.L.; TESCAROLLO, I.L. Aspectos relevantes na determinação da uniformidade de doses unitárias de comprimidos de captopril. **Revista Multidisciplinar da Saúde**, v. 4, n. 8, p. 2-19, 2012.

SILVA, R. D. et al. Dispensação de ansiolíticos e antidepressivos em farmácias privadas durante a pandemia de COVID-19, **Temas em Saúde**, v.21, n.6, p. 314-333, 2021.

TESCAROLLO, I.L.; SILVA, E.M. Avaliação da qualidade de soluções orais de paracetamol. **Revista Ensaios Pioneiros**, v. 3, n. 1, p. 28–36, 2020. DOI: 10.24933/rep.v3i1.189. Disponível em: <https://ensaiospioneiros.usf.edu.br/ensaios/article/view/189>. Acesso em: 15 fev. 2023.

PRODUÇÃO DE CONCRETO UTILIZANDO RESÍDUOS GERADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Data de submissão: 28/04/2023

Data de aceite: 02/06/2023

Mikaely de Souza Binha

Universidade São Francisco
Bragança Paulista – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/2172069251790610>

Paulo Yuri Marques Yamasata

Universidade São Francisco
Bragança Paulista – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/2736937553167237>

Cristina das Graças Fassina

Universidade São Francisco
Bragança Paulista – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/3593793991674607>

RESUMO. A construção civil é um setor que gera grande quantidade de resíduos sólidos, sendo estes denominados de Resíduos da Construção Civil. Esses resíduos geram grandes impactos ambientais, pois muitas vezes são destinados de forma incorreta. Sendo assim, é de grande importância buscar soluções para esse problema através de métodos para minimizar o descarte desse material. Esse trabalho tem por objetivo identificar formas de reutilizar os resíduos provenientes da construção civil para a produção de concreto. Os materiais utilizados foram o cimento CP II – E 32, areia média, brita 1, água e resíduos

de construção civil obtidos de uma usina de reciclagem do Município de Itatiba. Para a realização da parte prática desta pesquisa foi feita a moldagem de corpos de prova, primeiramente com o concreto normal como referência, e depois testado o mesmo traço com a substituição de algumas porcentagens dos agregados para verificação. Depois da moldagem, os corpos de prova foram submetidos a testes de compressão para verificação da resistência e determinar as possíveis utilizações desse concreto. Em alguns países já é utilizado o concreto reciclado e nesse estudo obteve-se outras porcentagens de agregado reciclado na mistura da argamassa, como novas possibilidades de suas aplicações.

PALAVRAS-CHAVE: Agregados; Concreto reciclado; Reciclagem; Resíduos de Construção Civil.

CONCRETE PRODUCTION USING WASTE GENERATED IN CIVIL CONSTRUCTION

ABSTRACT. SUMMARY. Civil construction is a sector that generates a large amount of solid waste, which is called Civil Construction Waste. These residues generate great environmental impacts, as they are often

disposed of incorrectly. Therefore, it is of great importance to seek solutions to this problem through methods to minimize the disposal of this material. This work aims to identify ways to reuse waste from civil construction for the production of concrete. The materials used were CP II – E 32 cement, medium sand, gravel 1, water and construction waste obtained from a recycling plant in the municipality of Itatiba. In order to carry out the practical part of this research, specimens were molded, firstly with concrete as a reference, and then the same trait was tested with the replacement of some percentages of the aggregates for verification. After molding, the specimens were subjected to compression tests to verify strength and determine the possible uses of this concrete. In some countries recycled concrete is already used and in this study other percentages of recycled aggregate in the mortar mixture were obtained, as new possibilities for its applications.

KEYWORDS: Aggregates; Recycled concrete; Recycling; Civil Construction Waste.

1 | INTRODUÇÃO

A construção civil é responsável por extrair grande quantidade de materiais da natureza e, conseqüentemente, uma grande geradora de resíduos como resultado do volume de obras que acontecem. A reutilização desses resíduos é de suma importância para o meio ambiente e historicamente ela começou a ocorrer apenas após a Segunda Guerra Mundial.

O descarte inadequado dos resíduos pode gerar sérios problemas para sociedade, sendo eles doenças, poluição, contaminação de água, entre outros. Deve-se haver uma conscientização por parte dos responsáveis pela geração deles, já que, a reutilização desses materiais pode gerar benefícios ambientais e econômicos para si e para sociedade em geral. Ocorre falhas também em sistemas gestores como prefeituras, pois muitas vezes não tem leis para viabilizar a reciclagem dos entulhos.

Os materiais principais da construção civil são: madeira, rocha, aço, concreto e solo, sendo o mais antigo deles a madeira, depois surgiu o tijolo cerâmico e começou a ser mais utilizada também a pedra nas construções. Logo surgiu o ferro, como uma opção maleável e resistente, e houve uma grande transformação até ser aplicado como é hoje e sua utilização ajudou na expansão da indústria do aço. O concreto, por ser uma opção também maleável, tem grandes aplicações, pois permite construções maiores devido a sua resistência.

Há uma grande busca por diferentes materiais e técnicas atualmente, já que a sociedade busca mais fortemente por alternativas sustentáveis, ou seja, que haja um benefício ambiental e econômico. Em alguns países a reciclagem de resíduos de construção civil (RCC) e resíduos de construção e demolição (RCD) já é um mercado bem desenvolvido, enquanto no Brasil ainda não é uma prática comum.

Um bom gerenciamento da obra faz grande diferença em seu andamento e na obtenção e administração de seus recursos, a falta de planejamento pode levar não só a

atrasos no serviço como também a desperdícios. Mesmo com planejamento ainda existem riscos, mas com uma boa gestão muitos podem ser minimizados.

A fim de encontrar soluções para o descarte inadequado dos Resíduos de Construção Civil (RCCs) e Resíduos de Construção e Demolição (RCDs), esse trabalho tem por objetivo identificar formas de reutilizar os resíduos provenientes da construção civil para a produção de concreto.

Inicialmente buscou-se estudar os diferentes tipos de resíduos provenientes da construção civil, como eles podem ser reaproveitados, como se dá seu processo de reciclagem e quais as normas e leis vigentes para esse tipo de ação. Além disso procedeu-se a análise da viabilidade técnica e econômica do custo-benefício da utilização deste material. Para isso foram feitos testes em laboratório para definir resistência e dar uma destinação para o concreto produzido utilizando os RCCs e RCDs em sua composição.

2 | REFERENCIAL TEÓRICO

O surgimento de um órgão nomeado Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) em 1981, foi um ponto chave na mudança de tudo que é relacionado ao meio ambiente. Através desse conselho foi definida pela Lei nº 6938/81, a Resolução nº 307 de 5 de julho de 2002 que leva em conta a preocupação com a geração de resíduos causada pela construção civil, foram criadas diretrizes com intuito de diminuir os efeitos causados ao meio ambiente.

No Art. 3º dessa resolução foi classificado os tipos de resíduos:

Classe A: é composta por resíduos que podem ser reutilizáveis ou transformados em agregados para novas funções de processos construtivos, o concreto em seu estágio final, argamassas e tijolos, são alguns exemplos.

Classe B: apesar de nessa classe os resíduos também serem reutilizáveis, eles não serão utilizados em processos construtivos, são eles: plásticos, papelão, madeiras, entre outros.

Classe C: existem materiais nos quais sua reciclagem ainda não é viável economicamente ou ainda não possuem formas de reciclagem, um exemplo é o isopor.

Classe D: materiais perigosos vindos de processos construtivos como tintas e solventes, ou contaminados vindo de demolições ou reformas de indústria ou locais com radiação e que sejam perigosos para a saúde.

Com o passar do tempo essa resolução foi sendo atualizada devido às novas descobertas e tecnologias que surgiram, passando pelas resoluções nº 348/04, nº 431/11, nº 448/12 e pôr fim a nº 469/2015.

Na cidade de Bragança Paulista foi sancionada a Lei 4.732/2020 pelo Exmo. O Sr. Prefeito Jesus Adib, que define parâmetros de gestão de Resíduos da Construção Civil no município. A classificação dos resíduos do município segue a Resolução do CONAMA nº

348 ou legislações que sobrevierem. A lei também institui um sistema de gerenciamento dos resíduos, para facilitar a destinação correta dos resíduos e estes serão designados conforme a quantidade de volume do material recebido. É possível que seja feita a utilização desses resíduos em obras públicas como em infraestrutura, revestimento de vias (o que atualmente já é feito pelo município), passeios, construções de muros, entre outras aplicações.

Os projetos de gerenciamento dos RCCs serão elaborados pelos grandes geradores em conjunto com a Secretaria Municipal do Meio Ambiente com frequência anual e de forma gradual seguindo a consolidação do Sistema Estadual de Gerenciamento Online de Resíduos Sólidos (SIGOR). Esse plano tem como objetivo a diminuição e destinação adequada dos resíduos para contribuição ambiental.

Pode-se dizer que construção civil está diretamente ligada a quantidade de resíduos que é gerada no planeta, sendo um dos maiores e principais motivos desse fenômeno. O motivo para essa grande quantidade de resíduos está relacionado a uma série de erros como a falta de planejamento, falta de acompanhamento necessário pelos responsáveis técnicos, falta de mão de obra qualificada, má qualidade dos materiais, além destes sabe-se que demolições e ampliações também são fatores para a geração dos resíduos. Blocos e argamassa (reboco) compõem a maior parte dos resíduos gerados.

Com as norma e leis vigentes é possível definir a forma correta de gerenciar os resíduos gerados na construção civil, assim como suas classificações e destinações corretas, além de ajudar a descobrir soluções para os possíveis problemas que são causados pelo excesso desses resíduos. Os resíduos de construção possuem um potencial de serem triturados e de certa forma reutilizados em novas funções. Como a construção é um setor que gera uma elevada quantidade de resíduos, estes foram denominados como Resíduos da Construção Civil (RCC). O gerenciamento do RCC deve estar ligado ao controle de destinação final do entulho, e o gerenciamento dos materiais em obra faz uma grande diferença em toda a execução, já que pode trazer uma diminuição de desperdício de materiais e conseqüentemente gerar uma economia na compra deles além de contribuir com o meio ambiente já que esse material não será mais depositado em qualquer local de forma incorreta.

Visto que a construção civil consome uma quantidade altíssima de recursos naturais do planeta, entende-se que a reciclagem dos resíduos gerados por ela e de suma importância para diminuição do uso do agregado natural e para não poluição proveniente do descarte inadequado dos RCCs e RCDs. Entre as quatro classes e resíduos existentes, os de classe A são os que possuem melhor potencial para serem reaproveitados, além de não apresentarem alto risco, se seguido os procedimentos corretos vigentes na Resolução nº 307/2002 do CONAMA e na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) regidas pela lei 12.305/2010. Os resíduos da classe A são: areia, cerâmica e brita sendo esses materiais os mais utilizados nas obras e os que tem um maior potencial de reciclagem para serem

utilizados como agregados, sabendo disso, uma opção para diminuir os danos causados pelo descarte incorreto seria a triagem de materiais dentro dos canteiros de obras para serem mandados para reciclagem, isso ajudaria a ter controle dos materiais que podem ser reutilizados na própria obra o que minimizaria a extração de recursos naturais.

Um fator fundamental na construção civil visando a diminuição de problemas ambientais foi a implementação das usinas de reciclagem de entulhos (UREs), sendo elas de grande ajuda na administração dos resíduos gerados pelas obras. Com a destinação dos entulhos sendo direcionadas às UREs, os RCCs passam por processos previstos na Resolução 307/ 2002 do CONAMA (Figura 1), onde são separados todos os resíduos que possuem potencial de serem reaproveitados (no caso resíduos da classe A) de outros tipos de resíduos, estes por sua vez são enviados para locais onde podem ser realizados os procedimentos e forma correta prevista na Resolução do CONAMA. Após a separação dos resíduos, os RCCs de classe A seguem para um processo de britagem determinado pela usina, no qual são transformados em agregados para que posteriormente possam ser reaproveitados de outras maneiras.

Há diversos tipos de utilização para os RCCs, como por exemplo, substituindo agregados em concreto, fabricação de lajotas de vedação, blocos, entre outros, porém é necessário que o agregado reciclado cumpra sua função diante a reutilização de forma correta, ou seja, desde que não haja falhas nos produtos obtidos.

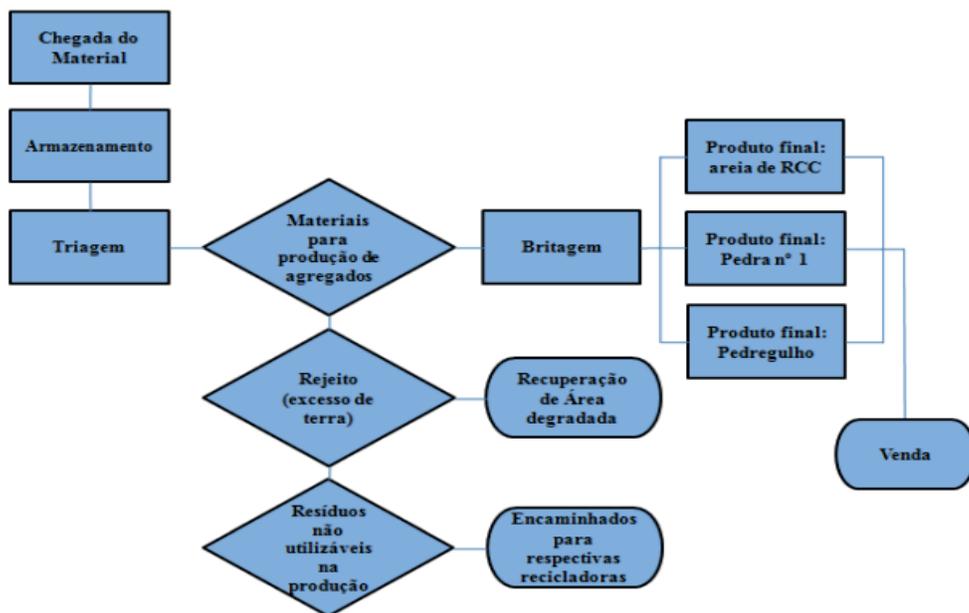


Figura 1 - Processo de reciclagem (FONTE: <https://pdfs.semanticscholar.org/82e3/d0ca2d413b6b96ba0cec67f727af527437e6.pdf>)

Em comparação aos agregados naturais, os agregados reciclados são mais baratos, entretanto o uso em obras ainda não é tão comum devido a confiabilidade do material, por isso é de suma importância saber a procedência dos agregados reciclados da construção civil, pois se vindo de empresas com certificação correta, pode-se utilizá-los de diversas formas.

O concreto é a mistura de agregados com água e cimento, que se torna uma pasta moldável no formato desejado para realização de estruturas. Existem diversas funções para o concreto, por isso existem variados tipos de traços, o traço é a proporção de materiais utilizada em determinada mistura de concreto e muda conforme o uso ao qual será empregado, que deve ser seguido à risca para evitar problemas futuros, atualmente muitas obras de pequeno porte ainda não dão tanta importância a isso, pois há uma tradição construtiva na qual os responsáveis trabalham sempre com o mesmo traço independente da função que o concreto deverá exercer.

Na produção do concreto existem vários fatores fundamentais, nos quais se devem ter um cuidado maior na maneira de realizá-los, o mais importante deles é a relação água/cimento que compõe a massa, pois a quantidade de água a ser utilizada interfere diretamente na resistência à compressão do concreto ao fim de seu processo de endurecimento e na sua durabilidade.

Como apontam Cruz e Alvarenga (2018), “A principal propriedade no estado fresco é a trabalhabilidade, enquanto no estado endurecido sobressai-se a resistência à compressão, ambas ligadas diretamente à quantidade de água”.

A dosagem de água/cimento interfere muito na trabalhabilidade e na resistência à compressão que o concreto irá obter, por isso deve-se evitar erros nessa dosagem, pois com excesso de água, pode acarretar em concretos muito fluidos, ou seja, muito mole para que se possa utilizá-lo na finalidade desejada, e posteriormente podem surgir fissuras nas estruturas devido a menor resistência obtida, já os erros quando se utiliza pouca água, o processo das reações do concreto tendem a ficar mais difíceis de acontecer deixando o concreto mais espesso, e conseqüentemente tendo uma menor trabalhabilidade, e podendo também ter sua resistência diminuída devido à falta de adensamento para que haja as reações químicas necessárias.

Aliado a isso tem-se a verificação da cura do concreto, é o último processo, onde é jogada água de forma contínua ou com alguns intervalos sobre o concreto a fim de manter o concreto úmido e é de suma importância para que após seu início de endurecimento, o concreto perca a menor quantidade de água possível devido a evaporação da mesma, minimizando a perda de resistência e possíveis fissuras.

Outro fator importante para um concreto com boa qualidade vem das características dos agregados utilizados, esses agregados são divididos em dois tipos, agregado miúdo e o agregado graúdo.

Há uma grande diversidade de ambos os tipos de agregados, por isso, deve haver

uma maior precisão na caracterização da forma de cada agregado, um fator que altera as características do agregado é que, para um mesmo material, é possível encontrar variações já que são produtos naturais, essas características dependem também da forma como são triturados, ou seja, a britagem desse agregado influencia diretamente em qual funcionalidade o mesmo poderá ser utilizado, pois os formatos diferentes alteram a trabalhabilidade da massa e o tipo de utilização.

Tristão (2005 apud FIALHO; JANUTHE; PRATA, 2017, p.3) observou que:

[...] em estudos realizados com argamassas que as propriedades destas no estado fresco foram alteradas em função da forma do agregado, sendo que quanto mais arredondado e esférico o grão, menor a quantidade de pasta de argamassa, o que implica em menor consumo de aglomerante e de água de emassamento.

E segundo Neville (1997 apud FIALHO; JANUTHE; PRATA, 2017, p.3)

No caso de agregado miúdo, sua forma e textura superficial tem um efeito significativo sobre a demanda de água de amassamento da mistura, enquanto a lamelaridade e a forma do agregado graúdo geralmente tem um efeito apreciável sobre a trabalhabilidade do concreto.

Com ensaio do Slump Test, são obtidos resultados que determinam a qualidade e a trabalhabilidade do concreto, fator fundamental pois assim é possível definir para qual tipo de aplicação ele poderá ser utilizado, ou se ele será descartado. O Slump Test deve ser feito em um lugar plano e sem interferências, é importante realizar a limpeza dos instrumentos antes do início do teste, após isso, é então feito o enchimento do cone de metal em três camadas de tamanhos aproximados, cada camada deve ser golpeada 25 vezes com a haste de compactação de modo que sejam distribuídos os golpes uniformemente por toda camada, antes da retirada do cone é necessário que o excesso de concreto que sobrou acima do cone seja retirado, é então feita a remoção do cone de metal cuidadosamente na direção vertical em um intervalo de tempo de aproximadamente 5 segundos, por fim é feita a medição do abatimento de concreto que é a diferença da altura do cone e o eixo do corpo de prova desmoldado, com valor obtido é possível determinar a provável aplicação do concreto.

Outro fator de suma importância é a resistência do concreto, e para determiná-la é necessário realizar um ensaio que segue as seguintes normas: a NBR 5738/2015 e posteriormente a NBR 5739/2018, esse ensaio consiste basicamente em romper o concreto para descobrir o valor de sua resistência. Para os ensaios as dimensões dos corpos de prova devem possuir a altura duas vezes maior que o diâmetro e antes de despejar o concreto fresco, deve-se revesti-los com óleo para facilitar o processo de desmolde, o processo de enchimento varia conforme o valor do ensaio de abatimento realizado anteriormente. Os corpos de prova devem ser colocados durante as primeiras 24 horas em local plano e protegido de qualquer tipo de interferência mecânica ou intempéries

que possam movimentar o concreto, após essas 24 horas devem ser desmoldados e armazenados em um local úmido ou submersos em água até o dia de seu rompimento, esse tempo geralmente é de 3, 7, 14 e 28 dias. Nos dias de rompimento deve posicioná-lo entre discos de Neoprene, para que a aplicação de forças da prensa eletrônica seja uniformemente distribuída pela superfície dele até que ocorra o rompimento, apontando assim a resistência que aquele concreto possui.

3 | METODOLOGIA

A pesquisa tem como objetivo apresentar os procedimentos realizados no laboratório de Materiais da Construção Civil da Universidade São Francisco de Bragança Paulista, com intuito de comparar se o concreto produzido com substituição de parte do agregado graúdo (brita1) por 10%, 20% e 30% de agregados oriundos de RCCs e RCDs, possuem resistência à compressão satisfatória em relação ao concreto convencional. Como foi definido 3 porcentagens diferentes, então foram realizados 4 tipos de corpos de prova, para que posteriormente possam ser rompidos, o corpo de prova com concreto convencional e os 3 com as porcentagens de agregado. Primeiramente foi necessário definir o traço do concreto utilizado, sendo eles: 1; 0,5; 0,75; 0,6 (Tabela 1) com intuito de que esse traço atingisse a resistência de 30 MPa.

MATERIAL	QUANTIDADE ESTIPULADA	QUANTIDADE UTILIZADA
Cimento CP II - E - 32	6,0 kg	15 kg
Areia (umidade 4%)	3,0 kg	7,8 kg
Brita 1	4,5 kg	11,25 kg
Água	3,6 L	6,1 L

Tabela 1 – Traço utilizado na produção do concreto convencional.

FONTE: Autores.

Para a realização da moldagem dos corpos de prova foram utilizados uma betoneira, 9 moldes a balança para definir o volume de materiais e os equipamentos necessários para realização do Slump Test.

Após a mistura pronta, foi realizado o Slump Test, utilizando os equipamentos prescritos pela norma NBR 16889:2020 Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. É importante salientar que foi realizada a limpeza em todos os instrumentos antes do início do teste.

O teste foi realizado em local plano e sem interferências, o enchimento foi separado em 3 camadas de tamanhos aproximados e a cada camada foi aplicada 25 golpes com a haste de adensamento, os golpes foram de maneira uniforme por toda a camada, foi então retirado o excesso de concreto presente na superfície do cone é feita a remoção do mesmo em um intervalo de aproximadamente 5 segundos;

A medição do Slump foi feita virando o cone e medindo a diferença presente entre a altura do cone e o eixo do concreto desmoldado. No presente teste constatou-se o valor de aproximadamente 15,5 cm.

A partir disso moldou-se 9 corpos de prova segundo a NBR 5738:2015 versão corrigida: 2016 - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova;

Foi utilizado o molde cilíndrico de 10x20 cm, nos quais foi necessário colocar óleo mineral para lubrificar seu interior a fim de facilitar o processo de desmolde;

O processo de moldagem passa por 2 etapas, primeiro é despejado concreto até a metade do molde e então golpeado 12 vezes por toda superfície da camada com a haste de adensamento, e por fim despejado concreto até a borda e repetido os 12 golpes por toda a camada. Foi golpeado a face externa do molde para que possíveis vazios fossem preenchidos (Figura 2).



(a)

(b)

Figura 2 – moldagem dos corpos de prova. (a) adensamento; (b) regularização da superfície
(FONTE: Próprio autor).

Por fim os corpos de provas já moldados foram colocados em um lugar plano e não houvesse nenhum tipo de vibração, por aproximadamente 24 horas até serem desmoldados.

Após 24 horas foi feito o desmolde dos corpos de prova, e posteriormente os mesmos foram colocados submersos em água, para dar continuidade ao processo de cura do concreto.

Para a realização do concreto com os RCCs foi necessário a obtenção dos mesmos por meio de uma usina de reciclagem, no caso a URI usina de reciclagem de RCC de Itatiba. Esses resíduos contêm certos materiais como telhas, blocos cerâmicos, argamassa, azulejos.

Como os resíduos coletados da usina não estavam todos exatamente na granulometria necessária para a realização dos traços, foi necessário também um processo

de granulometria afim de separar os componentes no tamanho ideal, ou seja, tiveram que ser peneirados para que chegassem a granulometria correspondente da brita 1, que varia de 9,5mm a 19mm.

Foi utilizado exatamente o mesmo traço de concreto nos laboratórios seguintes, com a diferença de substituir a porcentagem de brita por RCCs (Tabela 2).

PORCENTAGEM	CIMENTO CP-II	AREIA	ÁGUA	BRITA 1	RCCS
10%	6,0 kg	3,0 kg	6,1 L	10,125 kg	1,125 kg
20%	6,0 kg	3,0 kg	6,1 L	9,0 kg	2,25 kg
30%	6,0 kg	3,0 kg	6,1 L	7,875 kg	3,375 kg

Tabela 2 – Quantificação de materiais nos traços com RCCs.

FONTE: Autores.

A partir da produção dos corpos de provas foram realizados os testes de resistência à compressão nos quatro traços produzidos com 7, 14 e 28 dias após o início do seu processo de cura submerso. Foram rompidos 3 corpos de prova por vez nos dias marcados no laboratório da Universidade São Francisco, utilizando uma máquina de ensaios de resistência à compressão.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a realização do Slump Test em cada traço obteve-se os seguintes resultados (Tabela 3).

SEM RCCS	10%	20%	30%
15,50	20,95	20,60	15,10

Tabela 3 – Valores obtidos do Slump Test em centímetros.

FONTE: Autores.

Com esses valores é possível definir aplicações para cada um dos traços realizados, sendo então definido que os traços do concreto convencional e com substituição de 30% de RCCs pertencem a classe S100 e podem ser utilizados em casos onde o lançamento do concreto é feito de maneira convencional, ou seja, utilizando carrinho de mão, baldes, entre outros, suas possíveis utilizações são em elementos estruturais como vigas, lajes, pisos. Já nos casos de 10% e 20% é possível verificar que o valor foi maior, ou seja, pertencem a classe S160, o que resulta em um lançamento bombeado do concreto, pois é um concreto mais fluido, suas utilizações são as mesmas citadas anteriormente, porém um exemplo que pode ser adicionado é uma parede diafragma.

Os resultados indicaram que até 30% de substituição de agregados pelos RCCs, não houve alteração significativa nos valores (Tabelas 4 - 6).

CONCRETO CONVENCIONAL	10% RCCS	20% RCCS	30%RCCS
#	18,70 MPa	20,09 MPa	17,10 MPa
15,26 MPa	22,38 MPa	22,34 MPa	17,24 MPa
14,74 MPa	16,31 MPa	16,77 MPa	14,11 MPa

Tabela 4 – Resistência dos corpos de prova com 7 dias (MPa) – Ensaio de compressão.

FONTE: Autores.

Houve problemas técnicos no rompimento do CP1 do concreto convencional, o que alterou muito o valor da resistência, sendo assim desconsiderado, para 7 e para 14 dias de cura.

CONCRETO CONVENCIONAL	10% RCCS	20% RCCS	30%RCCS
#	24,10 MPa	29,44 MPa	20,05 MPa
19,49 MPa	21,35 MPa	21,68 MPa	22,04 MPa
21,85 MPa	26,68 MPa	23,70 MPa	20,80 MPa

Tabela 5 – Resistência dos corpos de prova com 14 dias (MPa) – Ensaio de compressão.

FONTE: Autores.

CONCRETO CONVENCIONAL	10% RCCS	20% RCCS	30%RCCS
26,61 MPa	28,87 MPa	29,21 MPa	24,3 MPa
27,65 MPa	30,11 MPa	33,43 MPa	19,96 MPa
30,16 MPa	35,29 MPa	25,76 MPa	29,53 MPa

Tabela 6 – Resistência dos corpos de prova com 28 dias (MPa) – Ensaio de compressão.

FONTE: Autores.

Com isso conclui-se que os traços realizados com 10% e 20% obtiveram resistência superior ao realizado de forma convencional, com resistências médias de 31,42 MPa (11,66% maior) e 29,45 MPa (4,66% maior), respectivamente.

Um fator interessante é que no rompimento dos corpos de prova com 30% e idade de 7 e 14 dias resultaram em valores maiores aos do concreto convencional com o mesmo período, porém a resistência média final com 28 dias, caiu cerca de 12,6% resultando em um valor de 24,6 MPa. Com os resultados maiores nos 2 primeiros rompimentos era esperado que ao fim dos 28 dias os resultados também seriam maiores, mas houve uma variação muito grande nos valores das resistências dos 3 corpos de provas obtidos sendo eles de 19,96 MPa, 24,3MPa e 29,53 MPa, com isso é possível ver por que ao realizar a taxa de variância, o traço contendo 30% de RCCs foi o único que não obteve dados homogêneos (Figura 3).

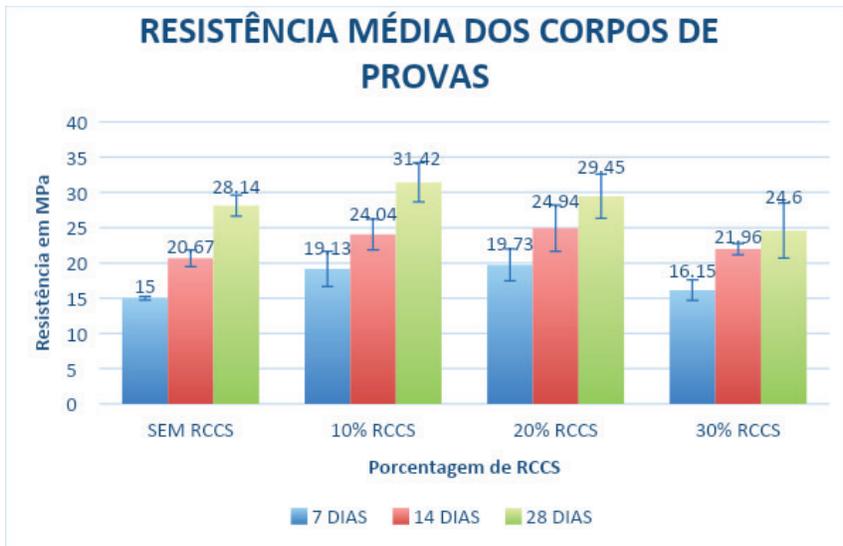


Figura 3 – Resistência média do concreto e desvio padrão (FONTE: Autores).

Diante dos resultados de resistência à compressão obtidos, obteve-se a média ponderada entre eles e o cálculo do desvio padrão (Tabela 7).

IDADE DO CP	SEM RCCS	10% RCCS	20% RCCS	30%RCCS
7 dias	0,26	2,5	2,3	1,4
14 dias	1,18	2,2	3,3	0,8
28 dias	1,49	2,8	3,1	3,9

Tabela 7 – Valores de desvio padrão obtido das amostras.

FONTE: Autores.

É possível ainda ver o coeficiente de variação que compõem os agregados, utilizando a seguinte fórmula (Tabela 8).

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} * 100$$

IDADE DO CP	SEM RCCS	10% RCCS	20% RCCS	30%RCCS
7 dias	1,7	13,1	11,6	8,9
14 dias	5,7	9,1	13,2	3,9
28 dias	5,3	8,8	10,6	15,9

Tabela 8 – Valores de coeficiente de variação obtidos das amostras em porcentagem.

FONTE: Autores.

O traço contendo 30% de RCCs com idade de 28 dias apresentou elevada taxa de variação, o que indica alta variabilidade de resistência, cujo traço indica maior

heterogeneidade das misturas.

5 | CONCLUSÃO

Devido ao Brasil ser um grande gerador de RCCs e RCDs e parte desses resíduos são descartados incorretamente, entende-se que esses resíduos devem ser melhor aproveitados e, nesse artigo em específico, se torna possível a utilização dos mesmos em formas de agregado graúdo na produção de concreto.

Conclui-se que os corpos de prova compostos por 10% e 20% de RCCs, obtiveram um aumento de 11,7% e 4,7% respectivamente, em sua resistência à compressão, comparado ao traço sem concreto composto. Com isso, para alguns tipos específicos de construções cujos processos estruturais não há necessidade de altas resistências, torna-se viável a utilização desse do concreto com a substituição de seus agregados graúdos pelos RCCs.

Deve-se ter em mente que esses resíduos de construção civil ainda apresentam variação muito grande de componentes como, por exemplo, telhas, blocos cerâmicos, gesso, entre outros, o que acaba tornando os resultados mais inconsistentes.

Sugere-se que novas pesquisas sejam realizadas com a utilização de aditivos buscando novas funcionalidades desse concreto, além de ser possível também o aumento da porcentagem de RCCS. Sugere-se, ainda, a realização de ensaios de absorção de água nos resíduos de acordo com normas técnicas, a fim de verificar o quanto impacta na resistência final do concreto.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 16889: Concreto — Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 2020. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos: procedimento**. Rio de Janeiro, 2018. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2015. 9p.

BRAGANÇA PAULISTA. **Lei nº 4.732, de 26 de junho de 2020**. Institui o Sistema para a Gestão Sustentável de Resíduos da Construção Civil e Resíduos Volumosos, de acordo com a Resolução CONAMA nº 307/2002 e suas alterações, e dá outras providências. Publicado na Imprensa Oficial em 29 de junho de 2020, págs. 1- 8.

CRUZ, Wilton Bernardo da; ALVARENGA, Maria Cláudia Sousa. **Estudo Sobre a Influência do Fator Água Cimento e Diferentes Tipos de Cura na Resistência à Compressão do Concreto**. Rio Paranaíba, MG: Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba, p. 1-20

JANUTHE, Mariana; PRATA, Wilger Christ de Almeida; FIALHO, Poline Fernandes. **Caracterização de agregados miúdos por análise de imagem**. Vitória, ES: Faculdade Brasileira – Multivix Vitória, p. 1-3, 2017.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do concreto**; tradução Salvador E. Giammusso. 2ª ed. Pini, São Paulo, 1997.

TRISTÃO, Fernando Avancini et al. **Influência dos parâmetros texturais das areias nas propriedades das argamassas mistas de revestimento**. 2005.

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE SISTEMAS MONOLÍTICOS EM PAINÉIS EPS E SISTEMA CONSTRUTIVO CONVENCIONAL

Data de submissão: 28/04/2023

Data de aceite: 02/06/2023

Arthur Fernando Segolin

Universidade São Francisco
Campinas-SP

Isabela Dalcim Vasconcelos

Universidade São Francisco
Campinas-SP

Laira Lúcia Damasceno de Oliveira

Universidade São Francisco
Campinas-SP
<http://lattes.cnpq.br/7923496512252395>
<https://orcid.org/0000-0001-6804-0082>

Renata Lima Moretto

Universidade São Francisco
Campinas-SP
<http://lattes.cnpq.br/9818772550330671>
<https://orcid.org/0000-0001-7431-1651>

RESUMO. A construção civil é uma área com diversas possibilidades de execução e com o avanço das tecnologias, surgiram diversos tipos de sistemas construtivos e é de extrema importância avaliar qual se adequa mais ao tipo de construção e relação custo x benefício que o cliente deseja. Analisando a procura e demanda nos dias de hoje, os clientes buscam processos mais limpos, rápidos, sustentáveis e eficientes. Em

grande parte da construção civil é utilizada a alvenaria convencional, que é nivelado por baixo em diversos aspectos como demora na execução, grandes índices de desperdícios, incidências de manifestações patológicas e baixo desempenho ambiental, no entanto é a mais utilizada no Brasil, pois, a mão de obra é comum e acessível. Com isso, foram sendo desenvolvidos novos métodos para melhorar os processos de construção e trazer inovações e facilidades para as obras e é nesse momento que entra o método de painéis monolíticos de EPS. Como alguns de seus atributos podemos citar a velocidade de execução, conforto acústico e térmico, impermeabilidade e apelo sustentável. O presente trabalho teve como objetivo comparar os dois sistemas construtivos citados, analisar as suas características com base em referências bibliográficas e por fim a viabilidade de cada método determinando qual é o mais vantajoso em custo-benefício.

PALAVRAS-CHAVE: Métodos Construtivos, Alvenaria Convencional, Painel Monolítico, EPS

COMPARATIVE STUDY BETWEEN MONOLITHIC SYSTEMS IN EPS PANELS AND CONVENTIONAL CONSTRUCTION SYSTEM

ABSTRACT. Civil construction is an area with several possibilities of execution and with the advancement of technologies, several types of construction systems have emerged and it is extremely important to evaluate which one best suits the type of construction and cost-benefit ratio that the customer wants. Analyzing demand and demand these days, customers are looking for cleaner, faster, sustainable and efficient processes. In most civil construction, conventional masonry is used, which is leveled down in several aspects such as delay in execution, high levels of waste, incidence of pathological manifestations and low environmental performance, however it is the most used in Brazil, because, labor is common and affordable. As a result, new methods were developed to improve construction processes and bring innovations and facilities to the works and it is at this moment that the method of monolithic EPS panels comes in. As some of its attributes we can mention the speed of execution, acoustic and thermal comfort, impermeability and sustainable appeal. The present work aimed to compare the two construction systems mentioned, to analyze their characteristics based on bibliographic references and, finally, the feasibility of each method, determining which is the most advantageous in cost-benefit.

KEYWORDS: Construction Methods, Conventional Masonry, Monolithic Panel, EPS.

1 | INTRODUÇÃO

O crescimento industrial está cada vez mais acelerado e evoluído, gerando uma demanda muito alta por inovações mais tecnológicas, rápidas, sustentáveis e de menor custo, sendo assim a construção civil precisa seguir esse movimento para continuar acompanhando a demanda por melhores métodos de construção visando atender as expectativas do mercado e os requisitos de desempenho e qualidade em uso.

Dentre os métodos convencionais construtivos, destacamos no presente trabalho a estrutura de concreto armado e vedações em alvenaria de tijolo cerâmico, que se trata de um sistema usado há muitos anos na construção civil, este é o mais utilizado devido a facilidade de encontrar matéria prima, mão de obra especializada e em função de sua durabilidade e versatilidade. O concreto armado é uma estrutura que utiliza armações compostas de barras de aço juntamente com o concreto. O objetivo das ferragens é o aumento da resistência aos esforços de tração para tornar a edificação mais resistente e a alvenaria tem o papel de vedação e preenchimento dos vãos (MILITO, 2009). As obras são executadas de acordo com o projeto estrutural com base na necessidade da edificação, que determinam a bitola do aço, resistência do concreto, as seções das vigas e o dimensionamento dos componentes estruturais que farão parte do projeto.

Entre os diversos sistemas construtivos inovadores, destacam-se os que utilizam o painel em EPS (poliestireno expandido). O sistema monolítico em EPS foi originado na década de 80 na Itália pelo o Instituto Giordianos. Sua criação se deu pela necessidade de uma certa solução na construção civil, por conta das regiões que ocorrem terremotos.

Sendo assim, foi desenvolvido um projeto com o sistema monolítico para que a estrutura não desmoronasse quando houvesse este fenômeno da natureza (ALVES, 2015). Os painéis que compõem este sistema são formados de poliestireno expandido (conhecido como isopor), cobertos por uma malha de aço de alta resistência, em ambas suas faces, unidas por barras de aço. O principal objetivo do sistema é oferecer painéis modulares pré-fabricados, que visam a economia de tempo na construção, a utilização de menos mão de obra, conseguem obter em um único elemento funções estruturais autoportantes e vedações verticais, tornando a execução mais simplificada e obtendo alta capacidade de isolamento térmico e acústico, além de grande versatilidade de formas e acabamentos (EMMEDUE, 2014).

Sendo assim, o objetivo principal deste trabalho é realizar uma comparação e mostrar as diferenças entre o método construtivo monolítico em EPS e a estrutura de concreto armado e vedações em alvenaria de tijolo cerâmico, destacando suas características, técnicas construtivas funcionais, produtividade, custo, desperdício, viabilidade, ou seja, parâmetros atrativos aos usuários para adotar tal sistema.

2 | METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho baseia-se na comparação entre dois métodos construtivos, a fim de avaliar a empregabilidade do método construtivo com EPS no Brasil.

2.1 Sistema Convencional

A estrutura em concreto armado de uma edificação é composta por um conjunto de três elementos: vigas, pilares e lajes, o qual se submete a determinados tipos de esforços e tem como responsabilidade resistir às cargas impostas sobre eles e seus vãos são preenchidos com material de vedação, ou seja, alvenaria de tijolo cerâmico, conforme ilustram as Figuras 1 e 2.

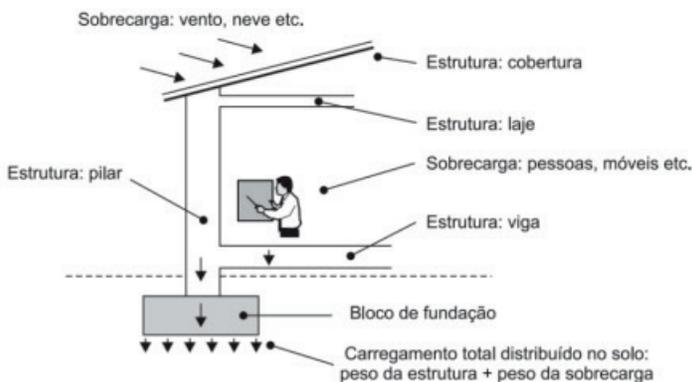


Figura 1 – Cargas na estrutura convencional (Fonte: SALGADO, 2014)

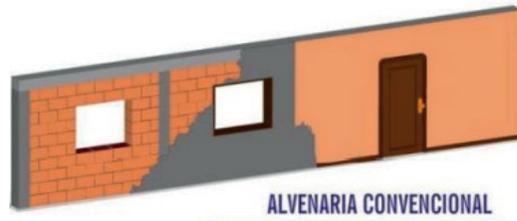


Figura 2 - Alvenaria convencional (Fonte: Blog Astra)

Fundação

É o elemento estrutural que recebe e suporta todas as cargas e esforços provenientes do peso próprio dos elementos estruturais da superestrutura e as transmite para o solo, mantendo sua estabilidade (SALGADO, 2014). Segundo o autor, é imprescindível conhecer o solo e suas características para determinar o tipo de fundação que deve ser utilizada, pois o mesmo deverá suportar tais esforços.

De acordo com MILITO existem duas formas de fundação: diretas e rasas ou indiretas e profundas.

Estrutura

A estrutura de uma edificação em concreto armado é constituída basicamente por vigas, pilares e lajes, que por sua vez tem a finalidade de suportar as cargas aplicadas sobre eles, conforme Figura 3. Esses elementos em geral são compostos basicamente de concreto e armadura em aço, sendo suas dimensões determinadas de acordo com a carga que irá receber. (SALGADO, 2014).

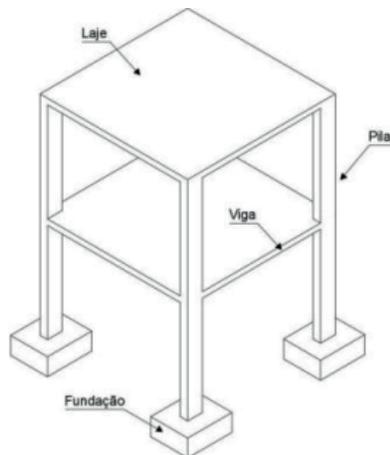


Figura 3 – Elementos estruturais laje-viga-pilar (Fonte: BARBOSA, 2019)

Alvenaria

A alvenaria pode ser empregada com a finalidade estrutural ou de vedação vertical. Na avaliação comparativa deste artigo, a mesma tem função de vedação, ou seja, não é utilizada para resistir a cargas além do seu próprio peso. Na alvenaria o elemento principal é o tijolo furado com dimensional 9x19x19cm. Para unir os blocos são utilizadas argamassas que são compostas por cimento, areia e água. É recomendada uma junta de amarração específica para que os tijolos sejam assentados, conforme mostra a Figura 4, essa distribuição garante uma amarração mais segura (BARBOSA, 2019).

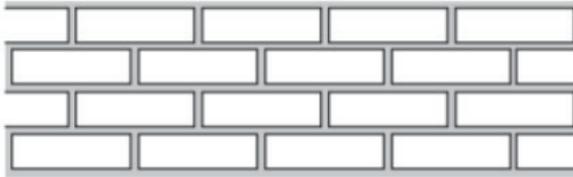


Figura 4 – Junta de amarração de alvenaria (Fonte: BARBOSA, 2019)

Na junção da alvenaria com a estrutura de concreto é preciso de uma amarração entre as mesmas, sendo assim os métodos mais utilizados são: chapisco, tela galvanizada e ferros de espera (Figura 5).

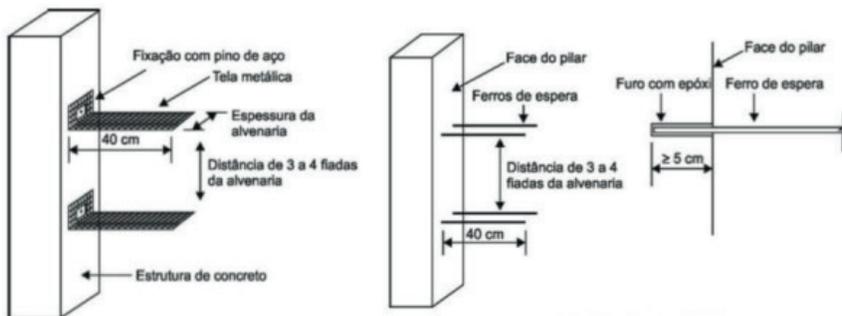


Figura 5 – Amarrações de alvenaria (Fonte: BARBOSA, 2019)

Instalações Complementares

As instalações complementares são inseridas na alvenaria através de cortes feitos na mesma para embutir as tubulações das instalações elétricas e hidráulicas, posteriormente é realizado um preenchimento desses “rasgos” com argamassa. Esta etapa é considerada geradora de desperdício e sujidades.

Revestimento

Para realizar o revestimento do piso é preciso uma boa preparação do solo. Segundo SALGADO, o solo deve estar bem compactado, as tubulações embutidas (vedadas e

testadas), já devem ser executados os caimentos e nivelamentos, a construção deve estar sem sujidades e organizada e se necessário realizar dreno para escoamento de águas. Em alguns casos, dependendo da fundação utilizada, deve-se colocar um contrapiso acima do solo e posteriormente uma camada de regularização, para que não haja irregularidade na colocação do piso, conforme Figura 6.

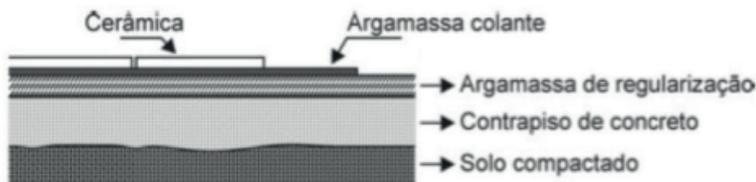


Figura 6 – Camadas do piso (Fonte: SALGADO, 2019)

O revestimento mais comum e tradicional são as argamassas, a mesma é utilizada em todas as obras, pois é o revestimento mais satisfatório para efetuar proteção nas alvenarias (internas e externas). O revestimento completo de argamassa é realizado em duas partes: chapisco e massa única. Em seguida, a parede está pronta para receber o acabamento, podendo ser um fundo preparador e posteriormente a pintura ou assentamento da cerâmica/azulejo.

Cobertura

Na construção a cobertura é um elemento que tem por finalidade proteger a obra e seu interior contra qualquer ação indesejada e da natureza. Há dois tipos mais comuns de cobertura: Madeira com telhas cerâmicas – composta por um sistema treliçado contendo caibro, ripa, empena, tirante, cumeeira, escora, linha, terça, beiral e frechal. As telhas devem ser colocadas sobre o madeiramento de baixo para cima, respeitando o alinhamento horizontal e vertical, deixando um aspecto visual adequado (SALGADO, 2019).

Laje treliçada – é composta por vigotas de concreto armado e os vãos podem ser preenchidos com EPS ou bloco cerâmico, sendo o último mais utilizado, porém a lajota em EPS gera menos carga nas estruturas e fundações, facilidade em manuseio e transporte e melhor isolamento térmico. Com a utilização da laje treliçada, se faz necessário a realização da impermeabilização das áreas que ficam expostas às intempéries (SALGADO, 2019).

2.2 Sistema Construtivo em EPS

O sistema construtivo monolítico em painéis EPS é um método que permite a construção de edifícios e casas, do simples até os complexos, podendo ter até três pavimentos sem a necessidade de ter pilares ou vigas, pois a sua própria estrutura construtiva sustenta a edificação, transmitindo as cargas para as fundações uniformemente (ALVES, 2015).

Este método gera uma considerável diminuição nas dimensões das fundações da estrutura, devido o peso da mesma ser menor que as convencionais, o que proporciona uma redução de aço e conseqüentemente a redução de gastos com materiais (BERTOLDI, 2007). Os painéis que constituem esse sistema são compostos de poliestireno expandido (conhecido como isopor), o mesmo é revestido por uma malha de aço de alta resistência em ambas suas faces, fixadas por barras de aço.

Segundo BERTOLDI, os painéis podem ser destinados como elementos de vedação horizontal, como lajes planas e inclinadas em forma de arco, coberturas e também painel escada, proporcionando ganho de produtividade e qualidade na obra, que simplifica a execução.

Fundação

O sistema monolítico tem uma estrutura leve se comparado ao sistema convencional, sendo assim há uma economia da armadura utilizada. A fundação é considerada simples pelo método de painéis em EPS, podendo ser aplicado às sapatas corridas ou radier, mediante ao projeto estrutural definido pelo engenheiro. Nessa fundação as tubulações hidráulicas e elétricas já devem ser instaladas antes da concretagem e os arranques, conforme Figura 7.

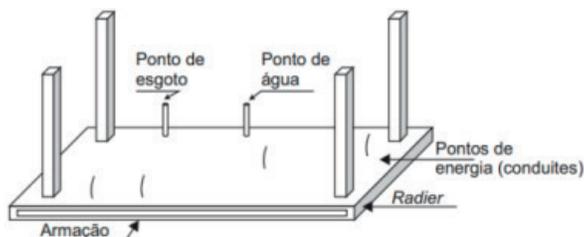


Figura 7 – Fundação Radier (Fonte: SALGADO, 2019)

Estrutura

Os painéis monolíticos serão encaixados nos arranques (Figura 8) através de um processo normal de amarração das armaduras e ajustados entre si através do encaixe da própria estrutura.



Figura 8 – Fixação dos arranques (Fonte: SALGADO, 2019)

Após a amarração deve-se alinhar os painéis e verificar o prumo, para isso são colocadas réguas a uma altura de 2 a 3 metros em relação ao piso, as mesmas são fixadas horizontalmente, em seguida deve-se colocar as escoras na diagonal e perpendicular às réguas (EMMEDUE, 2014). Essa etapa é de extrema importância para a qualidade da estrutura, pois determina o alinhamento e o prumo dos painéis, caso não seja realizado o alinhamento adequado, haverá mais gastos com argamassa para o nivelamento e consequentemente mais peso nas paredes.

Instalações complementares

As instalações hidráulicas e elétricas podem ser realizadas de forma facilitada, pois não é necessário quebrar a estrutura, como no processo de alvenaria tradicional e as mesmas ficam por trás da malha de aço. As demarcações das instalações podem ser feitas diretamente no painel com tinta, posteriormente faz-se a abertura dos espaços da tubulação com uma pistola de ar quente, conforme a Figuras 9.

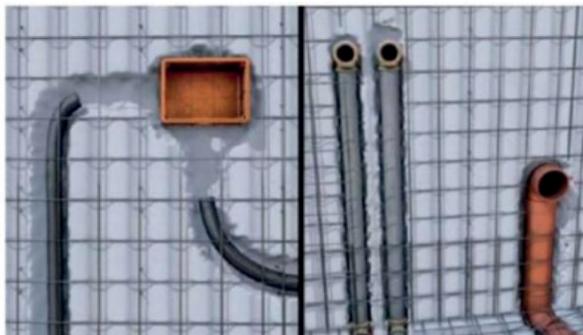


Figura 9 – Instalações complementares (Fonte: EMMEDUE, 2014)

Quando necessário é possível cortar a tela metálica para passar tubos rígidos e depois realizar o fechamento da mesma, mantendo as propriedades da anterior, pois os

cortes não influenciam na estrutura autoportante por conta da pequena área que ocupam no interior do painel, após a alteração deve-se repor as duas camadas novamente (EMMEDUE, 2014).

Revestimento

A aplicação do revestimento é uma etapa com grande facilidade para ser efetuada, pois podem ser utilizados equipamentos de projeção pneumático. Estes revestimentos devem ter alta resistência, baixa retração e de fácil aplicação (com fluidez e plasticidade). Segundo BERTOLDI, o traço da argamassa utilizada é 1:3 (areia e cimento), com 200ml de aditivo plastificante e 50g de microfibra de polipropileno por saco de cimento.

Em cada face do painel são aplicadas pelo menos 2 camadas, tendo a primeira camada 1cm de espessura (chapisco) e após 48h a segunda camada deve ser aplicada com 2cm. A Figura 10 ilustra a preparação citada de um painel em EPS.



Figura 10 – Revestimento de um painel monolítico (Fonte: ISORECORT)

Com relação ao revestimento do piso, se o radier foi bem executado e está bem liso, não será necessário aplicar uma camada para a regularização antes do assentamento do piso.

Cobertura

A cobertura mais indicada para esse método é a laje pré-fabricada treliçada com lajotas de EPS, onde a mesma é apoiada diretamente sobre o painel em EPS.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente trabalho teve como objetivo realizar um estudo comparativo entre os sistemas construtivos e para isso utilizou-se como referência os princípios da NBR 15575:2021 (Edificações habitacionais – Desempenho), onde a mesma detalha em seu conteúdo as exigências dos usuários para sua satisfação quanto a edificação. Sendo as

exigências: segurança mecânica, segurança ao fogo, conforto térmico, conforto acústico, impacto ambiental, durabilidade e estanqueidade.

Além destas exigências da norma, também incluímos outros critérios importantes para obter um sistema construtivo de qualidade, sendo eles: armazenamento, peso, produtividade e mão de obra, preço, execução das instalações complementares, mercado e aceitação e as limitações.

Resistência Mecânica

O sistema convencional apresenta boa resistência à absorção de impactos, vibrações e quedas, mas ainda assim é inferior ao sistema em painéis EPS, sendo sua resistência, segundo BASTOS (2019), de 20 Mpa.

O sistema monolítico em EPS, devido suas células fechadas ele proporciona elevado poder de absorção de impactos, quedas e vibrações, caracterizando uma elevada resistência mecânica, o valor de resistência à compressão é em torno de 35 Mpa (BERTOLDI, 2007).

Resistência ao fogo

Com relação a alvenaria, conforme a norma técnica 08/2019 do Corpo de Bombeiros, uma parede com espessura de 13 cm resulta em um tempo de resistência ao fogo de 2 horas.

O EPS utilizado no sistema monolítico é do tipo F não inflamável, sendo considerado autoextinguível e retardante de chama e ainda contém um inibidor de combustão. Segundo o Grupo Isorecort, uma parede de painel monolítico de 14 cm resistiu a condições extremas de calor por 30 minutos. A norma técnica 08/2019 do Corpo de Bombeiro aponta o tempo exigido de resistência ao fogo de uma edificação residencial, com altura menor que 12 metros, de 30 minutos, sendo assim o mesmo atende as exigências estabelecidas.

Isolamento Térmico

A alvenaria em blocos cerâmicos, segundo o INMETRO (2013), apresenta um bom isolamento térmico, visto que sua transmitância térmica global é de 2,46 em média.

De acordo com a norma de desempenho 15575, os limites de transmitância térmica em paredes externas variam conforme as diferentes zonas bioclimáticas. Boa parte do território nacional se encontra entre as zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8, onde a exigência da absorvância da parede externa é de $\geq 3,7$ e $\leq 60\%$. Com relação ao EPS, o mesmo apresenta um bom isolamento térmico, pois tem alta capacidade de resistir a passagem de calor em virtude de sua estrutura celular ser fechada. Uma parede de 15 cm apresenta transmitância térmica de 0,43 (BERTOLDI, 2007), valor aproximadamente 6 vezes menor quando comparado ao da alvenaria cerâmica e consideravelmente abaixo dos limites propostos pela NBR 15575

Isolamento acústico

As características acústicas dos dois tipos de materiais são semelhantes, a CASSAFORMA mostra o isolamento acústico da parede em EPS sendo de 45dB e para a alvenaria, a EMMEDUE mostra o valor de 41dB, para paredes de mesma espessura. Desta forma, ambas atendem as exigências da NBR 15575, que determina um nível mínimo de 30 dB de isolamento acústico em paredes externas de habitações expostas a médios ruídos.

Impacto ambiental

O sistema construtivo convencional gera uma grande quantidade de entulho durante a execução da obra e também se utiliza de muita água e energia, desde sua fabricação até o andamento da obra. Já o EPS é constituído por até 98% de ar e 2% de poliestireno, o que o torna 100% reciclável e reaproveitável. Com a sua utilização tem-se a diminuição drástica do consumo de água e energia, desde a sua fabricação até sua execução e também reduz a geração de resíduos na obra para quase zero (CELERE, 2021).

Durabilidade

Segundo BASTOS (2019) o concreto armado apresenta uma durabilidade entre 50 a 100 anos, dependendo de como ele foi construído, usado e conservado. Já o EPS, de acordo com a CASSAFORMA, tem uma durabilidade maior que 50 anos. Sendo assim, ambos os sistemas atendem às exigências da NBR 15575, onde estabelece que a vida útil do projeto deve ser igual ou superior a 50 anos.

Estanqueidade

O sistema construtivo de concreto armado e alvenaria em tijolos cerâmicos contém baixa estanqueidade por conta do seu alto grau de porosidade. Já o sistema monolítico em EPS, tem baixo nível de absorção de água devido ser um material não higroscópico, não absorve umidade, sendo assim não proporciona a proliferação de cupins e fungos (BERTOLDI, 2007).

Transporte e armazenamento

O armazenamento dos blocos cerâmicos e do EPS são semelhantes, visto que ambos são colocados na obra de forma empilhável. Os mesmos são dispostos desta maneira para não atrapalhar a mobilidade de materiais durante a execução das tarefas. Os blocos cerâmicos devem ser estocados em pilhas com altura máxima de 2 metros, sobre superfície plana e o EPS pode ser empilhado na horizontal com pilha de no máximo 20 painéis. Tratando-se de armazenamento, ambos são alocados de forma a reduzir a ocupação de espaço (CELERE, 2021).

Com relação ao transporte dos dois sistemas, o EPS sai em vantagem devido seu

peso ser mais leve que os materiais de alvenaria, sendo assim tanto o carregamento quanto o descarregamento são mais facilitados (CELERE, 2021).

Peso

O sistema construtivo monolítico de EPS tem o peso próprio de 90 kg/m² e uma parede de alvenaria em blocos cerâmicos revestida com argamassa tem um peso de 160 kg/m² (CELERE, 2021). Sendo assim, o EPS tem o peso próprio menor, devido ao tipo de material da sua composição e a não utilização de pilares e vigas.

Produtividade e mão-de-obra

A produtividade dos painéis em EPS é de 0,15 h/m² e a produtividade do assentamento de bloco cerâmico é de 0,43 h/m², segundo MENDES e PEREIRA. Sendo assim, o sistema monolítico de EPS pode reduzir em até 50% o prazo da execução da obra em relação ao sistema convencional.

Preço

Segundo BALBINO (2020) para uma residência unifamiliar de 46,80 m² de área construída pelos métodos do sistema convencional e do sistema monolítico em EPS, obteve-se como resultado um custo para o sistema convencional de R\$49.421,77 e um custo para o sistema de painéis monolíticos EPS de R\$35.022,43, ou seja, uma economia de aproximadamente 29%. Essa economia para o sistema monolítico em EPS foi obtida devido à redução no tempo de obra e à redução da infraestrutura da casa.

Execução das instalações complementares

No sistema convencional, na etapa de instalações complementares, o mesmo se torna menos eficiente, pois gera a necessidade de quebras na alvenaria, resultando no desperdício de material, para realizar a passagem de canos e eletrodutos. As instalações complementares no sistema em EPS são bastante facilitadas, pois não há necessidade de quebras, gera zero resíduos e demanda menos mão de obra, por conta da técnica do sistema.

Mercado e aceitação

O sistema convencional tem melhor aceitação no mercado por parte dos usuários e dos construtores por ser um sistema mais conhecido e utilizado. O EPS tem baixa aceitação, por conta dos fatores como falta de divulgação e conhecimento do material quanto a suas vantagens, conservação, insegurança com o novo e pouca disponibilidade no mercado, mesmo sendo fácil de encontrar fornecedores do sistema.

Limitações

O método construtivo convencional não apresenta limitações em sua execução. Já o sistema monolítico tem uma limitação onde é estabelecido que deve ser construído até 3 pavimentos, podendo obter mais pavimentos se recorrido a estruturas auxiliares como pilares e vigas, além de que as paredes do método monolítico podem alcançar até 12 metros de extensão, sem a utilização de pilares (ALVES, 2015).

Sendo assim, pode-se verificar que por diversos fatores o método construtivo em EPS é mais vantajoso que o método construtivo convencional.

4 | CONCLUSÃO

A construção civil está em um constante processo de eficiência e desenvolvimento, sendo assim surge a necessidade de buscar melhorias para a implantação de novos projetos e inovação. Em vista disso, o presente trabalho apresenta uma comparação entre o método construtivo convencional e o sistema monolítico de EPS, baseando-se em referências bibliográficas e estudos para determinar ambas as vantagens e custo-benefício e com isso, pode-se afirmar que o objetivo proposto do trabalho foi atingido principalmente em relação às características exigidas pela NBR 15575: (Edificações habitacionais – Desempenho).

Com base nos dados coletados e analisados, podemos concluir que o sistema de painéis monolíticos em EPS é mais econômico devido a rapidez e agilidade na execução, também sendo mais sustentável e por gerar menos resíduos e entulhos na obra durante as instalações complementares, além de possuir melhor isolamento térmico, resistência mecânica, estanqueidade. Mas este método ainda é visto com certo medo devido a sua matéria prima - o EPS, e também o pouco conhecimento da existência do mesmo no mercado, mas esse cenário deve mudar em breve, a medida em que existe uma grande necessidade e exigência por processos mais eficientes e com mais rapidez na execução, qualidade e sustentabilidade.

O método monolítico possui algumas características que superam com mérito o sistema convencional, sendo elas, o isolamento térmico, onde pudemos ver que uma parede em EPS de 15 cm gera o mesmo conforto que uma parede de 98 cm de tijolo cerâmico, a facilidade de manuseio e transporte, por conta de seu baixo peso, que também é vantajoso quando pensamos no peso próprio da construção sobre a fundação, o ganho de produtividade, podendo reduzir até 50% do tempo de uma obra, o preço, devido à redução de custos por não utilizar estrutura de pilares e vigas, a estanqueidade, pois é um material higroscópico, ou seja, apresenta baixo nível de absorção de água e a facilidade na execução das instalações complementares, que além de ser muito mais rápido e prático, não gera resíduos.

REFERÊNCIAS

ALVES, João Paulo de Oliveira. **Sistema Construtivo em Painéis de EPS**. 2015. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2015.

ANEXO DA PORTARIA INMETRO Nº 50/ 2013 - ANEXO GERAL V – **Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros**. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações habitacionais - Desempenho**. Rio de Janeiro. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro. 2019.

ASTRA. **Conheça os 4 sistemas de construção mais utilizados**. Disponível em: <www.astrasa.com/>. Acesso em 18 out. 2022.

BALBINO, Matheus de Souza. **SISTEMA CONSTRUTIVO EM PAINÉIS MONOLÍTICOS DE EPS: UMA SOLUÇÃO PARA A CONSTRUÇÃO DE HABITAÇÕES POPULARES NO BRASIL**. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2020.

BARBOSA, Iutah Cristal Dezidério de Veras. **ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MÉTODOS CONSTRUTIVOS DE CONCRETO ARMADO E MADEIRA EM UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR NO TOCANTINS** – Palmas, TO, 2019.

BASTOS, Paulo Sergio. **LAJES DE CONCRETO ARMADO**. Disponível em: <<https://www.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Lajes.pdf>>. UNESP - Bauru/SP, 2021. Acesso em 18 out. 2022.

BERTOLDI, Renato Hercílio. **Caracterização de Sistema Construtivo com Vedações Constituídas por Argamassa Projetada Revestindo Núcleo Composto de Poliestireno Expandido e Telas de Aço: Dois Estudos de Caso em Florianópolis**. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

CASSAFORMA, **Sistema Construtivo. Argentina**. Disponível em: < <http://cassaforma.com/>>. Acesso em: 22 jan. 2022.

CELERE, **Painéis monolíticos: o que são e quais são suas vantagens**. 2021. Disponível em: <<https://celere-ce.com.br/>>. Acesso em: 08 jun. 2022.

CORPO DE BOMBEIROS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **INSTRUÇÃO TÉCNICA n ° 08/2019: Segurança estrutural contra incêndio**. São Paulo. 2019

EMMEDUE, **Advanced Building System**, Italy. Disponível em: < www.mdue.it/>. Acesso em: 18 out. 2022.

ISORECORT. **MONOPAINEL®**. Disponível em: < <https://www.isorecort.com.br/>>. Acesso em 08 jun. 2022.

MENDES, Janaina Moreira; PEREIRA, Brenda dos Santos. **COMPARATIVO DE CUSTO E PRODUTIVIDADE DOS MÉTODOS CONSTRUTIVOS EM EPS E CONCRETO ARMADO**. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Goiânia. 2012.

MILITO, J. A. **Técnicas de construção civil e construção de edifícios**. Apostila. Faculdade de Ciências Tecnológicas da P.U.C. Campinas e Construção Civil da FACENS-Faculdade de Engenharia de Sorocaba. 284p. 2009.

SALGADO, J. C. P. **Técnicas e Práticas Construtivas para Edificações**. 3. ed. São Paulo: Érica, 2014.

TANQUE DE CLARIFICAÇÃO SECUNDÁRIO EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO: FLEXIBILIZAÇÃO NA OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO (ESTUDO DE CASO)

Data de submissão: 28/04/2023

Data de aceite: 02/06/2023

Antônio Djalma Nunes Ferraz Júnior

Universidade São Francisco,
Departamento de Engenharia Civil
Campinas – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/6845121533314420>.

Cristina das Graças Fassina

Universidade São Francisco,
Departamento de Engenharia Civil
Campinas – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/3593793991674607>

Renata Lima Moretto

Universidade São Francisco,
Departamento de Engenharia Civil
Campinas – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/9818772550330671>
<https://orcid.org/0000-0001-7431-1651>

RESUMO: Lodo ativado é um processo biológico de tratamento de efluentes no qual os poluentes são utilizados como fonte de alimento por microrganismos. O processo de lodos ativados (PLA) é caracterizado por duas unidades operacionais: tanque de aeração (TA) seguido de tanque de sedimentação final (TSF), cujo objetivo é fornecer oxigênio para a degradação da matéria orgânica e remoção de sólidos, respectivamente. Além de remover sólidos,

os TSF's têm a função de reter e devolver ao TA concentração adequada de lodo (i.e., microrganismos), garantindo estabilidade operacional ao processo de tratamento. A análise de ponto de equilíbrio (APE) é uma ferramenta poderosa de monitoramento em PLA. Por meio dessa ferramenta é possível estimar a resposta operacional dos TSF ao aumento de vazão aplicada e/ou recirculação do lodo, a concentração adequada de sólidos suspensos e a possibilidade de remoção de TSF do processo para manutenção. Nesse sentido, a APE foi utilizada na avaliação da resposta de uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETE - população Equivalente de 2,01 milhões), ao crescimento populacional em sua área de coleta de esgotos. Os cenários avaliados tiveram, portanto, o objetivo identificar a flexibilidade operacional dos TSF's nas condições hipotéticas. Possíveis problemas operacionais foram abordados, tais como o aumento da vazão em 10%, em relação a vazão máxima de projeto, representaria alto risco, em termos de conformidade do efluente final. Entretanto, em termos de processo, esse aumento de vazão exigiria que todos os TSF's estivessem em operação para adequada sedimentação e retenção de sólidos. A

oscilação na concentração de microorganismos em suspensão seria limitada a 3.700 mg/L, caso contrário, os sólidos suspensos seriam carregados no efluente final. Vazões acima de 10% em relação a vazão máxima, não devem ser alcançadas. Extensão do fluxo de tratamento seria necessária para atender ao crescimento populacional na área de captação da ETE.

PALAVRAS-CHAVE: Análise de ponto de equilíbrio, Lodos ativados, Tanques de sedimentação final, Tomada de decisão.

SECONDARY CLARIFICATION TANK IN SEWAGE TREATMENT STATION: FLEXIBILITY IN OPERATION AND MAINTENANCE (CASE STUDY)

ABSTRACT: Activated sludge is a biological process in which pollutants are used as a food source by suspended microorganisms. The activated sludge process (ASP) is characterized by two operating units: aeration tanks (AT) followed by final settlement tanks (FST) that aim to provide organic matter and solids removal, respectively. In addition, FST's also have the role of retaining and returning adequate concentration of sludge (i.e., biomass or microorganisms) to the AT, thus guaranteeing operational stability of the process. State point analysis (SPA) is a powerful monitoring tool in ASP. It helps estimating the FST response to the increase flow and/or sludge recirculation ratio, the adequate concentration of suspended solids in the process and the possibility of removing FST from operation. In this sense, SPA was used to evaluate the response of a Sewage Treatment Work (STW - Equivalent Population of 2.01 million) to population growth in its catchment area. The scenarios considered identifying the FST operational flexibility in the hypothetical scenario. Possible operational issues were covered. Increasing the flow by 10% in relation to the maximum designed flow would represent high risk in terms of compliance. However, in terms of process, the flow increment would require all FST's in operation for adequate sedimentation and retention of solids. Oscillation on biomass concentration would be limited to 3,700 mg/L. Otherwise, the suspended solids would be washed out from the system. Flows above 10% in relation to the maximum flow must not be applied. The extension of the treatment flow is required to meet the population growth in the catchment area of the STW.

KEYWORDS: Activated sludge, Decision making, Final settlement tanks, State point analysis.

1 | INTRODUÇÃO

As cidades grandes já enfrentam ou enfrentarão desafios únicos relacionados ao fornecimento de água e de coleta e tratamento de esgotos devido ao crescimento populacional e às mudanças climáticas. Recentemente, foram atingidos a marca de 8 bilhões de habitantes no mundo (BBC, 2022). A população de Londres, por exemplo, está prevista para crescer em 7% até 2043 (STATICA, 2022). De forma análoga, São Paulo tem a previsão de crescimento populacional de 11,6% até 2035 (WORLD ECONOMIC FORUM, 2019). Somado a isso, as mudanças climáticas pressionarão a indústria de água a mitigar o impacto dos seus processos bem como desenvolver uma rede de ativos (*i.e.*, infraestrutura) resiliente, tais como, captação, tratamento, distribuição, coleta e disposição de resíduos.

Os sistemas de coleta e tratamento de esgotos terá reflexos diretos no aumento de

carga orgânica nas redes coletoras de esgotos e vazões de pico ainda mais altas com o crescimento populacional urbano, aumentando o risco de inundação, poluição nas bacias hidrográficas e disseminação de doenças. A modelagem de cenários representativos dessa situação ajuda a compreender como essas suposições podem afetar o processo de tratamento.

O processo de lodos ativados (PLA) é o processo biológico de tratamento de efluentes mais utilizado em regiões desenvolvidas. Nesse tipo de tratamento, a matéria orgânica (carbonácea e nitrogenada) é utilizada como fonte de energia por microrganismos que necessitam de oxigênio para desempenhar as suas funções (microrganismos aeróbios) e/ou por microrganismos “indiferentes” à presença de oxigênio (microrganismos facultativos). Esses microrganismos são mantidos em suspensão em um tanque aerado (TA) onde as reações bioquímicas ocorrem. À jusante do TA, tem-se o tanque de sedimentação final (TSF) ou clarificador secundário, onde há a separação da fase sólido-líquido por gravidade.

A fase líquida (efluente tratado) é encaminhada para o emissário final. Por sua vez, parte da fase sólida é devolvida ao processo de tratamento para fornecer concentração de microrganismos adequada ao processo (lodo ativado de recirculação) enquanto, a outra parte é descartada do processo (lodo ativado excedente ou residual). Por fim, o lodo ativado residual pode ser processado para a geração de bioeletricidade e disposto, de forma segura, em aterros sanitários ou na agricultura (Figura 1).

Estratégias de controle operacional em PLA têm focado na microbiologia e nos aspectos dos TA's, muitas vezes com pouca consideração aos processos físicos que ocorrem nos TSF's. Entretanto, a qualidade do efluente final em PLA é afetada pelo desempenho dos TSF's, exceto quando houver outro meio de separar o material biológico dos sólidos em suspensão, caso contrário, os limites dos parâmetros de qualidade, tais como, a demanda biológica de oxigênio (DBO_5) e os sólidos suspensos totais (SST) podem ser violados.

A interação entre a vazão afluente e a vazão de recirculação constitui a base fundamental para as estratégias de controle e operação dos TSF. Coletivamente, essas estratégias de controle são conhecidas como análise do ponto de equilíbrio (APE). APE é uma ferramenta capaz de estimar a resposta operacional dos TSF's ao (i) aumento de vazão aplicada, (ii) recirculação do lodo, (iii) concentração adequada de sólidos suspensos no PLA e (iv) a possibilidade de isolamento de um ou mais FST do processo para manutenção.

Este trabalho teve por objetivo avaliar a resposta de uma Estação de Tratamento de Esgotos ao crescimento populacional de até 25% na sua área de coleta por meio da APE. Para isso, foram avaliados quatorze cenários a fim de identificar a resposta ao aumento de vazão e à manutenção da flexibilidade operacional dos TSF's nas condições estabelecidas. Esse trabalho contribui para a avaliação de ativos da indústria de água, em especial, esgotos domésticos, perante as pressões da natureza e indica possíveis soluções.

2 I LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Os princípios básicos de tratamento de efluentes domésticos, com foco no processo de lodos ativados bem como os fundamentos de balanço de massa e hidráulica em tanques de clarificação secundários ou clarificadores são temas essenciais para o entendimento deste trabalho.

2.1 Tratamento de efluentes domésticos

As águas residuais podem ser descritas como as águas utilizadas para transportar poluentes para longe de uma fonte poluidora. Originam-se em residências, empresas, escolas, hospitais, indústrias etc. e se apresentam como uma mistura complexa de substâncias, que não devem ser liberadas no ambiente sem tratamento prévio. Teores de sólidos, substâncias que demandam oxigênio, nutrientes, patógenos e toxinas são alguns de seus componentes que devem ser removidos por fornecer ameaça aos recursos naturais e a saúde pública (VON SPERLING, 2000).

Os processos de tratamento de efluentes podem ser agrupados em duas categorias gerais, sendo a primeira: física/química. Esta categoria abrange sistemas de gradeamento, sedimentação, filtração, precipitação e destruição química. A segunda categoria, biológica, inclui processos que dependem de organismos vivos para remover poluentes solúveis das águas residuais. Sendo representada pelas lagoas de estabilização de resíduos, filtros de gotejamento, contactor biológico rotativo (*Rotating Biological Contactor*) e lodos ativados (ZAIAT; FORESTI, 1997).

Na maioria dos casos, o tratamento de efluentes é realizado por meio do uso de uma combinação de processos de tratamento físico/químico e biológico. Uma estação de tratamento típica pode incluir tratamento preliminar (físico) para remoção de grandes detritos e areia, tratamento primário (físico) para remover sólidos em suspensão sedimentáveis, tratamento secundário (biológico) para remover as partículas remanescentes e material orgânico dissolvido, precipitação química para remover nutrientes, filtração terciária (física) para remover partículas finas restantes e desinfecção química ou por luz ultravioleta (ZAIAT; FORESTI, 1997).

O processo de lodos ativados (PLA) foi desenvolvido na Inglaterra em 1914, e tem sido aplicado ao tratamento de efluentes domésticos mundialmente. No Brasil, a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), por exemplo, utiliza o PLA precedido de lagoas de estabilização. A grande aceitação do PLA está vinculada às características do efluente final: Demanda Biológica de Oxigênio ($< 25 \text{ mg O}_2/\text{L}$), Demanda Química de Oxigênio ($< 125 \text{ mg O}_2/\text{L}$), Sólidos Suspensos ($< 45 \text{ mg/L}$) e Nitrogênio amoniacal ($< 2.5\text{-}3.5 \text{ mg N-NH}_3/\text{L}$).

2.2 Processo de Lodos Ativados (PLA)

O processo de lodos ativados constitui-se de tratamento biológico de efluentes, no

qual os poluentes são utilizados como fonte de alimento por microrganismos aeróbios e/ou facultativos, normalmente, em suspensão no meio líquido (VON SPERLING, 2000). À essa mistura de partículas sólidas no meio líquido, dá-se o nome de licor misto (em inglês, *Mixed Liquor Suspended Solids, MLSS*). O MLSS é suprido com borbulhamento de ar comprimido (~20% de oxigênio) ao longo do tanque de aeração. Os poluentes orgânicos (biodegradáveis) nas águas residuais são convertidos em novas células, estimada em cerca de 0,32 gramas para cada grama de matéria orgânica removida, e outros subprodutos, por exemplo, gás carbônico (CO₂) (METCALF; EDDY, 2014). Na sequência, o MLSS flui do tanque de aeração para o tanque de sedimentação final (TSF) ou clarificador secundário, onde há separação das fases sólido-líquido por gravidade. O efluente tratado é encaminhado para o emissário final enquanto, a biomassa sedimentada é devolvida ao processo de tratamento para fornecer concentração de microrganismos suficiente para manter o processo de remoção de poluentes. A biomassa devolvida é chamada de lodo ativado de retorno (*Returned Activated Sludge, RAS*). Por outro lado, a biomassa excedente no processo de lodos ativados (PLA) é controlada por meio de descargas diárias uma vez que o processo é biológico e contínuo. O excesso de biomassa removido do TSF é conhecido como lodo ativado residual (*Waste Activated Sludge, WAS*) (VON SPERLING, 2000).

Por fim, o WAS é adensado e, ao ter sua umidade reduzida, passa por um processo de digestão anaeróbia (i.e., ausência de oxigênio). O lodo 'mineralizado' resultante dessa etapa é desidratado em filtros, prensas ou centrífugas para finalmente ser encaminhado para sua disposição final, podendo esta se dar em aterros sanitários, na agricultura ou mesmo em coprocessamento (CHERNICARO, 2001; BARROS, 2012) (Figura 1).

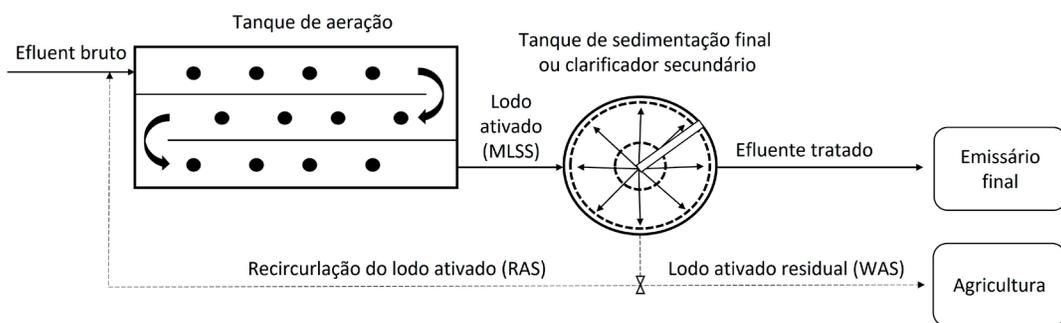


Figura 1 - Processo de Lodos Ativados (PLA). Referência: Autores.

2.3 Fatores de controle e cálculos no Processo de Lodos Ativados (PLA)

A operação adequada de um PLA exige o conhecimento de fatores físicos e biológicos que influenciam a eficiência do processo, conforme descritos nas subseções a seguir.

2.3.1 Concentração de microrganismos no licor misto (MLSS)

A concentração de MLSS é determinada por análise de sólidos suspensos no meio líquido do tanque de aeração. Esse método consiste na ignição de uma amostra do MLSS seco em um forno mufla a 550°C (APHA, 2018). O material que queima nessa temperatura é considerado orgânico (i.e., biológico) e o material remanescente (não volátil ou fixo) corresponde à fração inorgânica do MLSS. Nos cálculos em que apenas a população biológica ativa deve ser considerada, utiliza-se o MLVSS. O valor típico de MLSS no PLA convencional é de 2.500 mg/L – 3.000 mg/L no verão; e de 2.700 mg/L – 3.200 mg/L no inverno (Internal data), devido à diferença de constantes cinéticas de crescimento biológico e utilização de substrato (alimento). Em PLA com aeração estendida esse valor está na faixa de 5.000 mg/L (METCALF; EDDY, 2014).

2.3.2 Relação alimento ao microrganismo por dia (A:M)

A relação alimento/microrganismo é um dos controles primários usados no PLA. Isso ajuda o operador a manter o equilíbrio entre a quantidade de alimentos disponíveis e a quantidade de microrganismos nos tanques de aeração. A quantidade de alimento é representada pela Demanda Biológica de Oxigênio (DBO). A razão F:M é calculada dividindo-se o valor de DBO (kg/m^3) que entra no sistema de tratamento secundário pela concentração de MLVSS ($\text{kg}/\text{m}^3\text{d}$) nos tanques de aeração. A faixa para PLA convencional é de 0,25 a 0,45, enquanto, que para PLA com aeração estendida, esse valor é de 0,05 a 0,15 (METCALF; EDDY, 2014). Como o operador geralmente não tem controle sobre a quantidade de DBO que entra na estação de tratamento de águas residuais, F:M é ajustado pela concentração de MLVSS no sistema secundário.

2.3.3 Idade do Lodo (IL)

A idade do lodo (IL) pode ser definida como o tempo médio (dias), que um organismo permanece no sistema de tratamento secundário. Quando o suprimento de alimentos ocorre em um processo biológico, em fase inicial, há abundância de alimentos, mas muito poucos organismos. Diz-se que os organismos estão começando a se aclimatar/adaptar aos resíduos (Fase de latência ou Fase Lag), produzindo as enzimas necessárias, e a população começa a aumentar. Uma vez que os organismos tenham se aclimatado, a taxa de crescimento aumenta exponencialmente (Fase Log). Neste ponto, a oferta de alimentos ainda não é um fator limitante e a DBO é convertida em lodo. Em seguida, o suprimento de alimentos disponível começa a limitar a produção de novas células e os organismos começam a competir por alimentos dando início à Fase de declínio ou endógena (MADIGAN et al., 1997) (Figura 2). A IL é calculada dividindo-se a massa de MLVSS (mg) no sistema de aeração pelo excesso de biomassa removido no TSF (mg/d). A faixa para PLA convencional é de 4 a 6 dias, enquanto, que para PLA com a aeração estendida, é de 15 a 25 dias

(METCALF; EDDY, 2014).

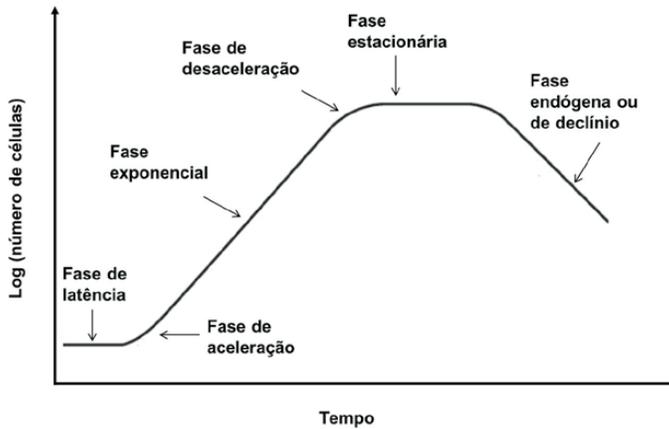


Figura 2 - Curva típica de crescimento dos microorganismos (lodo). Fonte: Monte et al. (2018).

2.3.4 Índice Volumétrico de Lodo (IVL)

O Índice Volumétrico de Lodo (IVL) é usado para descrever as características de sedimentação do lodo no tanque de aeração no PLA. O IVL é um parâmetro de controle de processo e tem por definição 'o volume (em mL) ocupado por 1 grama de lodo ativado após a decantação do líquido aerado por 30 minutos (Equação 1) (MOHLMAN, 1934, DICK; VESILIND, 1969; APHA, 2018).

$$IVL = \frac{V_{\text{Lodo sedimentado}} \cdot 1000}{[MLSS]} \quad (1)$$

Em que: $V_{\text{Lodo sedimentado}}$ expresso em mL/g e MLSS, expresso em mg/L. Valores de IVL entre 70-80 mL/g e maiores do que 120 mL/g são indicativos de lodo de boa e de má sedimentabilidade, respectivamente (JORDÃO et al., 1999).

2.4 Princípio do balanço de massa

O balanço de massa é a contabilização de todo o material em um processo. Considera-se a entrada, saída e distribuição de um "composto alvo" entre fluxos em um processo ou estágio (LEVENSPIEL, 1999), em que tudo o que entrar em um TSF deve sair, seja água ou sólidos. Os sólidos são removidos pela parte inferior do TSF onde uma fração é devolvida para o sistema e outra descartada. O efluente tratado é encaminhado para os vertedores carreando a menor concentração de sólidos suspensos possível.

A massa de sólidos que entra no TSF é o produto do fluxo de entrada (vazão afluente (Q) e vazão de recirculação (Q_r)) com a concentração de sólidos no licor misto (MLSS). (Equação 2).

$$\text{Massa de sólidos}_{\text{Afluente}} = (Q + Q_r) \cdot MLSS \quad (2)$$

A massa de sólidos que sai do clarificador é a soma de três correntes de fluxo, são elas: efluente (Q_E), a recirculação do lodo ativado (RAS) e o lodo ativado residual (WAS) (Equação 3).

$$\text{Massa de sólidos}_{\text{Efluente}} = (Q_E \cdot [SST]_E) + (Q_r \cdot RAS) + (Q_W \cdot WAS) \quad (3)$$

Considerando as seguintes premissas: 1. A vazão afluyente é igual a vazão efluente. 2. A concentração de SST no efluente é muito pequena (inferior a 23 mg-SST/L) comparada com a concentração de SST nos fluxos afluyente ao TSF (~ 3.000 mg-SST/L) e de recirculação do PLA (~ 7.200 mg-SST/L), pode-se remover esses dois termos do lado direito da Equação 4 e obter a Equação 5.

$$(Q + Q_r) \cdot MLSS \cong (Q_r \cdot RAS) \quad (4)$$

$$RAS \cong \left(\frac{Q}{Q_r} + 1 \right) \cdot MLSS \quad (5)$$

Baseado na Equação 5, algumas informações podem ser obtidas: (i). A concentração de sólidos no fluxo RAS sempre será maior que a concentração de MLSS, considerando que $\left(\frac{Q}{Q_r} + 1 \right)$ sempre é maior que 1. (ii) Manter o fluxo RAS em uma porcentagem constante do fluxo afluyente mantém a concentração de sólidos no RAS constante que, por sua vez, permitirá uma operação mais consistente (VON SPERLING, 2000).

2.5 Análise do ponto de equilíbrio

A análise do ponto de equilíbrio permite identificar o estado do balanço de massa no TSF. É possível identificar o balanço de massa num determinado tempo ou estimar o seu comportamento por meio da variação da vazão e/ou variação da carga de sólidos aplicada (CSA) ao TSF. A Figura 3 apresenta um gráfico cujo eixo Y representa a taxa de sedimentação ou carregamento de sólidos ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$) e o eixo X representa a concentração de sólidos em g/L. Na sequência, tem-se duas retas que se cruzam no ponto de equilíbrio do balanço de massa e uma curva que sobe e desce à medida que a concentração de sólidos aumenta (WAHLBERG; KEINATH, 1988;1995).

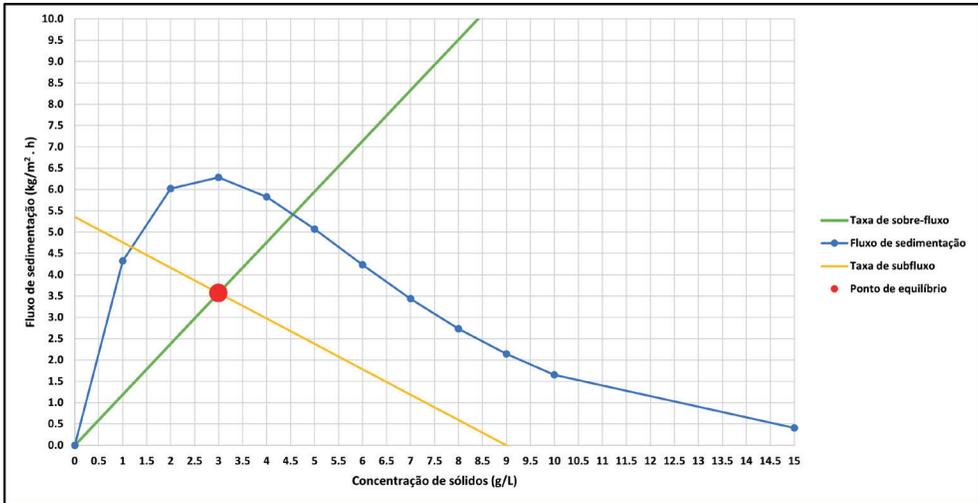


Figura 3 - Ponto de equilíbrio de um TSF. Cenário hipotético. Referência: Autores.

2.6 Taxa de sedimentação ou carregamento de sólidos

A taxa de carregamento de sólidos (TCS) avalia o funcionamento do TSF, considerando que o balanço de massa é função dos sólidos no clarificador. TCS pode ser calculado multiplicando-se a vazão afluente ao TSF pela concentração de sólidos sedimentáveis no licor misto dividindo-se esse termo pela área superficial do clarificador (A) (Equação 6) e, também, a Equação 7:

$$TCS = \frac{(Q + Q_r) \cdot [MLSS]}{A} \quad (6)$$

$$\text{Equação 5} - TCS = \frac{Q}{A} \cdot [MLSS] + \frac{Q_r}{A} \cdot [MLSS] \quad (7)$$

O primeiro termo na Equação 6 é usado para traçar o ponto de equilíbrio. A coordenada Y do ponto é $\frac{Q}{A} \cdot [MLSS]$ e a coordenada X é $[MLSS]$. Em seguida, traça-se uma reta passando pelo ponto de equilíbrio e pela Origem (0,0). A inclinação desta linha representa a taxa de sobre fluxo ou transbordamento do líquido (WAHLBERG & KEINATH, 1988;1995).

Na sequência, plota-se a taxa total de carregamento de sólidos (Equação 6) no eixo Y. Esse ponto será o ponto de referência inicial para a segunda linha reta que atravessa o ponto de equilíbrio até o eixo X. A inclinação desta linha é a taxa de subfluxo, que é representada por $-\frac{Q_r}{A}$. O sinal negativo significa que o fluxo está saindo do clarificador (WAHLBERG; KEINATH, 1988;1995).

2.7 Hidráulica dos TSF ou clarificadores

A qualidade dos TSF ou clarificador é determinada pela capacidade de retenção de sólidos. A linha curva no gráfico do ponto de equilíbrio é determinada pelas características de sedimentação dos sólidos. Para desenvolver tal curva, vários testes de sedimentação

em batelada devem ser realizados em concentrações de sólidos variáveis [MLSS], a fim de se determinar a velocidade de sedimentação dos sólidos (v_s) em uma interface (fase líquida – sólida). O fluxo de sedimentação pode ser calculado conforme a Equação 8. A curva de fluxo de sedimentação é desenvolvida plotando o N_{LA} em função de [MLSS] (WAHLBERG; KEINATH, 1988; 1995; WAHLBERG et al., 1998).

$$N_{LA} = v_s \cdot [MLSS_i] \quad (8)$$

Alguns estudos reportaram que o procedimento IVL e suas modificações apresentam relações empíricas com dois parâmetros da equação de Vesilind (Equação 9): V_0 e k . Essa equação descreve a velocidade de sedimentação na interface sólido-líquido em função da concentração dos sólidos suspensos sendo, portanto, adequada para descrever o processo de sedimentação gravitacional em lodos ativados. A abordagem empírica é baseada na premissa de que as funções $f_1(IVL)$ e $f_2(IVL)$ podem ser relacionadas com os parâmetros mencionados a priori. (Equações 10 e 11) (WAHLBERG; KEINATH, 1988; 1995; WAHLBERG et al., 1998).

$$v_s = V_0 \cdot e^{-kX_i} \quad (9)$$

$$k = f_1(IVL) \quad (10)$$

$$V_0 = f_2(IVL) \quad (11)$$

Substituindo-se essas relações na Equação 9, tem-se:

$$N_{LA} = [MLSS_i] \cdot f_2(IVL) \cdot e^{-f_1(IVL) \cdot [MLSS_i]} \quad (12)$$

Se as funções $f_1(IVL)$ e $f_2(IVL)$ puderem ser determinadas de forma apropriadas, a Equação 12 pode ser utilizada pelos operadores para desenvolver a curva de fluxo de sedimentação com base na determinação de apenas um ensaio de IVL (WAHLBERG; KEINATH, 1988; 1995; WAHLBERG et al., 1998).

3 | METODOLOGIA

A análise do ponto de equilíbrio foi utilizada na avaliação do crescimento populacional de até 25% na área de captação de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE - População Equivalente de 2,01 milhões), conforme seções subsequentes.

3.1 Caracterização da ETE

Em uma ETE no sul do Reino Unido com População Equivalente (PE) de 2,01 milhões, o processo de tratamento de efluentes é dividido em três fluxos, conhecidos como Tratamento Leste (PE–955.264), Tratamento Oeste (PE–355.263) e Extensão do Tratamento Oeste (PE–789.474). A ETE é composta por unidades de tratamento preliminar (gradeamento e remoção de detritos), primário (25 tanques de sedimentação primário–TSP) e secundário (25 tanques de aeração–TA e 88 tanques de sedimentação final–TSF).

O lodo produzido pelos processos Leste e Oeste é direcionado para uma instalação comum de coleta, espessamento, pasteurização e digestão de lodo e, em seguida, bombeado para um site para desidratação. A ETE apresenta mais 8 tanques pluviais (sistema de coleta de esgoto combinado) com um volume total de armazenamento de 94.688m³ (Dados internos).

De acordo com o fluxo de tratamento A&B I (Tabela 1), foram avaliadas as vazões máximas serem diferentes para os fluxos de tratamento A, B e C; e a possibilidade de aumento da vazão aplicada ao fluxo de tratamento C de 180 ML/D para 242 ML/D (Dados internos). O aumento de vazão no fluxo de tratamento C pode contribuir para o maior atendimento populacional e/ou diminuir ou amortecer as vazões aplicadas nos fluxos de tratamento A&B. No entanto, tal decisão pode afetar a capacidade de tratamento do fluxo C, em especial no desempenho dos TSF, comprometendo a do efluente (i.e., DBO, DQO e sólidos). A análise de ponto de equilíbrio foi escolhida para avaliar cenários de operação dos TSF (Fluxos A&B e C) por cobrir parâmetros de projeto, tais como, carga hidráulica aplicada e carga de sólidos aplicados aos TSF.

As seguintes premissas foram adotadas: (i) Os fluxos A&B apresentam o mesmo desempenho. (ii) A vazão máxima aplicada nos fluxos A&B é de 180 ML/D a fim de permitir uma comparação de desempenho com o fluxo de tratamento C. (iii) A vazão máxima do fluxo de tratamento C é de 180 ML/D. (iv) A taxa de recirculação do efluente é de 50% da vazão máxima de entrada (afluente). A concentração de MMLS é de 3.200 mg/L. O IVL é de 80 mL/g. Com base nessas informações os cenários de estudo são apresentados a seguir.

Unidade de processo	Variável/Parâmetro	Unidade	Fluxo de tratamento		
			A	B	C
	Vazão	ML/D	242	242	180
Tratamento Primário (TSP)	Nº tanques	-	4	4	4
	Área superficial	m ²	1375,7	1375,7	1430,1
	Volume do tanque	m ³	4927	4927	2907,4
Tratamento Secundário (TA)	Nº tanques	-	6	6	6
	Área superficial	m ²	2229,7	2229,7	2229,7
	Volume do tanque	m ³	7558,4	7558,4	7558,4
Tratamento Secundário (TSF)	Nº tanques	-	24	24	24
	Área superficial	m ²	328,8	328,8	262,7
	Volume do tanque	m ³	1273,2	1273,2	1083,6

Nota: Vazão em mega litros por dia (ML/D). Logo, 1 ML/D é equivalente a 1.000 m³/d. TSP – Tanque de sedimentação primário. TA – Tanque de aeração. TSF – Tanque de sedimentação secundário.

Referência: Dados internos.

Tabela 1 – Dimensões das unidades de processo primário e secundário

3.2 Avaliação de cenários e cálculos

Os cenários avaliados buscaram identificar a flexibilidade operacional dos TSF's (Fluxo de tratamento C) em sua vazão máxima (180 ML/D). Possíveis problemas relacionados ao processo e a operação/manutenção, aqui denominados de flexibilidade operacional, foram abordados, por exemplo, (i) pico de MLSS causado por 'bulking' (i.e., bactérias filamentosas – flotação de sólidos); (ii) falha da bomba RAS/WAS; (iii) entupimento; (iv) falha da válvula; (v) isolamento dos tanques de aeração; e (vi) isolamento temporário de TSF para manutenção.

Cenários		Vazão (ML/D)	IVL (mL/g)	MLSS (mg/L)	Nº de SFT em serviço
A = B	C				
I	I	180	80	3200	24
II	II	180	140	3200	24
III	III	180	80	3500	24
IV	IV	180	80	4200	24
V	V	180	80	4200	20
VI	VI	198	80	3200	24
VII	VII	216	80	3200	24
VIII	VIII	234	80	3200	24
IX	IX	243	80	3200	24
X	X	198	110	3200	24
XI	XI	198	80	3700	24
XII	XII	198	80	4200	24
XIII	XIII	198	80	3700	20
XIV	XIV	216	80	3700	24

Nota: Verde – Bom desempenho. Laranja – Desempenho crítico/limite. Vermelho – Desempenho ruim. Amarelo – efeito de uma variável em relação ao cenário base (Cenário I). Cinza – efeito de duas variáveis em relação ao cenário base (Cenário I). Rosa - efeito de três variáveis em relação ao cenário base (Cenário I). Vazão em mega litros por dia (ML/D). Logo, 1 ML/D é equivalente a 1.000 m³/d.

Tabela 2. Cenários avaliados para os TSF dos fluxos de tratamento A&B e C.

Os cenários foram avaliados alterando uma condição (variável) por cenário (Tabela 2). A vazão máxima no fluxo de tratamento C foi aumentada em até 35% para igualar a vazão máxima de projeto e operacional dos fluxos de tratamento A&B (484 ML/D, 242 ML/D cada). A flexibilidade operacional do fluxo de tratamento C foi então reavaliada. O mesmo procedimento foi reproduzido para os TSF dos fluxos de tratamento A&B. A predição para identificar o estado do balanço de massa nos TSF foi realizada usando Microsoft Excel.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, apresenta-se os resultados dos quatorze cenários avaliados na identificação da resposta ao aumento de vazão e a manutenção da flexibilidade operacional dos TSF's em uma ETE (PE de 2,01 milhões).

4.1 Avaliação das dimensões das unidades de processo primário e secundário

Os fluxos de tratamento A&B e C apresentam a mesma capacidade de remoção de sólidos e matéria orgânica (DBO_5). Entretanto, o fluxo C possui menor volume (60% menos) de armazenamento de lodo primário em relação aos fluxos de tratamento A&B. Em relação aos tanques de aeração, todos os fluxos de tratamento possuem a mesma capacidade de remoção de matéria orgânica solúvel (DBO_5 e DQO), em termos de volume do tanque. O fluxo C apresenta menor capacidade (20% menos) de sedimentação e menor volume (15% menos) de retenção e armazenamento de lodo secundário em comparação com os fluxos de tratamento A&B.

4.2 Avaliação dos cenários I – XIV, discussão e estratégias operacionais

O ponto de equilíbrio indicou que os TSF's do fluxo C apresentam menor flexibilidade operacional em relação aos do fluxo A&B em todas as condições avaliadas (Cenários I – XIV), confirmando a pré-investigação realizada com base nas dimensões das unidades de processo. A “limitação” da vazão em 180 MD/L no fluxo C se deve à menor área superficial (~ 20% menor) comparadas aos fluxos A&B (Figura 4).

O valor de IVL de 140 mL/g representa alto risco para os TSF's do fluxo C em sua vazão máxima (180 ML/D) enquanto, a mesma condição representa um risco moderado para os FSTs dos fluxos A&B (Cenário II). Como mencionando a priori, IVL igual a 140 mL/g representa uma condição média a ruim de sedimentação de sólidos, e, possivelmente, foi utilizado para dimensionar os TSF's (entre 110 mL/g e 170 mL/g).

Os TSF's do fluxo C apresentam resposta boa a média às oscilações na concentração de MLSS (3.200 mg/L a 4.200 mg/L) em sua vazão máxima (180 ML/D) (Cenários III e IV). No entanto, os TSF's perderiam sólidos no efluente final, caso, ao menos 4 TSF's estivessem fora de serviço (Cenários V). “Há espaço” para aumentar a vazão no fluxo de tratamento C (acima de 180 ML/D). No entanto, a sua flexibilidade operacional diminui à medida que o fluxo aumenta em 10% (198 ML/D), 20% (216 ML/D), 30% (234 ML/D) e 35% (243 ML/D) (Cenários VI, VII, VIII e IX, respectivamente). Além disso, variáveis como IVL, MLSS e número de TSF's em serviço devem ser consideradas igual aos valores apresentados na Tabela 2, caso contrário, nova análise deve ser realizada.

Um acréscimo de 10% a vazão máxima do fluxo C (198 ML/D) exigiria que todos os TSF's estivessem em operação para sedimentar e reter sólidos nos tanques. Entretanto, a oscilação na concentração de MLSS estaria limitada a 3.700 mg/L (Cenários X e XI). Caso contrário, os sólidos suspensos seriam carregados pelo efluente final (Cenário XII).

O mesmo aconteceria no caso de TSF's fora de serviço (Cenário XIII). Um acréscimo de 20% a vazão máxima do fluxo de tratamento C (216 ML/D) não permitiria oscilação na concentração de MLSS o que dificultaria o controle na rotina operacional da ETE. Assim, não se aplica ao fluxo de tratamento C (Cenário XIV). Valores de vazão acima de 216 ML/D, portanto, não foram avaliados.

Caso seja altamente necessário aumentar a vazão no fluxo de tratamento C em 10% da vazão máxima (198 ML/D), sem comprometer a qualidade do efluente final, sugere-se o aumento gradativo e estratégico. Fase 1 – 185 ML/D (3% acima da vazão máxima) – Boas condições meteorológicas. IVL de 80 mL/g. MLSS de 3.200 mg/L. Todos os TSF's em serviço. Monitoramento dos níveis de manta de lodo e sólidos suspensos no efluente final. Fase 2 – 191 MLD (6% acima da vazão máxima) – Mesmas condições da Fase 1. Fase 3 – 198 MLD (10% acima da vazão máxima) – Mesmas condições da Fase 1. Para vazões maiores que essa, extensão do fluxo de tratamento será, portanto, necessária para atender ao crescimento populacional na área de captação da ETE.

5 | CONCLUSÃO

Aumentar a vazão no fluxo de tratamento C acima de 180 MLD representaria alto risco, em termos de conformidade do efluente final. Entretanto, em termos de processo, um aumento de 10% em relação a vazão máxima (198 MLD) exigiria que todos os TSF's estivessem em operação para adequada sedimentação e retenção de sólidos. Este cenário requer todos os tanques em operação. A oscilação na concentração de MLSS seria limitada a 3.700 mg/L sob monitoramento constante. Caso contrário, os sólidos suspensos seriam carregados no efluente final. Vazões acima de 198 MLD não devem ser aplicadas ao fluxo de tratamento C. Extensão do fluxo de tratamento é, portanto, necessário para atender ao crescimento populacional na área de captação da ETE.

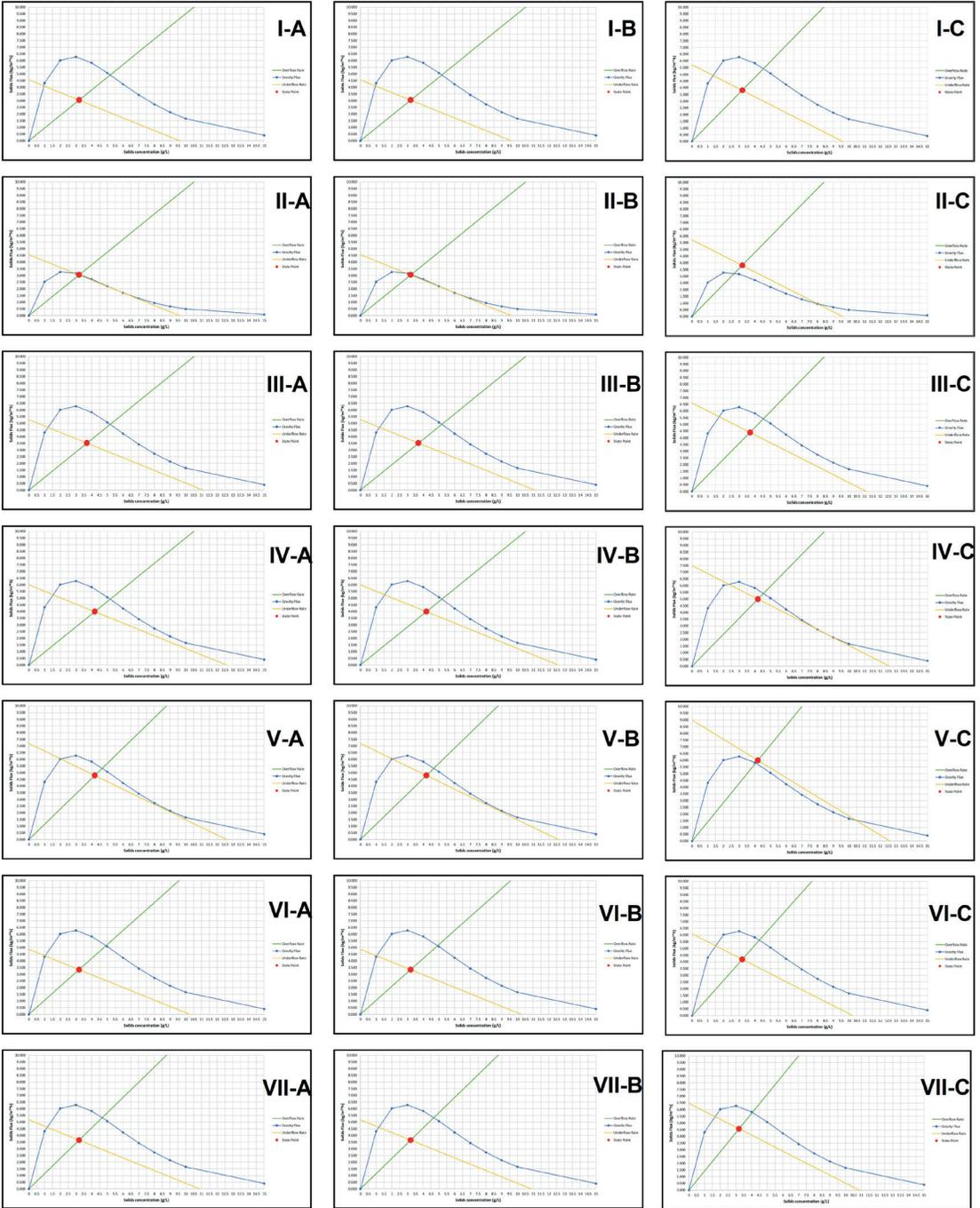


Figura 4 - Cenários avaliados para os TSF dos fluxos de tratamento A&B e C (continua).

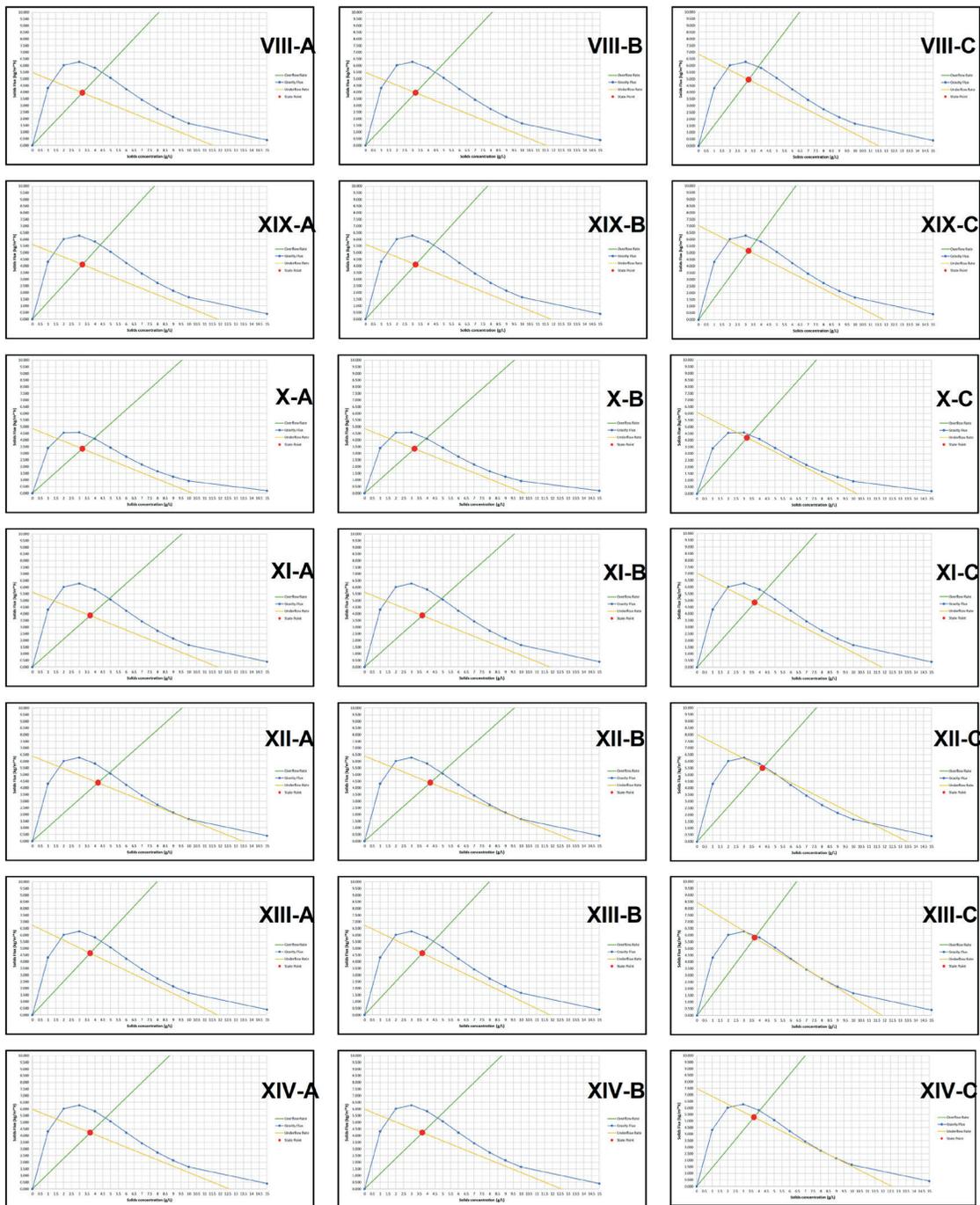


Figura 4 - Cenários avaliados para os TSF dos fluxos de tratamento A&B e C.

REFERÊNCIAS

APHA; AWWA; WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23. ed.. Washington: APHA, 2018.

Barros, R.M. **Tratado sobre resíduos sólidos: gestão, uso e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Interciência; Minas Gerais: Acta, 2012. 374p.

BBC. **How the world got to 8 billion people - and where next**. Disponível em: <https://www.bbc.co.uk/news/av/world-63624651>. Acesso em: 01 nov. 2022.

CHERNICHARO, C.A.L. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Coordenação Carlos Augusto Lemos Chernicharo. Rio de Janeiro: Programa Saneamento Básico (PROSAB), 2001.

DICK, R. I., & VESILIND, P. A. (1969). **The Sludge Volume Index: What Is It?** Journal (Water Pollution Control Federation), 41(7), 1285–1291. <http://www.jstor.org/stable/25036678>.

JORDÃO, E.P.; SANTOS, V.M.M.; CONCEIÇÃO, J.R.; ALEM SOBRINHO, P. **Determinação do Índice Volumétrico de Lodo Numa Concentração Padrão**. In: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, 1999.

LEVENSPIEL, O. (1999) **Chemical Reaction Engineering**. 3rd Edition. John Wiley & Sons, New York, 54. <http://dx.doi.org/10.1021/ie990488g>

MADIGAN, M.T., MARTINKO, J.M. AND PARKER, J. (1997) **Brock Biology of Microorganisms**. 8th Edition, Prentice Hall International, Inc., New York.

METCALF & EDDY (2014) **Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery**. 5th Edition, McGraw-Hill, New York.

MOHLMAN, F.W. (1934). **The sludge index**. Sewage Wks J.

MONTE, H.M., SANTOS, M.T., BARREIROS, A.M. **Tratamento de águas residuais : processos de tratamento biológico** / coord. cient. Helena Marecos do Monte ; autoria - Lisboa : Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos : Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2018. - 342 p. : il. ; 23 cm. - (Cursos técnicos ; 6). - ISBN 978-989-8360-37-3.

STATICA. **Population forecast for London from 2021 to 2043**. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/379035/london-population-forecast/>. Acesso em: 01 nov. 2022.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias** - Vol. 4 - Lodos Ativados. 2a edição, Belo Horizonte: Segrac, DESA, UFMG, 2000, 416p.

WAHLBERG, E. J., GERGES, H. Z., GHARAGOZIAN, A., STENSTROM, M. K., VITASOVIC, Z., ZHOU, S. P., MCCORQUODALE, J. A., & LINGREN, K. (1998). Of: **Secondary Clarifier Analysis Using Data from the Clarifier Research Technical Committee Protocol**. Water Environment Research, 70(2), 249–253. <http://www.jstor.org/stable/25045033>

WAHLBERG, E.J. AND T.M. KEINATH (1988). “**Development of settling flux curves using SVI.**” Journal Water Pollution Control Federation, 60, 2095.

WAHLBERG, E.J. AND T.M. KEINATH (1995). “**Development of settling flux curves using SVI: An addendum.**” Water Environment Research, 67, 872.

WORLD ECONOMIC FORUM. CITIES AND URBANIZATION (2019). **10 cities are predicted to gain megacity status by 2030.** Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2019/02/10-cities-are-predicted-to-gain-megacity-status-by-2030/>. Acesso em: 01 nov. 2022.

ZAIAT, M., FORESTI, E. **Method for estimating the kinetics of substrate degradation in horizontal-flow anaerobic immobilized sludge reactors.** Biotechnology Techniques 11, 315–318 (1997). <https://doi.org/10.1023/A:1018419412229>.

IMPACTO DAS CONSTRUÇÕES EM REDES DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS: UM ESTUDO DE CASO

Data de submissão: 28/04/2023

Data de aceite: 02/06/2023

Glauber Pereira Narcizo

Universidade São Francisco,
Departamento de Engenharia Civil
Campinas – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/2649905612813482>

Letícia Paiva de Oliveira

Universidade São Francisco,
Departamento de Engenharia Civil
Campinas – São Paulo
<https://lattes.cnpq.br/7677369424838435>

Cristina das Graças Fassina

Universidade São Francisco,
Departamento de Engenharia Civil
Campinas – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/3593793991674607>

Renata Lima Moretto

Universidade São Francisco,
Departamento de Engenharia Civil
Campinas – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/9818772550330671>
<https://orcid.org/0000-0001-7431-1651>

RESUMO. A rápida expansão urbana sem uma gestão e planejamento dos recursos hídricos englobando saneamento, drenagem urbana e tratamento de efluentes, combinados com à impermeabilização dos

solos, trouxeram problemas recorrentes de enchentes que se intensificam a cada ano em que não são tomadas as devidas medidas de controle. Este trabalho teve por objetivo analisar o impacto da implantação do empreendimento de grande porte no município de Campinas, identificando a influência da construção no escoamento superficial e na possível sobrecarga ao sistema de drenagem de águas pluviais. Foram realizados levantamentos bibliográficos a respeito do tema, determinação da área de influência da implantação do empreendimento comercial, estimativa da vazão de montante (Q_p) no canal antes da construção e após a sua implantação, através do método I-PAI-WU e do hidrograma unitário. Os resultados apontaram que, devido à impermeabilização do solo com a construção do empreendimento na região, aumentou-se em cerca de 25% a vazão de pico do escoamento superficial da bacia que deságua no córrego das Pedras, podendo assim contribuir para possíveis alagamentos na região. O estudo contribuirá para alertar os gestores públicos quanto à expansão da impermeabilização que ocorre no local devido ao desenvolvimento urbano.

PALAVRAS-CHAVE: Drenagem urbana.

Enchentes. Escoamento Superficial. Impermeabilização do solo.

IMPACT OF CONSTRUCTIONS ON RAINWATER DRAINAGE SYSTEMS: A CASE STUDY

ABSTRACT. The fast urban expansion without water resources management and planning, including sanitation, urban drainage and effluent treatment, combined with the soil's waterproofing as a result, brought frequent flooding problems which intensify each year considering that the necessary control measures has not been taken. The aim of this study was to identify the waterproofing caused because of the construction of a commercial development and its consequences generated in the region's sub-basin. Bibliographic surveys were carried out related to the subject, definition of the area of influence around the commercial development, estimating the amount flow (Q_p) in the water stream before construction and after its implementation, using the I-PAI-WU method and the unit-based hydrograph. The results showed that, due to the soil's waterproofing after the construction of the project in the region, the flow peak of the surface runoff in the basin going into the Pedras river was increased by about 25%, contributing to possible flooding in the region. The study will be a warning piece for the local public administrators regarding the expansion of the soil's waterproofing that occurs in the area due to urban expansion.

KEYWORDS: Urban drainage, Floods, Soil waterproofing, Runoff.

1 | INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, houve a intensificação do desenvolvimento urbano, principalmente nos países em processo de desenvolvimento, que refletiu no aumento da concentração de áreas construídas e na criação de aglomerados urbanos em pequenos espaços (TUCCI, 2008). Por conseguinte, as áreas urbanas vêm causando alterações severas no ciclo hidrológico devido às ações antrópicas, como o crescimento desordenado dos centros urbanos, a ocupação de áreas ribeirinhas, a poluição, a impermeabilização dos solos e a canalização das águas. Todas essas alterações no meio trouxeram problemas que causam impactos negativos para a sociedade como um todo, cujo volume de água que é destinado ao sistema acarreta um aumento nas ocorrências de inundações em meio urbano (TUCCI, 2008).

No município de Campinas há pontos de alagamentos recorrentes e catalogados pela prefeitura em um estudo diagnóstico urbano (SVDS, 2013). Um destes pontos se encontra no bairro residencial Vila Costa e Silva, adjacente ao córrego Ribeirão das Pedras, que é pertencente a Bacia do Rio Anhumas e registra episódios de alagamentos nas casas e ruas pavimentadas mais próximas ao córrego. A área da sub-bacia do ribeirão das pedras contempla uma área residencial, uma área de vegetação e uma grande área ocupada por um empreendimento comercial de grande porte construído em 2012.

Este trabalho teve por objetivo analisar o impacto da implantação do empreendimento de grande porte no município de Campinas, nos alagamentos de sua região adjacente, identificando a influência da construção no escoamento superficial e na possível sobrecarga

ao sistema de drenagem de águas pluviais.

Foram realizados levantamentos bibliográficos a respeito do tema, determinação da área de influência da implantação do empreendimento comercial, estimativa da vazão de montante (Q_p) no canal antes da construção e após a sua implantação, por meio do método I-PAI-WU e do hidrograma unitário.

O trabalho apresenta um alerta para a região, onde há um possível aumento dos impactos devido à impermeabilização com a expansão urbana ao entorno da bacia, apresentando soluções para prevenção futuras.

2 | REFERENCIAL TEÓRICO

Ao longo da história, o crescimento de áreas urbanizadas ocorreu de forma acelerada, partindo das regiões baixas próximas aos cursos d'água, rumo a regiões de maior altitude (CANHOLI, 2014).

Em meados dos anos 70, as cidades começaram a enfrentar fortes enchentes, já que os canais não suportavam mais a demanda atual das cidades devido ao aumento do escoamento causado pela impermeabilização. Assim, foi necessário adotar uma abordagem diferente para lidar com as enchentes, mirando em soluções de retenção e infiltração das águas de chuva (ANDOH & IWUGO, 2002 *apud* MIGUEZ, 2015). Além disso, a expansão acelerada dos centros urbanos sem o planejamento adequado, por sua vez, acaba permitindo que espaços das várzeas dos rios sejam ocupados e modificados, impermeabilizando e prejudicando a infiltração e retenção natural das águas (MIGUEZ, 2015).

A implementação de um empreendimento gera a impermeabilização do solo, alterando sua capacidade de drenagem. A determinação do escoamento superficial da bacia de drenagem deve abranger a análise das características fisiográficas da bacia, o tipo de solo da área de influência e a permeabilidade de sua cobertura, inclusive a estimativa quanto ao uso e ocupação do solo.

Segundo o DNIT (2005), o método racional é usado para obter uma vazão máxima por meio de uma metodologia simples, levando em conta a precipitação, o coeficiente de deflúvio e a área estudada. Por considerar uma precipitação constante em toda a bacia, e por não considerar as variáveis dentro de uma bacia, métodos modificados de cálculos são mais adequados. O método racional foi modificado a fim de melhor servir áreas maiores de 2km², denominado I-PAI-WU.

O método do hidrograma unitário permite que a precipitação seja transformada em vazão por meio de algumas características físicas da bacia.

3 | METODOLOGIA

Este presente estudo de caso pode-se avaliar o impacto na drenagem urbana devido

à construção de um empreendimento de grande porte e, conseqüentemente, um aumento de vazão de escoamento superficial das águas pluviais local.

A área de influência da bacia, que forma a sub-bacia, foi determinada de acordo com a topografia do terreno e a área até o deságüe do escoamento superficial a jusante.

Para se determinar a eficiência de vazão um canal de uma determinada bacia foi necessário comparar a capacidade de vazão do canal com a vazão que nele deságua.

A vazão de pico do escoamento superficial (Q_p) foi estimada para as situações antes e após a implantação do empreendimento, utilizando-se dois métodos para a análise, sendo eles, o método racional e o método do hidrograma unitário com posterior análise das possíveis interferências da área de construção de um shopping nas ocorrências de alagamentos na região, confrontando-os com a vazão suportada pelo canal e avaliando se o canal ali existente atende de forma eficiente o escoamento das águas, uma vez que há registros de alagamentos na região.

Para o cálculo da vazão de escoamento foi utilizado o método racional modificado, também conhecido como método I-PAI-WU (DAEE, 1994), comparando os resultados com o hidrograma unitário sintético desenvolvido pelo método SCS, em conjunto com os dados levantados de órgãos públicos.

3.1 Método I-PAI-WU

Para bacias entre 2 e 200 km² o DAEE (1994) recomenda que a vazão seja obtida por meio do método I-PAI-WU, expresso pela Equação 1:

$$Q = 0,278 * C * i * A^{0,9} * K \quad (\text{Equação 1}).$$

Em que: Q = descarga máxima, em m³/s; C= coeficiente de deflúvio; i = intensidade da chuva definida, em mm/h; A = área de influência, em km²; K = coeficiente de distribuição espacial da chuva.

3.1.1 Intensidade da chuva (i)

No cálculo da vazão de montante pelo método I-PAI-WU admite-se que a precipitação de chuva sobre a área é constante e uniformemente distribuída sobre a área considerada no estudo. A duração da chuva de precipitação máxima considerada deve ser maior ou igual ao tempo de concentração da bacia (DNIT, 2005).

3.1.1.1. Tempo de concentração (T_c)

A área estudada é uma sub-bacia. Com as informações disponíveis sobre a área o tempo de concentração foi definido pela Equação de *Kirpich* modificada (DAEE, 2005) (Equação 2):

$$t = 1,42 \cdot \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385} \quad (\text{Equação 2}).$$

Em que: t: tempo de concentração, horas; L: comprimento do curso d'água, km; H: Desnível máximo do talvegue, m.

Para a determinação das chuvas intensas utilizou-se a Equação de precipitações intensas para Campinas-SP proposta pelo DAEE (2018) (Equação 3).

$$i_{t,T} = (t + 20)^{-0,9483} \times 42,081 T^{0,1429} \quad (\text{Equação 3}).$$

Em que: I: Intensidade que corresponde à duração t em um período de retorno T (mm/min); t: Duração da chuva em minutos; T: Tempo de retorno em anos; $2 < T < 100$: período de retorno em anos; $5 < T < 1.440$: duração da chuva em minutos.

Com esta equação foi possível definir o gráfico das curvas de intensidade-duração-frequência (IDF) (DAEE, 2018).

3.1.2 Coeficiente de deflúvio ou runoff (C)

O coeficiente de *runoff* ou coeficiente de escoamento superficial, foi determinado em relação à ocupação do solo estudado, obtido em tabelas fornecidas pelo DAEE (2005) para períodos de retorno de 5 a 10 anos.

Considerando períodos de retorno maiores, deve-se corrigir o coeficiente a fim de obter uma melhor representação de seu valor (Equação 4) (DAEE, CTH, 2018).

$$C_T = 0,8 \times T^{0,1} \times C_{10} \quad (\text{Equação 4})$$

Em que: C_T : Coeficiente de escoamento superficial para um período de retorno T (anos); C_{10} : Coeficiente de escoamento superficial para um período de retorno de 10 anos; T: Período de retorno (anos).

Caso seja identificada uma natureza desigual para o solo, deverá ser considerada a média ponderada dos diversos valores de C para cada região específica (DAEE, CTH, 2018).

$$C = \frac{1}{A} \sum C_i \times A_i \quad (\text{Equação 5})$$

Em que: C: Coeficiente de escoamento superficial médio; A: Área de drenagem da bacia; C_i : Coeficiente de escoamento superficial correspondente a região i; A_i : Área da bacia correspondente a região i.

3.1.3 Coeficiente de distribuição espacial da chuva (K)

O coeficiente de distribuição espacial da chuva (K) foi determinado por meio da área da bacia e do tempo de concentração, plotados no ábaco fornecido pelo DAEE (Figura 1).

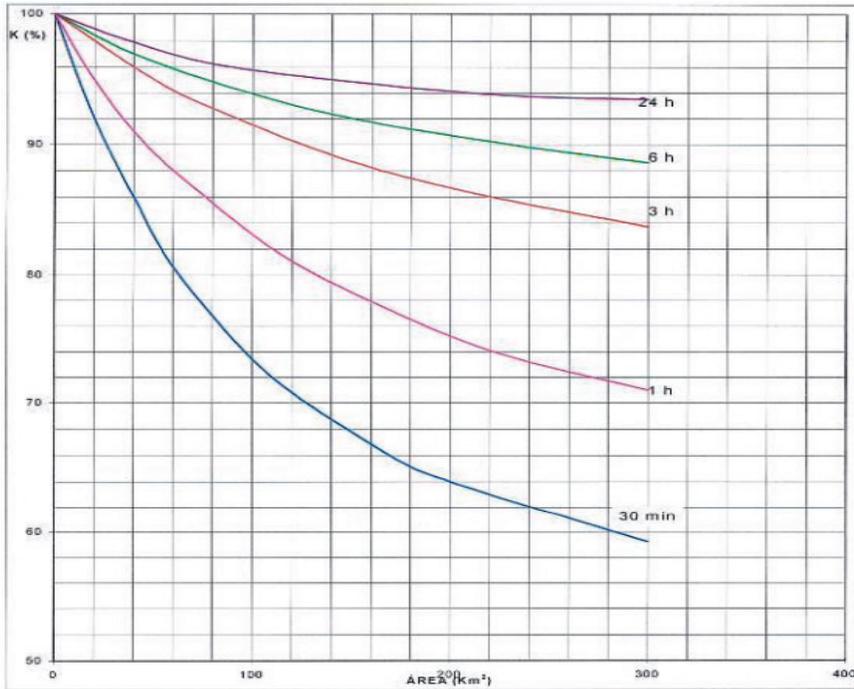


Figura 1 - Fonte: (DAEE, 1994)

3.2 Hidrograma Unitário Sintético

Considerando a falta de dados hidrológicos da bacia, foi utilizado o método do diagrama unitário *Soil Conservation Service* (SCS). Este método permite caracterizar o solo da região estudada por meio de dados tabelados utilizando número de curva (CN) que leva em conta o tipo, condição de uso e umidade anterior do solo. O número de curva CN foi determinado conforme o uso, condições da superfície e tipos de solos. (DNIT, 2005)

Para a adoção do CN, é possível fazer uma média ponderada para áreas heterogêneas (SMDU, 2012).

Os solos para este método são caracterizados em grupos de A a D, em que a permeabilidade do solo ocorre de forma decrescente para os grupos. Para a adoção do CN, é possível fazer uma média ponderada para áreas heterogêneas (SMDU, 2012).

Com o CN determinado é possível calcular a Retenção Potencial (S) máxima através da Equação 6 (DAEE, 1994):

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (\text{Equação 6})$$

Em que: S = retenção potencial máxima (mm); CN = número de curva.

O tempo de concentração em horas (Tc) pode ser determinado pela Equação 7 (DAEE, 1994):

$$T_c = 0,43 * \frac{L^{0,8}}{S^{0,5}} * \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7} \quad (\text{Equação 7}).$$

Em que: T_c = Tempo de concentração (min); L = comprimento do talvegue (km); S = declividade do talvegue (m/m); CN = número de curva

O tempo de pico do hidrograma é obtido por meio da Equação 8 (DAEE, 1994):

$$T_p = \frac{1}{2} + 0,6 * T_c \quad (\text{Equação 8}).$$

Em que: T_p = tempo de pico (horas); T_c = tempo de concentração (horas).

O tempo de retenção de base (T_b) é calculado por meio da Equação 9 (DAEE, 1994):

$$T_b = 2,67 * T_p \quad (\text{Equação 9}).$$

Em que: T_p = tempo de pico (horas); T_b = tempo de base (horas).

A vazão de pico, para uma precipitação unitária de 1mm, é obtida por meio da Equação 10 (DAEE, 1994):

$$Q_p = \frac{2,08 * A}{T_p} \quad (\text{Equação 10}).$$

Em que: Q_p = vazão de pico (m^3/s); A = área da bacia hidrográfica (km^2); T_p = tempo de pico (horas).

3.3 Estudo do Exutório

Buscando verificar se os alagamentos que ocorrem na região são gerados pela incapacidade de vazão do escoamento bacia em função de precipitações, foi necessário levantar os dados do canal, tanto em dimensão, como também suas informações de projeto.

Assim, a fórmula de Manning (Equação 11) pode ser aplicada a fim de obter a vazão máxima do canal (SMDU, 2012).

$$Q = \frac{A * R_h^{2/3} * \sqrt{I}}{n} \quad (\text{Equação 11}).$$

Em que: Q = vazão máxima em m^3/s ; A = Área em m^2 ; R_h = Raio Hidráulico em m; I = inclinação em m/m; n = número de Manning.

Com a vazão do canal determinada, foi possível determinar a altura máxima de corpo d'água suportada pelo canal e a altura máxima produzida pela vazão de pico (Q_p) após a construção do empreendimento por meio da Equação 12 (MCDONALD, 1997):

$$Y_n = 0,968 * \left(\frac{Q * n}{\sqrt{I}} \right)^{\frac{3}{8}} \quad (\text{Equação 12}).$$

Em que: Y_n = altura do corpo d'água (m); Q = vazão (m^3/s); n = número de Manning;

I = inclinação em m/m.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A área pertence a Bacia do Ribeirão das Anhumas, sub-bacia Ribeirão das Pedras, sendo o bairro adjacente, Vila Costa e Silva um dos pontos críticos de risco de alagamento catalogado pela Prefeitura Municipal de Campinas (SVDS, 2013).

A área da sub-bacia analisada foi determinada através do software Google Earth conforme Figura 2.

4.1 Determinação das vazões de pico por meio do método I-PAI-WU

Obtendo uma área total drenada de aproximadamente 3,75 km² e o comprimento do talvegue principal de aproximadamente 2,68km.

A área de implantação do empreendimento construído em 2002 é de aproximadamente 0,47km², em cuja área era permeável e coberta com vegetação local. Na mesma cota de nível do córrego existem áreas residenciais, onde se tem os pontos de possível alagamento caso o córrego não suporte o montante de água pluvial, conforme Figura 3.

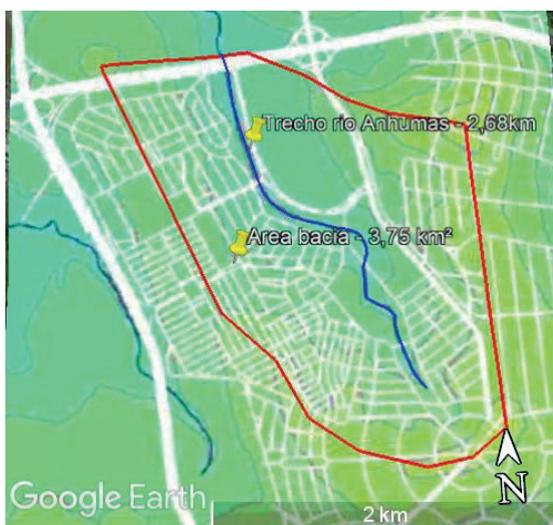


Figura 2 - Área da Sub-bacia Ribeirão das Pedras de interesse do estudo – Campinas- SP. Fonte: Adaptado de Hipsometria (CAMPINAS, 2014)



Figura 3 – Área de implantação do empreendimento e ponto de possível alagamento – Campinas- SP.
Fonte: Adaptado de Hipsometria (CAMPINAS, 2014)

O período de retorno considerado para o trecho foi de 50 anos; o tempo de concentração (T_c) calculado para a área (Equação 2), com o desnível máximo do talvegue (H) estimado em 30 metros, e o comprimento do talvegue (L) estimado em 2,68km, obteve-se $T_c = 48,04$ minutos, equivalente a 0,8 horas.

A intensidade da chuva(i) (Equação 3), considerando o tempo de retorno (T_R) de 50 anos e a duração da chuva(t) igual ao tempo de concentração (T_c) de 48,04 minutos, foi de 1,34 mm/min, equivalente a 80,71 mm/h.

4.1.1 *Determinação das vazões de pico por meio do método I-Pai-WU anterior à construção*

Para o cálculo do coeficiente de escoamento superficial (C) antes da implementação do empreendimento foi estimado as condições de coberturas e áreas, sendo de uso residencial 2,756 km², com $c=0,4$ e de solo não impermeabilizado na natureza, 0,994 km², com $c=0,15$, obtendo-se pela Equação 4, um coeficiente (C) total de 0,336.

Sendo assim, a vazão máxima de deflúvio estimada para a área antes da construção do empreendimento, considerando um K de 0,98 obtido com o uso do ábaco (Figura 1), resulta em 24,27 m³/s (Equação 1).

4.1.2 *Determinação das vazões de pico por meio do método I-Pai-WU posterior à construção*

Para o cálculo do coeficiente de escoamento superficial (C) depois da implementação do empreendimento foi estimado as condições de coberturas e áreas, sendo de uso residencial 2,756 km², com $c=0,4$, de uso com cobertura de concreto e asfalto 0,47 km²,

com $c=0,9$ e de solo não impermeabilizado na natureza, $0,524 \text{ km}^2$, com $c=0,15$, obtendo-se pela Equação 4, um coeficiente (C) total de $0,43$.

A vazão máxima de deflúvio estimada para a área depois da construção do empreendimento, considerando-se um K de $0,98$, conforme ábaco (Figura 1), resulta na vazão de $31,06 \text{ m}^3/\text{s}$ (Equação 1), indicando um aumento de 28% na vazão de pico (Q_p) que deságua no canal.

4.2 Determinação das vazões de pico por meio do Hidrograma

Para a construção dos hidrogramas unitários, foi considerada uma média ponderada do número CN conforme o tipo de solo (Tabela 3), considerando CN 36 para os campos permanentes normais e CN 100 para as superfícies impermeáveis.

4.2.1 Hidrograma anterior à construção do empreendimento

Para a situação anterior à construção foi possível determinar os seguintes índices: Considerando-se $2,75 \text{ km}$ de área impermeável e $0,99 \text{ km}$ de campo permanente normal, chegando, assim, a um CN final de 83 .

Com a Equação 6 determinou-se a retenção potencial (S), sendo igual a $51,89 \text{ mm}$.

Com a retenção potencial ($S=51,89 \text{ mm}$) foi possível calcular o tempo de concentração (T_c) (Equação 7), obtendo-se $0,32 \text{ horas}$.

Determinado o tempo de concentração ($T_c=0,32 \text{ horas}$) foi possível, determinar o tempo de pico (T_p) (Equação 8), igual a $2,4 \text{ horas}$.

O tempo de retenção de base (T_b) foi determinado pela Equação 9, onde se estimou $6,41 \text{ horas}$. Com estas informações foi possível construir o hidrograma (Figura 4).

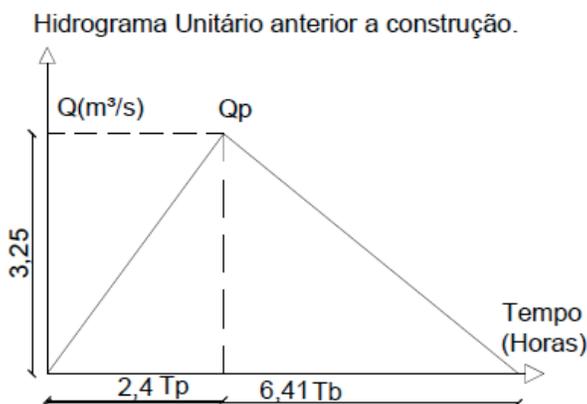


Figura 4 - Hidrograma unitário anterior à construção do empreendimento.

De acordo com o tempo de base (T_b) foi determinada a vazão de pico (Q_p) igual a $3,25 \text{ m}^3/\text{s}$.

4.2.2 Hidrograma após a construção do empreendimento

Para o hidrograma posterior à construção foi considerado 3,22 km de área impermeável e 0,52 km de campo permanente normal, obtendo-se CN final de 91. Com a Equação 6 foi possível determinar a retenção potencial (S), sendo igual a 24,95 mm. O tempo de concentração (T_c) (Equação 7), resultou em 0,24 horas. Determinado o tempo de concentração ($T_c=0,24$ horas) foi determinado o tempo de pico (T_p) (Equação 8) igual a 1,94 horas. O tempo de retenção de base (T_b) (Equação 9), foi calculado em 5,18 horas. Com o tempo de base ($T_b=5,18$ horas) foi possível determinar a vazão de pico (Q_p) de 4,02 m^3/s . Com estas informações foi possível construir o hidrograma (Figura 5).

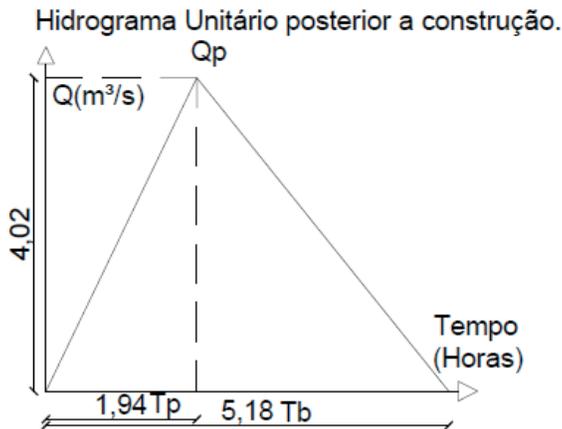


Figura 5 - Hidrograma unitário posterior à construção do empreendimento.

A comparação entre a situação anterior e posterior à construção do empreendimento indicam um aumento de 25% na vazão de pico (Q_p).

Ambos os métodos, método I-PAI-WU e método do hidrograma unitário indicaram que a construção do empreendimento eleva a vazão de pico da bacia estudada em, no mínimo, cerca de 25%.

Segundo Jacomazzi (2015), em seu estudo a respeito do Rio Anhumas, em que descreve toda a sua extensão, o trecho de canal que contempla a sub-bacia deste estudo, para uma seção plena, tem o raio hidráulico estimado de 1,065 metros, a velocidade de 2,48 m/s, o coeficiente de Manning estipulado igual a 0,045 e a declividade equivalente de 0,0061 m/m. Com estes dados foi possível obter a vazão máxima de 33,86 m^3/s no canal.

Com a vazão máxima suportada pelo canal igual a 33,86 m^3/s e contando que haja uma vazão mínima no canal, o acréscimo da vazão de pico de 31,06 m^3/s de água pluvial proveniente da bacia pode fazer com que o canal não suporte toda a água de deflúvio e ocorra alagamentos na região.

A altura máxima do corpo d'água do canal foi determinada com a Equação 12, sendo de 2,95m, o acréscimo de altura do corpo d'água da vazão de pico (Q_p) posterior

a construção do empreendimento é de 2,86m. Sendo assim, se houver uma prévia altura d'água de no mínimo 10 cm no córrego antes do deflúvio há a possibilidade de ocorrer alagamentos.

A Tabela 1 apresenta o resumo dos resultados obtidos.

	Antes da construção	Depois da construção	Diferença
Área permeável	0,994 km ²	0,524 km ²	- 0,52%
Vazão de pico (I-PAI-WU)	24,27 m ³ /s	31,06 m ³ /s	+ 0,28%
Vazão de pico (hidrograma unitário sintético)	3,25 m ³ /s	4,02 m ³ /s	+ 0,25%
	Máxima do córrego	Deflúvio posterior a construção	
Altura máxima do corpo d'água:	2,95 m	2,86 m	0,1 m

Tabela 1 - Resumo dos resultados anteriores e posteriores a construção e da altura do corpo d'água do córrego.

Constatado a influência da construção de um empreendimento de grande no montante da vazão de pico, no caso de, no mínimo 25%, é possível diminuir a impermeabilidade do solo na construção por meio de algumas medidas estruturais, como a troca do piso de seu estacionamento, que compõe 0,21km², cerca de 45% da área total de implantação do empreendimento, por um piso com maior permeabilidade, como pisos intertravados, a fim de diminuir o escoamento superficial.

Para melhorar de forma mais efetiva a drenagem do solo é necessário a criação de bacias de biorretenção, por onde o escoamento superficial pode percolar no solo e diminuir a vazão de pico que chega ao córrego. Assim há a chance de diminuir a necessidade de obras no canal de macrodrenagem, que não resolveria o problema, apenas o levaria ao próximo canal a jusante.

5 | CONCLUSÃO

Impermeabilizações de solo têm impacto direto no escoamento superficial da bacia, visto que a água não percola no solo e escoar pela superfície, e água que chega ao córrego pode sobrecarregar o mesmo, diminuindo sua eficiência de drenagem, gerando a possibilidade de alagamento.

No estudo de caso foi quantificado o impacto da impermeabilização de uma área, que anteriormente era permeável, na eficiência de drenagem do córrego, em uma região que apresenta episódios de alagamento em Campinas-SP.

Por meio da caracterização da área e dos cálculos teóricos da vazão de pico do

escoamento superficial da bacia, que deságua no talvegue, por meio do método I-PAI-WU, comparando-o com o hidrograma unitário, na situação prévia e posterior à construção de um empreendimento de grande porte.

Os estudos teóricos possibilitaram quantificar a influência da construção no montante da vazão de pico que deságua no talvegue, resultando no aumento de, no mínimo 25% no montante total vazão de pico da bacia, após a construção. Com a análise da capacidade do Córrego das Pedras, constatou-se que há possibilidade de o córrego não suportar corretamente a vazão, podendo gerar alagamentos, caso haja uma altura prévia do corpo d'água do córrego de no mínimo 10 cm antes do deflúvio.

A região está em constante crescimento devido à alta do valor imobiliário que a construção agregou à região. Para evitar uma maior sobrecarga no córrego da bacia do Ribeirão das Pedras, levando a um maior risco de enchentes no local, é necessário que sejam feitos estudos de impacto na bacia antes da implementação de novos empreendimentos, de modo a mitigar a impermeabilização do solo e trazer alternativas para diminuir o escoamento superficial.

REFERÊNCIAS

BRASIL, DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES-DNIT. Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem. 2. ed. Rio de Janeiro: [s.n.], 2005. 133 p. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/715_manual_de_hidrologia_basica.pdf>.

CAMPINAS, P. M. D. Hipsometria, Campinas. Disponível em: <<https://informacao-didc.campinas.sp.gov.br/metadados.php>>.

CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

DAEE. Manual de calculo de vazoes maximas, medias e minimas em bacias hidrograficas do estado de Sao Paulo. **CETESB**, São Paulo, p. 94, 1994.

DAEE. Hidrologia e Hidraulica : Conceitos Basicos e Metodologias. **Guia pratico para projetos de pequenas obras hidraulicas**, São Paulo, v. 1, 2005.

DAEE, CTH. **RECIPAÇÕES INTENSAS NO ESTADO DE SÃO PAULO**. São Paulo. 2018.

DNIT. Manual de Hidrologia Básica para estrutura de drenagem. **Departamento Nacional de Infra Estrutura de Transportes** , Rio de Janeiro, n. 2º, 2005.

JACOMAZZI, M. A. Avaliação de cenários para elaboração de plano diretor de macrodrenagem urbana, Estudo de caso: bacia do ribeirão das Anhumas em Campinas - SP. **Universidade Estadual de Campinas**, Campinas, 2015.

MIGUEZ, M.G.; A. P. V. O. M. R. **Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda., 2015.

MCDONALD, F. Introdução a Mecânica dos Fluidos. **LTC Livros Tecnicos e Cientificos SA** , São Paulo, n. 4ª, 1997.

SECRETARIA MUNICIPAL DE DESENVOLVIMENTO URBANO-SMDU. Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: aspectos tecnológicos; fundamentos. São Paulo, v. II, p. 220, 2012. ISSN 978-85-66381-02-3.

SVDS. **Plano municipal de saneamento basico**. Prefeitura Municipal de Campinas. Campinas. 2013.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 97-112, 01 jan. 2008. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10295>>. Acesso em: 09 maio 2020.

A AVALIAÇÃO POR MEIO DA TERMOGRAFIA DO CONFORTO TÉRMICO DE EDIFICAÇÃO HISTÓRICA: FAZENDA ATALAIA, AMPARO, SP

Data de submissão: 28/04/2023

Data de aceite: 02/06/2023

Jane Tassinari Fantinelli

Centro Universitário de Jaguariúna - UniEduK
Jaguariúna, SP.
<http://lattes.cnpq.br/8993597817785529>

Marcos Tognon

Universidade Estadual de Campinas – Unicamp
Campinas, SP.
<http://lattes.cnpq.br/1816303126212686>

Silvana Marielle Cardoso

Universidade São Francisco - USF
Campinas, SP.
<http://lattes.cnpq.br/2384615244574656>

RESUMO: A taipa de mão, a taipa de pilão, o adobe, a madeira, alvenarias de pedras, bambu e telhados de palhas e cerâmica tornaram-se tipologias regionais, adequada ao clima tropical brasileiro para a construção de casarões, palácios, igrejas, fortificações nos primeiros aldeamentos do séc. XVI, da coroa portuguesa no Brasil. As ordens religiosas (Jesuítas, Beneditinos, Franciscanos e Carmelitas) que possuíam arquitetos e construtores notáveis, engenheiros militares, mestres-de-obras, mestres-pedreiros e

carpinteiros portugueses e espanhóis, e posteriormente imigrantes europeus, foram os responsáveis por criar e desenvolver técnicas vernaculares utilizadas até os dias atuais. São encontradas nas edificações históricas paulistas que hoje constituem um patrimônio cultural nacional. Elas registram um momento da história da construção e dos recursos naturais que existiam em abundância no “novo mundo”. Esta pesquisa teve como objetivo investigar o comportamento térmico de alguns desses materiais enquanto tipologias regionais de paredes estruturais e de vedação, usados, em torno de 1870 pelos imigrantes italianos para a construção da Fazenda Atalaia, em Amparo, SP. As condições térmicas e de conforto ambiental foram analisadas por meio de aparelhos termográficos para verificar a influência dos materiais vernaculares nas condições ambientais internas das edificações. Para os ganhos e perdas de térmicas em uma edificação, como a refletividade, o tipo de cor das superfícies e a emissividade, a termografia, junto com outros tipos de instrumentos de medidas das condições ambientais, se apresenta como importante instrumento no auxílio da compreensão das trocas térmicas. Trata-se de estudos e pesquisas

essenciais para determinar o conforto térmico e ambiental e criar as estratégias arquitetônicas ainda na fase do processo de aprendizagem do estudante de arquitetura.

PALAVRAS-CHAVE: Termografia. Patrimônio e Conforto. Materiais vernaculares.

THERMAL COMFORT EVALUATION THROUGH THERMOGRAPHY IN A HISTORICAL BUILDING: FAZENDA ATALAIA, AMPARO, SP

ABSTRACT: The hand rammed earth, rammed earth, adobe, wood, stone masonry, bamboo and thatched roofs and ceramics, regional typologies were achieved, suitable for the Brazilian tropical climate for the construction of houses, palaces, churches, fortifications in the first settlements of the century. XVI, of the Portuguese crown in Brazil. The religious orders (Jesuits, Benedictines, Franciscans and Carmelites) that had notable architects and builders, military engineers, master builders, master masons and Portuguese and Spanish, and later European, carpenters, were responsible for creating and developing vernacular techniques used to this day. They are located in historical buildings in São Paulo that today constitute a national cultural heritage. They record a moment in the history of construction and the natural resources that existed in abundance in the “new world”. This research aimed to investigate the thermal behavior of some of these materials as regional typologies of insulated and sealing walls, used around 1870 by Italian immigrants for the construction of the Atalaia Farm, in Amparo, SP. The thermal conditions and environmental comfort were observed using thermographic devices to verify the influence of vernacular materials on the internal environmental conditions of the buildings. For thermal gains and losses in a building, such as reflectivity, the type of surface color and emissivity, thermography, along with other types of instruments for measuring environmental conditions, is presented as an important instrument in helping to understand the exchanges thermals . These are essential studies and research to determine thermal and environmental comfort and create strategies designed still in the architecture student’s learning process.

KEYWORDS: Thermography. Heritage and Comfort. vernacular materials

1 | INTRODUÇÃO

Todo corpo com temperatura acima do zero absoluto emite uma radiação térmica. A termografia constitui-se em uma técnica de registro gráfico das temperaturas superficiais das paredes e pontos de um material. Quanto maior a temperatura, maior a quantidade de radiação. A temperatura superficial pode ser medida através da captação de imagens das ondas infravermelhas emitidas por este corpo.

A técnica da termografia, de forma inovadora, permite captar estas imagens e através delas verificar a contribuição desse corpo emissor para a temperatura do ambiente. Permite transformar a emissão padrão do objeto em imagem visível, através da detecção da câmera em três componentes da radiação, a emissão, transmissão e reflexão (OCAÑA et al. 2004; CORTIZO, 2007; TOGNON; SALMAR; ANDRADE, 2013). Para os ganhos e perdas de calor em uma edificação, como a refletividade, o tipo de cor das superfícies e a emissividade, a termografia, junto com outros tipos de instrumentos de medidas das condições ambientais,

se apresenta como importante instrumento no auxílio da compreensão das trocas térmicas. Possibilita verificar a contribuição de materiais e técnicas vernaculares para a regulação das condições bioclimáticas da edificação.

A termografia pode ser descrita também como sendo um ensaio térmico não destrutivo, utilizado na obtenção do perfil de temperatura superficial em estruturas e, subsequentemente a correlação da informação obtida com algumas imperfeições internas (WILLIAMS et al. 1980). Para Krapez et al. (1994) trata-se de um ensaio térmico não destrutivo que funciona como um diagnóstico para avaliar o comportamento temporal do campo da temperatura superficial de uma estrutura excitada termicamente (KRAPEZ et al. 1994). Observa-se entre os autores um consenso conceitual sobre o uso da termografia. Assim, ela é apresentada como sendo a técnica de um método não destrutivo, sem contato de identificação visual do gradiente de temperatura superficial de um corpo em condições ambientais (SAKAGAMI e KUBO, 2002; TAVARES, 2004).

Para Maldague (2001), a técnica de termografia poderá ser usada tanto para a alvenaria recém-construída quanto para a antiga. O autor salienta que a termografia passiva tem mais o caráter qualitativo, pois apresenta indicativos de anormalidades, enquanto o processo de excitação térmica tende a um caráter de resultados quantitativos, pela possibilidade de mensurar e controlar os eventos (fonte, tempo, intensidade e distância).

Já Holst (2000) diz que nas edificações ocorre a predominância de trabalhos de termografia passiva pelas dificuldades na excitação térmica externa, pelas dimensões do alvo e pela grande quantidade de energia necessária. Nos estudos realizados pelo autor ele conclui que as edificações expostas a uma temperatura exterior, abaixo de 0°C, e uma temperatura interior, acima de 0°C, haverá indubitavelmente a ocorrência de uma ponte térmica na alvenaria, a qual pode provocar uma mudança de fase da água debaixo da superfície do revestimento. Devido à propriedade de alta condutividade térmica da água, poderá ocorrer um fluxo de calor para fora ou para dentro das construções. Materiais com baixa condutividade térmica tendem a reduzir o fluxo de calor. De um modo geral, imagens térmicas do processo de termografia passiva apresentam, no interior das edificações, áreas úmidas com imagem de áreas quentes e áreas secas com imagens de áreas frias, isto deve ocorrer quando houver um processo de aquecimento da parede (recebendo calor do sol, por exemplo) porque a região com água se aquece mais rapidamente que a alvenaria seca. Se a parede estiver esfriando, deve acontecer o contrário (por exemplo, quando a parede não recebe mais o calor do sol – tarde ou noite).

Cortizo et al. (2008) evidenciam que os termogramas gerados na vistoria de uma edificação possibilitam a detecção de patologias construtivas e fraquezas estruturais, ao mesmo tempo que identifica os detalhes relacionados às características térmicas da construção, possibilitando à definição de medidas que melhorem a conservação de energia na edificação. Entre as principais aplicações desta técnica está a inspeções de edifícios, como por exemplo detecção de infiltrações de água, localização de fendas estruturais,

detecção de vazios e defeitos em materiais construtivos, estudos de conservação de energia e monitoramento de sistemas hidráulicos e elétricos presentes nas edificações.

Cabe ressaltar que a utilização de fontes de energia externa atuando sobre um revestimento, poderá ocasionar alteração na fixação, na cor e no brilho da camada superficial, promovendo uma patologia na obra histórica. A escolha da técnica passiva, portanto, baseia-se na menor intervenção possível no patrimônio histórico, no intuito de evitar que a carga térmica adicional acelere o processo patológico

2 | OBJETIVOS GERAIS

Analisar os efeitos da radiação solar e das trocas térmicas sobre as superfícies de uma edificação patrimonial histórica construída com materiais vernaculares, verificando a influência nas condições ambientais internas, por meio do uso da termografia.

3 | METODOLOGIA

Pesquisas bibliográficas e documentais, a fim obter aporte teórico sobre o uso da termografia como suporte técnico para a análise das condições térmicas de alvenarias históricas. A pesquisa foi experimental com levantamentos de campo quantitativo das características técnicas construtivas vernaculares das paredes da edificação denominada Tulha (ambiente Origem Maturada) na Fazenda Atalaia em Amparo (SP). Para as medições termográficas foi usado a câmara 4800 Pixels E4 FLIR-639010101; para a temperatura superficial -Texto 925; para as medições termo higrométricas THDL 400 (Luxímetro; Higrômetro; Anemômetro; Termômetro).

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta pesquisa foi realizada na Fazenda Atalaia, entre março de 2021 e dezembro de 2022. Trata-se de um conjunto patrimonial, antiga Fazenda de Café, localizada em Amparo, SP, que representa um recorte do Brasil colônia, pois nela foram constatadas algumas das principais técnicas construtivas do patrimônio brasileiro. Pertenceu a Pedro Penteado, então presidente do Banco Industrial de Amparo, para a produção de café em larga escala. A data da sua construção, sugerida por Pedrosa (2018), sinaliza a presença de cafezal velho, cuja inferência permite constatar a cultura do café exercida na propriedade há pelo menos 20 anos da data que antecede a sua construção em 1890. Constituiu-se da casa sede, terreiro e tulha. Também foram encontradas “ruínas” de pedras na área lindeira à sede. A edificação de estudo foi a Tulha, que em 1881 estava inserida no terreiro de chão batido e era rodeada por alvenarias de taipa e pedra.



Figura 1. Planta da Casa sede, Tulha, Senzala, Olaria e Terreiro, cercados por muros de taipa em planta de 1881. (Fonte: Imagem editada por Silvana Meirielle Cardoso, 2022).

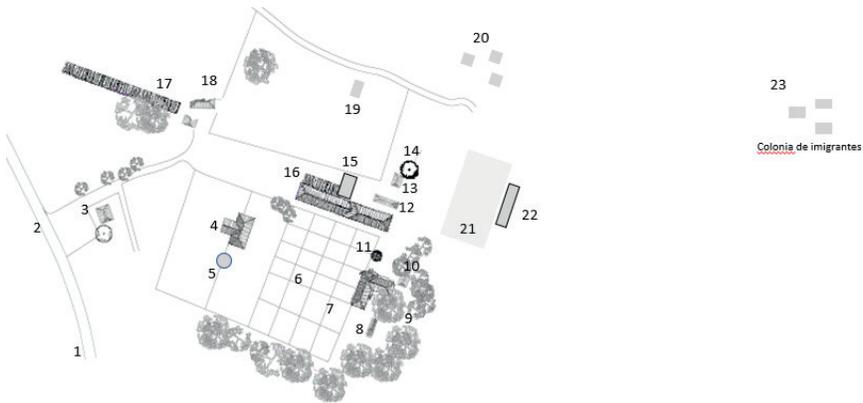


Figura 2. Localização das edificações patrimoniais na Fazenda Atalia (4-Marcenaria, 6-Terreiro de café; 16-Tulha; 9-Moradia da Fazenda, 17- Leitaria, 23-Colônia de Pedra dos imigrantes). (Fonte: Próprio Autor, 2022).

A casa de moradia do dono da fazenda ficava em uma cota de nível superior, também dentro do terreno. A senzala posteriormente foi derrubada. As técnicas construtivas da edificação e os tipos de materiais usados pelos antigos construtores foram constatados a partir dos trabalhos de restauração que começaram a ser executados por Tognon, em 2012, discriminados na Figura 3 e Tabela 1. A partir da retirada dos rebocos foram encontrados diversos tipos de alvenarias: de pedra, de tijolos, de taipa de mão, de taipa de pilão e alvenaria de blocos de concreto. Essa última foi construída recentemente, em 2015 (parede P02). A Figura 4 mostra as sucessivas etapas da construção.

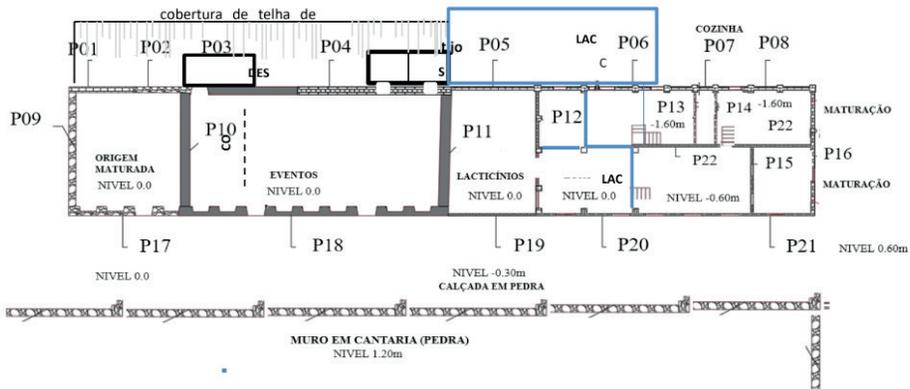


Figura 3. Planta baixa da Tulha, com as atuais atividades e a sinalização das diversas técnicas construtivas encontradas pelo restaurador Prof. Tognon. (Fonte: Próprio Autor, 2022).



Figura 4. Vista em primeiro plano do antigo secador de café (metal). A seguir o prédio da Tulha com a sinalização das 3 etapas de sua execução, constatadas durante a restauração realizada em 2012. (Fonte: Acervo Marcos Tognon, 2013).

Parede	Material	Posição original	Posição atual
P01	Tijolo	Externa	Externa
P02	Pedra	Externa	Externa
P03	Taipa de pilão	Externa	Externa
P04	Bloco cimento	Externa	Interna
P05	Tijolo	Externa	Externa
P06	Tijolo	Externa	Externa
P07	Tijolo	Externa	Externa
P08	Tijolo	Externa	Externa
P09	Pedra	Interna	Interna
P10	Taipa	Interna	Interna
P11	Taipa	Interna	Interna
P12	Tijolo	Interna	Interna
P13	Tijolo	Interna	Interna
P14	Tijolo	Interna	Interna
P15	Taipa de mão	Interna	Interna
P16	Tijolo	Externa	Externa
P17	Pedra	Externa	Externa
P18	Taipa de plão	Externa	Externa
P19	Tijolo	Externa	Externa
P20	Taipa de mão	Externa	Externa
P21	Taipa de mão	Externa	Externa
P22	Taipa de mão	Interna	interna

Tabela 1. Levantamento das técnicas construtivas históricas encontradas na Tulha.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2021

Para a experiência de verificação das condições térmicas, temperaturas internas e externas e a relação com as medições termográficas, foi escolhido o espaço Origem Maturada. Trata-se do primeiro módulo construído, de um total de três, na edificação denominada Tulha, antigo local de armazenagem do café. Foram constatadas o uso de três técnicas construtivas nas alvenarias com 4m de altura: paredes de pedra (P9 e P17), com espessura entre 60 cm a 83 cm; taipa de pilão (P1 e P10), com espessura entre 62cm a 80cm; e blocos de concreto, com isopor, tijolos de barro, reboco e emboço, com espessura total de 53 cm.

A edificação é coberta com telhas cerâmicas tipo capa e canal (fabricadas na antiga Fazenda de Café), com 50% de inclinação e com alturas entre 4,0 m, junto às alvenarias, e 7,45m no topo do telhado. A estrutura, em tesouras de madeira de lei, ainda é original e não precisou ser restaurada.

Os dados referentes às condições climáticas internas e externas do ambiente Origem Maturada foram coletados em 25 de maio de 2022, entre 12h e 14.30h. As dimensões do ambiente interno, de 8,80m de largura e 10,30m de comprimento, pé direito de 4m

(paredes) a 7,45m (átrio do telhado), determinou que o ambiente fosse dividido em 4 zonas térmicas (Figura 6), nas quais foram coletados os dados de temperatura e umidade (THDL 400), a 1.5m e 3.0m de altura do assoalho. As setas amarelas na Figura 5 mostram o local da medição das temperaturas superficiais (Texto 925) e das imagens termográficas (E4 FLIR), em duas alturas distintas, 1,5m e 3,0m.

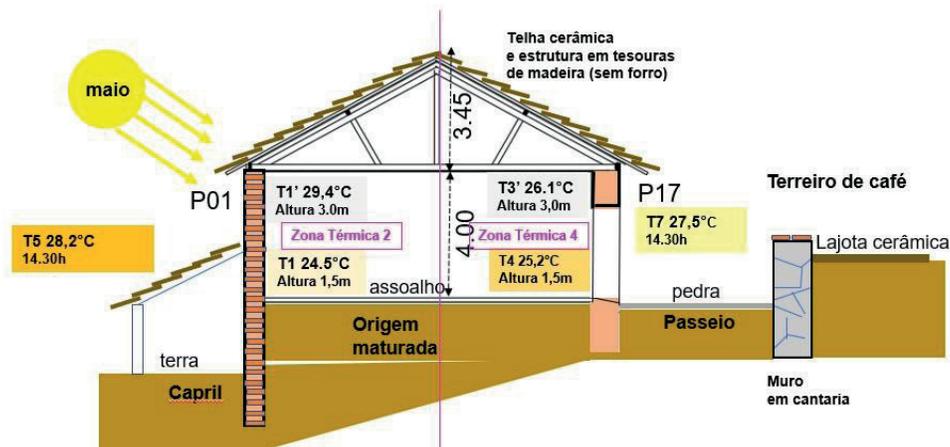


Figura 5. Corte esquemático do ambiente Origem Maturada onde foram coletadas as condições termohigrométricas e as temperaturas termográficas. (Fonte: Próprio Autor, 2022).

Os dados obtidos pelo termo-higrômetro mostraram que internamente a temperatura ambiente variou conforme a altura da coleta de dados. A 1m de altura do assoalho variou de 24,0°C a 25,2 °C; a 2,2m de altura variou de 26,6 °C a 29,9 °C (Figura 5 e 6), enquanto externamente a temperatura registrava 27,5° na face oeste e face sul (piso de pedra), e 28,2°C na face norte. Já a umidade relativa do ar no meio exterior registrou 28%, com ventos entre 0 e 0,9 m/s, e internamente ficou mais alta, variando de 40% a 45%, conforme a Zona Térmica.

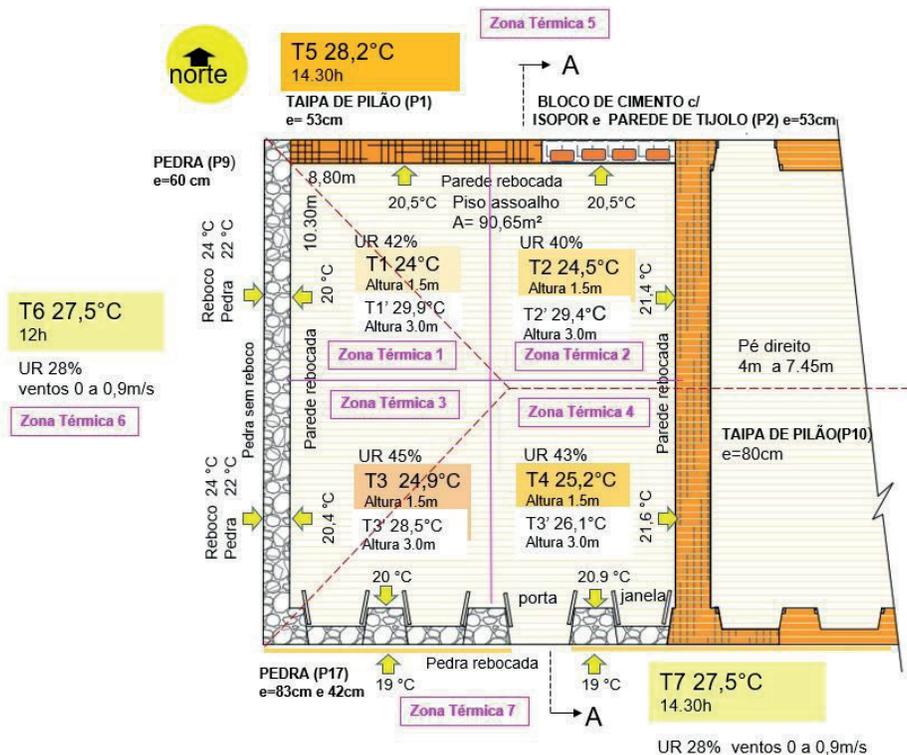


Figura 6. Planta baixa do ambiente Origem Maturada e os dados coletados nas alvenarias de pedra, de taipa de pilão e de blocos de cimento em 4 zonas térmicas internas. (Fonte: Próprio Autor, 2022).

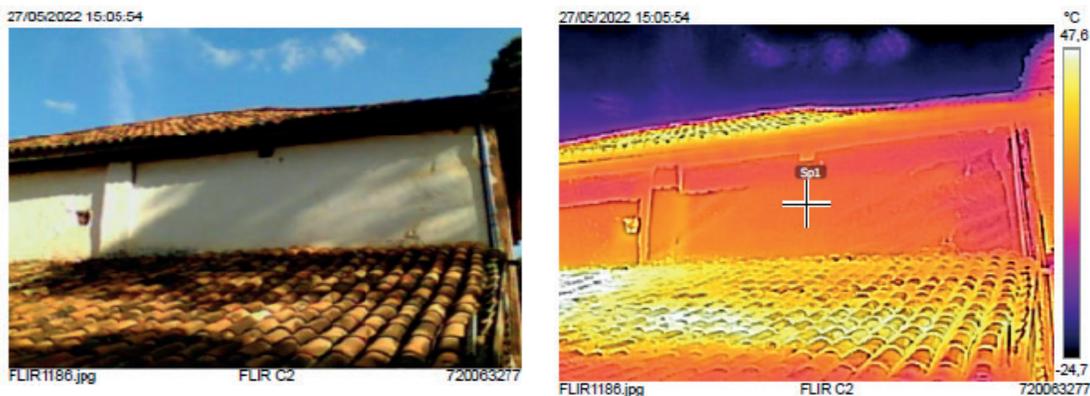


Figura 7. Alvenaria de taipa de pilão (P1) e imagem termográfica. (Fonte: Próprio Autor, 2022).

A Figura 7 mostra a imagem da face Norte da alvenaria de taipa de pilão (P1), de 53 cm de espessura e a temperatura termográfica registrada na porção sombreada, de 28,3°C (na cruzinha), enquanto o termo-higrômetro registrou 28,2°C (temperatura do ar externo).

As imagens mostram que no telhado cerâmico as temperaturas alcançaram até 47,6 °C nas áreas que não estavam sombreadas. Já internamente a temperatura superficial da parede era de apenas 20,5°C, evidenciando a alvenaria de taipa absorveu 7,8°C, embora a temperatura do ar interno estivesse entre 24°C (1,5m de altura do piso), e 29,9°C próximo do telhado. A imagem termográfica da Figura 8 mostra a cobertura sobre a Zona Térmica 1 com temperaturas que variam de 24,4°C, nas estruturas de madeira, a 34,5°C nas telhas capa e canal.

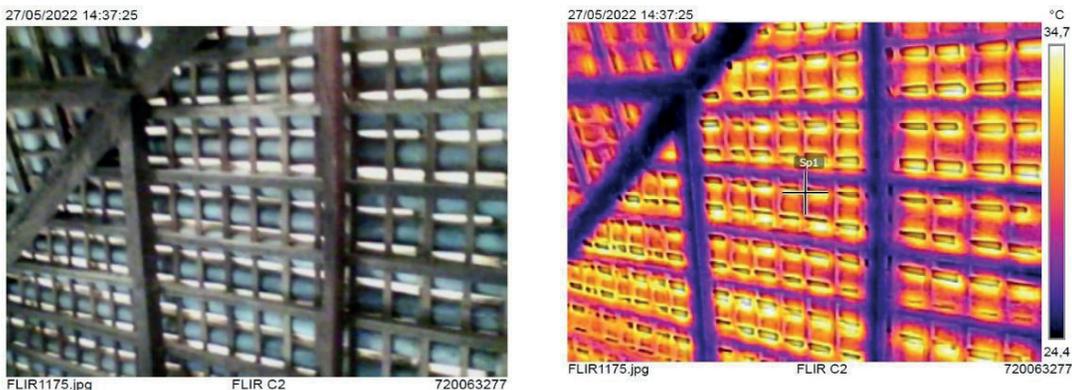


Figura 8. Cobertura com estrutura de madeira e telha de barro e a imagem termográfica mostrando as temperaturas de até 34,7 °C (Zona Térmica 1). (Fonte: Próprio Autor, 2022).

A parede lateral externa (P9), construída com 60 cm de espessura em alvenaria de pedra de arenito, com reboco apenas na face interna, foi dividida em 3 espaços e teve 4 coletas de dados, a 1,5m e 3,0 de altura, conforme Figura 6. As temperaturas superficiais externas mostraram as diferentes temperaturas refletidas: na pedra, 22°C e no cordão de borda de areia e cal, 24°C.

Os registros termográficos registraram variações entre 23,3°C a 25,6 °C , conforme o sombreamento sobre a parede (Figura 9 e 10). Internamente a temperatura superficial refletida ficou entre 20,0°C a 20,4 °C em toda a extensão da parede de 60 de espessura, mostrando que a absorção do calor foi de 3,3°C a 5,6°C, bem menor que no da taipa de pilão que foi de 7,8°C.



Figura 9. Parede de pedra patrimonial (P9) na Tulha da Fazenda Atalaia construída na técnica canjicado, tendo um cordão de borda saliente em areia e cal e parede. P17 alvenaria em pedra rebocada e P18 Alvenaria em taipa de pilão rebocado. (Fonte: Próprio Autor, 2022).

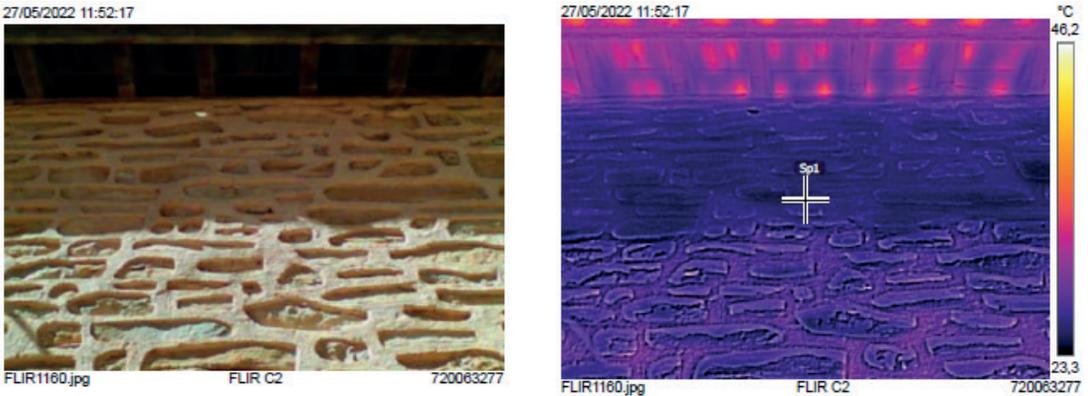


Figura 10. As temperaturas dos diferentes materiais, pedra de arenito e reboco de areia e cal, são registradas pela câmara termográfica na parede P9. (Fonte: Próprio Autor, 2022).

A parede lateral P17 (face sul - Figura 11), construída em pedra de arenito, foi rebocada interna e externamente, mas teve dois vãos de janelas fechados, constatados apenas pelas imagens termográficas que diferenciam o uso de materiais diferentes. Já na Figura 12 as imagens termográficas externas mostram que as paredes de pedra rebocada registraram temperaturas bastante baixas, a partir de 12,1°C, alcançando até 20°C. Aqui observa-se que as portas de madeira e o beiral do telhado alcançaram temperaturas mais altas que as alvenarias de pedra, ficando entre 26,7°C e 29,8 °C. A Figura 6 mostra que internamente a temperatura superficial refletida foi de 20,0°C a 20,9°C, conforme a Zona Térmica, enquanto que a externa foi de 19°C. A diferença de aproximadamente 1°C, evidencia a influência das atividades internas no local, a existência de ventilação (portas e janelas na Zona Térmica 4) e a temperatura do ar ambiente interno alcançada: a 3,0m do

assoalho 28,5°C (sem ventilação) e 26,1°C (com ventilação).

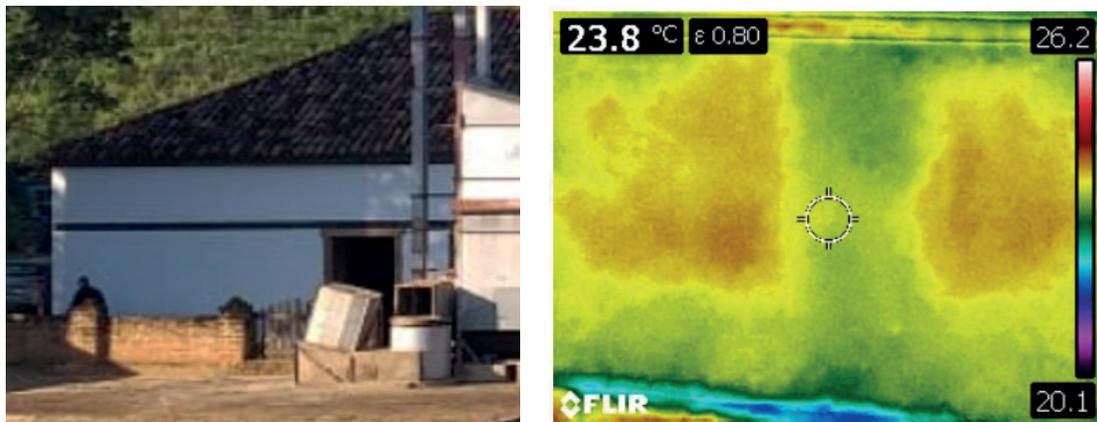


Figura 11. Termografia da parede de pedra P17, em 03/12/2021 e as diferentes temperaturas em função do uso de diferentes materiais para o fechamento dos vãos originais. (Fonte: Próprio Autor, 2021).

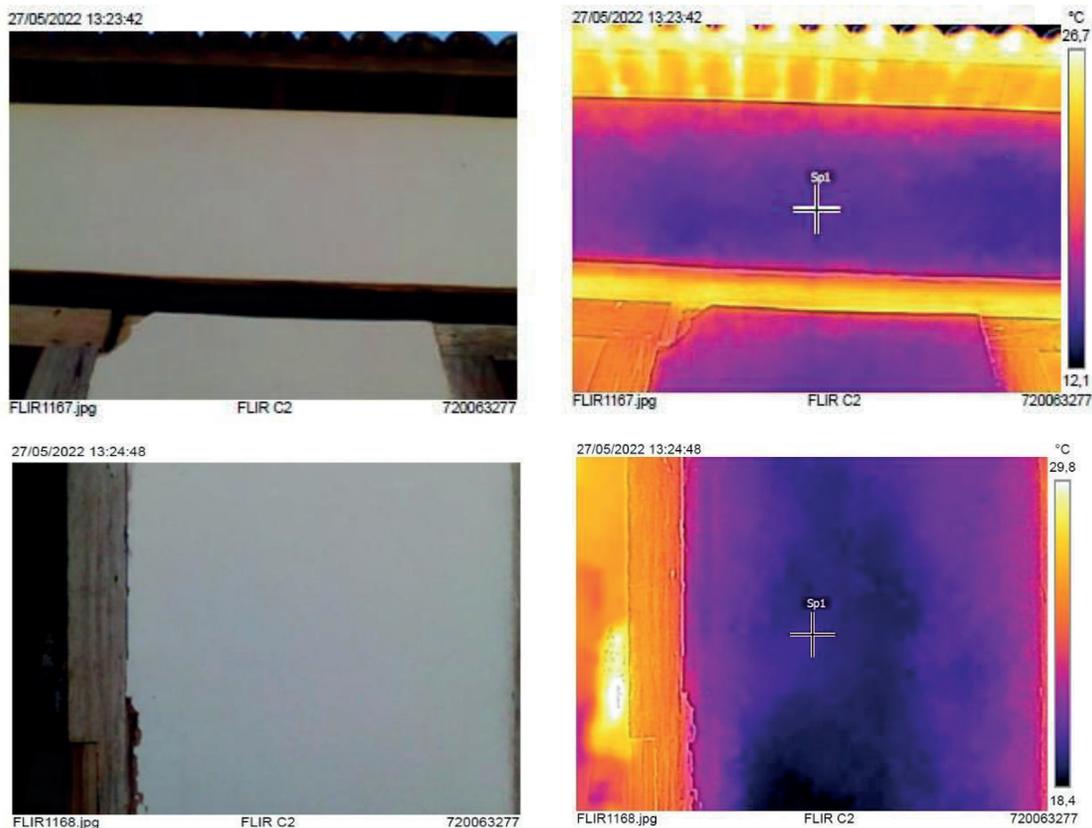


Figura 12. Vista externa da parede P17, nas alturas 1,5m e 3,0m, em alvenaria de pedra calcária rebocada e das imagens termográficas com temperaturas mais baixas, entre 12,4°C a 18,4°C. (Fonte: Próprio Autor, 2022).

As imagens termográficas internas (Figura 13) corroboraram as temperaturas superficiais e permitiram constatar os diferentes gradientes de temperatura na extensão de cada pano das alvenarias. As transmissões térmicas do calor da cobertura (sem forro) para as paredes foram notadamente evidenciadas em todas as imagens termográficas realizadas. Quanto mais distante da irradiação térmica, mais baixa é a temperatura (17,5 °C)

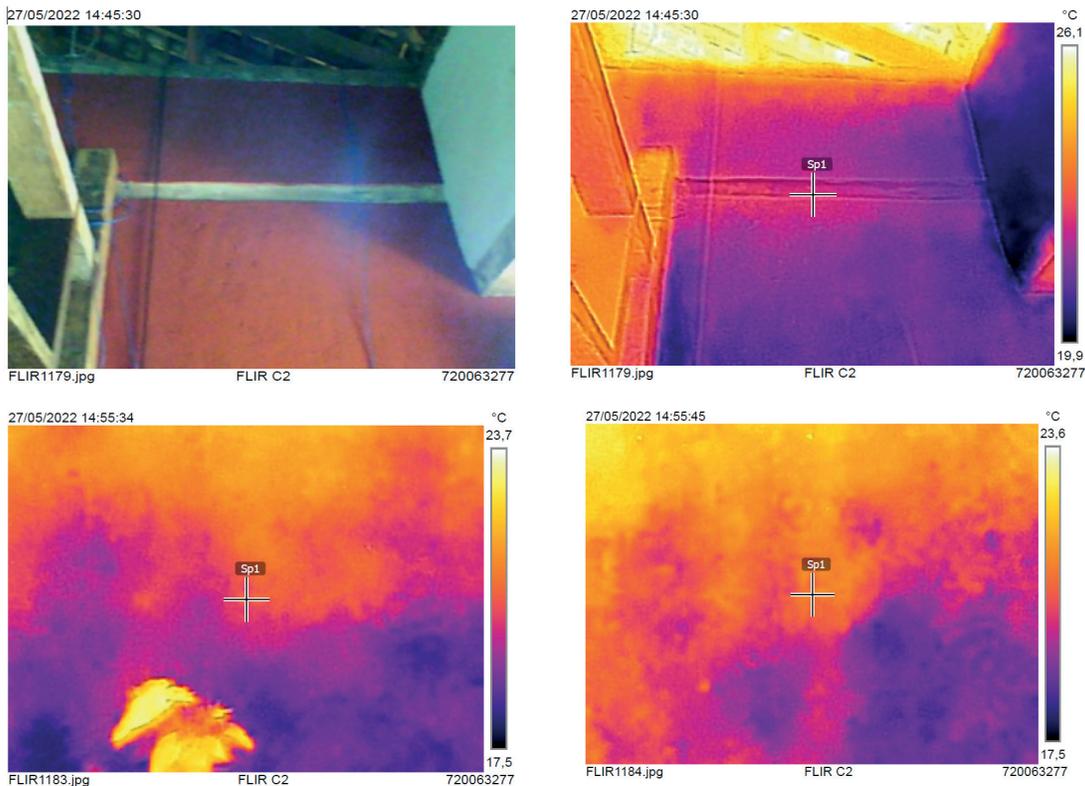


Figura 13. Imagens termográficas nas alvenarias internas variando entre 17,5 °C e 23,7°C.

(Fonte: Próprio Autor, 2022).

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa investigou apenas um dos dez cômodos da extensão edificação, construída em 1880, para abrigar uma Fazenda de Café. A memória das técnicas construtivas vernaculares do Brasil colônia estão registradas nas diversas alvenarias e tipologias espaciais que foram se agregando ao longo da edificação (Tulha) para a produção de café. Por meio de instrumentos de medição da temperatura superficial refletida, termo-higrométros e câmaras termográficas foi investigado o quanto é possível

reduzir as trocas térmicas entre o meio exterior e interior quando se adota as técnicas construtivas vernaculares. Aqui foram analisadas alvenarias de pedra e de taipa de pilão, com considerável espessura pois foram executadas para serem estruturais. Interna e externamente estão pintadas de branco, com alto grau de reflexividade. As diferenças de temperatura entre o meio exterior e interior chegaram a 7,8°C nas paredes de taipa de pilão (53 cm de espessura) e de 5,3°C nas paredes de pedra de arenito (60 cm). Também houve a conservação da umidade relativa do ar, de 28% no exterior, para 45% no interior (Zona Térmica 3). A influência do telhado de telhas cerâmicas (sem forro) para a transmissão térmica mostra a importância da cobertura como um dos agentes para o aquecimento interior e que devem ser controlados para que se possa conservar a temperatura interna proporcionada pelas estruturas vernaculares. Propõe-se a continuidade da pesquisa para incluir a influência das atividades contemporâneas e uso de novos equipamentos de transmissão térmica nesses espaços, que se mostrou nessa experiência uma excelente conservação do conforto térmico interior.

REFERÊNCIAS

CORTIZO, Eduardo. **Avaliação da Técnica de Termografia Infravermelha para Identificação de Estruturas Ocultas e Diagnóstico de Anomalias em Edificações: Ênfase em Edificações do Patrimônio Histórico**. Universidade Federal De Minas Gerais Programa De Pós-Graduação Engenharia Mecânica. 178p. Belo Horizonte, 02 de Julho de 2007.

____; BARBOSA, M. P. SOUZA, L. A. C. **Estado da arte da termografia**. Revista Fórum Patrimônio. Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável. V. 2, n. 1. 2009.

HOLST, G. C. Common Sense approach to thermal imaging. Winter Park. JCD Publishing, 2000. 377p.

KRAPEZ, J. C.; BALAGEAS, D.; DEON, A.; LEOUTRE, F. Detecção precoce por termografia infravermelha estimulada. Comparação com Ultrassom e Holo/Shearografia. Em: Maldague, X.P.V (eds) *Avanços no Processamento de Sinais para Avaliação Não Destrutiva de Materiais*. OTAN ASI Series, vol 262. Springer, Dordrecht. p. 303 – 321.

MALDAGUE, X. Infrared and Thermal testing: Nondestructive testing handbook. 3th ed, Columbus, OH: Patrick O. Moore, 2001.

OCAÑA, S.M.; GUERREO, I.C.; REQUENA, I.G. **Evaluation Of Buildings Materials Using Infrared Thermography**. Energy And Buildings, V.36 (2004) P.515-523.

SAKAGAMI, T ; KUBO, S. **Aplicações de termografia de aquecimento de pulso e termografia lock-in para avaliações quantitativas não destrutivas**. Física e tecnologia infravermelha. Elsevier, Volume 43 (2002), edições 3–5, p 211-218. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S135044950200141X>

TOGNON, M. **O desenho e a História da Técnica na Arquitetura do Brasil colonial**. Varia História. Belo Horizonte, vol 27, n. 46, p. 547-556. Jul-dez 2011.

___; SALMAR, E.; ANDRADE, F. C. D. de. **Exames Não Destrutivos do Patrimônio Artístico e Arquitetônico: aplicativo da Termografia no Diagnóstico de Bens Culturais de Campinas.** 1º Forum Municipal de Pesquisas sobre Patrimônio Cultural Campineiro. 23-24 out 2013, Campinas, SP. <https://www.researchgate.net/publication/259475478>. Acesso em: maio de 2021.

VERATTI, A. B. **Termografia: princípios, aplicações e qualidade.** São Paulo: ICON Tecnologia, 1992.

WILLIAMS, J. H. Jr; MASOURI, S.H; LEE S.S. **Caracterização térmica não destrutiva pela função de transferência térmica e pelo método numérico de volumes de controle.** British Journal of Non-Destructive Testing, 1980, Leigh-On-Sea (GB), 22.

TIJOLO ECOLÓGICO – INCLUSÃO DE RESÍDUOS PLÁSTICOS EM SUA COMPOSIÇÃO

Data de submissão: 28/04/2023

Data de aceite: 02/06/2023

Mayara Rauany Pereira de Gusmão

Engenharia Civil, Universidade São Francisco
Bragança Paulista/SP
<https://lattes.cnpq.br/1349492414424689>

Sabrina Vaz de Lima

Engenharia Civil, Universidade São Francisco
Bragança Paulista/SP
<https://lattes.cnpq.br/2626355086354124>

Marcelo da Silva

Engenharia Civil, Universidade São Francisco
Bragança Paulista/SP
<http://lattes.cnpq.br/1019218213722298>

RESUMO. A construção civil, por ser um dos principais setores industriais do País, têm uma grande escala de produção de materiais, gerando uma quantidade considerável de resíduos, com isso, além dos vestígios de danos ao meio ambiente, aumenta a preocupação com a escassez das matérias-primas utilizadas. Visando encontrar soluções ecologicamente viáveis para a população, combinando custo-benefício e sustentabilidade, cresce a procura pela utilização do tijolo ecológico,

por ser resultado de um processo de fabricação limpo que aproveita matéria prima em abundância no planeta. As construções realizadas com tijolos ecológicos incluem uma execução menos complexa, visto que não há a necessidade da utilização de uma estrutura composta por estruturas de concreto armado, como vigas e pilares. As paredes com tijolo solo cimento são executadas com a utilização de grautes, cujas barras de aço são acopladas no interior dos tijolos. Sendo assim, a quantidade de resíduos de materiais na construção, como sobras de madeiras, concreto e tijolo, são reduzidas, o que não é possível nas construções realizadas com tijolos convencionais. Neste sentido, o presente trabalho tem por finalidade realizar um estudo considerando a alteração do traço inicial da composição do tijolo ecológico, utilizando em sua base o solo-cimento e, acrescentando ou substituindo PET, com o intuito de torná-lo mais sustentável e, a partir da análise dos dados, comparar a resistência e os custos deste processo.

PALAVRAS-CHAVE: Tijolo-ecológico, solo-cimento, sustentabilidade, resíduos, reciclagem, plásticos, construções, engenharia.

ECOLOGICAL BRICK - INCLUSION OF PLASTIC WASTE IN ITS COMPOSITION

ABSTRACT. Civil construction, as one of the main industrial sectors in the country, has a large scale of material production, generating a considerable amount of waste, thus, in addition to the traces of damage to the environment, it increases the concern with the scarcity of raw materials used. Aiming to find ecologically viable solutions for the population, combining cost-effectiveness and sustainability, the demand for the use of ecological brick is growing, once it is resultant from a clean manufacturing process that uses raw materials in abundance on the planet. Constructions made with ecological bricks include less complex execution, since there is no need to use reinforced concrete structures, such as beams and pillars. Walls with cement-based bricks are executed using grout, whose steel bars are coupled inside the bricks. Thus, the amount of material waste in construction, such as leftover wood, concrete and brick, is reduced, which is not possible in constructions made with conventional bricks. In this scenario, the present paper aims to carry out a study considering the alteration of the ecological brick's composition initial trait, using soil-cement in its base and, adding or replacing PET, with the intention of making it more sustainable and, from data analysis, compare the resistance and costs of this process.

KEYWORDS: Ecological brick, soil-cement, sustainability, waste, recycling, plastics, constructions, engineering.

1 | INTRODUÇÃO

A busca por novas tecnologias na construção civil cresceu muito, e com isso está se tornando cada vez mais complexa, produzindo processos construtivos mais eficientes e sustentáveis, com o objetivo de melhorar a condição ambiental e encontrar recursos que possam reduzir a jornada de trabalho, melhorando assim a qualidade de vida dos trabalhadores, com um ganho na produtividade e crescimento profissional.

Baseado nesses princípios, surgiu o tijolo ecológico, também conhecido como tijolo modular solo-cimento, que é constituído em sua maioria, basicamente de materiais ecologicamente corretos. Com o intuito de reduzir a agressão ao meio ambiente, sua fabricação não utiliza o processo de queima, tradicionalmente utilizada na fabricação de tijolos comuns, reduzindo assim a emissão de gases nocivos na atmosfera.

Por se tratar de um elemento construtivo caracterizado como modular, o tijolo ecológico se destaca por ter um sistema sustentável que atende satisfatoriamente às necessidades de uso da construção, comprovando para os profissionais da área, que a construção utilizando esses métodos são essenciais para a redução dos impactos ambientais com a diminuição de emissão de poluentes e de resíduos, além de ser um eficiente material que proporciona um processo construtivo mais racional.

O objetivo deste projeto de pesquisa é estudar, através de levantamentos bibliográficos e ensaios mecânicos, um novo método para a produção do tijolo ecológico, utilizando na sua composição o acréscimo de polímeros, demonstrando a viabilidade de transformar os resíduos plásticos em um material útil para meio construtivo, ajudando

assim, na redução destes descartes no meio ambiente, além de analisar a diminuição de custos com este processo e o aumento da produtividade.

Surgimento do tijolo ecológico

O início do uso solo-cimento na construção civil é muito questionado, há relatos que a primeira construção realizada com a utilização do solo são as muralhas da China, na qual foi utilizada uma mistura de argila e cal, na proporção de 3 partes de argila para 7 partes de cal.

Até aproximadamente o ano de 1845, o solo era amplamente utilizado como método construtivo, porém com a chegada do Cimento Portland, esta técnica perdeu sua grande utilidade para o material inovador, por ter uma facilidade maior de execução. Através da associação das culturas construtivas europeias, em 1945, foram trazidas por imigrantes a técnica de construção através do solo-cimento. A Associação Brasileira de Cimento Portland regulamentou o processo de fabricação e aplicação do solo cimento na construção civil, na década de 1930, e com isso as pesquisas com esse processo ganharam força no Brasil. Segundo a NBR 12023/2012, o solo-cimento é definido como “produto endurecido, resultante da cura de uma mistura íntima compactada de solo, cimento e água, em proporções estabelecidas através de dosagem, executada conforme a NBR 12253/2012”.

O meio da construção civil por ser um dos principais setores industriais do País, possui grande escala de produção de materiais e também de resíduos, com isso, além dos vestígios de danos ao meio ambiente, aumenta a preocupação com a escassez das matérias-primas utilizadas.

Visando encontrar soluções para a população que combinem custo-benefício e sustentabilidade, cresce a procura para a aplicação do tijolo ecológico, por ser resultado de um processo de produção limpo que aproveita matéria prima em abundância no planeta, o solo, e em alguns casos os resíduos da própria construção civil, o mesmo se torna um produto com uma maior viabilidade financeira para construções de moradias mais populares, conseguindo assim proporcionar o interesse comum de todos.

Diferenças entre tijolos ecológicos e convencional

Atualmente, a preservação do meio ambiente tornou-se objeto de preocupação generalizada e é discutida globalmente. O que contribui para despertar o interesse em realizar práticas sustentáveis, a fim de diminuir os impactos ambientais.

A construção civil consome 40% dos recursos naturais, 34% do consumo de água, 55% do consumo não certificado de lenha, o que gera 67% da quantidade total de resíduos sólidos urbanos e 50% do volume total desses resíduos de acordo com a Associação Nacional de Arquitetura Bioecológica (ANAB, 2009). Dando destaque para a indústria cerâmica, correspondente às olarias, com altas emissões de gases na atmosfera oriunda da combustão de seus produtos, como também na degradação ambiental devido consumo

de matérias-primas que são extraídas da natureza, como é o caso da argila. A degradação ambiental é garantida pelo consumo de recurso natural, incluindo a argila que é obtida do solo sem reposição.

Em contrapartida, se for analisada a fabricação de tijolos ecológico, é dispensada a realização da cura através de fornos, sendo realizada apenas através de água. O que contribui para a diminuição de impactos ambientais, como também é amenizada a utilização de recursos naturais limitados.

As construções realizadas com tijolos ecológicos incluem uma estrutura menos complexa. Quando comparado os preços o tijolo comum é mais econômico financeiramente em relação ao tijolo ecológico. Porém, tendo em vista as facilidades e formas de utilização que o tijolo ecológico proporciona, ao analisar a obra em um contexto geral, o tijolo ecológico torna-se mais econômico, pela redução de concreto armado, argamassa e caixaria utilizado.

Tipos de tijolo ecológico

Com o intuito de buscar soluções para diminuir os impactos ambientais causados pela construção civil e, visando colocar no mercado técnicas construtivas com um custo menor é apresentado, como alternativa construtiva, o tijolo ecológico. O mesmo é um modelo de tijolo que promove impacto ambiental positivo, reduz o consumo de diversos materiais na área da construção e aplica o conceito de sustentabilidade no seu processo de fabricação e execução da obra.

Existem alguns projetos inovadores que estão desenvolvendo novas formas de usar os tijolos ecológicos, como os tijolos feitos de resíduos, como bagaço, couro, borracha, fibra de coco brasileira, resíduos de construção, etc.

- Tijolo solo-cimento

O tijolo modular de solo-cimento, assim denominado por ser considerado um material de produção ecologicamente correto que elimina o processo de combustão para atingir a resistência desejada. A sua composição consiste em uma mistura de solo, cimento e uma pequena porção de água.

Para a produção do tijolo solo-cimento, é necessário um triturador de solo JAG ou uma peneira e uma prensa manual ou semiautomática. A alvenaria de solo-cimento não requer revestimento, com também, dispensa a utilização de argamassa, devido aos blocos serem encaixados.

O processo se inicia com a preparação do solo, realizando uma pré mistura entre o solo, o cimento e um pouco de água, logo após, essa pré mistura é levada para o triturador de solo JAG, que realiza uma mistura mais homogênea desse material.

Após a mistura, o material é armazenado em baldes e levado até a máquina de prensa. Logo, é realizada a regulação do equipamento de acordo com o modelo de tijolo que será produzido, a mistura é colocada no silo do equipamento e é, portanto, iniciada a compactação deste material.

- Reaproveitamento de Resíduos

A alvenaria convencional é muito utilizada no Brasil, sendo esta uma das principais responsáveis pela geração e desperdício de resíduos da construção, problema que ainda não tem uma solução concreta. Porém, com o aumento da demanda por busca de proveniências mais sustentáveis no país, houve um pequeno acréscimo na busca de materiais que degradem menos o meio ambiente, tornando o tijolo ecológico mais popular. Além destes reduzirem os custos de produção, em relação aos de alvenaria convencional, sendo uma alternativa ambientalmente correta.

Baseado na preocupação ecológica, surgiram várias iniciativas e ideias inovadoras, desenvolvendo novos métodos e maneiras de se construir com tijolos ecológicos.

- Tijolo Ecológico Colorido e com garrafa pet – feito de resíduos plásticos

Existem diversos tipos de tijolo ecológico que utilizam resíduos em sua fabricação, Nzambi Matee é uma engenheira que desenvolveu um tijolo feito a partir de resíduos plásticos e areia, que contém uma resistência de até sete vezes maior que o do concreto.

O processo de fabricação desse tijolo é bem parecido com o de solo-cimento, os polímeros são separados e, posteriormente aquecidos em altas temperaturas, sendo então misturados com areia formando uma massa, essa massa, que é pesada, e depois levada para a prensagem. A máquina utilizada nesse processo, foi criada pela própria especialista exclusivamente para esse tipo de fabricação.

Os tijolos possuem uma diversidade de cores, tamanhos e formatos que são utilizados para pavimentação, com isso a empresa conseguiu reciclar mais de 20 toneladas de plástico (Coelho, Yeska, 2021).

Vantagens e desvantagens

É válido destacar, que uma importante vantagem na fabricação do tijolo ecológico é a utilização de um material com grande abundância, que é o solo. Sendo considerado como processo simplificado, realizado manualmente, podendo atender a população desfavorecida de recursos. Do mesmo modo, a ausência de queima no processo de cura é uma grande vantagem para o meio ambiente, reduzindo assim a emissão de gases poluentes depositados na atmosfera.

Há presença de furos no interior do bloco, tendo a vantagem de facilitar a passagem de tubulações, evitando assim, que as paredes sejam quebradas para a instalação de redes elétricas e hidráulicas. Devido ao seu formato, o tempo de execução da obra reduz em até 30%, comparado a construção com tijolo comum. Formato o qual permite que as paredes fiquem alinhadas, sem a necessidade de profissionais da área e ferramentas especializadas, visto que os tijolos são encaixados e colados.

Outra vantagem, tendo em vista a sustentabilidade ecológica e financeira, é a menor produção de resíduos durante a obra, conseqüentemente, economizando material. Isto é possível, por não ser necessário a utilização de madeiras, para fazer as formas de vigas e

pilares, visto que os tijolos ecológicos não necessitam desses elementos.

Como desvantagens, podemos ressaltar a facilidade de erro em dosagem, facilitando assim o surgimento de patologias na construção civil. Com também, a utilização do solo como material base para sua produção, quando utilizada de forma desenfreada e desorganizada, pode causar efeitos erosivos ao meio ambiente. A falta de conhecimento da mão de obra, na execução da obra, pode ocasionar danos à estrutura, caso não considere as vergas das janelas e das portas.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

Para atender aos objetivos deste projeto de pesquisa, definimos os materiais que serão utilizados, visando o desenvolvimento sustentável aos meios construtivos, a prevenção e redução da degradação ao meio ambiente, realizando o estudo da junção do polímero PET na composição do tijolo solo-cimento. Com isso modificamos o traço inicial do material, acrescentando ou substituindo uma parte do cimento pelo polímero PET, com o intuito de manter ou melhorar a resistência aos esforços solicitados, como também melhorar o seu custo benefício, o tornando mais econômico financeiramente.

• **Material Solo-Cimento**

O solo a ser utilizado passará por ensaio preliminar, seguindo as normas da ABNT, pois para a realização do tijolo solo-cimento é recomendado que o solo seja arenoso e fino.

Para a fabricação do tijolo, além do solo utilizamos um aglomerante, sendo este o cimento Portland, o qual é composto de clínquer e de adições. O clínquer é um material granular e rígido, o qual pode ser considerado um pó homogêneo composto de calcário e argila.

Para a fabricação dos tijolos foi utilizado o cimento CP V – ARI ULTRA, da marca VOTORAN, pois este é adicionado apenas uma pequena quantidade de material carbonático em sua composição.

O cimento tem a função de estabilizar a terra comprimida, ou seja, fazer com que o tijolo ecológico fique mais rígido, resistente, durável e seguro. O mesmo serve como material ligante, no intuito de quando o tijolo estiver exposto aos agentes externos, como umidade e chuva, o solo não se desagregue, e permaneça compacto.

• **Polímero como Aditivo – Suas características e propriedades**

Em busca de um material que agregasse ao tijolo ecológico, sendo benéfico e não aumentando o seu custo financeiro, foi escolhido adicionar no traço do Tijolo Solo Cimento o polímero PET, por ser um material de fácil acesso e encontrado em grande escala, além de possuir inúmeros benefícios para esta utilização. Sendo estes, facilidade ao manusear e ao mesmo tempo possuir uma boa rigidez e ductilidade.

Esse polímero tem uma densidade baixa, comparado ao cimento, sendo capaz de

reduzir o peso final do tijolo, conseqüentemente, aliviando os esforços de compressão e podendo, portanto, realizar uma fundação com menor quantidade de aço. Além disso, por ser um material com alta plasticidade, possui uma boa resistência a fluência, esperando que o tijolo obtenha uma resistência característica maior, evitando assim o rompimento com facilidade, e a manifestação de grandes fissuras. Segundo catálogo Sonelastic o módulo de elasticidade varia entre 2,76 GPa e 4,14 GPa.

O PET é um polímero de condensação sintético que tem como principal característica ser um termoplástico, ou seja, um tipo de polímero que pode ser remodelado por aquecimento seguido de resfriamento.

Para formar PET, o ácido reage com etilenoglicol na presença de calor. Durante a reação, cada hidroxila do etilenoglicol interage com o hidrogênio nas carboxilas do ácido, formando duas águas.

Finalmente, um dos carbonos do etilenoglicol interage com o oxigênio de uma carboxila do ácido, o outro carbono no etilenoglicol interage com o oxigênio da carboxila de outro ácido, e assim em diante. Com efeito, em cada unidade de PET, temos a presença de ligações que ligam outras unidades do polímero.

A utilização do polímero PET em larga escala deve-se a características muito interessantes, por ser transparente, inquebrável, impermeável e leve. Ele pode ser encontrado em muitos exemplos de materiais que usamos em nosso dia a dia.

• **Proveniência do material**

O solo a ser utilizado no ensaio será extraído próximo das dependências da Universidade São Francisco, em Bragança Paulista, tendo suas propriedades analisadas, sendo refinado os grãos passando na peneira de 4,8 mm. É necessário que o solo não tenha a presença de material orgânico, para isso, ocorre o descarte do primeiro metro de solo.

Com relação ao cimento, utilizamos o cimento CP V – ARI ULTRA, fabricado pela VOTORAN, por ser um cimento de alta produtividade, não é acrescentado outros elementos em sua composição, como também por fornecer uma secagem rápida e alta resistência inicial.

Já o polímero PET utilizamos material extraído de garrafas PET recicladas e trituradas. Estas serão adquiridos triturados, tendo uma granulometria baixa, para que se incorpore bem a mistura de solo cimento.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em um primeiro momento foi realizada a coleta do solo de um terreno localizado próximo a Universidade São Francisco, com o intuito de obter o solo sem resíduos de matéria orgânica, realizando o descarte dos primeiros 100cm do terreno e começando a extração após este corte.

Como também para seguir a formulação inicial do tijolo solo cimento foi adquirido cimento CP V – ARI ULTRA.

E adquirimos também o pet triturado para ser realizado o experimento de adição e ou substituição dos componentes iniciais do tijolo.

No Centro Tecnológico, da Universidade São Francisco, utilizamos o laboratório de Práticas de Construção Civil para realizar o experimento. O primeiro passo foi peneirar o solo, a fim de obter uma uniformidade nos grãos, utilizando a peneira 200mm, dos quais grãos com maior gramatura foram descartados e devolvidos ao local de coleta.

Após obter o solo a ser utilizado, o mesmo foi pesado e misturado na proporção ideal com o cimento e água, a fim de se realizar a amostra do tijolo solo cimento padrão, sendo esta na proporção de 7 partes de solo para 1 parte de cimento, ou seja, 87,5% de solo para 12,5% de cimento, para então ser possível realizar estudos comparativos de resistência das diferentes proporções a serem amostradas.

Para a execução do experimento, de acordo com a NBR 10833/1989, necessitaríamos de um equipamento apropriado, para a realização do tijolo solo cimento, a prensa de compressão, a qual é um equipamento de alto custo, desta forma, realizamos o ensaio modificado, utilizamos as amostras de corpos de prova com altura de 4,5 cm, o que se aproxima da altura de um tijolo.

Para a realização da compactação dos corpos de prova utilizamos o soquete elétrico Marshall, o qual possui um contador programável para a quantidade de números de golpes, sendo possível assim ter o mesmo parâmetro de golpes e peso em todos os corpos de prova.



Figura 1a e 1b – Modelo da máquina utilizada para a compactação e Foto do corpo de prova após compactação.

Fonte: Catálogo Solotest e Próprio autor.

Para o estudo das diferentes proporções do traço do tijolo moldamos 5 amostras de corpos de prova, sendo um conjunto de amostras de referência, denominada nº1, e outros quatro conjuntos de amostras com traços distintos, contendo três corpos de prova de cada, com o intuito de obter o melhor traço com a substituição ou adição do polímero PET na sua

composição inicial.

Os conjuntos de amostras com os traços escolhidos para serem realizados foram:

Amostra nº 1 - 7:1 (87,5% de solo e 12,5% de cimento), considerada a amostra de referência por não ter sido alterada e tendo em sua composição padrão para a fabricação de um tijolo solo cimento;

Amostra nº 2 - 6:1:1 (75% de solo, 12,5% de cimento e 12,5% de PET), proporção a qual foi substituído parte do solo - 12,5%, pelo polímero PET.

Amostra nº 3 - 7:1/2:1 (82% de solo, 6% de cimento e 12,5% de PET), proporção a qual foi substituído parte do solo - 5% e substituído 50% do cimento, referentes ao traço inicial, acrescentado uma porção do polímero PET de 12,5% do volume inicial do corpo de prova.

Amostra nº 4 - 7:1:1 (78% de solo, 11% de cimento e 11% de PET), proporção a qual foi acrescentado uma porção do polímero PET.

Amostra nº 5 - 7:1/2:2 (74% de solo, 5% de cimento e 21% de PET), proporção a qual foi retirado 50% do cimento e acrescentado duas porções do polímero PET.

Estes traços foram escolhidos para serem estudados, considerando o comportamento do corpo de prova quando substituído ou acrescentado agregado PET, aos componentes iniciais do tijolo solo cimento. A princípio a hipótese foi a de substituir o aglomerante cimento, com um intuito mais sustentável, porém, devido a função ligante do concreto, este não poderia ser reduzido drasticamente. Com isso criamos proporções que reduzissem a quantidade de solo e cimento proporcionalmente, como também amostras as quais não foram alteradas as proporções de um dos materiais iniciais.



Figura 2 – Foto dos corpos de prova compactados

Fonte: Próprio autor.

Após moldar os corpos de prova, estes foram reservados aguardando o tempo de

secagem do material, necessário para atingir a cura do composto solo-cimento de 28 dias, para assim ser realizado o rompimento e a obtenção da resistência característica de cada traço. Neste tempo de espera foram realizadas pesquisas para identificar a resistência característica mínima prevista por norma.

Segundo a ABNT NBR 8492/2012, a amostra ensaiada “não pode apresentar a média dos valores de resistência à compressão menor do que 2,0 Mpa (kgf/cm²) nem valor individual inferior a 1,7Mpa (17kgf/cm²), com idade mínima de sete dias”.

No vigésimo nono dia, rompemos os corpos de prova, utilizando o ensaio de compressão, através do equipamento universal para testes de compressão. As amostras foram colocadas centralizadas diretamente sobre o prato inferior da máquina universal. Foi então realizada a aplicação da carga uniformemente com um peso de 50kgf/s, como é especificado na norma NBR 10836/2015, sendo aumentada a carga gradativamente até o rompimento.

Foram desenvolvidas três amostras de cada traço, sendo descartada a resistência a qual tinha o maior desvio padrão, ficando apenas com duas amostras para ser analisada. Como mostra na tabela abaixo.

Amostra	Traço	Proporções			Resistência da amostra 1 (Mpa)	Resistência da amostra 2 (Mpa)	Resistência Média das amostras (MPa)
		Solo	Cimento	PET			
1	7:1	87,5%	12,5%	-	8,87	7,18	8,025
2	6:1:1	75,0%	12,5%	12,5%	5,65	5,57	5,61
3	7:1/5:1	82,0%	6,0%	12,5%	4,06	3,27	3,665
4	7:1:1	78,0%	11,0%	11,0%	5,01	5,83	5,42
5	7:1/5:2	74,0%	5,0%	21,0%	5,22	6,05	5,635

Tabela 1 – Relação: traço, resistência (Corpos de prova da composição do tijolo solo cimento com PET).

Fonte: Próprio autor.

Analisando a tabela acima, a amostra nº 1, a qual possui 87,5% de solo e 12,5% de cimento, consideramos como amostra de referência, pois não há alteração em sua construção, mantidas as proporções, de acordo com as normas de fabricação de tijolo solo-cimento. As demais amostras foram alteradas, de acordo com as proporções indicadas em porcentagem de material, onde foi possível identificar que o acréscimo do agregado polímero PET ocasiona uma perda de resistência, em torno de 30%. Verificamos que as amostras nº 2 e nº 4, onde foram mantidas as proporções maiores de aglomerante, o cimento, a resistência foi praticamente a mesma, ou seja, amostra nº 2 – 5,61 Mpa e amostra nº 4 – 5,41 Mpa, com uma diferença entre estes dois resultados de apenas 3,57% da resistência ensaiada, já com a amostra nº 3, onde houve uma maior substituição do cimento, a resistência encontrada foi a menor dos comparativos, 3,665 MPa, entendemos que o cimento, na composição do tijolo ecológico, tem a função de aglomerante e também

irá proporcionar ganho de resistência ao conjunto ensaiado, pois, o solo é o material que irá ser a base, tendo seus índices de vazios, preenchidos pelo aglomerante. Neste caso, o PET teria a função de dar suporte resistindo às ações de compressão, como possui módulo de elasticidade alta, comparando com o solo, consideramos, entretanto, que a adição elevaria a capacidade de suporte do composto solo-cimento. Desta forma, em sua composição, apontada na tabela 1 amostra de nº 5, consideramos uma diminuição significativa das proporções de solo e de cimento com adição de 21% de PET, resultando numa resistência à compressão de 5,635 MPa, apresentando assim, um resultado relevante se tratando em uma substituição sustentável ecologicamente. Apesar das amostras ficarem em torno de 29,78% abaixo da resistência da amostra de referência, o que se apresenta como inviável do ponto de vista estrutural em uma construção com esta tecnologia, entretanto, de acordo com a ABNT NBR 8492/2012, cujos indicativos de resistência estão abaixo dos valores encontrado nos ensaios, a substituição da composição do tijolo solo cimento, ainda pode ser uma opção viável e uma alternativa mais sustentável, por estar sendo substituído uma parte do cimento, o qual gera gases poluentes ao meio ambiente em seu processo de fabricação, por um agregado, o polímero PET, que é descartado.

Amostra	Traço	Proporções			Redução de Custo em relação ao traço base (%)
		Solo	Cimento	PET	
1	7:1	87,5%	12,5%	0%	Referência
2	6:1:1	75,0%	12,5%	12,5%	Não houve
3	7:1/2:1	82,0%	6,0%	12,5%	32,67%
4	7:1:1	78,0%	11,0%	11,0%	Não houve
5	7:1/2:2	74,0%	5,0%	21,0%	18,42%

Tabela 2 – Relação: traço, custo (Corpos de prova da composição do tijolo solo cimento com PET).

Fonte: Próprio autor.

Dentre as opções estudadas, todas estariam dentro do permitido pela norma NBR 8492/2012, a qual indica a resistência mínima permitida para tijolos de solo cimento, porém escolheríamos a amostra que obtém uma maior resistência, juntamente com um melhor custo benefício, sendo a amostra nº 5, cujo traço é de 7 partes de solo (74%), 1/2 parte de cimento (5%) e 2 partes de PET (21%). Neste caso, a substituição de cimento pelo PET, em torno de 7,5%, gerou uma diminuição no custo de 18,42%, porém, ocasionando uma diminuição de 29,78% na resistência inicial do tijolo solo cimento padrão.

4 | CONCLUSÕES

Com análise dos diversos traços de tijolo solo cimento, adicionando resíduos do polímero PET, observamos que a sua resistência teve um decréscimo, porém essa perda, de aproximadamente 30%, se enquadra dentro da resistência permitida por norma, para

tijolos de solo cimento. Essa perda na resistência pode ser prejudicial em casos de utilização do tijolo, para grandes demandas do mesmo, em funções estruturais. Em contrapartida, é benéfico por estar sendo adicionado resíduos de um polímero que é descartado, como também a redução de emissão de gases poluentes no meio ambiente, isso sendo possível pela redução de 50% de cimento na composição do traço proposto, considerando em nossa amostra de nº 5, sendo ele 7 partes de solo (74%) para 1/2 parte de cimento (5%) para 1 partes de PET triturado (21%).

Segundo os estudos realizados, conseguimos obter também uma diminuição significativa no custo da produção desse material, ao se fazer a mudança no traço existente com o PET conseguimos uma redução de 18,42% para a produção do mesmo. Vale ressaltar que o comparativo de custos foi focado nos materiais que são utilizados para a produção do tijolo solo cimento, tendo como base o já existente, não tendo sido considerado o custo de equipamento e de produção.

Portanto a reutilização do polímero PET apresenta uma excelente alternativa, no ponto de vista ambiental, para a redução dos resíduos em aterros sanitários, como também redução dos impactos ambientais gerados na fabricação do cimento. Porém para casos em que sua função seja estrutural necessitará de estudos para realizar um maior reforço em seus grautes, pois a resistência do mesmo é inferior à de um tijolo ecológico comum.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12024:2012: Solo-cimento — Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos — Procedimento.**

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10836:2013: Bloco de solo-cimento sem função estrutural — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio.**

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457:2016: Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.**

CASTRO, Antonio. SAMUEL, Andressa Quimquim. KEPP, Gabriel Braun. SANTOS, Juliana Freitas. JACOBSEN, Karina Raasch. GRONER, Luna Laurett. **A construção civil e seus impactos ambientais: uma análise sobre a possibilidade do uso de tijolos ecológicos para redução da produção de resíduos.** Disponível em: revistaea.org/artigo.php?idartigo=3216

FIAIS, Bruna Barbosa. SOUZA, Danilo Sarto de. **Construção sustentável com tijolo ecológico.** Disponível em: <http://www.ojs.toledo.br/index.php/engenharias/article/viewFile/2559/154>

JUNIOR, João B. dos Santos. MACÊDO, Laís Alves de. CORREA, Manoel Carlos Felix. SANTOS, Pedro Henrique. NETO, Walter M. Junior. LEITE, Manuela Souza. ARAUJO, Paulo Jardel Pereira. **Utilização de garrafas PET na confecção de tijolos.** Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/cadernoexatas/article/download/246/125>

NASCIMENTO, Álvaro M. do. FEITOSA, Alan de O. ALMEIDA, Thiago da S. LACERDA, Diego M. de. **Tijolo Modular de Solo-cimento como material na construção civil**. Vol. 6, N°1, 2018. Disponível em: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:laCDcf16ZgJ:https://periodicos.unipe.br/index.php/interscientia/article/download/645/527+&cd=2&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>

SANTOS, Marcos dos. NASCIMENTO, Priscila F. do. JUNIOR, Luiz Rodrigues. REIS, Marcone F. dos Reis. WALKER, Rubens Aguiar. **Utilização de garrafas PET na produção de tijolos de concreto: Uma proposta sustentável para a indústria da construção civil**. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos17/222556.pdf>

SILVA, Fábio H. Rodrigues Ferreira e. OLIVEIRA, Célio Honorato de. **Uso do tijolo ecológico para trazer economia na construção civil**. Disponível em: http://nippromove.hospedagemdesites.ws/arquivos_up/documentos/8b9d51630665c0b519f6be0fc2663b7e.pdf

SOUZA, Adriano de. PICCOLI, Pedro H. de Melo. ASSIS, Rita de Cássia T. **A utilização do tijolo ecológico na construção de baixo custo: uma opção viável para casas populares**. Disponível em: <https://favetr.univertix.net/wp-content/uploads/2020/01/Art-Pedro-Piccoli-EngCivil.pdf>

WEBER, Eduardo. CAMPOS, Roger Francisco Ferreira de. BORGA, Tiago. **Análise da eficiência do tijolo ecológico solo-cimento na Construção civil**. Disponível em: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Zfee3QIMDQYJ>

ANNETE SILVA FAESARELLA - Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (1993), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (1995) e doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais pela Universidade de São Paulo (2001). Atualmente é docente e pesquisadora na Universidade São Francisco (2012), em que atua nos cursos presenciais de Engenharia Elétrica, Engenharia Mecânica e Engenharia de Produção, bem como no curso EAD Gestão da Produção. Tem experiência na área de sistemas elétricos de potência, máquinas elétricas, materiais elétricos, atuando principalmente nos seguintes temas: energias renováveis, proteção de sistemas elétricos de potência e veículos elétricos.

MONICA TAIS SIQUEIRA D'AMELIO FELIPPE - Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), mestrado e doutorado em Ciências pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) da Universidade de São Paulo (USP/SP), área de materiais, no estudo de gases de efeito estufa na Amazônia e pós-doutorado pelo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas pela Universidade de São Paulo (IAG-USP). Participou da instalação e execução do projeto MAGICC (Multiple Analysis of Gases Influence Climate Change), parceria da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) com o IPEN/USP no Brasil. Realizou pesquisa na NOAA (Boulder/CO) em 2009. Atualmente é professora dos Cursos de Engenharia na Universidade São Francisco (USF), membro do Grupo de Pesquisa em Meio Ambiente e Sustentabilidade (GPMAS-USF), Grupo de Pesquisa em Educação, Tecnologias e Inovação (GPETI-USF) e da Escola de Professores da Educaethos. Desenvolve projetos na linha de pesquisa de desenvolvimento de bioadsorventes, utilizando resíduos e na linha de operações unitárias para desenvolvimento de equipamentos didáticos.

RENATA LIMA MORETTO - Possui graduação em Engenharia Ambiental pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas), mestrado em Engenharia Civil na área de Meio Ambiente pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e doutorado em Engenharia Civil na área de Saneamento e Ambiente pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Atualmente é assessora do Curso de Engenharia Civil, docente e pesquisadora na graduação da Universidade São Francisco. Também é membro do Grupo de Pesquisa em Meio Ambiente e Sustentabilidade (GPMAS-USF). Possui experiência na área de resíduos sólidos urbanos, mecânica dos solos, geotecnia ambiental, saneamento, sistemas hídricos, materiais renováveis e energias renováveis.

Engenharia Moderna:

Desafios Interdisciplinares

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 @atenaeditora

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Engenharia Moderna:

Desafios Interdisciplinares

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 @atenaeditora

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br