



Engenharia Moderna: Soluções para Problemas da Sociedade e da Indústria

Filipe Alves Coelho
Iara Lúcia Tescarollo
Vicente Idalberto Becerra Sablon
(Organizadores)

Atena
Editora
Ano 2020



Engenharia Moderna: Soluções para Problemas da Sociedade e da Indústria

Filipe Alves Coelho
Iara Lúcia Tescarollo
Vicente Idalberto Becerra Sablon
(Organizadores)

Atena
Editora
Ano 2020

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecário

Maurício Amormino Júnior

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Karine de Lima Wisniewski

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



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.

A Atena Editora não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Prof^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof^ª Dr^ª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves -Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof^ª Dr^ª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof^ª Dr^ª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Prof^ª Dr^ª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Prof^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Prof^ª Dr^ª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília

Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior

Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará

Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal

Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão

Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo

Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana

Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí

Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo

Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Engenharia moderna: soluções para problemas da sociedade e da indústria

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecário Maurício Amormino Júnior
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção Mariane Aparecida Freitas
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadores: Filipe Alves Coelho
Iara Lúcia Tescarollo
Vicente Idalberto Becerra Sablon

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

E57 Engenharia moderna [recurso eletrônico] : soluções para problemas da sociedade e da indústria / Organizadores Filipe Alves Coelho, Iara Lúcia Tescarollo, Vicente Idalberto Becerra Sablon. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-5706-446-7
DOI 10.22533/at.ed.467202809

1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. I. Coelho, Filipe Alves. II. Tescarollo, Iara Lúcia. III. Sablon, Vicente Idalberto Becerra.

CDD 620

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Atena Editora

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

APRESENTAÇÃO

Enquanto esta obra era produzida, a humanidade via-se diante de uma de suas maiores crises recentes: a pandemia do novo coronavírus. Este cenário escancarou a importância da ciência como ferramenta e um dos pilares da evolução da sociedade. Ao lado da ciência, a engenharia implementa o conhecimento desenvolvido na forma de produtos e serviços, tornando real e sustentável o conhecimento científico.

Sem dúvida, o que tornou possível verdadeiras revoluções na ciência e na engenharia foram os conhecimentos desenvolvidos na interface entre distintas áreas do conhecimento. As ciências biológicas e a engenharia ambiental produziram equipamentos para tratamento de efluentes empregando microrganismos. A computação e a engenharia de processos permitem que um funcionário monitore e controle uma fábrica mesmo estando a quilômetros de distância. A medicina, física e engenharia elétrica produzem equipamentos que enxergam o interior do corpo humano em alta resolução.

Neste sentido, esta obra é uma coletânea de trabalhos de professores cientistas e engenheiros, com vasto conhecimento em suas áreas de atuação, que destaca como a ciência e a tecnologia são empregadas para resolver problemas da sociedade. Em comum, além dos esforços para tornar a sociedade e a indústria mais sustentáveis, está o fato de todos os trabalhos terem sido desenvolvidos na cidade de Campinas ou em cidades próximas.

A multidisciplinaridade presente nesta obra é reflexo de um trabalho em construção no sentido de agregar o conhecimento acumulado e condensá-lo em produtos e serviços ou mesmo um fim em si, visando informar a sociedade de que temos pesquisa de boa qualidade sendo feita no Brasil.

Com o compromisso de incentivar a pesquisa acadêmica, divulgar e disseminar o conhecimento, a Editora Atena, através dessa obra, traz um rico material pelo qual será possível atender aos anseios daqueles que buscam ampliar seus estudos nas temáticas aqui abordadas. Boa leitura!

Dilnei Giseli Lorenzi
Pró-Reitor de Ensino Pesquisa e Extensão
Universidade São Francisco
Filipe Alves Coelho
Iara Lúcia Tescarollo
Vicente Idalberto Becerra Sablón
Organizadores

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

GENERAL ASPECTS OF TELEMEDICINE: FROM EMERGENCE TO USE IN THE COVID PANDEMIC 19

Ana Carolina Borges Monteiro

Reinaldo Padilha França

Giulliano Paes Carnielli

Yuzo Iano

Rangel Arthur

DOI 10.22533/at.ed.4672028091

CAPÍTULO 2..... 14

DISAGGREGATION OF LOADS IN THE SMART GRID CONTEXT

Jézer Oliveira Pedrosa

Júlio Cesar Pereira

Ana Carolina Borges Monteiro

Reinaldo Padilha França

Yuzo Iano

Rangel Arthur

DOI 10.22533/at.ed.4672028092

CAPÍTULO 3..... 26

COMPUTAÇÃO DE ALTO DESEMPENHO EDINÂMICA MOLECULAR

Fábio Andrijauskas

Glaucilene Ferreira Catroli

DOI 10.22533/at.ed.4672028093

CAPÍTULO 4..... 39

DISPOSITIVO PARA AUXÍLIO À PESSOAS COM DEFICIÊNCIA AUDITIVA

Vicente Idalberto Becerra Sablon

Bruno Penteado Evangelista

Annete Silva Faesarella

DOI 10.22533/at.ed.4672028094

CAPÍTULO 5..... 53

FATURAMENTO PRÉ-PAGO DE ENERGIA ELÉTRICA: PANORAMA DA MODALIDADE E ANÁLISE DA EXPERIÊNCIA BRASILEIRA

Annete Silva Faesarella

Amanda de Oliveira Ferri

Ednan Ferreira da Silva

Vicente Idalberto Becerra Sablon

DOI 10.22533/at.ed.4672028095

CAPÍTULO 6..... 66

EXPRESSÕES ANALÍTICAS DO CAMPO ELETROMAGNÉTICO NO DOMÍNIO DO TEMPO PROVOCADO POR TRANSITÓRIOS DE CORRENTE ELÉTRICA

Geraldo Peres Caixeta

DOI 10.22533/at.ed.4672028096

CAPÍTULO 7..... 83

DESEMPENHO DE MICRORREACTORES FABRICADOS POR MANUFATURA ADITIVA EM REAÇÃO DE SAPONIFICAÇÃO DO ACETATO DE ETILA

Katherine Oliveira Alves

Vanessa de Souza Rocha

Filipe Alves Coelho

DOI 10.22533/at.ed.4672028097

CAPÍTULO 8..... 95

AVALIAÇÃO DA BIODEGRADAÇÃO E ENVELHECIMENTO ACELERADO POR RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA NA BLENDAS PBAT/TPS

Fernanda Andrade Tigre da Costa

Marcelo Augusto Gonçalves Bardi

DOI 10.22533/at.ed.4672028098

CAPÍTULO 9..... 116

ESTUDO DA EFICIÊNCIA DA REMOÇÃO DA PRATA SOLÚVEL EM EFLUENTES UTILIZANDO FIBRA DE COCO IN NATURA E ATIVADA

Jaqueline Cristina de Souza

Núbia de Moura Dias Sousa

Pollyanna Oliveira Coutinho

Danielle Matias Rodrigues

Rafael Augusto Valentim da Cruz Magdalena

André Augusto Gutierrez Fernandes Beati

DOI 10.22533/at.ed.4672028099

CAPÍTULO 10..... 137

AVALIAÇÃO DE SISTEMAS EMULSIONADOS FORMULADOS COM ÓLEO DE BURITI

Jeanne Caroline Oliveira

Ludmila de Oliveira Maia

Iara Lúcia Tescarollo

DOI 10.22533/at.ed.46720280910

CAPÍTULO 11..... 152

EMBALAGEM CARTONADA: METODOLOGIA PARA SEPARAÇÃO E RECICLAGEM DE SEUS COMPONENTES

Mayara Elizabeth Pereira

José Fernando Marin Junior

Roberta Martins da Costa Bianchi

DOI 10.22533/at.ed.46720280911

CAPÍTULO 12.....	168
DESAFIOS DA DRENAGEM URBANA NO ESTADO DE SÃO PAULO	
Ana Caroline Ross Mateo	
Angélica Sampaio dos Santos	
Renata Lima Moretto	
DOI 10.22533/at.ed.46720280912	
CAPÍTULO 13.....	180
DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE FILTRAÇÃO PARA MELHORIA DA QUALIDADE DA ÁGUA DE RIBEIRINHOS	
Gabriela Consoline Pires	
Liliani Alves da Silva	
Monica Tais Siqueira D'Amelio Felipe	
DOI 10.22533/at.ed.46720280913	
SOBRE OS ORGANIZADORES.....	192
ÍNDICE REMISSIVO.....	194

CAPÍTULO 1

GENERAL ASPECTS OF TELEMEDICINE: FROM EMERGENCE TO USE IN THE COVID PANDEMIC 19

Data de aceite: 26/08/2020

Ana Carolina Borges Monteiro

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

Reinaldo Padilha França

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

Giulliano Paes Carnielli

School of Technology (FT)
State University of Campinas (UNICAMP)
Campinas – SP

Yuzo Iano

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

Rangel Arthur

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

ABSTRACT: In a world increasingly globalized and surrounded by artificial intelligence techniques, medical areas have undergone constant changes

and improvements. In the early days, access to health was meant for a few people, nowadays with the implementation of telemedicine, barriers have been broken and patients and doctors have been united despite the distance and fears of contamination during the COVID-19 pandemic. Considering that telemedicine is an interdisciplinary area subdivided into many fields of application, the present study aims to carry out a study on an operation, applicability, and research that can assist in the development and improvement of this technology. To this end, data on the topic will be collected in 45 periodic articles dated 2016 to 2020. Only, through quick, effective methodologies and those who break barriers, is it possible to make health in the world more egalitarian and more humanitarian.

KEYWORDS: Telemedicine, Health, Telecommunications, COVID - 19.

1 | INTRODUCTION

The term Telemedicine originates from the Greek word 'tele', which means distance. Thus, Telemedicine is a telehealth area that offers remote diagnostic support, allowing the interpretation of exams and the issuance of medical reports at a distance. This interdisciplinary branch is formed by the union of Information and Communication Technologies with medical areas (WOOTTON; CRAIG; PATTERSON, 2017).

The context of Telemedicine is communication. It is the discovery of electricity,

electronics, the use of computers, the use of networks, especially the Internet. Telemedicine is related to the evolution of computers and networks. Some historical facts must be highlighted, as they culminated in the current communication system that exists today. With the evolution of computers, personal computers appeared, from 1960 to 1970, which began to be commercialized in 1977. Over the years, computers have been improved concerning memory, programs, and accessories (ARTHUR, 2007; ARTHUR, 2012; BASHSHUR; SHANNON,2009; TEOLI, 2018).

The first networks were used for military purposes (related to radars). The first network developed was the ARPANET (Advanced Research Projects Agency Network), which had the function of connecting the University of Los Angeles with Stanford (California) and military centers. It was a secure network, had no center, and was created for the purpose of protecting American defense interests, at the time of the Cold War with the Soviet Union. Tim Berners Lee, an Englishman who worked at the European Nuclear Research Center in Switzerland, invented the Internet, based on ideas from ARPANET (PATIDAR *et al*, 2020).

With the emergence of the computer and the Internet, Telemedicine appears; Two areas give Telemedicine a big boost: space exploration (NASA) and all defense ministries (military areas of the world). The 60s and 70s are the milestones of progress in Telemedicine. In 1967, Massachusetts General Hospital was linked to Boston City Airport, with the aim of handling any emergency that occurred at the airport from the Hospital. On the other hand, the Hospital would receive basic information from an individual who had a serious problem at the airport and needed to be taken by ambulance. This is an important milestone in the history of Telemedicine. From that fact, other isolated experiences occurred (BASHSHUR; SHANNON,2009; TEOLI, 2018)

Telemedicine was the fastest-growing medical specialty in the world. Although Telemedicine has deep roots, its reality is just over 20 years old and is changing the daily lives of healthcare professionals and patients. It is important to note that the applicability of telemedicine is the result of the interaction of various techniques of computing, technology, and communication. In this way, the application of Artificial Intelligence (Machine Learning and Deep Learning), internet of things, fog computing, cloud computing, digital image processing, telecommunications, and academic research always go hand in hand, in order to optimize the existing processes (PALACIOS-MOYA *et al*, 2019).

In this context, Deep Learning consists of a Machine Learning technique that uses deep neural networks for information processing and learning. Unlike other existing techniques, Deep Learning is able to work with the analysis of raw data, which allows a broader field of action compared to other techniques, and can classify information contained in different formats, such as audios, texts, images,

sensors, and databases. The development of AI encompasses several techniques and methods, in addition to algorithms that make software or hardware intelligent (ALPAYDIN,2020; GOODFELLOW, BENGIO; COURVILLE, 2016; JACKSON, 2019).

With the junction of the internet of things (IoT), which is the internet that makes the connection between people and electronic devices and also, between the devices themselves, and cloud computing, which is a service that provides the storage of files and data on servers which can be accessed on any device with internet, enabling the application of deep learning as a way of improving artificial intelligence. Based on this, the objective of this study is to present the functioning, applicability, and research that can assist in the development and improvement of this technology (BHATT; DEY; ASHOUR, 2017; MISRA; SARKAR; CHATTERJEE, 2019).

2 | METHODOLOGY

This study was developed based on the data collection of **45** scientific articles present in bases such as Scielo, Scholar Google, and PubMed, with the works dated from 2016 to 2020.

3 | HISTORY AND APPLICATION OF TELEMEDICINE IN BRAZIL

In Brazil, the telemedicine service, mainly applied to issuing online reports, is growing and consolidating. The beginning was in the 90's - precisely with the expansion of the internet -, following a worldwide trend in medical care and the generation of remote reports. In 2005, CNPq/Ministry of Science and Technology (MCT), through the Instituto do Milênio Program, inserted Telemedicine as one of the thematic sets of induction of the public notice. With that, several consortia of institutions that participated with projects were formed, and in October 2005, the result was announced. The winner was the consortium coordinated by the Faculty of Medicine of USP, with the project entitled Estação Digital Médica - a strategy for the implementation and expansion of Telemedicine in Brazil, covering 2005 - 2008, bringing together several institutions, including the State University of Amazonas. The axes related to primary care were the conceptual basis to support the first project related to the use of Telemedicine in primary care by the Ministry of Health, which began to be implemented in 2007 (MALDONADO; MARQUES; CRUZ,2016).

In December 2005, the Ministry of Health, through a meeting with the participation of several institutions, supported the development of a pilot project called the Telematics and Telemedicine Project in support of primary health care in Brazil. After several agreements, carried out throughout 2006, the nine participating universities began to implement it in their respective States, in 2007. With the

evolution of the works, this first project became what is now known as the National Program Telehealth Brazil Networks from the Ministry of Health, focusing on primary care, teleemergency, telediagnosis, and tele-education (COMBI; POZZANI; POZZI, 2016; SIMOES *et al*, 2016).

In 2006, the discussion started to form the University Telemedicine Network (Rute), which brings together high-performance university hospitals, led by the National Teaching and Research Network (RNP) - MCT/MEC. In the first phase, the initiative involved the structuring of videoconferencing rooms for educational activities and clinical meetings between hospitals, using the RNP network. Over the years, there was an approximation and partnership between Rute and Telehealth, which became projects with complementary actions (DELEVIDOVE, 2019).

In 2010, in order to provide new means to increase the updating capacity of SUS professionals, the Ministry of Health created Unasus. The initiative was composed of a collaborative network of higher education institutions, with the creation of a collection of educational resources in health (HARZHEIM,2017).

In 2011, the Ministry of Health established the National Telehealth Brazil Network Program, based on the Telehealth Brazil Program (2009-2011), which encouraged the formation of Telehealth Centers, based on regional consortia of municipalities (DE MELO *et al*, 2018).

The following year, the Ministry of Health launched the Teleemergencies and Teleurgencies Program. The pilot project was in charge of the Instituto do Coração do HC, USP Medical School (Fmusp). Concomitantly, several state and regional initiatives emerged, which also began to develop activities related to Telemedicine and Telehealth (PENTEADO; BENTO, 2011).

Since the year 2017, research by França *et al* has aimed at the development of a telecommunications channel for the transmission of medical data based on discrete event techniques. This model is called CBEDE (Bit Coding for Entities through Discrete Events). This methodology aims to model concepts of a high level of abstraction present in a system, such as patients, nurses, doctors. Besides, it can be applied from exchanging e-mails on a clinical server to transmitting packet data between devices connected to a hospital network. Another function is the management of patient data, emergency services, intensive care units, surgical and outpatient procedures (PADILHA *et al*, 2017; PADILHA,2018; FRANÇA *et al*, 2019; FRANÇA *et al*,2020).

All simulations are developed in a simulation environment (Simulink) contained in the Matlab software. The improvement in data transmission is the result of a bit pre-coding process, where discrete events are applied to the signal before the modulation process. Through simulations, the model without the proposal consumed 55.5 MB. The CBEDE methodology consumed 28.82 MB Megabytes).

Also, the results have shown improvements in performance in memory usage and information compression, showing an improvement of 92.6% (PADILHA et al, 2017; PADILHA,2018; FRANÇA et al, 2019; FRANÇA et al,2020).

4 | TELEMEDICINE APPLICATIONS

Telemedicine can be subdivided into a few branches: telecare, teleconsultation, tele-education, and the issuing of reports at a distance. All can be inserted into eHealth (ALAMI *et al*,2018).

In telecare, the focus of communication is on the patient and his well-being. Through it, the patient is monitored at his own home or at a local health center by a doctor or any other health professional who communicates with other professionals at a distance. In order to increase the efficiency of the system and ensure an accurate medical investigation, various equipment is used to assess clinical parameters and send this data, usually via the internet, to specialists at a distance (HASLWANTER, 2018).

Teleconsultation can be done between doctors, when a general practitioner seeks assistance from a specialist, such as a second opinion on the diagnosis, a more suitable medication, or even live guidance on how to perform a procedure. Another way is the online consultation, made directly between doctors and patients. In Brazil, the practice of teleconsultation between doctor and patient is still being made possible (DAVID,2020).

Teleducation is already applied in different sectors, but in the case of medicine, the focus is on training health professionals who are far from large centers, seeking to update and prepare them for different situations in medical practice. To achieve this goal, tele-education focused on telemedicine uses videoconferences, classes, lectures, e-learning, and recycling programs. It is a way of bringing knowledge to improve the performance of exams and to provide quality care to patients (BARBOSA, 2017).

Besides, telemedicine can be used to: Consult and exchange information between health institutions; Information on results of laboratory tests and images, Discussion of clinical cases, mainly related to rare diseases; Robotic surgery; Assistance to chronic patients, high-risk pregnant women and the elderly (BAKER; STANLEY,2018).

5 | ISSUANCE OF REMOTE REPORTS

Issuing remote reports is one of the fastest-growing branches in Brazil. Through this technology, the exam can be performed anywhere and reported by specialists connected to the internet. Thus, it is possible to have easy access to

the best doctors in the country. One of the strengths of the use of telemedicine is the provision of online reports at a distance, without the need for the clinic or hospital to have full-time specialist doctors, attending on their premises. A series of tests, such as Electrocardiogram (ECG), Spirometry, Electroencephalogram, Visual Acuity, Mammography, X-rays, among others, can be performed by the health team (technicians and nurses) and sent in real-time to the telemedicine company (ALKMIM, 2019).

Through technology, the result is sent via the internet to medical teams, composed of specialists working in major medical centers in Brazil. They are professionals qualified to remotely report examinations performed at any time and place in the country. It is possible to deliver reports on the same day or, in an emergency, minutes after the exam is issued (DE MELO et al 2018).

Many devices used for the procedures are already digital and provide the results directly to telemedicine services. If the devices are analog, some companies, such as Telemedicine Portal, allow quick integration of the devices with the digital system through IoT (Internet of Things) protocols. The Telemedicine Portal is able to connect to more than 90% of the park of medical devices currently installed in Brazil (STRADOLINI *et al*, 2018).

The entire process is done in appropriate and secure information and image management system. If clinics or hospitals do not have the equipment to perform the exams, Portal allows the rental of these devices. Based on this, research has been done to improve the transmission of medical data and consequently positively impact the efficiency of telemedicine STRADOLINI *et al*, 2018).

6 | DISCUSSION

Telemedicine is therefore a way to speed up and also qualify the procedure and the delivery of reports of various tests. In a short time, the examination is carried out and the report is delivered to the patient, enabling the diagnosis and the beginning of treatment more quickly.

There are several advantages to the adoption of Telemedicine. One is the possibility of reducing distances. For patients, this technology allows them to have access to quality medicine and also to reference professionals, even though they are far from urban centers.

For the health system, there is a decentralization of care, reducing the demand for specialists and hospitals right at the beginning of care. With telemedicine, it is possible to take special care to more locations and at reduced costs. Resources can be allocated for disease prevention and treatment. Also, the greater exchange of information between health services contributes to the integration of clinical

research, expanding the knowledge of professionals working in the sector.

For doctors and other health professionals, there is a chance to participate in educational programs from anywhere in the country, in addition to the possibility of having the support of other professional colleagues when making decisions.

We highlight some of the benefits of telemedicine: Expands the contact between doctors and patients; Access to specialists and reference professionals; Facilitates the exchange of information between health services; Decreases the movement of patients to hospitals and large urban centers; Facilitates examinations, which can be done at clinics and health posts; Improves the quality of the reports issued and speeds up the delivery.

Especially because several specialties can be attended via telemedicine, including those with specificities of occupational health and occupational medicine. Examination and delivery of reports are carried out and interpreted at:

- Cardiology - electrocardiogram, Blood Pressure MAP, Holter Records;
- Neurology - occupational electroencephalogram; electroencephalogram with brain mapping;
- Pulmonology - spirometry exam, bronchodilation test;
- General Radiology - exams such as standard X-rays, mammograms; tomography; bone densitometry, magnetic resonances;
- Ophthalmology - Visual Acuity Exam to assess possible vision impairments and the ability to see clearly;
- Dermatology - following a specific protocol and the use of cameras, photographs are made possible injuries and skin disease patients.
- Hematology: Works carried out by Monteiro et al, using digital image processing and deep learning techniques in order to recognize and count blood cells, as is already done by conventional hematological equipment that is commonly based on cytometry techniques. flow, impedance, laser, among others. This study has performed blood cell counts employing digital blood smear images, which can be processed by computers and cell phones, eliminating the use of high-cost conventional equipment. Considering the practicality of cell phones, the exams can be transmitted to hematology professionals from remote locations, as well as to specialized centers and also directly to patients (MONTEIRO et al, 2017; MONTEIRO et al, 2018; MONTEIRO et al, 2019; BORGES MONTEIRO et al, 2019; MONTEIRO et al, 2020).

7 | THE REGULATION OF TELEMEDICINE

The application of telemedicine is regulated by the rules of the American Telemedicine Association (American Telemedicine Association), being recognized by the Federal Council of Medicine (CFM) and by Brazilian laws.

Initially, the Brazilian market initially adopted standards of ethics and service standards defined by international organizations, but from 2002, with the expansion and consolidation of services, national standards and resolutions were created to guide this type of work. In the country, the laws require that the company providing the service have a doctor in charge and also be registered with the Regional Council of Medicine, such as CREMESP in São Paulo. Law 1,643 of 2002 from CFM regulates telemedicine services as a medical modality in the country (LOPES; OLIVEIRA; MAIA, 2019).

The legislation says that services provided via telemedicine must have the appropriate technological infrastructure and comply with the CFM technical rules pertaining to the safekeeping, handling, data transmission, confidentiality, privacy, and a guarantee of professional secrecy. Besides, Law No. 12,842/2013, which includes the issuing of examination reports, reinforces that only doctors can issue the report at a distance (SAADE,2019; LOPES; OLIVEIRA; MAIA, 2019).

There are also other standards related to telemedicine services in Brazil, which deal with the storage of images and patient data. One is Resolution RDC/ANVISA No. 302 of 2005, of the National Health Surveillance Agency (Anvisa), which defines the custody of medical reports for five years, by the units that carry out the procedures. The legislation, added to CFM Resolution No. 1,821/07, implies that companies providing the telemedicine service have secure technological means for online storage of patient information (SAADE,2019; LOPES; OLIVEIRA; MAIA, 2019).

8 | TELEMEDICINE AND THE CORONAVIRUS (COVID-19) PANDEMIC

Today the world has experienced its newest pandemic. The new coronavirus (SARS-Cov-2) causes the disease called COVID-19, which started in China in December 2019. The disease is called COVID-19 (meaning Coronavirus Disease, number 19 referring to the year 2019, year of the onset of the disease). This is present in the saliva and human secretions of infected people, and can be transmitted even in the asymptomatic phase of the disease. Easy transmission occurs because this virus replicates in the nasal mucosa (SOHRABI *et al*, 2020).

Given its easy transmission, absence of effective pharmacological treatment, no vaccine, and low adherence to social isolation by some underdeveloped and developing countries, this virus has become a major threat to people with

immunosuppression, the elderly, and people with comorbidities, such as diabetes and hypertension. However, there are reports of patients affected by COVID-19 and without prerequisites for classification in a risk group, progressing to severe symptoms of the disease, and eventually dying (SOHRABI *et al*, 2020; SINGHAL,2020).

In this context, one of the populations most affected by this pandemic is the health professionals themselves, who, due to long working hours, and in some cases due to the lack of adequate personal protective equipment, have been affected by this pathology. In addition, patients who undergo continuous monitoring with doctors due to chronic diseases are often absent from periodic consultations, as they are afraid to attend hospital environments (SINGHAL,2020).

Another important point is that social isolation is an important tool against COVID-19, because, without the circulation of people in public environments and without the presence of agglomerations, the virus substantially loses its ability to infect a large number of people. However, social isolation has increased the number of people with the panic syndrome, anxiety, and depression (ARMITAGE, NELLUMS,2020).

We must also consider that patients affected by COVID-19 should be isolated from their families within their own homes. In addition, in more severe cases, where there is severe breathing difficulty, individuals are taken to intensive care units, where they remain in isolation, without the sight of family members. The isolation of patients often makes treatment difficult, as emotional factors always help in the recovery from illness (ARMITAGE, NELLUMS,2020).

Faced with all these scenarios, the key tool to solve all these difficulties has been telemedicine. Through telemedicine, patients with chronic diseases can be analyzed by their doctors through video conferences and sending exams through communication systems. In addition, individuals in social isolation who are experiencing symptoms of anxiety, depression, or panic syndrome, can go into remote consultations with qualified medical professionals and receive the most appropriate diagnosis and treatment (ZHOU *et al*, 2020).

In the case of people contaminated and kept in isolation inside their own homes or hospitals, they can talk to their family and friends using tablets and cell phones. This equipment has been distributed by health professionals and receives the correct sanitizations before and after its use (HOLLANDER; CARR, 2020).

Thus, telemedicine, which until a few years ago was so much discussed and even feared, became commonplace (ARTHUR *et al*, 2010; ARTHUR, 2011; ARTHUR, 2016; ARTHUR, 2017; MONTEIRO *et al*, 2018; BORGES MONTEIRO *et al*, 2019; MONTEIRO *et al*, 2020). In addition, we must consider that after the coronavirus pandemic, the public health system in Brazil and the world may suffer an overload. This is because people will no longer fear the disease and will seek medical

resources more often. Thus, to avoid overcrowding, telemedicine can continue to be used mainly to solve less severe cases.

9 | CONCLUSIONS

Despite all the advantages, many people are still afraid that telemedicine will become the norm and that all medical services will be provided remotely, without any direct contact with the patient. However, the idea is not to replace but to complement medical care, and help it overcome the obstacles created by the physical distance between the doctor and the patient.

In addition to aspects related to technologies, ethics, bioethics, clinical standards, etc., it is necessary to start and move forward in discussions regarding civil responsibilities for health services provided through interactive technologies, quality monitoring criteria, and professional remuneration.

Thus, telemedicine presents itself as a way to overcome cultural, socioeconomic, and mainly, geographical barriers, so that health services and information reach the entire population, whether in times of pandemic, or to serve less favored populations and with access difficulties. the medicine.

ACKNOWLEDGMENTS

We thanks to State University of Campinas – UNICAMP, Campinas, Brazil, and the Brazilian agencies CAPES and CNPq, that provided infrastructure and financial support to this research and publication.

REFERENCES

[1] WOOTTON, Richard; CRAIG, John; PATTERSON, Victor. **Introduction to telemedicine**. CRC Press, 2017.

[2] BASHSHUR, Rashid; SHANNON, Gary William. **History of telemedicine: evolution, context, and transformation**. New Rochelle, NY: Mary Ann Liebert, 2009.

[3] TEOLI, Dac; AEDDULA, Narothona R. **Telemedicine**. 2018.

[4] PATIDAR, Harshit et al. **History and Future Scope of Arpanet**. Tathapi with ISSN 2320-0693 is a UGC CARE Journal, v. 19, n. 22, p. 137-142, 2020.

[5] PALACIOS-MOYA, Lucia et al. **Trends and Evolution of Telemedicine Research: A Bibliometric Approach**. Indian Journal of Public Health Research & Development, v. 10, n. 12, p. 598-603, 2019.

[6] ALPAYDIN, Ethem. **Introduction to machine learning**. MIT Press, 2020.

- [7] GOODFELLOW, Ian; BENGIO, Yoshua; COURVILLE, Aaron. **Deep learning**. MIT Press, 2016.
- [8] JACKSON, Philip C. **Introduction to artificial intelligence**. Courier Dover Publications, 2019.
- [9] BHATT, Chintan; DEY, Nilanjan; ASHOUR, Amira S. (Ed.). **Internet of things and big data technologies for next-generation healthcare**. 2017.
- [10] MISRA, Sudip; SARKAR, Subhadeep; CHATTERJEE, Subarna. **Sensors, Cloud, and Fog: The Enabling Technologies for the Internet of Things**. CRC Press, 2019.
- [11] MALDONADO, Jose Manuel Santos de Varge; MARQUES, Alexandre Barbosa; CRUZ, Antonio. **Telemedicine: challenges to dissemination in Brazil**. Cadernos de saude publica, v. 32, p. e00155615, 2016.
- [12] COMBI, Carlo; POZZANI, Gabriele; POZZI, Giuseppe. **Telemedicine for developing countries**. Applied clinical informatics, v. 7, n. 04, p. 1025-1050, 2016.
- [13] SIMOES, N. et al. **National Research and Education Networks to support telemedicine and telehealth**. Journal of the International Society for Telemedicine and eHealth, v. 4, p. e8 (1-6), 2016.
- [14] DELEVIDOVE DE LIMA VERDE BRITO, Thiago et al. **Collaboration between medical professionals: special interest groups in the Brazilian Telemedicine University Network (RUTE)**. Telemedicine and e-Health, v. 25, n. 10, p. 902-910, 2019.
- [15] HARZHEIM, Erno et al. **Guia de avaliação, implantação e monitoramento de programas e serviços em telemedicina e telessaúde**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Hospital Alemão Oswaldo Cruz, 2017.
- [16] DE MELO, Maria do Carmo Barros et al. **Belo Horizonte telehealth: incorporation of teleconsultations in a health primary care system**. Telemedicine and e-Health, v. 24, n. 8, p. 631-638, 2018.
- [17] PENTEADO, Silvio Pires; BENTO, Ricardo Ferreira. **Hearing rehabilitation through telemedicine to enhance public policies in Brazil**. Einstein (São Paulo), v. 9, n. 1, p. 102-104, 2011.
- [18] FRANÇA, Reinaldo Padilha et al. **Potential proposal to improve data transmission in healthcare systems**. In: Deep Learning Techniques for Biomedical and Health Informatics. Academic Press, 2020. p. 267-283.
- [19] FRANÇA, Reinaldo Padilha et al. **Potential Proposal to Improvement of the Data Transmission in Healthcare Systems**. 2019.
- [20] FRANÇA, Reinaldo Padilha et al. **A Methodology for Improving Efficiency in Data Transmission in Healthcare Systems**. In: Internet of Things for Healthcare Technologies. Springer, Singapore. p. 49-70, 2020.
- [21] FRANÇA, Reinaldo Padilha et al. **Lower Memory Consumption for Data Transmission in Smart Cloud Environments With CBEDE Methodology**. In: Smart Systems Design, Applications, and Challenges. IGI Global, 2020. p. 216-237.

- [22] PADILHA, Reinaldo et al. **Computational Performance of an Model for Wireless Telecommunication Systems with Discrete Events and Multipath Rayleigh**. In: Brazilian Technology Symposium. Springer, Cham, 2017. p. 193-203.
- [23] PADILHA, Reinaldo França et al. **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.
- [24] ALAMI, H. et al. **Telemedicine System and Network**. Telemedicine System and Network, p. 312, 2018.
- [26] HASLWANTER, Jean D. Hallewell. **Review of Telecare Technologies for Older People**. In: International Conference on Computers Helping People with Special Needs. Springer, Cham, 2018. p. 407-415.
- [27] DAVID, Yadin. **Telehealth, telemedicine, and telecare**. In: Clinical Engineering Handbook. Academic Press, 2020. p. 550-555.
- [28] BARBOSA, Diogo Jacintho. **Using Tele-Education for Professional Training in Mental Health Primary Care in Brazil**. Journal of the International Society for Telemedicine and eHealth, v. 5, p. (GKR); e4:(1-3), 2017.
- [29] BAKER, John; STANLEY, Anthony. **Telemedicine technology: a review of services, equipment, and other aspects**. Current Allergy and asthma reports, v. 18, n. 11, p. 60, 2018.
- [30] ALKMIM, Maria Beatriz et al. **Brazilian National Service of Telediagnosis in Electrocardiography. Studies in health technology and informatics**, v. 264, p. 1635-1636, 2019.
- [31] STRADOLINI, Francesca et al. **IoT for telemedicine practices enabled by an Android™ application with cloud system integration**. In: 2018 IEEE international symposium on circuits and systems (ISCAS). IEEE, 2018. p. 1-5.
- [32] Monteiro, A. C. B., Iano, Y., & França, R. P. (2017, December). **Detecting and counting of blood cells using watershed transform: an improved methodology**. In Brazilian Technology Symposium (pp. 301-310). Springer, Cham.
- [33] MONTEIRO, Ana Carolina Borges; IANO, Yuzo; FRANÇA, Reinaldo Padilha. **An improved and fast methodology for automatic detecting and counting of red and white blood cells using watershed transform**. VIII Simpósio de Instrumentação e Imagens Médicas (SIIM)/VII Simpósio de Processamento de Sinais da UNICAMP, 2017.
- [34] MONTEIRO, Ana Carolina Borges et al. **A Comparative Study Between Methodologies Based on the Hough Transform and Watershed Transform on the Blood Cell Count**. In: Brazilian Technology Symposium. Springer, Cham, 2018. p. 65-78.
- [35] MONTEIRO, Ana Carolina Borges et al. **Development of a laboratory medical algorithm for simultaneous detection and counting of erythrocytes and leukocytes in digital images of a blood smear**. In: Deep Learning Techniques for Biomedical and Health Informatics. Academic Press, 2020. p. 165-186.
- [36] MONTEIRO, Ana Carolina Borges et al. **Applied Medical Informatics in the Detection and Counting of Erythrocytes and Leukocytes through an Image Segmentation Algorithm**. SET INTERNATIONAL JOURNAL OF BROADCAST ENGINEERING, v. 5, p. 7, 2020.

- [37] BORGES MONTEIRO, Ana Carolina et al. **Medical-Laboratory Algorithm WTH-MO For Segmentation of Digital Images of Blood Cells: A New Methodology for Making Hemograms**. International Journal of Simulation--Systems, Science & Technology, v. 20, 2019.
- [38] MONTEIRO, Ana Carolina Borges et al. **Proposta de uma metodologia de segmentação de imagens para detecção e contagem de hemácias e leucócitos através do algoritmo WT-MO**. 2019.
- [39] LOPES, Marcelo Antônio Cartaxo Queiroga; OLIVEIRA, Gláucia Maria Moraes de; MAIA, Luciano Mariz. **Saúde digital, direito de todos, dever do Estado?**. Arquivos Brasileiros de Cardiologia, v. 113, n. 3, p. 429-434, 2019.
- [40] SAADE, Débora Christina Muchaluat. **Telemedicina no Brasil: Nova Regulamentação Incentiva Pesquisa e Inovação em Soluções Seguras para Saúde Digital**. Journal of Health Informatics, v. 11, n. 1, 2019.
- [41] SOHRABI, Catrin et al. **World Health Organization declares global emergency: A review of the 2019 novel coronavirus (COVID-19)**. International Journal of Surgery, 2020.
- [42] SINGHAL, Tanu. **A review of coronavirus disease-2019 (COVID-19)**. The Indian Journal of Pediatrics, p. 1-6, 2020.
- [43] ARMITAGE, Richard; NELLUMS, Laura B. **COVID-19 and the consequences of isolating the elderly**. The Lancet Public Health, v. 5, n. 5, p. e256, 2020.
- [44] ZHOU, Xiaoyun et al. **The role of telehealth in reducing the mental health burden from COVID-19**. Telemedicine and e-Health, v. 26, n. 4, p. 377-379, 2020.
- [45] HOLLANDER, Judd E.; CARR, Brendan G. **Virtually perfect? Telemedicine for COVID-19**. New England Journal of Medicine, v. 382, n. 18, p. 1679-1681, 2020.
- [46] ARTHUR, A. M., Vanini, T. M., Lima, N. M., Iano, Y., & Arthur, R. (2010). **Tratamentos fisioterapêuticos em pacientes pós-AVC: uma revisão do papel da neuroimagem no estudo da plasticidade neural**. Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde, 14(1), 187-208.
- [47] ARTHUR, R. (2007). **Novas propostas para otimização de receptores de TV digital baseados em OFDM em ambientes de redes de frequência única regionais**.
- [48] ARTHUR, A. M. (2012). **Contribuições para segmentação e análise de características de imagens de alta resolução da retina humana**.
- [49] ARTHUR, A. M., Iano, Y., Turuda, P. D., Larico, R. F., & Arthur, R. (2011). **Técnicas de análise da retina humana: revisão breve sobre os recursos e as renovações propedêuticas disponíveis à prevenção e o diagnóstico precoce das complicações vasculares da retina associadas às doenças sistêmicas**. Ensaios e Ciência, 15(4).
- [50] ARTHUR, A. M., Arthur, R., Silva, A. G., Fouto, M. S., Iano, Y., & Faria, J. M. L. D. (2017). **Algorithm for predicting macular dysfunction based on moment invariants classification of the foveal avascular zone in functional retinal images**. Research on Biomedical Engineering, 33(4), 344-351.
- [51] ARTHUR, A. M. (2016). **Contribuições para medidas de eficiência de protocolos fisioterapêuticos e exercícios físico e diagnóstico automático de patologias usando imagens de alta resolução da retina humana**.

Data de aceite: 26/08/2020

Jézer Oliveira Pedrosa

School of Technology (FT)
State University of Campinas (UNICAMP)
Campinas – SP
orcid.org/0000-0002-9843-9761

Júlio Cesar Pereira

School of Technology (FT)
State University of Campinas (UNICAMP)
Limeira – SP

Ana Carolina Borges Monteiro

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

Reinaldo Padilha França

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

Yuzo Iano

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

Rangel Arthur

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

ABSTRACT: This work aims to create a current signal database of domestic loads and proposes a technique for identifying such loads, necessary steps for the disaggregation of loads in the Smart-grid context. The disaggregation of the proposed technique is based on the use of neural networks and wavelet transform. The identification of electrical loads aims to discover what equipment is connected to utility power. Thus, it is possible to calculate separately for each device is consuming electricity. The results obtained from the information derived from the proposed algorithms are discussed and presented. The algorithms processing and load identification by wavelet and neural networks were developed using the MATLAB environment. The results prove the efficiency of the proposed technique.

KEYWORDS: Disaggregation of loads, SMART GRID, Neural Networks and Wavelet transform.

1 | INTRODUCTION

World development is directly linked to world demand for electricity. Often this growth is slowed by the lack of energy. Waste, indiscriminate use, or even ignorance of the consumption of electrical equipment in a home can be listed as some of the important causes of the lack of electricity in the world (KUMAR; DAHIYA, 2017).

In addition, in recent years an irregular distribution of rainfall has been observed in Brazil, causing the reservoirs to remain at low levels and requiring the operation of thermal

plants, which generate high levels of pollution (DA SILVA TABOSA, et al 2019).

The so-called “smart” cities are among the main aspirations of modern society. Among the premises of the “smart cities” are the interconnection of communication systems, the monitoring of services, and the rational and optimized use of energy. In addition to the concept of “smart cities”, the concept of smart grid or Smart Grid appears. This concept is broad and can be approached from different aspects, but always in order to ensure, efficiently and economically, a sustainable energy system with low losses and high levels of quality and security of supply (SILVA 2018; TUBALLA; ABUNDO, 2016).

The introduction of the Smart Grid concept produces a convergence between the energy generation, transmission and distribution infrastructure, and the digital communications and data processing infrastructure. The latter functions as an Internet of Equipment, interconnecting the so-called IEDs (Intelligent Electronic Devices) and exchanging information and control actions between the various segments of the electrical network. This convergence of technologies will require the development of new methods of control, automation, and optimization of the operation of the electrical system, with a strong tendency to use distributed problem-solving techniques based on the use of multi-agents. Electric power utilities in Brazil necessarily need to prepare for this convergence (KOVAL, 2017; TALARI et al, 2017)

In addition to the accurate measurement of energy consumption at consumer units, it has also been a factor of concern for energy concessionaires to determine the energy quality indexes that it supplies, according to Resolution No. 424 of December 17, 2010, from the National Energy Agency Electricity - ANEEL. Thus, it is essential to develop systems that can maintain continuous monitoring of the electrical quantities of the distribution network at various points of it and also that are capable of efficiently signaling possible failure events and their location (MORAES, 2018).

Thinking about the end-user, the electric bill at no time discriminates how much each electrical equipment in the residence consumed and the effect of that on the electric bill. This could be an efficient way to encourage changes in habits and/or the replacement of equipment with others of lower consumption. Based on this principle, this study proposes a method to analyze and identify the main electrical charges in a home.

For this, a new algorithm is proposed for the disaggregation of charges based on the current measurement of electrical equipment in a home. A database was created to train the main loads present in Brazil and a method that uses Wavelet transform coefficients and neural networks allows the load to be distinguished.

2 | METHODOLOGY

2.1 Acquisition of signals

It was necessary to create a database of waveforms with different loads of electronic devices for domestic use, since a database with free and reliable distribution was not found. From this, an Agilent® 1146A claw-shaped oscilloscope probe was acquired, which has a sensitivity given by the manufacturer to 100 mA.

The oscilloscope used was one from Agilent, model Agilent DSO-254A that has a Windows operating system. The signals were then visualized and recorded, using the rate of 20 KSa/s (kilo-samples per second), which represents 333.3 samples for each acquired 60Hz cycle. For that, some of the main electronic devices were chosen to create the base

Equipment	Wattage
Compact Fluorescent Lamp – Taschibra	15W
Laptop – Positivo	65W
microsystem working with CD – Philco	12,5W
microsystem working with radio at high volume - Philco	
microsystem working with radio at low volume - Philco	
14" television on – LG	65W
14" standby television – LG	
blender at speed 1 - Walita	350W
blender at speed 2 - Walita	
blender at speed 3 - Walita	
incandescent lamp - Philips	15W
incandescent lamp - Philips	40W
incandescent lamp - Philips	60W
refrigerator - Consul	300W
maximum fan - Arno	50W
minimum fan - Arno	
toaster - British	850W
shower in the summer position - Lorenzetti	4600W
shower in the winter position - Lorenzetti	5500W
Air conditioner - York	7000BTU

Table 1: Equipment used in the tests

The current signals were extracted from each device working independently and also some combinations of the signals of two loads or more loads working simultaneously. The latter allowed us to observe the effect of harmonics in the

measurement of loads. In addition, it made it possible to compare current signals provided by various loads in the network and the sum of the loads working individually.

In this way, small-time intervals of the waveforms found for each case are presented, respecting the sampling rate of 20kSa / s. The acquired signals had a total of 131,072 points, which is equivalent to approximately 6.55s.

As expected, electronic equipment (electronic lamp, microsystem, laptop, television, and blender) has harmonic components. The same behavior occurs when these non-linear loads work together with the linear ones. On the other hand, the incandescent lamps, the refrigerator, the fan, the toaster, and the shower, and the sum of some of these loads presented only the predominant component of 60 Hz.

Following the current graphs of the measuring equipment, individually and in aggregate. The work can be separated into two stages, in the first stage the entire lifting of the currents of the selected loads is done and training of the neural network, as shown in Figure 39. The second stage is related to the simulation to identify the loads, Figure 1 shows the block diagram representing the phases developed in this step.

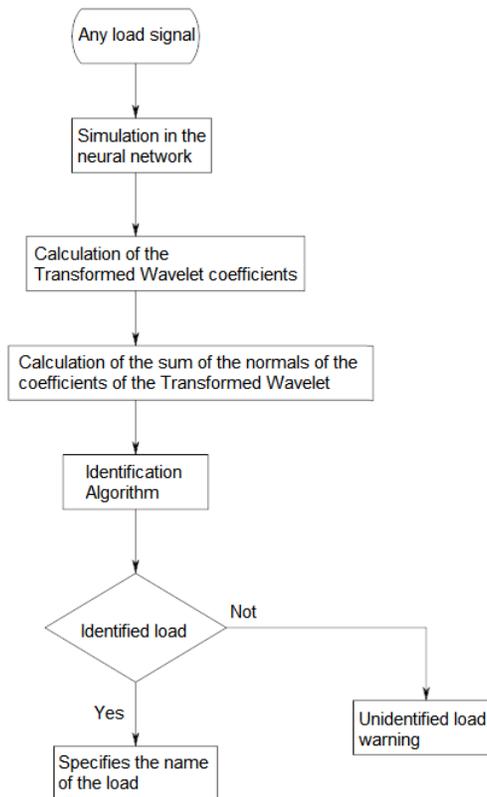


Figure 1. Simulation for identification of electrical charges

After surveying the currents for each selected appliance, the experimental part corresponded to the execution of three programs developed in Matlab® to identify these electrical charges.

The first program uses a neural network in the backpropagation configuration, which corresponds to the most used standard configuration, with two layers, the first layer is composed of 8 neurons. The first tests started with 2 neurons and later there was an increase until the smallest possible difference between the signal returned by the network and the standard target signal was reached, this result was achieved with 8 neurons.

The backpropagation algorithm was chosen because it is responsible for looking for the minimum difference between the desired outputs (target) and the outputs obtained by the neural network (network response), with the minimum of error. The algorithm adjusts the weights between the layers of the error propagation found in each iteration (MOREIRA et al, 2017; ADIGUN; KOSKO, 2019).

From the original signal with 131,072 points, three signals (P, T, and S) were created each with 2670 points to characterize 8 cycles, an empirical definition. To give exactly 256 samples per cycle, with 8 cycles, which would result in 2048 samples and a rate of 15.36kHz. As the currents were acquired at a rate of 20kSa/s, each signal is getting 2670 to achieve 8 cycles in the visual of the graph.

The P and T signals are used to create and train the network, then the S signal is used to simulate the network. The resulting signal Y corresponds to the signal that the neural network returns as a result of the simulation. In other words, the S signal is the signal submitted to the network and the Y signal is the signal returned by the network.

After that, the second program is executed to extract the coefficients of the tested signal, being an approximation coefficient and 3 detail coefficients. Thus, each signal can be represented by its coefficients of the wavelet transform.

The wavelet transform was chosen because it is a tool known for its characteristic of decomposing functions and reconstructing them again. Discrete wavelets were chosen and, due to their simplicity, the Haar wavelet was used, also known as a special case of the Daubechies wavelet, which is widely used in many applications, especially in pattern recognition (LEAL, 2017; ZHANG, 2019; DAUBECHIES, 2016).

As some signs resulted in very close coefficients, thus making it difficult to identify the loads, it was decided to calculate the sum of the coefficients norm in an attempt to obtain different values for close coefficients, thus facilitating the identification process. Thus, it was possible to increase the difference between similar coefficients.

This calculation was performed by the third program, which then compares

this value with a database assembled from the sum of the norms of the wavelet coefficients of “standard” signals for each load. This signal corresponds to the T signal, used as a target in the neural network. In this way, it is possible to know whether the signal coming from the neural network (signal Y) really corresponds to the signal being measured (signal S). In the identification an error of 1% is allowed between the compared signals, if the error is greater the algorithm will return that it was not possible to identify the load

3 | RESULTS AND DISCUSSION

In all tests performed with the loads measured individually, the algorithm was able to correctly identify the load within the stipulated tolerance of 1%.

In tests with the sum of the signs, identification is possible, increasing the tolerance to 2%, 3%, and 11%, depending on the sign. But as tolerance is increased, the previously correctly identified signals begin to become confused.

After simulating all loads, the results were promising, since the algorithm was able to identify all measured loads, as well as sets of loads measured at the same time, assuming an error of 1% between the simulated load and the load standard.

However, the algorithm requires more study and detail when it comes to identification simulations based on the sum of individual signals. The results for these tests are summarized in Table 2.

Simulated load	Tolerance	Identified
15W compact lamp + 40W incandescent lamp + 60W incandescent lamp	Yes	1%
Compact 15W lamp + 40W incandescent lamp	Yes	2%
40W incandescent lamp + 60W incandescent lamp	Yes	3%
15W compact lamp + 60W incandescent lamp	Yes	11%
60W incandescent lamp + microsystem playing CD	Not	-

Table 2: Identification of added loads

Figures 2 to 9 show the comparisons between the graph of the signal submitted to the neural network, to be identified, and the graph of the signal returned by the neural network. This signal is submitted to the algorithm to be identified.

Figures 2 to 4 show the graphs of the individual load signals as an example of loads that were identified perfectly within the tolerance.

Figures 6 to 8 show the graphs of the sum of the individual waveforms mentioned above in Table 1, in order to compare with the signal measured directly on the network with these loads in operation.

In all graphites, the abscissa corresponds to the number of samples and in the ordinate the current in Ampere

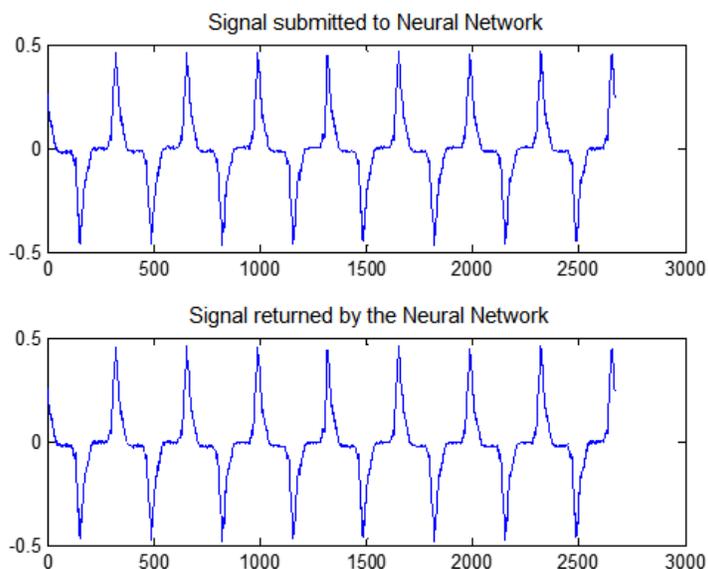


Figure 2. 15W compact fluorescent lamp

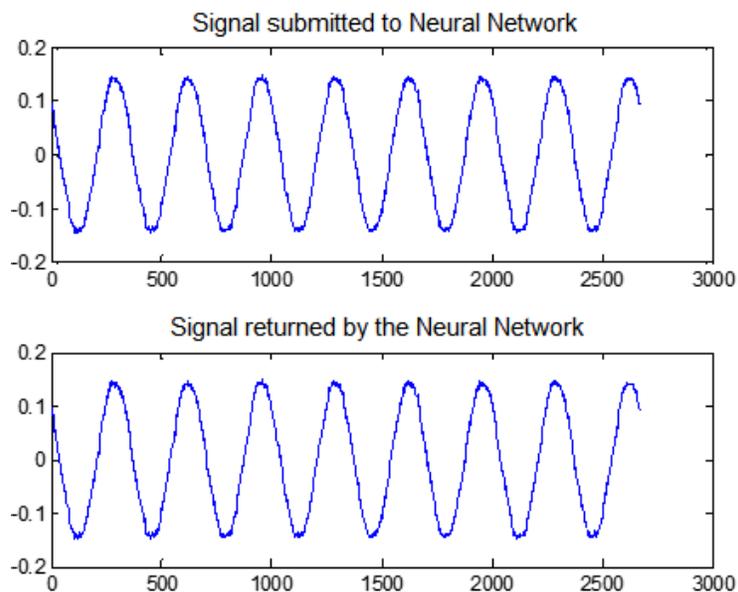


Figure 3. 15W incandescent lamp

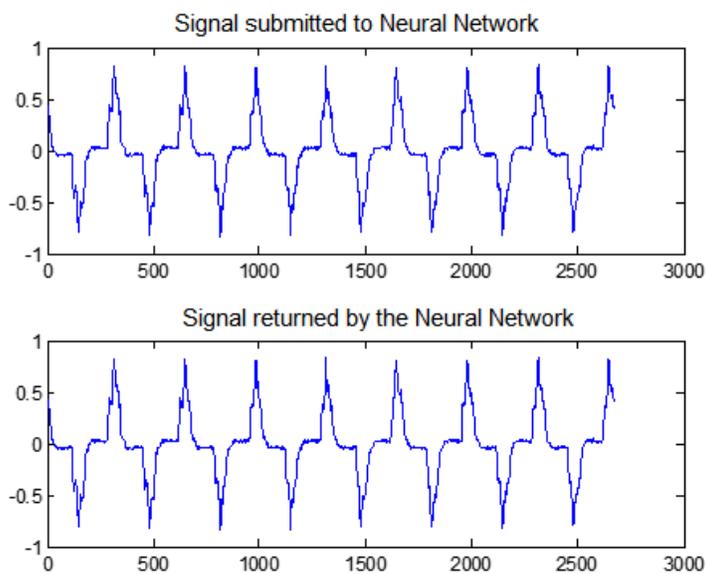


Figure 4. Laptop

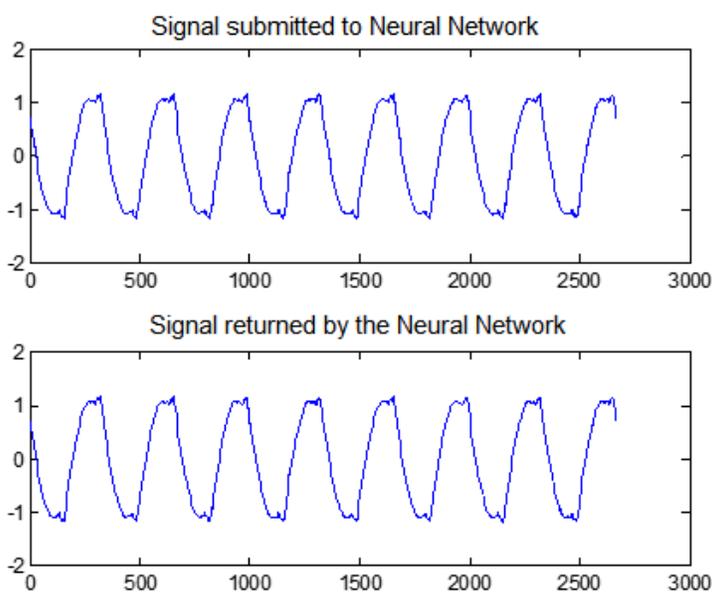


Figure 5. 15W compact fluorescent lamp + 40W incandescent lamp + 60W incandescent lamp

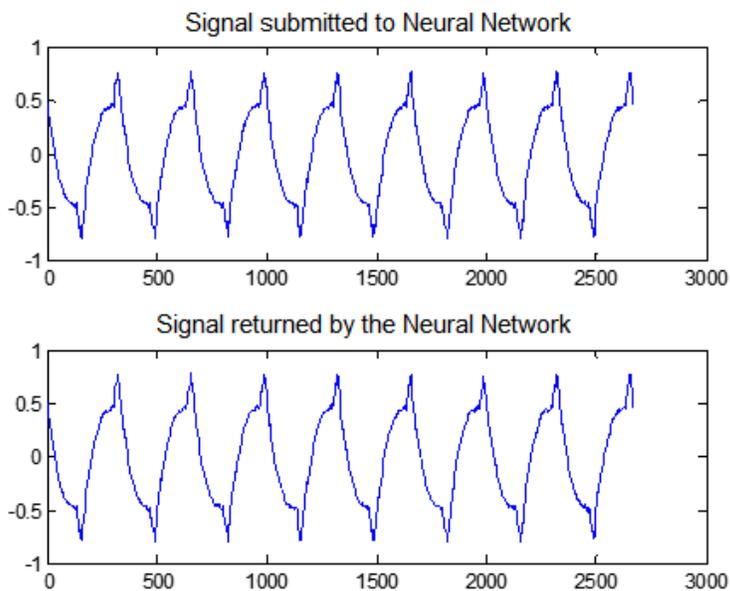


Figure 6. 15W compact fluorescent lamp + 40W incandescent lamp

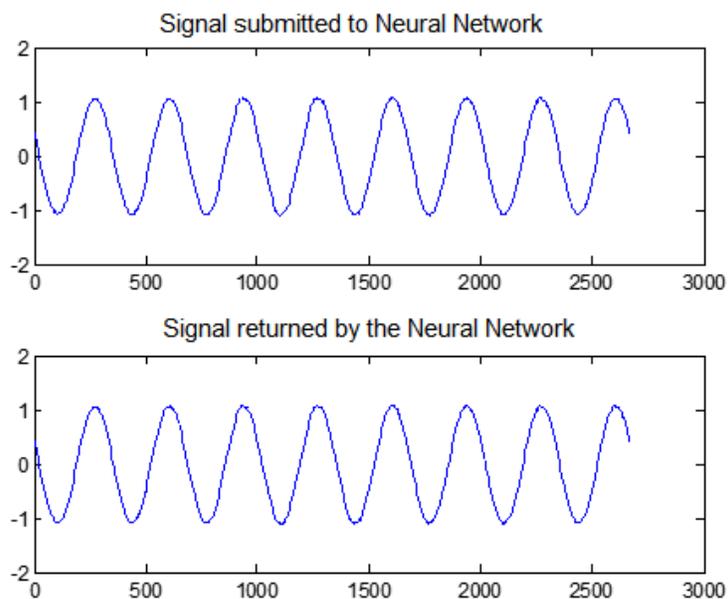


Figure 7. 40W incandescent lamp + 60W incandescent lamp

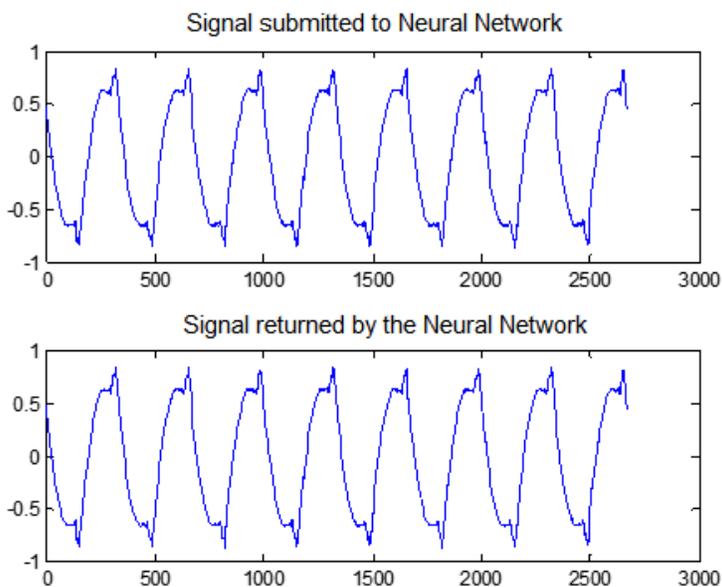


Figure 8. 15W compact fluorescent lamp + 60W incandescent lamp

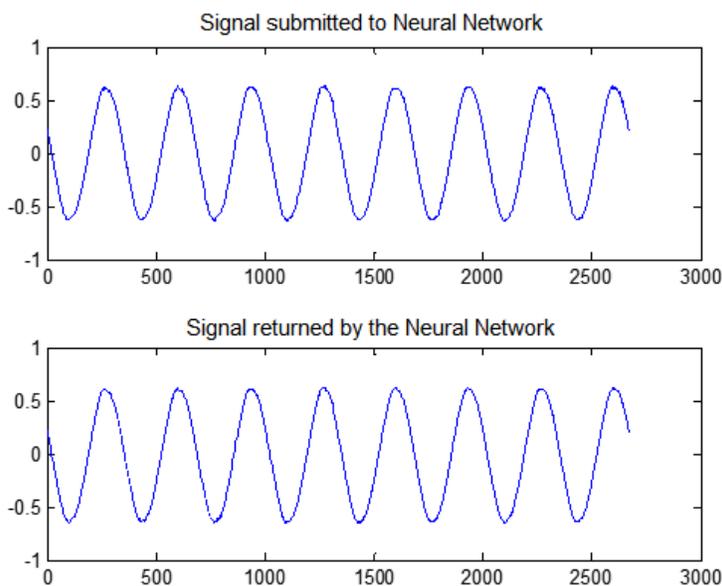


Figure 9. 60W incandescent lamp + microsystem playing CD

It can be noted that although the visual differences are not significant, the process was not able to identify within the smallest tolerance, showing, even more, the influence of one load on another in the measurement process.

This fact was relevant to the cargo identification process that was treated throughout the work.

4 | CONCLUSIONS

In this work, a database of domestic load current signals was created and a new methodology for the processing, identification, and disaggregation of loads was also proposed. The proposed methodology involves the extraction of coefficients by the wavelet transform and the training based on neural networks. Due to the influence of one load on the waveform of the other, it was proposed to train the neural networks using a combination of individual loads activated automatically. The proposal is related to the concept of Smart Grid and allows fine monitoring of the use of equipment in homes, which is very important mainly due to drought problems and, therefore, low production of electricity.

The database created and made available to the academic community represents an achievement in the area, since there is no such free and carefully obtained basis. It is hoped that this base will also be useful for other researchers, so that they can go directly to the identification techniques. This database is composed of files in the “txt” format with samples of the currents of the measuring equipment.

The disaggregation task is complex and worsens in the presence of non-linear loads, where the harmonics generated by one device modify the behavior of the signals measured in others. One of the reasons for this is the lack of filters in the devices manufactured in Brazil, since the country’s legislation is not strict in this sense. Thus, the sum of the signals considering loads connected individually differs from the loads working simultaneously.

The use of relays could be employed for the typical activation of home automation systems, but which will allow the obtainment of signals with the equipment connected in isolation and simultaneously.

The analysis made in this work was static and the transitional periods were not considered. The results found, from the created database, proved to be efficient, in which all cases the isolated and combined loads were recognized.

As future work, it is planned to do tests with other wavelet functions and to characterize the transitional periods. It is also intended to conduct tests in homes, if possible, with automation systems installed, with different types of loads. It is planned to enrich the database with new loads and, still, with lower powers. Finally, it is intended to create a product where the entire process of identification and discrimination of loads can be coupled to the measurement clock of the houses.

REFERENCES

- [1] KUMAR, TM Vinod; DAHIYA, Bharat. **Smart economy in smart cities**. In: Smart Economy in Smart Cities. Springer, Singapore, 2017. p. 3-76.
- [2] DA SILVA TABOSA, Francisco José et al. **ANÁLISE DA DEMANDA POR ENERGIA ELÉTRICA NO MEIO RURAL DO BRASIL**. Planejamento e Políticas Públicas, n. 52, 2019.
- [3] SILVA, Fernando A. **Smart Grid Handbook [Book News]**. IEEE Industrial Electronics Magazine, v. 12, n. 1, p. 59-60, 2018.
- [4] TUBALLA, Maria Lorena; ABUNDO, Michael Lochinvar. **A review of the development of Smart Grid technologies**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 59, p. 710-725, 2016.
- [5] KOVAL, Rory A.; TANG, Xinlu. **Devices, systems and methods for upgrading firmware in intelligent electronic devices**. U.S. Patent Application n. 15/332,447, 9 (Fevereiro de 2017).
- [6] TALARI, Saber et al. **A review of smart cities based on the internet of things concept**. Energies, v. 10, n. 4, p. 421, 2017.
- [7] MORAES, Felipe Augusto Cardoso. **Impacto econômico das bandeiras tarifárias nos processos tarifários das distribuidoras de energia elétrica**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada-IPEA, 2018.
- [8] MOREIRA, Artur Ferreira et al. **Utilização de uma Rede Neural Artificial como Algoritmo de Controle de um Robô Ackerman em Ambiente Simulado**. Mostra Nacional de Robótica., 2017.
- [9] ADIGUN, Olaoluwa; KOSKO, Bart. **Bidirectional backpropagation**. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 2019.
- [10] LEAL, Mônica Maria. **Proteção de sobrecorrente direcional utilizando transformada wavelet**. 2017. Dissertação de Mestrado. Brasil.
- [11] ZHANG, Dengsheng. **Wavelet transform**. In: Fundamentals of Image Data Mining. Springer, Cham, 2019. p. 35-44.
- [12] DAUBECHIES, Ingrid (Ed.). **Different perspectives on wavelets**. American Mathematical Soc., 2016.

CAPÍTULO 3

COMPUTAÇÃO DE ALTO DESEMPENHO E DINÂMICA MOLECULAR

Data de aceite: 26/08/2020

Fábio Andrijauskas

Universidade São Francisco
Itatiba - SP

<http://lattes.cnpq.br/7771878233635494>

Glaucilene Ferreira Catroli

UNICAMP
Campinas - SP

<http://lattes.cnpq.br/4914553972592247>

RESUMO: A ciência é um motor essencial para os avanços de toda a humanidade e a utilização dessa poderosa ferramenta é possível criar diversos modelos. Um desses modelos é a simulação computacional que permite prever, entender e fazer a ciência avançar de diversas formas. Um dos tipos de simulação computacional é a dinâmica molecular, pela qual é possível compreender o comportamento de átomos e moléculas nos mais diversos cenários. Esse entendimento atomístico ajuda na produção de novos materiais, fármacos, vacinas e diferentes outros alvos. Para que seja possível utilizar a dinâmica molecular, é necessário grande poder computacional, nesse momento e que a dinâmica molecular precisa da computação de alto desempenho. A união da dinâmica molecular com a computação de alto desempenho é uma poderosa ferramenta rumo à novas e promissoras descobertas.

PALAVRAS-CHAVE: Dinâmica molecular, computação de alto desempenho, fármacos.

HIGH PERFORMANCE COMPUTING AND MOLECULAR DYNAMICS

ABSTRACT: Science is an essential engine for the advances of all humanity and the use of this powerful tool is possible to create several models. One of these models is computer simulation that allows to predict, understand, and advance science in different ways. One of the types of computer simulation is molecular dynamics, by which it is possible to understand the behavior of atoms and molecules in the most diverse scenarios. This atomistic understanding helps in the production of new materials, drugs, vaccines, and different other targets. To be able to use molecular dynamics, a larger computational power is needed, at that moment when molecular dynamics needs the high performance computing. The union of molecular dynamics with high performance computing is a powerful tool towards new and promising discoveries.

KEYWORDS: Molecular dynamics, high-performance computing, drugs.

1 | INTRODUÇÃO

Durrant *et al.* (2011) apresentam a citação do vencedor do Prêmio Nobel *Richard Feynman*:

"se nomearmos a suposição mais poderosa de todas, o que nos leva a tentar entender a vida, é que todas as coisas são feitas de átomos e que tudo o que as coisas vivas fazem pode ser entendido em termos de os *jiggings* e *wiggings* dos átomos."

Para entender o comportamento da matéria, dos seres vivos e todos os elementos do universo, é necessário utilizar uma ferramenta muito poderosa, chamada ciência. A ciência tem por objetivo, entre outros, investigar e compreender mecanismos naturais que poderão servir de base para o desenvolvimento de metodologias inovadoras, fármacos, novos materiais e diversos outros avanços. Para a prática científica, é possível utilizar uma abordagem teórica, com base apenas no conhecimento e modelos estabelecidos ao longo do tempo e, a partir deles, produzir novas descobertas. De outra maneira, pode-se utilizar os métodos experimentais, quando técnicas experimentais e equipamentos são elaborados sobre uma base teórica e utilizados a investigação de hipóteses e ideias com potencial para a produção de novos conhecimentos. Numa terceira abordagem, são as simulações em computador, utilizando uma base teórica, que permitem a criação de um novo ambiente dentro do universo computacional, ampliando a variabilidade dos testes experimentais que podem ser utilizados em uma investigação científica (Kaufmann e Smarr, 1992). No entanto, essa abordagem técnica-experimental utiliza diversos itens e equipamentos consumíveis, muitas vezes com altos custos. Porém, já é possível diminuir ou mesmo eliminar os custos experimentais com o uso da simulação de dinâmica molecular (DM).

2 | DINÂMICA MOLECULAR

Simulações de dinâmica molecular são técnicas bastante utilizadas para estudar o comportamento dos materiais, determinando o movimento dos átomos (Rapaport, 2004). Essas simulações podem prever o comportamento dos materiais em diferentes condições de temperatura, pressão e solvatação, sem a necessidade da realização de experimentos físicos (Alessandrini, 2015). Para isso faz-se necessário o uso de computadores. Atualmente, os computadores têm um papel importante na rotina de todos, mesmo quando tarefas simples precisam ser executadas. Em se tratando de ciência, além da teoria e dos experimentos as simulações por computador são consideradas atualmente o terceiro pilar importante do “fazer ciência” e aparecem como ferramentas poderosas, capazes de prever resultados de experimentos, principalmente daqueles que precisariam ser realizados em condições ambientais extremas, como altas temperaturas ou altas pressões. Simulações computacionais podem até mesmo fornecer a perspectiva dos custos de realização de um teste real (Hollingsworth e Dror, 2018).

Compreender e simular o comportamento dos átomos é uma tarefa importante na ciência dos materiais, fundamental para prever novas propriedades, desenvolver novos materiais e novos medicamentos. Por exemplo, enquanto a indústria farmacêutica gasta cerca de US \$ 50 bilhões anualmente na pesquisa de

fármacos, esse investimento resulta apenas em 20 novos medicamentos, em média (Munos, 2009). Assim, simulações em computador foram projetadas para acelerar o processo de desenvolvimento de medicamentos e outros materiais, visando a economia de tempo e dinheiro (Doshi e Hamelberg, 2015). A aceleração da pesquisa científica levou a recentes avanços na compreensão dos mecanismos moleculares e celulares da dor. Kasimova *et al.* 2014, por exemplo, obteve informações sobre a modulação do canal de íons dependentes Kv1.2 - canais celulares relacionados às vias de sinalização relacionadas à dor. Filizola, 2019 simularam o comportamento de alguns receptores e, com base na compreensão da interação receptor-ligante, propuseram novas abordagens mais eficientes para o uso de medicamentos opioides direcionados alívio de condições dolorosas.

Usando simulações de DM, um pesquisador pode obter informações sobre como um sistema real se comporta dentro do potencial de interação realista, mas para executar uma simulação de DM, algumas etapas precisam ser seguidas. A figura 1 apresenta esses passos: **1** - Usar um campo de força para o tipo de átomo; **2** - Calcular a força com base no campo de força; **3** - Integração numérica para calcular a velocidade e a posição do átomo.

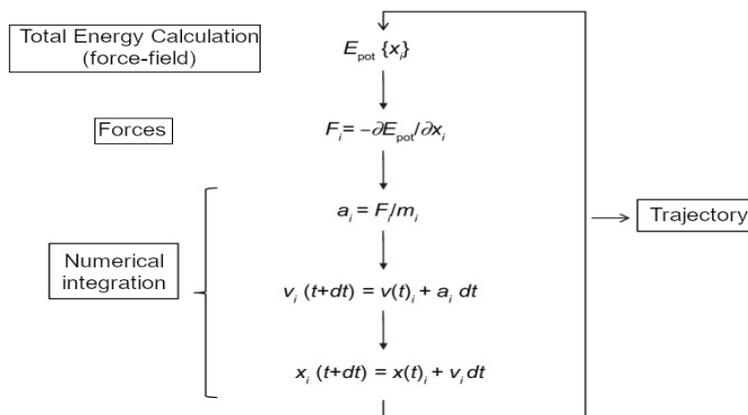


Figura 1: Dinâmica molecular e seus passos (Gelphi, 2015).

O potencial de interação desempenha um papel crucial nas simulações clássicas de DM. Esses potenciais são aproximações ou representações clássicas de potenciais quânticos. Como os núcleos são muito mais pesados que os elétrons (aproximação de Born-Oppenheimer), o movimento dos núcleos pode ser tratado independentemente do movimento dos elétrons. Assim, a trajetória das partículas (núcleos) é determinada pela paisagem de energia criada pelos elétrons. Geralmente, o cenário energético é descrito por expressões analíticas que dependem do tipo de interação. Por exemplo, o potencial de Morse é uma boa aproximação para a

interação entre dois átomos.

Em geral, as interações inter e intramoleculares são incorporadas através de expressões analíticas no potencial total de interação. O conjunto das expressões e de seus parâmetros é conhecido como campo de força. O potencial V a seguir, representa um campo de força que descreve o alongamento da ligação, deformações angulares e de torção (termos ligados), van der Waals e interações eletrostáticas (termos não ligados).

$$\begin{aligned}
 V = & \sum_{\text{bond}} K_r (r - r_0)^2 + \sum_{\text{angle}} K_\theta (\theta - \theta_0)^2 \\
 & + \sum_{\text{torsion}} V_n [1 - (-1)^n \cos(n\phi + \gamma_n)] \\
 & + \sum_{i,j} 4\epsilon_{ij} [(\sigma_{ij}/r_{ij})^{12} - (\sigma_{ij}/r_{ij})^6] + q_i q_j / (4\pi\epsilon_0 r_{ij})
 \end{aligned}$$

Para resolver o movimento das partículas, são necessários tamanhos de intervalo de tempo de 1 femtosegundo. O uso desse pequeno intervalo de tempo requer muitas etapas de integração para atingir um tempo realista da ordem de microssegundo – milissegundo. Enquanto o aumento da potência computacional (operações de memória e flutuantes por segundo) da escala *peta* para a *exa* escala (Fig. 2) pode permitir estudar sistemas maiores (10^{15} átomos) para tempos maiores, as abordagens paralelas atuais da DM baseadas em técnicas de computação de alto desempenho, como decomposição de domínio, ainda não são capazes de simular a escala de tempo microssegundo – milissegundo, mesmo para sistemas relativamente pequenos.

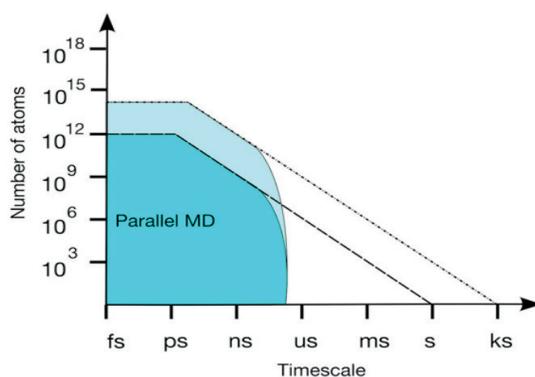


Figura 2: Escala da DM relacionando número de átomos e escala de tempo. (Perez, Huang e Voter, 2018).

O tempo de simulação é uma limitação dos métodos de DM, atualmente, é possível simular processos de até picossegundos - nanossegundos usando a DM clássica com quantidade limitada de átomos, enquanto as escalas de tempo em microssegundos - milissegundos não são atingidas para sistemas maiores (10^3 até 10^6) (Perez *et al.* 2009). A limitação na escala de tempo que pode ser alcançada pela DM está relacionada ao movimento muito rápido de átomos com períodos de vibração da ordem dos femtosegundos. Assim, para descrever o movimento atômico corretamente, são necessários intervalos de tempo de 1 femtosegundo, ou menos, para a integração numérica das equações de Newton. Para esse tamanho de etapa de tempo, são necessários um bilhão de etapas de integração para simular uma escala de tempo mais realista de 1 microssegundo (Uberuaga *et al.* 2005). A simulação de etapas tão grandes de integração é computacionalmente intensiva e pode ser proibitiva, mesmo para grandes supercomputadores.

Para resolver o problema do tamanho limitado da etapa em DM, diferentes estratégias foram propostas. As estratégias variam desde o uso da computação de alto desempenho para acelerar simulações DM até técnicas que tentam encontrar maneiras de fazer com que os átomos mudem de um estado para outro mais rapidamente, como *hyperdynamics* e *parallel replica* (Peng *et al.* 2018). Outra estratégia, proposta por Tewary (2009), utiliza a função de Green (técnica para resolver equações diferenciais) para resolver a equação de movimento de Newton. Este método de DM baseado na resolução da função de Green do sistema - denominada Dinâmica Molecular da Função de Green (GFMD) - foi aplicado para simular a propagação de um pulso mecânico em uma rede unidimensional de osciladores.

Apesar da grande extensão na escala de tempo das simulações DM obtidas pela técnica GFMD, e da promessa de ter resolvido o “problema de temporização na modelagem molecular”, a técnica não foi amplamente disseminada e usada pela comunidade científica. Um dos motivos é o custo computacional apresentado pelo GFMD, que é mais alto do que as técnicas tradicionais de integração comumente usadas nos códigos DM, como os esquemas *Verlet* ou *Leap-frog*. GFMD requer a diagonalização de uma matriz envolvendo as massas atômicas e os coeficientes de Taylor da expansão.

Existem outras técnicas para lidar com as limitações de tempo da DM. A dinâmica molecular acelerada (Voter, 1997; Voter *et al.* 2002) fornece meios de executar etapas de tempo maiores ou até mesmo “saltos” de tempo. Nesse caso, a trajetória do sistema é estimulada para encontrar um caminho para escapar de um mínimo do energético da configuração atômica mais rapidamente do que em uma simulação tradicional de DM (Voter *et al.* 2002).

No entanto, um sistema atômico com maior quantidade de átomos, que

está tentando atingir uma escala de tempo mais realista, não poderia ser simulado em um tempo de computação aceitável devido à limitação da dinâmica molecular, bem como à propagação do erro. Existem algumas limitações de DM implícitas em modelos matemáticos (Steinhauser e Hiermaier, 2009): **1-)** Condições de contorno artificiais: devido a uma limitação de memória do computador, alguns sistemas usam um limite periódico, este artifício pode levar a erros de interpretação da simulação. **2-)** Corte para interações de longo alcance: novamente, devido a uma limitação do poder computacional, as interações de longo alcance são cortadas, restringindo as interações dos átomos. **3-)** As simulações são clássicas: os átomos vibram em uma frequência muito alta, DM segue o clássico de Newton, forçando a etapa de simulação a estar mais próxima da frequência de vibração da matéria. Os elétrons estão no estado fundamental e os campos de força aproximados são aditivos de pares: não há elétrons explícitos DM, eles estão implícitos nos campos de força, isso pode limitar as possibilidades de simulação. **4-)** Tempo limitado de simulação: as bases DM estão na equação de movimento de Newton e as simuladas devem refletir um sistema real de átomos; portanto, são necessários vários pequenos passos de tempo (1fs) para simular um sistema realista.

A DM tem sido grande aliada dos estudos de alvos biológicos. Hanson *et al.* (2015) utilizaram, por exemplo, simulações de DM para entender o comportamento da molécula de capsaicina, um componente ativo das pimentas chili responsável pela picância. A capsaicina é uma molécula capaz de ativar receptores do tipo *TRPV1* (Receptores de Potencial Transiente Vanilóide do Tipo 1), canais iônicos sensíveis ao calor expressos em fibras neuronais não mielinizadas do tipo C. Com essa simulação, foi possível entender o papel da bicamada lipídica em um sistema que imita a membrana celular e, assim, compreender a interação capsaicina-TRPV1. Outro estudo investigou a interação de um receptor de neurônio específico, com um poderoso analgésico chamado fentanil, um opioide sintético 80-100 vezes mais forte que a morfina (Lipiński *et al.* 2019). A figura 3 mostra um dos resultados dessa pesquisa.

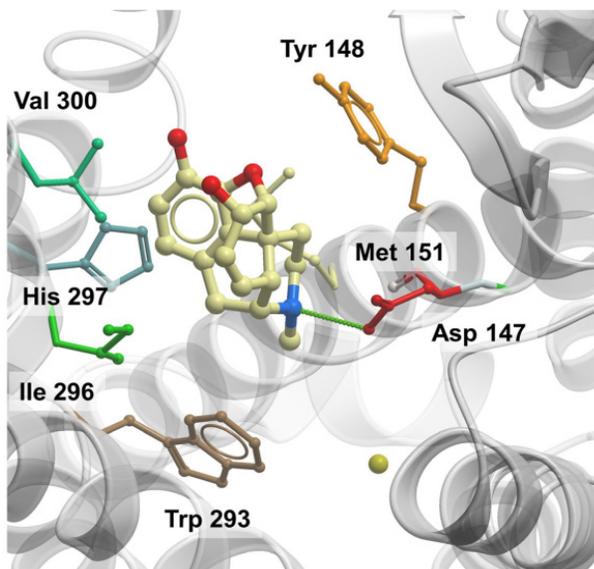


Figura 3: Simulação de uma molécula analgésica de fentanil interagindo na cavidade do receptor μ -opioid (Lipiński *et al.* 2019).

Para que seja possível utilizar a DM, lidar com uma grande quantidade de átomos, diversas interações, gravação dos estágios da simulação e diversos outros elementos, se torna necessário o uso de computadores de grande porte.

3 | COMPUTAÇÃO DE ALTO DESEMPENHO

A simulação de sistemas atômicos e moleculares complexos e grandes exige o uso de todo o recurso computacional disponível. Supercomputadores com grande número de unidades de processamento e memória também foram utilizados para resolver o problema de tempo de simulação DM (Fabregat-Travera *et al.* 2018). Muitas técnicas de *High Performance Computing* (HPC) podem ser aplicadas para permitir a utilização da potência computacional fornecida pelos supercomputadores. Essas técnicas de HPC são divididas em quatro grupos principais: memória compartilhada, memória distribuída, sistemas híbridos e sistemas heterogêneos.

Em geral, duas abordagens são usadas para obter alta potência computacional: **1-** aumentar o *clock* do processador, a capacidade da memória etc.; ou **2-** dividir a tarefa computacional em vários computadores (ou vários núcleos). A primeira abordagem requer um pequeno esforço dos programadores, porque as instruções do programa serão executadas mais rapidamente, mesmo sem alterações nos códigos do computador. No entanto, vários limites (físicos e técnicos) são grandes demais para serem transpostos em tempo hábil e alcançarem frequências mais altas. Por

esse motivo, a segunda abordagem pode ser mais rápida e barata, embora exija um esforço maior dos programadores para analisar as possibilidades de paralelismo, *design* e implementação, testar a correção e encontrar as melhores configurações de desempenho (Breshears, 2009).

A programação de memória compartilhada consiste em usar técnicas nas quais vários núcleos ou processadores compartilham a mesma memória. A comunicação entre os núcleos é feita através da memória do nó computacional e quando um dos processadores precisa de alguns dados que estão na memória, ele pode acessar isso diretamente. Essa técnica pode ser usada com várias bibliotecas e estruturas. Dois deles são a Interface do sistema operacional portátil (*POSIX*) e *OpenMP* (Gebali, 2011). O *POSIX* é uma família de padrões especificados pela *IEEE Computer Society* para manter a compatibilidade entre sistemas operacionais. Os *Threads POSIX* - diferentes linhas de processamento no mesmo processo do computador - consistem em um *API* para processos leves, seguindo o padrão *POSIX* (Mitchell *et al.* 2001).

Uma das bibliotecas que facilita o desenvolvimento de *software* paralelo é o *OpenMP*. Consiste em um *API* que facilita a programação de memória compartilhada (Chapman *et al.* 2007). Vários compiladores suportam a marcação que o *OpenMP* fornece, como: *GCC*, *XL* da IBM, entre outros. A implementação de códigos paralelos com o *OpenMP* consiste basicamente em áreas de marcação que devem ser paralelizadas. Com todas essas funcionalidades, o *OpenMP* parece ser uma solução ideal para a maioria dos casos em que é necessário aumentar o uso computacional e reduzir o tempo de processamento. No entanto, é necessário planejar e analisar os algoritmos a serem implementados. À primeira vista, *OpenMP* resolve qualquer problema de paralelismo de marca única. Em aplicativos bem projetados, a inserção de *OpenMP* tem a característica de ser bem-sucedida e ainda simples (Chapman *et al.* 2007). No entanto, como a complexidade do paralelismo é entregue à biblioteca, pode-se esperar o uso de alguns ciclos para resolver o que deve ser processado e onde.

Dado esse fato, é de se esperar uma pequena variação no desempenho, dependendo do tipo de problema e do número de *threads* para resolvê-lo. De qualquer forma, todas as funcionalidades do *OpenMP* têm grande valor em um contexto fechado de um computador (com a possibilidade de múltiplos núcleos). Para cenários em que não é possível adicionar mais núcleos de processamento a um computador, a solução *OpenMP* é limitada. Para resolver a limitação, existem outros modelos de programação para distribuir a carga computacional. No entanto, essa carga será distribuída entre vários computadores. Com as configurações feitas consistentemente no ambiente usado e o problema em foco, os modelos de programação diminuem o tempo total de execução. Portanto, as técnicas de

computação de alto desempenho dependem totalmente do domínio do aplicativo e, se aplicadas erroneamente, podem aumentar o tempo de execução.

No modelo distribuído, os computadores não trocam dados através do sistema de memória, mas através de um barramento específico da comunicação. Para possibilitar a comunicação, é necessário um protocolo para definir como as mensagens serão. Além do protocolo, é necessário usar uma tecnologia de comunicação. Portanto, o cenário se repete como no caso do *POSIX Thread versus OpenMP*. No entanto, neste caso, a competição é entre *Sockets* e *MPI*. O *MPI* consiste em um protocolo de comunicação padronizado específico para processamento distribuído com várias implementações (Hager e Wellein, 2010). Usando o *MPI*, é possível que vários computadores troquem mensagens. Entre as várias implementações estão o *OpenMPI* e o *mvapich*. Todas as implementações seguem um protocolo que estabelece o formato das mensagens. A troca de mensagens relata vários itens relevantes para a tarefa, como qual processo está enviando a mensagem e que tipo de dados serão processados. Toda essa informação estabelece que cada nó que recebe as mensagens saberá como proceder. No entanto, os computadores interconectados ainda podem conter vários processadores (ou vários núcleos). Nesse novo cenário, é necessária uma abordagem diferente para usar totalmente a capacidade computacional. Em um cenário em que existem vários computadores e em que cada computador possui vários processadores ou núcleos, é necessário um cuidado especial para distribuir as tarefas para cada nó.

Cada nó tem vários processadores conectados por uma rede. Dessa forma, cada nó pode receber tarefas e segmentá-las para que cada processador receba parte dessa carga de processamento (Hager e Wellein, 2010). Nesse modelo híbrido, é necessário explorar o máximo de cada nó e até dividir a tarefa entre diferentes máquinas. O *MPI* fornece a forma de comunicação entre os processos (que estarão em máquinas diferentes) e o *OpenMP* fornece as características para que vários núcleos de processamento recebam partes dessa tarefa. Essa abordagem é pertinente porque o número de núcleos por máquina está aumentando e ainda existem várias limitações para criar um computador com muitos núcleos. A abordagem híbrida é mais comumente aplicada em pacotes de simulação de dinâmica molecular como *LAMMPS* (in 't Veld *et al.* 2008) e *softwares* de mecânica quântica como *Quantum ESPRESSO* (Giannozzi *et al.* 2009) e *VASP* (Sun *et al.* 2003).

Existem várias maneiras de aplicar essas técnicas de computação nas simulações de DM. Na decomposição de domínio, os átomos e suas contrapartes não conectados são distribuídos entre os processadores. Todas as coordenadas atômicas são distribuídas antes de calcular as interações e, após o cálculo das forças, suas novas posições também são distribuídas (transmissão). Essa técnica é

caracterizada pela grande comunicação entre processos e *threads*. Nesse cenário, o uso de arquiteturas com muitos núcleos ou sistemas híbridos pode ser de grande valor devido ao número de processadores disponíveis. Como a comunicação entre processadores é baseada em barramentos e não em redes, o tempo de comunicação é definido por $O(N)$. Na decomposição por força, é feita uma divisão de blocos da matriz que representa todas as combinações de pares de átomos. Dessa maneira, a comunicação na transmissão anterior é evitada por uma comunicação mais seletiva. No entanto, a geração de tais blocos tem um custo computacional. Nesta etapa, os sistemas heterogêneos têm mais vantagens porque usam dois tipos de arquitetura, muitos núcleos e múltiplos núcleos. Assim, os cálculos de separação da matriz e o cálculo da simulação podem ser feitos na arquitetura mais conveniente, com um tempo de comunicação de $O(N/\sqrt{p})$, onde p é o número de processadores. Na decomposição espacial, a região geométrica da simulação é dividida e processada em um nó. Em certos casos, é necessária a migração entre as regiões, o que requer comunicação entre os nós. Portanto, em sistemas heterogêneos, essa abordagem tem ganho computacional devido à diversidade de tipos de processadores com um tempo de comunicação $O(N/p)$.

Cada uma das três técnicas tem custos de comunicação diferentes. O custo computacional da comunicação entre os nós de processamento e *cores* deve ser proporcional ao custo computacional do processamento. Portanto, o tempo usado para dividir e executar a comunicação da tarefa nas três abordagens acima deve sempre ser menor que o tempo de processamento das forças, posições etc. Essas três maneiras aceleram o DM globalmente, ou seja, o algoritmo paralelo consiste em dividir as etapas da DM em vários *threads*, processos ou computadores. No entanto, em cada etapa, existem algoritmos que podem acelerar a simulação.

Outra maneira de fornecer uma simulação de DM mais rápida é usando *hardware* com arquiteturas diferentes da CPU comum. *Hardware* com muitos núcleos pode ser usado para alcançar tempos mais realistas (Stone *et al.* 2017). As arquiteturas atuais de vários núcleos possuem muitos processadores, como o Nvidia Tesla C1060 com 240 núcleos e o Intel Xeon Phi Coprocessor 7120X com 61 núcleos com 4 *threads* cada. Na arquitetura GPU, é possível notar que há uma grande especialização no aspecto da computação intensiva (vínculo de CPU). No caso do Xeon Phi, que mostra características semelhantes às da GPU, os processadores são dedicados ao processamento de vetores e à baixa troca de dados pela memória externa do Xeon Phi.

O acesso a GPU e ao Xeon Phi é feito de maneira semelhante ao *OpenMP*. Certas áreas dos códigos estão marcadas para serem executadas nesses dispositivos. Existem vários estudos sobre quais partes dos códigos devem ser executadas nas arquiteturas *many-core* e *multicore*. Zhu *et al.* (2013), Shkurti

et al. (2013) e Hou e Ge (2012) apresentam um conjunto de algoritmos de DM adaptados ao sistema GPU, além de mostrar um sistema de separação dos átomos para maximizar o uso como GPU, cada trabalho descreve os meandros necessários para o problema de destino. Com isso, os sistemas heterogêneos devem poder determinar qual opção de arquitetura é melhor para cada parte do código. O trabalho de (Kutzner *et al.* 2015) demonstra que o GPU possui ganhos quando comparado com as CPUs em vários cenários. Isso demonstra a necessidade de usar a arquitetura *many-core*. Dessa maneira, o uso computacional aumenta e o tempo computacional diminui nas arquiteturas corretas. Todos esses modelos computacionais, junto à dinâmica molecular, se apresentam como uma ferramenta muito poderosa para a entendimento e descoberta de novos fármacos potenciais, materiais e mesmo vacinas. Essas técnicas podem ser utilizadas para que seja possível obter avanços em diversas áreas.

REFERÊNCIAS

ALESSANDRINI, V. Shared Memory Application Programming: Concepts and Strategies in Multicore Application Programming. Amsterdam. Elsevier Science, 2015

BRESHEARS, C. The Art of Concurrency: A Thread Monkey's Guide to Writing Parallel Applications. Sebastopol. O'Reilly Media, 2009.

PEREZ, D., HUANG R., e VOTER A. F. Long-time molecular dynamics simulations on massively parallel platforms: A comparison of parallel replica dynamics and parallel trajectory splicing". In: Journal of Materials Research 33.7 2018 ,813–822

CHAPMAN, B. *et al.* Using OpenMP: Portable Shared Memory Parallel Programming (Scientific and Engineering Computation) Scientific and Engin Edition. Massachusetts. The MIT Press, 2007

DOSHI, U. e HAMELBERG, D. Towards fast, rigorous, and efficient conformational sampling of biomolecules: Advances in accelerated molecular dynamics. **Biochimica et Biophysica Acta**. v. 1850, n. 5, p. 878 – 888, 2015.

DURRANT, J. *et al.* Molecular dynamics simulations and drug discovery. **BMC Biology**. v. 9, n. 1, p. 71, 2011.

FABREGAT-TRAVERA, D. *et al.* Accelerating molecular dynamics codes by performance and accuracy modeling. **Journal of Computational Science**. v. 2, p. 77-90, 2018.

FILIZOLA, M. Insights from molecular dynamics simulations to exploit new trends for the development of improved opioid drugs. **Neuroscience Letters**. v. 700, p. 50-55, 2019.

GEBALI, F. Algorithms and parallel computing. New York. Wiley, 2011.

GIANNOZZI, P. *et al.* QUANTUM ESPRESSO: a modular and open-source software project for quantum simulations of materials. **Journal of Physics: Condensed Matter**. v. 21, n. 39, p. 395502 (19pp), 2009.

HAGER, G. e WELLEIN, G. Introduction to high performance computing for scientists and engineers. London. Taylor & Francis, 2010.

HANSON, S. Â. M. *et al.* Capsaicin interaction with TRPV1 channels in a lipid bilayer: molecular dynamics simulation. **Biophysical Journal**. v.108, n. 6, p. 1425 - 1434, 2015.

HOLLINGSWORTH, S. A. e DROR, R. O. Molecular dynamics simulation for all. **Neuron**. v. 99, n. 6, p. 1129 - 1143, 2018.

HOU, C. e GE, W. GPU-accelerated molecular dynamics simulation of solid covalent crystals. **Molecular Simulation**. v. 38, n. 1, p. 8-15, 2012.

IN'T VELD, P. J. *et al.* Accurate and efficient methods for modeling colloidal mixtures in an explicit solvent using molecular dynamics. **Computer Physics Communications**. v. 179, n. 5, p. 320-329, 2008.

KASIMOVA, M. A. *et al.* Voltage-gated ion channel modulation by lipids: Insights from molecular dynamics simulations. **Biochimica et Biophysica Acta – Biomembranes**. v. 1838, n. 5, p. 1322 – 1331, 2014.

KAUFMANN, W. J., e SMARR, L. L. **Supercomputing and the transformation of science**. New York: W. H. Freeman & Co, 1992

KUTZNER, C. *et al.* Best bang for your buck: GPU nodes for GROMACS biomolecular simulations. **J. Comput. Chem**. v. 36, n. 26, p. 1990-2008, 2015.

LIPÍŃSKI, P. F. J. *et al.* Molecular dynamics of fentanyl bound to μ -opioid receptor. **Journal of Molecular Modeling**. v. 25, n. 144, p. 1-17, 2019.

MITCHELL, M. *et al.* Advanced Linux programming. New Riders. Indiana, 2001.

MUNOS, B. Lessons from 60 years of pharmaceutical innovation. **Nature Reviews Drug Discovery**. v. 8, n. 12, p. 959-968, 2009.

PENG, X. *et al.* Integrating multiple accelerated molecular dynamics to improve accuracy of free energy calculations. **J. Chem. Theory Comput**. v. 14, n. 3, p. 1216–1227, 2018.

PEREZ, D. *et al.* Chapter 4 - Accelerated Molecular Dynamics Methods: Introduction and Recent Developments. editor Ralph A. Wheeler, Annual Reports in Computational Chemistry, Elsevier, v. 5, p.79 - 98, 2009.

RABENSEIFNER, R. *et al.* Hybrid MPI/OpenMP parallel programming on clusters of multi-Core SMP nodes. v. 1, p. 427-436, 2009. Published in: 2009 17th Euromicro International Conference on Parallel, Distributed and Network-based Processing.

RAPAPORT, D. C. **The Art of Molecular Dynamics Simulation**. New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2004.

SHKURTI, A. *et al.* Acceleration of coarse grain molecular dynamics on GPU architectures. **Journal of Computational Chemistry**. v. 34, n.10, p.803-818, 2013.

STEINHAUSER, M. O. e HIERMAIER, S. A review of computational methods in materials science: Examples from shock-wave and polymer physics. **International Journal of Molecular Sciences**. v. 10, n. 12, p. 5135–5216, 2009.

STONE, J. E., *et al.* Chapter 11 - GPU-accelerated molecular dynamics clustering analysis with OpenACC. Rob Farber. In: *Parallel Programming with OpenACC*, publisher "Morgan Kaufmann, Boston, p. 215 - 240, 2017.

SUN, G. Y. *et al.* Performance of the Vienna *ab initio* simulation package (VASP) in chemical applications. **Journal Of Molecular Structure: THEOCHEM**. v. 624, p. 37-45, 2003.

TEWARY, V. K. Extending the time scale in molecular dynamics simulations: Propagation of ripples in graphene. **Phys. Rev. B**. v. 80, n. 16, p.161409 1-4, 2009.

GELPHI *et al.* Molecular dynamics simulations: advances and applications. In:**Adv Appl Bioinform Chem**. v. 8 p. 37-47, 2015

UBERUAGA, B. P. *et al.* Accelerated molecular dynamics methods. editor="Yip, Sidney", In: *Handbook of Materials Modeling: Methods*, Springer Netherlands, p. 629-648, 2005.

VOTER, A. F. A method for accelerating the molecular dynamics simulation of infrequent events. **JCP**. v.106, p. 4665-4677, 1997.

VOTER, A. F. *et al.* Extending the time scale in atomistic simulation of materials, **Annu. Rev. Mat. Res**. v.32, p. 321, 2002.

ZHU, Y. *et al.* GALAMOST: GPU-accelerated large-scale molecular simulation toolkit. **Journal of Computational Chemistry**, v. 34, n. 5, p. 2197-2211, 2013.

CAPÍTULO 4

DISPOSITIVO PARA AUXÍLIO À PESSOAS COM DEFICIÊNCIA AUDITIVA

Data de aceite: 26/08/2020

Vicente Idalberto Becerra Sablon

Universidade São Francisco
Itatiba – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/6350047853320576>

Bruno Penteadó Evangelista

Universidade São Francisco
Itatiba – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/9157013668107271>

Annete Silva Faesarella

Universidade São Francisco
Itatiba – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/8546620295718065>

RESUMO: O presente trabalho apresenta uma ferramenta capaz de auxiliar pessoas com deficiência auditiva em situações de riscos. Os embasamentos teóricos os quais serão utilizados para a construção desta tecnologia assistiva, são os construtos de concepções de deficiência, contemplando suas ramificações, qualidade de vida e práticas inclusivas por meio da tecnologia. Através de um protótipo apresenta-se um objeto capaz de compreender e alertar riscos para pessoas incapacitadas auditivamente.

PALAVRAS-CHAVE: Tecnologia assistiva, deficiente auditivo, inclusão.

DEVICE FOR AIDING HEARING IMPAIRED PEOPLE

ABSTRACT: The present work aims at the

creation of a tool capable of helping people with hearing impairment in risk situations. The theoretical foundations that will be used for the construction of this assistive technology will be the constructs of disability conceptions, contemplating its ramifications, quality of life and inclusive practices through technology. Through a prototype we aim to construct an object capable of understanding and alerting risks to hearing impaired people.

KEYWORDS: Assistive technology, tool, hearing impaired, inclusion.

1 | INTRODUÇÃO

No Brasil, de acordo com o censo realizado em 2010 pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), 9,8 milhões de brasileiros possuem deficiência auditiva, representado por 5,2% da população do Brasil, sendo que deste total 2,6 milhões são surdos e 7,2 milhões apresentam grande dificuldade para ouvir. A grande maioria dos deficientes auditivos se encontram-se excluídos socialmente, sendo discriminados e tornando-se invisíveis, esta concepção de exclusão existe há anos e foi construída historicamente.

O trajeto histórico dos deficientes, sempre os levou a perfis negativos, Otto Marques da Silva (1987) registrou em seu livro as condutas que acercaram estes indivíduos na sociedade, durante a história antiga os deficientes, também considerados “males incapacitantes” eram sacrificados ou utilizados

como objetos mercantis da prostituição ou até mesmo circos. Com o passar dos anos estas situações não desapareceram, sendo que durante o século XX, por exemplo, pessoas com deficiência foram submetidas a “experiências científicas” na Alemanha nazista de Hitler.

A partir da análise, pode-se observar que a construção histórica dos deficientes sempre esteve alinhada a concepções de exclusão, sendo os mesmos vistos como seres indesejáveis e que este panorama manteve-se enraizado em nossas condutas, até mesmo governamentais, que não visam a integração. Com base neste contexto e almejando a equidade, será estudada uma ferramenta assistiva cuja intencionalidade é de auxiliar o deficiente auditivo a desenvolver sua autonomia.

Atualmente a tecnologia têm se tornado uma grande aliada, apesar de ser um termo novo a TA (Tecnologia Assistiva), que constitui um grande avanço para estes sujeitos. De acordo com Cook e Hussey (1995), as TA's são “uma ampla gama de equipamentos, serviços, estratégias e práticas concebidas e aplicadas para minorar os problemas funcionais encontrados pelos indivíduos com deficiências”.

O artigo tem por objetivo compreender e solucionar as diferentes situações de dificuldades pelas quais uma pessoa com deficiência auditiva enfrenta. Será desenvolvido um dispositivo capaz de auxiliá-las a terem um mecanismo de comunicação, que facilite em situações de risco, criado assim para enviar e receber alerta externos de modo simples e ágil, reduzindo o número de incidente de segurança.

2 | REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Tecnologia assistiva

O termo tecnologia assistiva surgiu em meados de 1988 com uma legislação nos Estados Unidos conhecida como Public Law 100-407, que junto com outras leis formam o ADA - *American with Disabilities Act* sendo seu principal objetivo dar direitos aos cidadãos com deficiência e prover a base legal de fundos públicos para compra de materiais para facilitar a vida de pessoas com deficiência.

No Brasil Existe o Comitê de Ajuda Técnicas – CAT, estabelecido pelo Decreto nº 5.296/2004 no âmbito da Secretaria Especial dos Direitos Humanos da Presidência da República, pela PORTARIA Nº 142 em 16/11/2006:

Existem inúmeras categorias para diferenciar a TA, as mesmas foram escritas por José Tonolli e Rita Bersch em 1998. Cada uma tem por finalidade especificar e definir os tipos de deficiência que existe e quais são os melhores instrumentos e objetos para facilitar o cotidiano dos mesmos.

No artigo são somente citadas as categorias referentes ao auxílio de pessoas com deficiência auditiva.

Comunicação aumentativa e alternativa: são enquadrados nesta categoria pessoas com dificuldade para falar, mudos e pessoas sem escrita funcional. Os recursos mais utilizados para atender suas necessidades garantem de forma prática e eficiente a interação e comunicação com as demais pessoas, dentre de todos produtos os mais utilizados são: pranchas de comunicação (simbologia gráfica e letras), *tablets* com *softwares* específicos.

Recursos de acessibilidade ao computador: dispositivos eletrônicos incluindo *software* e *hardware* que possam de alguma forma auxiliar pessoas com qualquer tipo de deficiência como: dispositivo sensorial de movimento, programas que façam leitura dinâmica etc.

Sistemas de controle de ambiente: dispositivos que auxiliam pessoas a fazer tarefas diárias como acender luzes, ligar televisões. Nesta categoria está incluso objetos como controle remoto.

ÓRTESES: Aparelho destinado a suprir ou corrigir a alteração morfológica de um órgão, de um membro ou de um segmento de um membro, ou a deficiência de uma função.

PRÓTESES: Aparelho ou dispositivo destinado a substituir um órgão, de um membro ou parte do membro destruído ou gravemente acometido.

Normalmente são feitas sob medidas e para cada parte de corpo onde é posta tem uma função específica.

Auxílios para melhorar a função auditiva e recursos utilizados para traduzir os conteúdos de áudio em imagens, texto e língua de sinais: são todos objetos que auxiliam pessoas com deficiência auditiva como: Celulares com chamadas no *vibracall*, aparelho de surdez e libras.

2.2 Divisões da Deficiência Auditiva e Tipos de Aparelhos Auditivos

A deficiência auditiva é um problema que atinge cerca de 9,7 milhões de brasileiros, o que representa 5,1% da população do país, de acordo com o IBGE. Esta deficiência pode ser congênita ou adquirida de acordo com as particularidades do indivíduo.

Como citado por Silva, Queiros e Lima (2006) a deficiência congênita pode ocorrer durante o período gestacional, pela ingestão de medicamentos ou por doenças contraídas, como sífilis, rubéola, sarampo, herpes, diabetes, meningite, pressão alta, toxoplasmose, entre outras, ou até mesmo, de forma hereditária.

A exposição da mãe a radiações, alguns problemas no parto, como nascer antes ou depois do tempo, infecções hospitalares, uso do fórceps para retirar a

criança ou falta de oxigenação pode também acarretar problemas de audição na criança.

A perda de audição causada por essas doenças é conhecida por surdez de percepção ou neurosensorial, causando lesão nas células nervosas e sensoriais, impedindo assim, que o estímulo do som chegue ao cérebro. Esse tipo de deficiência raramente tem tratamento.

Já a adquirida, é a deficiência auditiva obtida por meio de fatores extrínsecos, como por exemplo, o uso de medicamentos ototóxicos, que por serem antibióticos, aminoglicosídeos e salicilatos podem levar a surdez.

Existe também, a perda auditiva por condução, onde algo bloqueia a passagem do som da orelha externa até a orelha interna. Esse bloqueio pode ocorrer devido ao rompimento do tímpano, pelo excesso de cera acumulado no canal auditivo, infecção dos ossículos da orelha média e até a introdução de objetos no canal auditivo.

Outro tipo dessa patologia é a presbiacusia, conhecida como surdez central, onde ocorre à medida que se envelhece. Faz parte do progresso natural do corpo, ocorrendo desgaste e levando a perda auditiva.

Segundo a fornecedora de aparelhos auditivos Politec Saúde, aparelhos auditivos são dispositivos eletrônicos usados no tratamento de pacientes que apresentam surdez. A função é amplificar as ondas sonoras. Esses aparelhos apresentam 3 partes, microfone, amplificador e receptor. O microfone capta os sons do ambiente e converte as ondas sonoras em sinais elétricos e encaminha para o amplificador, que por sua vez, consegue aumentar a potência do som e os envia para o receptor.

Há diversos dispositivos que variam em molde, tamanho e na potência de amplificação do som. Cada tipo de aparelho auricular é indicado para graus diferentes de surdez.

Existem muitas opções no mercado, como o CIC (Completamente no Canal), que é indicado para leves a moderadas perdas auditivas; MC (Mini - Canal), ITC (Intracanal), HS (Meia Concha) e ITC (Intra Auricular) para perdas mais severas; BTE (Retroauricular) para perdas auditivas leves e profundas; Adaptação aberta e RIC (Receptor do Canal) para perdas auditivas em rampa leve a moderadamente severa.

2.3 Projeto

Módulo Rádio Frequência

Os módulos RF utilizados neste projeto são componentes que utilizam a radiofrequência para interação e transmissão de dados, seu alcance pode chegar a

200m sem nenhum tipo de obstáculo, além de possuírem modulação AM (Amplitude Modulada) e frequência de operação de 433MHz. Normalmente são compostos por dois componentes eletrônicos um transmissor e um receptor.

Os módulos transmissor e receptor de RF tem as mais variadas aplicações como transmissão de dados *wireless*, controle remoto para portão, chaves de carro e, nesse caso, automação residencial. Esse módulo opera na frequência 433,92 MHz com um erro de $\pm 0,25$ MHz. (ELECTRONICS, 2010; ELECTRONICS, 2008)

OS módulos RF são divididos em dois circuitos principais os transmissores e receptores.

[...] Os circuitos do transmissor têm a função de converter a informação que se deseja levar da emissora até os telespectadores em sinais de características possíveis de usar o espaço livre como meio de transporte. Para isso, o conteúdo da informação é convertido em um sinal que se possa propagar pelo ar sem dificuldade[...] (Revista Mackenzie de Engenharia e Computação, "PADRÕES DE TV DIGITAL" Ano 5, n. 5, p. 13-96.)

Já os receptores possuem função inversa dos transmissores, eles captam o sinal que foi enviado pelo ar e convertem em dados.

Circuito Integrado HT12E

O CI (circuito integrado) HT12E é um componente *CMOS* que opera com tensão entre 2,4V a 12V. Tem 12 *bits* de capacidade de encriptação com funcionamento em nível lógico alto, sendo que dos 12 *bits* existentes 8 são de endereçamento fixo e 4 para endereços ou transmissão de dados.

Circuito Integrado HT12D

O CI HT12D é um componente *CMOS* que opera com tensão entre 2,4V a 12V. Tem 12 *bits* de capacidade de decodificação.

Tipos de Antenas para Módulo Rádio Frequência

Fundamental para o funcionamento de todos os sistemas que utilizam radiofrequência, a antena deve ser projetada de forma correta para o bom funcionamento do meio e melhor dissipação de dados e energia.

O comprimento da antena é calculado através Equação 1:

$$\text{Equação 1: } l = \frac{1}{4} \times \frac{30000}{f}$$

Para a equação 1, "l" é o comprimento e "f" a frequência de operação do circuito.

As antenas mais usuais nestes tipos de dispositivos são as helicoidais e

whip. *Antena espiral*: é constituída de um condutor que é enrolado ao longo de um eixo axial sob a forma de uma espira, onde sua extremidade inferior é conectada no receptor ou transmissor.



FIGURA 1 – Antena Espiral

Fonte: ANTENAS PARA RADIOENLACES PONTO-A-PONTO (2011)

Antena *whip*: É constituída de um condutor ou haste reta flexível, onde sua extremidade inferior é conectada no receptor ou transmissor.



FIGURA 2 – Antena Whip

Fonte: ANTENAS PARA RADIOENLACES PONTO-A-PONTO (2011)

Microcontrolador

Microcontroladores são extremamente indicados para tarefas onde é necessário a obtenção de dados e execução de tarefas, pois são componentes pequenos e apresentam bom custo benefício.

As vantagens de utilizar o Arduino em um projeto, se dá pela eficiência e facilidade para desenvolver um programa, uma vez que o compilador decodifica um programa em C++ para a linguagem de máquina de forma rápida e ágil.

3 I METODOLOGIA

A metodologia empregada neste trabalho são as de projeto estruturado e programação orientada, onde se baseia em um sistema microcontrolado do sistema embarcado “Arduino Nano” que fornece as diretrizes para o atuador, o qual será utilizado em nosso estudo através de um dispositivo que emitirá em vibração

assim que disparado o alarme de incêndio ou gás de cozinha.

O sinal medido na entrada digital do microcontrolador, será o sinal de um pulso oriundo de uma central de incêndio. Uma vez que o sinal possui um pulso diferente, o mesmo será entendido e convertido para a devida mensagem e alerta ao usuário deficiente através de uma *interface*.

É utilizado um módulo transmissor e um módulo receptor de radiofrequência neste projeto, o mesmo funciona de forma simples, onde um sinal será recebido pelo transmissor que filtra e transmite-o em forma de ondas de rádio na frequência de trabalho específica.

3.1 Software

Para a programação e compilação do microcontrolador será utilizado o software Arduino IDE cuja linguagem de programação utilizada é baseada na linguagem C. Para isso necessitamos estabelecer os pinos de entradas e saídas digitais. Para início é necessário a inclusão da biblioteca `<LiquidCrystal.h>` e *setar* os pinos de saída para o LCD.

As entradas *alarme1_pin*, *alarme2_pin*, *conexao_pin*, *upbutton_pin* e *enterbutton_pin* são estabelecidas como 5, 6, 4, 2 e 3 de acordo com seu respectivo pino digital. E para a saída digital foi estabelecido o pino digital número 7, responsável pelo envio de sinal para atuar o motor *vibracall*. A fim de obter a saída digital com estado lógico baixo, assim que ligamos o dispositivo, deve-se *setar* a variável de estado lógico inteira *“motor_state”* igual a zero, garantindo assim que o *vibracall* esteja *desacionado* inicialmente, além das outras variáveis de entrada.

Após as declarações iniciais do programa e inclusão da biblioteca para o display, deve-se *setar* cada variável digital como entrada ou saída na função pré estabelecida *“void setup”*, indicar sua respectiva *pinagem*, além de indicar o formato do *display*, para isso utilizou-se o recurso *“pinMode”* e o *“lcd.begin”* do arduino. Para os comandos de execução do programa é necessário um *loop* sem limite que execute as funções do programa ciclicamente para que realize a leitura de cada variável e caso haja uma mudança de estado, execute a função destinada. Para isso utilizamos a função *“void loop”* do Arduino, inicialmente limpando o *display* LCD, mostrando a mensagem inicial assim que o dispositivo é ligado e lendo cada valor das entradas digitais. Caso o alarme acione, o Arduino deve reconhecer o sinal e enviar um sinal de alerta no visor e acionar a saída digital responsável por chavar a tensão de alimentação do motor *vibracall*. De acordo com a lógica, se o botão for acionado, o alarme *vibracall* deve desligar, portanto, existe a necessidade de monitorar o estado do botão *“ENTER”*, a fim de garantir que caso acionado, a condição para a saída digital do motor não seja verdadeira. Neste trecho do código nota-se a lógica baseada na condição do *“enterbutton_state”* estando em

estado alto, ou seja, a saída digital deligando *vibracall* por meio da alteração de estado lógico da variável “*enterbutton_hold*”. Nessa condição destaca-se que: caso a entrada “*enterbutton_pin*” estiver acionada, o estado da saída “*motor_pin*” será alterado para zero. Caso o botão não seja acionado, a saída digital permanecerá no estado anterior.

3.2 Circuito Transmissor e Receptor

Os componentes podem ser encontrados em lojas especializadas em elétrica e eletrônica, possuem capacidade para trabalharem a 433Mhz. Isto implica que a sequência de pulsos enviadas para o transmissor provoca uma emissão de sinais de radiofrequência para o receptor. O circuito transmissor está representado na figura 3 e o receptor, na figura 4.

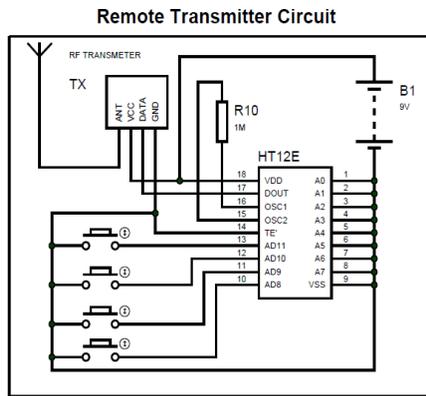


Figura 3 – Circuito do Transmissor

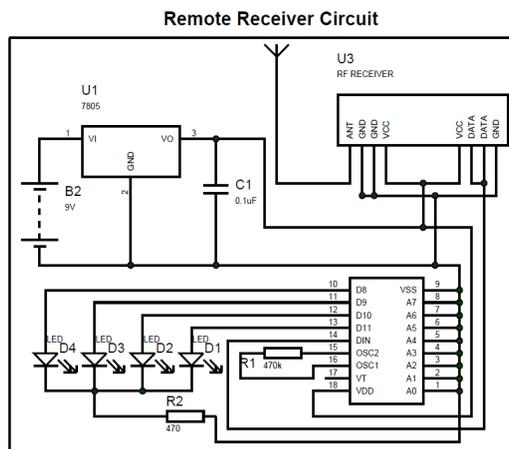


Figura 4 – Circuito do Receptor

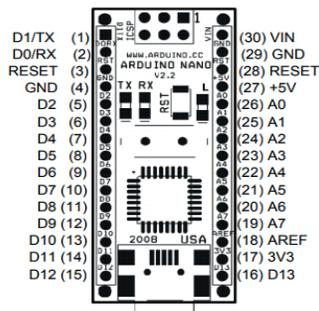
Legenda : C - Capacitor, R- Resistor , D - Diodo

Para a possível transmissão de sinal de forma serial entre ambos os circuitos é necessário dois *CI's* que são responsáveis pela codificação e decodificação dos sinais enviados, no projeto foram utilizados os *CI's HT12D* e *HT12E*. Os mesmos necessitam de códigos para serem reconhecidos. Sendo assim foi utilizado *DIP switch* para fazer a codificação através de 8 *bits* de sinal alto ou baixo a fim de evitar que outro sinal indesejado no ambiente acione o dispositivo.

Como o receptor necessita de uma tensão estável, sem oscilações será necessário o uso de um regulador de tensão 7085, onde o mesmo consegue estabilizar a tensão de alimentação do receptor em 5V, assim protegendo o circuito de futuras oscilações.

3.3 Arduino Nano 328P

Neste estudo foi utilizado a plataforma de prototipagem Arduino Nano 328P, o qual pode ser observado na figura 5, cuja função será receber o sinal do receptor RF e converter o sinal em digital em seu sistema interno. Já com o sinal convertido o microcontrolador terá como função identificar que tipo de sinal ele recebeu e assim distribuir as informações tanto para o *display* quando para o *vibracall*. Esta plataforma utiliza o microcontrolador Atmel Atmega328 e permite uma tensão de alimentação de 6 a 20 volts, porém recomendável na faixa de 7 a 12V, possui 14 pinos digitais I/O e 8 analógicos, podendo ser utilizados também como digitais. A máxima corrente segura disponível por pino é de 40mA, necessitando de outros recursos para obter ganho caso necessário. A figura 5 mostra o sistema.



Pin No.	Name	Type	Description
1-2, 5-16	D0-D13	I/O	Digital input/output port 0 to 13
3, 28	RESET	Input	Reset (active low)
4, 29	GND	PWR	Supply ground
17	3V3	Output	+3.3V output (from FTDI)
18	AREF	Input	ADC reference
19-26	A7-A0	Input	Analog input channel 0 to 7
27	+5V	Output or Input	+5V output (from on-board regulator) or +5V (input from external power supply)
30	VIN	PWR	Supply voltage

FIGURA 5 - Pinagem Arduino Nano 328P

Fonte: Arduino (2019)

Outros dados importantes são os valores de sua memória *flash* de 32KB, uma *SRAM* de 2KB, *EEPROM* de 1KB, velocidade de *clock* de 16Mhz.

3.4 Display e Vibracall

O *display* a ser utilizado será um *display LCD* de 16x2, pois serão mostradas as informações de conexão online e o alarme acionado. A figura 6 mostra o *display* e o *vibra-call*.



FIGURA 6 – Atuador (*Vibra-Call*) e Display, respectivamente.

Fonte: Eletrogate (2018)

3.5 Outros Componentes eletrônicos

Para concretizar a construção da pulseira serão também utilizados alguns componentes eletrônicos, como podem ser observados na figura 7. Necessários para funcionamento do dispositivo, como resistores e capacitores, detalhado na seção sobre o *hardware*.



FIGURA 7 - Componentes eletrônicos do projeto Resistor e *Pushbutton*, respectivamente.

Fonte: Eletrogate (2018)

Para acionar a parada do alerta utilizaremos um botão simples indicando que o usuário está ciente do alerta. Este botão deverá alimentar a entrada digital do microcontrolador e desativar a saída digital para o *vibracall* através da lógica de programação.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sinal de acionamento de alarme admitido é baseado em um sinal digital de 5V a 25V, sendo regulado para 5V através de um regulador de tensão 7805, conforme apresentado na Figura 8. O dispositivo foi projetado para ser utilizado como exemplo em centrais de controle de alarmes, onde comumente possuem alimentação padrão no Brasil disponível de 12 ou 24V.

Durante a fase de testes em *protoboard* notou-se que a resistência dos condutores utilizados para teste e as trilhas internas geraram uma redução significativa no *range* de alcance máximo em campo aberto, que chegaram até 20m de distância máxima. Portanto após testes em placa corroída, formato final de antena e acrescentar mais um regulador de tensão 7805, especificamente para a alimentação do receptor e *decoder HT12D*, foi possível em campo aberto chegar a uma distância máxima de 50m de alcance com segurança de recepção de sinal.

Transmissor: este módulo, cuja placa desenvolvida pode ser observada na figura 8 tem por definição a função de enviar o sinal RF, alimentado com a saída da central de alarme já existente no ambiente desejado, onde o mesmo deve ser acoplado, desde que esta tenha uma tensão de operação de 10 a 25 V. As centrais de alarmes possuem uma saída que liga um relé para acionar as sirenes, nesta mesma saída será acoplado nossa entrada do transmissor que entenderá este sinal como um *start* para emitir sinais ao receptor. A placa do transmissor de radiofrequência foi testada utilizando uma tensão de alimentação de 10 a 25V e obteve-se um resultado positivo quanto aos sinais de alarme de gás e de incêndio, comprovando o funcionamento objetivado.

Receptor: este módulo ficará dentro de um bracelete que será usado pelo deficiente auditivo, nele estará o próprio receptor além do *vibracall*, *display* e microcontrolador. Assim que o receptor entender que o transmissor está enviando um sinal, o mesmo será captado e enviado ao microcontrolador onde será identificado e processado. Serão três tipos de sinais que o microcontrolador identifica, o primeiro de perigo de incêndio, sendo um alarme intermitente, o segundo de incêndio propriamente e o terceiro de vazamento de gás. Após identificado o tipo de sinal o microcontrolador enviar uma mensagem que aparecerá no *display* e aciona o *vibracall* de forma pulsante, assim alertando o usuário.

O módulo de radiofrequência AM de 433MHz, possui potência de transmissão de 10mW, sendo que o alcance máximo testado de maneira empírica é limitado de acordo com o ambiente e barreiras, sendo necessário analisar e testar em cada local antes de ser colocado em prática efetivamente e em caso de locais com distâncias maiores do que o alcance estabelecido, é necessário um módulo intermediário funcionando como repetidor de sinal, comunicando na mesma frequência. A figura 8 mostra o *Eletrogate*.



FIGURA 8 - Sensor de alarme de gás MQ-5 GLP.

Fonte: Eletrogate (2019)

A *interface* do dispositivo em forma de bracelete possui as funções de aviso visual, apontando qual é o alarme acionado, ou seja, caso o alarme de incêndio esteja acionado, o visor informa ao usuário com o seguinte texto: “INCÊNDIO ACIONADO”. Além disso, foi estabelecido um menu de *interface* com apenas dois *pushbuttons* a fim de facilitar a compreensão do usuário, sendo um o botão “ENTER” para a seleção da opção e o outro o botão “UP” para alterar a opção que está aparecendo no visor.

Entre as funções do menu principal podem ser escolhidas as opções “ALARME” ou “STATUS”. Após a escolha da opção “ALARME” no menu principal, é disponibilizado um submenu onde é possível visualizar cada um dos alarmes instalados, conforme o seguinte exemplo, caso o alarme 1 na entrada 1 do transmissor esteja conectado o alarme de incêndio, então o submenu “ALARME” irá apresentar o seguinte texto informativo: “ALARME 1 INCÊNDIO”, apertando o botão “UP”, é possível observar os outros alarmes instalados. Para o submenu “STATUS”, é possível visualizar quais alarmes estão ligados e prontos para monitorar seus acionamentos e quais estão desligados, caso o usuário não queira monitorar o funcionamento de 1 ou mais alarmes, para isso o visor apresenta o seguinte texto: “ALARME 1 LIGADO”, ou “ALARME 1 DESLIGADO”, sendo possível alterar cada status, selecionando com botão “UP” e apertando o botão “ENTER” para selecionar a opção “SIM” para ligar o alarme, ou “NÃO” para desligar o alarme.

O protótipo implementado contempla a possibilidade de adaptação para até 4 sensores de alarmes acoplados a entrada da placa de transmissão do sinal e onde a programação deve ser estabelecida ainda na fase de desenvolvimento, sendo que o sinal deve ter característica digital e de 5 a 25V.

5 | CONCLUSÕES

Com a política de introdução de pessoas com deficiência cada vez mais alta dentro de indústrias e o avanço significativo do desenvolvimento tecnológico

mundial para a introdução de pessoas com deficiência na sociedade, se torna inevitável desenvolver dispositivos para auxiliar em momentos de risco os mesmos, pois normalmente as indústrias alertam uma situação de risco na forma de sirenes e luzes.

Após o desenvolvimento do protótipo empregado no projeto, foi observado que os objetivos foram atendidos e mostraram resultados satisfatórios, foi possível observar no projeto como ocorre a aquisição de dados pelo sistema, seu funcionamento após a aquisição dos mesmo e a viabilidade de um dispositivo que auxilia pessoas com deficiência auditiva em situações de riscos. Além do objetivo principal ter sido alcançado, pode-se observar a importância desse dispositivo para demais situações e dificuldades que uma pessoa com deficiência auditiva sofre no seu dia-a-dia. Por se tratar de uma tecnologia *open source* o *hardware* e *software* se tornam equipamentos de fácil manuseio e baixo custo para a implementação, dando assim aberturas para possíveis upgrades baixando cada vez o custo do sistema.

A escolha do modelo de identificação foi feita com base em um dispositivo de fácil manuseio e considerável grau de confiabilidade, uma vez que o mesmo só ativa quando as sirenes tocam.

REFERÊNCIAS

- APM. Ricardo Ferreira Bento - **9,7 milhões têm algum grau de perda auditiva**. 24 set. 2019. Disponível em: <http://associacaopaulistamedicina.org.br/noticia/ricardo-ferreira-bento-97-milhoes-tem-algum-grau-de-perda-auditiva>. Acesso em: 30/9/2019.
- ESTEVES, L. C. **Antenas - teoria básica e aplicações**. São Paulo: McGraw-Hill, 1980, 708 p.
- FREITAS, N. C. M.. **Inserção e gestão do trabalho de pessoas com deficiência: um estudo de caso**. RAC-Revista de Administração Contemporânea, v. 13, 2009.
- GALVÃO, F. T. A. **A Tecnologia Assistiva: de que se trata. Conexões: educação, comunicação, inclusão e interculturalidade**. Porto Alegre: Redes Editora, v. 252, p. 207-235, 2009.
- GOMES, Geraldo. **ANTENAS PARA RADIOENLACES PONTO-A-PONTO**. [S.l.]. Disponível em: <http://www.cesarkallas.net/arquivos/faculdade-pos/TP304-sistemas-radioenlaces-digitais/SRD-2V2011PG.pdf>. Acesso: 9/9/2019.
- MACIEL, M.R.C., **Portadores de deficiência: a questão da inclusão social**. São Paulo em perspectiva, v. 14, n. 2, p. 51-56, 2000.
- MARGALL, S. A. C.; HONORA, M.; CARLOVICH, A. L. **A reabilitação do deficiente auditivo visando qualidade de vida e inclusão social**. *O Mundo da Saúde*, v. 30, n. 1, p. 123-128, 2006.
- NETO, Waldir. **Presbiacusia**. 2005. Disponível em: https://forl.org.br/Content/pdf/seminarios/seminario_52.pdf. Acesso em: 24/10/2018.

PEREIRA, F. **Microcontroladores PIC: programação em C**. Érica, 2007.

POLITEC SAÚDE. **Tipos de aparelhos auditivos**. 2018. Disponível em: <http://www.politecsaude.com.br/tipos-de-aparelhos-auditivos/>. acessado em 08/10/2018.

RADABAUGH, M. P. NIDRR's **Long Range Plan-Technology for access and function research** section two: NIDRR Research Agenda Chapter 5: Technology for access and function. 1993.

Revista Mackenzie de Engenharia e Computação, "**PADRÕES DE TV DIGITAL**" Ano 5, n. 5, p. 13-96.

DA SILVA, O. M. **A epopéia ignorada: a pessoa deficiente na história do mundo de ontem e de hoje**. Centro São Camilo de Desenvolvimento em Administração da Saúde, 1987.

SEAVEY ENGINEERING ASSOCIATES, INC. **Helical antennas**. www.seaveyantenna.com.

SILVA, L.P.A., QUEIROS, F., LIMA, I.. **Fatores Etiológicos da Deficiência Auditiva em Crianças e Adolescentes de um Centro de Referência APADA em Salvador-BA**. 2006.

SASSAKI, R. K. **Terminologia sobre deficiência na era da inclusão. Mídia e deficiência**. Brasília: andi/Fundação banco do brasil, p. 160-165, 2003.

SASSAKI, R.K. **Inclusão: construindo uma sociedade para todos**.1997.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. ENG04006 **Sistemas e Sinais**, 2013. Disponível em: <http://www.ece.ufrgs.br/~eng04006/>. Acesso em: 11/09/2018.

WECKX, L.L.M., KORN,G.P.. **Distúrbios da audição no idoso**, 2006.

CAPÍTULO 5

FATURAMENTO PRÉ-PAGO DE ENERGIA ELÉTRICA: PANORAMA DA MODALIDADE E ANÁLISE DA EXPERIÊNCIA BRASILEIRA

Data de aceite: 26/08/2020

Annete Silva Faesarella

Universidade São Francisco
Itatiba – São Paulo

<http://lattes.cnpq.br/8546620295718065>

Amanda de Oliveira Ferri

Universidade São Francisco
Itatiba – São Paulo

<http://lattes.cnpq.br/2363434164556248>

Ednan Ferreira da Silva

Universidade São Francisco
Itatiba – São Paulo

<http://lattes.cnpq.br/9698786489714752>

Vicente Idalberto Becerra Sablon

Universidade São Francisco
Itatiba – São Paulo

<http://lattes.cnpq.br/6350047853320576>

RESUMO: O sistema pré-pago de energia elétrica consiste em uma modalidade de faturamento em que a aquisição de créditos de energia, contabilizados em quilowatt-hora, deve ser realizada pelos usuários da rede de distribuição antecipadamente ao consumo. Este modelo foi apresentado no início dos anos 1980 no Reino Unido e, desde então tem sido adotado por vários países. O pré-pagamento de energia é justificado pelos benefícios que proporcionam aos consumidores de energia e empresas de distribuição. Para os consumidores, permite que o consumo de energia seja melhor planejado e consciente e que as faturas sejam pagas de

acordo com a capacidade dos usuários. As vantagens para as concessionárias de energia são a redução de custos operacionais, maior controle sobre o faturamento e controle de perdas não técnicas. Desde a implantação de projetos precursores ao redor do mundo o modelo tem sido controverso, principalmente por questões sociais e de regulamentação. No Brasil, apesar de ser regulamentado desde 2014, não teve aderência das concessionárias de energia e consumidores. Este trabalho visa estudar o histórico do pré-pagamento de energia no mundo, as vantagens e desvantagens desta modalidade de faturamento e a experiência brasileira no quesito de regulamentações e projetos-piloto. Como resultado serão apresentadas as principais causas do estado estacionário do tema no país e as possíveis soluções para o aumento da adesão da energia pré-paga pelas concessionárias de energia e consumidores no Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: Pré-pagamento de energia, energia pré-paga, consumo consciente, faturamento de energia.

ELECTRICITY PREPAID BILLING: METHOD OVERVIEW AND ANALYSIS OF BRAZILIAN EXPERIENCE

ABSTRACT: Prepaid electricity system consists in a billing modality in which the acquisition of energy credits, in kilowatt hour, must be made by the users of the distribution network before the consumption. This model was introduced in the early 1980s in the United Kingdom and has been adopted by many countries ever since. The energy prepayment is justified by the benefits that it provides to energy consumers and utilities.

For consumers, it enables energy consumption to be better planned and conscious and bills to be paid according to users' capabilities. The advantages for utilities are reduction of operational costs, greater control over billing and non-technical losses control. Since the implementation of precursor projects around the world, the model has been controversial, mainly due to social and regulatory issues. In Brazil, despite being regulated since 2014, it was not embraced by energy utilities and consumers. This paper aims to study the historic of energy prepayment in the world, the advantages and disadvantages of this billing modality and the Brazilian experience in regulations and pilot projects. As a result, it will be presented the main causes of the steady state of this theme in the country and the possible solutions for the increase of the prepaid energy adoption by the electric utilities and consumers in Brazil.

KEYWORDS: Electricity pre-payment, prepaid electricity, conscious consumption, energy distribution, energy billing.

INTRODUÇÃO

A matriz energética brasileira possui um conjunto de diferentes recursos para suprir a demanda de energia do país, e é composta majoritariamente pela geração hídrica, que em 2017 representou 62,9% da geração de energia país, de acordo com a IEA – *International Energy Agency* [1]. Em 2017 a matriz energética brasileira teve uma representatividade de 42,9% de fontes renováveis, muito maior que na matriz mundial, de 13,7% em 2015 [2].

O SEB – Setor Elétrico Brasileiro, remodelado em 2004 pelo Governo Federal, é a estrutura administrativa e operacional que garante a execução de tratativas relacionadas ao SEP – Sistema Elétrico de Potência, que é o conjunto dos subsistemas que garantem o suprimento de eletricidade ao país por meio da geração, transmissão, distribuição e utilização de energia elétrica.

A distribuição de energia é o segmento do SEP dedicado à entrega de energia elétrica aos consumidores e é regulado e fiscalizado pela ANEEL, que garante a padronização e funcionamento adequado do sistema. O PRODIST – Procedimentos de Distribuição é o documento que normatiza as atividades técnicas referentes ao sistema de distribuição de energia elétrica. Esse sistema possui algumas deficiências devido a forma pela qual é realizada. Um notório problema do sistema são as perdas de energia. As chamadas perdas globais, são o resultado de toda a diferença entre a energia gerada e a entregue às UCs – Unidades Consumidoras. Elas são divididas em perdas técnicas, relacionadas às características técnicas de materiais e equipamentos da rede, e as perdas não técnicas, relacionadas à distribuição. Existem várias causas de perdas não técnicas, como por exemplo furtos, fraudes, erros de medição nas UCs ou de faturamento.

A medição de consumo e o faturamento de energia elétrica são

regulamentados pela ANEEL. A medição é majoritariamente realizada através de medidores eletromecânicos, os quais, nos últimos anos, têm sido gradativamente substituídos por modelos digitais devido a implantação das REIs – Redes Elétricas Inteligentes ou *Smart Grids*.

O método de faturamento convencional no Brasil é o pós-pago, no qual a cobrança é feita após o consumo de energia, que é apurado conforme a diferença de leituras realizadas entre determinados períodos e o pagamento é efetuado através de fatura. Também são regulamentadas as modalidades de pós-pagamento eletrônico, na qual as informações relativas ao consumo são armazenadas e consolidadas em dispositivo eletrônico que viabilize o pagamento posterior, e a de pré-pagamento, em que um montante de energia elétrica é comprado anteriormente ao seu consumo. Esta última modalidade é regulamentada no país desde 2014, entretanto não obteve adesão das concessionárias de energia e consumidores.

Este artigo tem como objetivo mostrar o panorama internacional da utilização do pré-pagamento de energia, as vantagens e desvantagens desta modalidade de faturamento e a experiência brasileira no quesito de regulamentações e projetos-piloto. Como resultado é apresentada uma análise sobre o estado estacionário do tema no país, contemplando as possíveis soluções para o aumento da adesão da energia pré-paga pelas concessionárias de energia e consumidores no Brasil.

REFERENCIAL TEÓRICO

Tarifação, medição e faturamento de energia elétrica

A tarifa de energia elétrica representa o valor pago pelos consumidores finais para remuneração aos serviços referentes aos processos de geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica, e é definida pela ANEEL. O pagamento destas tarifas viabiliza o funcionamento da estrutura do SEP.

Existem dois grupos para diferenciação das tarifas de energia: o grupo A e o grupo B, contemplados pelos consumidores de alta e média tensão, e os de baixas tensão, respectivamente.

O grupo B é formado pelos consumidores de até 2300 V, e engloba, tipicamente, residências, lojas, edifícios comerciais, e imóveis rurais. Este grupo é subdividido em 4 categorias de tarifas distintas: B1, para UCs – Unidades Consumidoras- residenciais e residenciais de baixa renda; B2 para UCs rurais e cooperativas de eletrificação rural; B3 para as demais classes; e B4 para iluminação pública. O faturamento convencional do grupo B tem um único valor para a energia consumida, independente do posto tarifário. No custo da tarifa de consumo está embutido o custo com demanda. As tarifas desta modalidade variam de acordo com as bandeiras tarifárias, que são: bandeira verde, amarela, vermelha patamar 1 e

vermelha patamar 2. Estas variam de acordo com o custo da geração de energia, por conta do acionamento de termelétricas.

As concessionárias de energia mensuram o consumo nas UCs através de equipamentos eletromecânicos ou eletrônicos chamados medidores de energia. Estes equipamentos, foram desenvolvidos pioneiramente em 1888 pelo engenheiro e inventor americano Oliver Blackburn Shallenberger [4].

No medidor eletromecânico, o faturamento da energia será determinado pela diferença dos valores na qual o leiturista coleta nos ponteiros de medição, entre os períodos das faturas.

Os medidores eletrônicos, em comparação aos eletromecânicos, garantem maior segurança tanto para a concessionária quanto para o consumidor, pois promovem uma maior exatidão na leitura, podendo gerar informações mais detalhadas e fiéis do consumo e não existe a necessidade de enviar um funcionário para fazer a leitura do medidor. O medidor eletrônico pode possuir a tecnologia de monitoramento de dados à distância via *modem*, ou *internet*, dependendo do modelo a ser utilizado.

Atualmente o grande entrave para a larga escala de comercialização de medidores eletrônicos é o alto custo de aquisição por parte da concessionária, apesar que em grandes centros e cidades a troca de medidores eletromecânicos por eletrônicos já está ocorrendo.

Com os medidores eletrônicos tem se iniciado uma nova fase no setor elétrico brasileiro e mundial, pois eles são fundamentais para a comunicação já que com estes tipos de medidores é possível realizar a chamada Medição Inteligente, para composição das REIs – Redes Inteligentes, gerando assim uma grande conexão entre a concessionária de energia elétrica e o consumidor. No Brasil, foi criado um Grupo de Trabalho do MME com a finalidade de estudar as REIs. Esse grupo define que cinco funcionalidades devem estar presentes para se caracterizar uma rede como inteligente: mensurar grandezas; transmitir os dados medidos; processar as informações recebidas; tomar decisões de forma automática, ou ajudar o operador na tomada de decisões; e atuar de forma remota na rede [5]. É exatamente através das redes inteligentes que é possível implementar a cobrança pré-paga aos consumidores.

A tarifação de energia elétrica brasileira é considerada complexa, no qual muitos consumidores têm dúvidas de compreender a própria conta de energia, alguns destes apenas tem a informação que existe um leiturista no qual coleta dos dados do relógio medidor, e após um período recebe e a sua fatura e realiza o pagamento da mesma. Para a concessionária que fornece a energia elétrica o processo também é complexo, principalmente quando se trata dos inadimplentes, que terão sua fatura impressa com o consumo e de demanda de energia elétrica,

bem como o valor a ser pago em no intervalo de tempo, e assim segue este fluxo durante os meses.

Quando há um consumidor que não consegue realizar o pagamento da fatura a concessionária tem a obrigação de emitir novamente a conta daquele mês, para que o mesmo possa efetuar o pagamento, e o fornecimento de energia é mantido normalmente. Para a concessionária interromper o fornecimento de energia é necessário emitir um aviso prévio com pelo menos 15 dias de antecedência. A instalação estará sujeita a suspensão de fornecimento até 90 (noventa) dias corridos, contados da data do documento mais antigo vencido e não pago sucessivamente.

Com a energia pré-paga os consumidores e as concessionárias de energia elétrica, seria possível evitar alguns dos problemas existentes no sistema atual o pós-pago, como por exemplo o erro dos leituristas, a eliminação dos inadimplentes para as concessionárias, entre outros benefícios possíveis.

Pré-pagamento de energia elétrica

O pré-pagamento de energia elétrica consiste em uma modalidade de faturamento fundamentada na aquisição de créditos, contabilizados em kWh, pelos usuários de um sistema de distribuição para pagamento antecipado ao uso de energia em sua UC – Unidade Consumidora. Para que esta modalidade de faturamento de energia conforme a figura 2 seja implementada é necessário que a distribuidora de energia local disponibilize aos consumidores uma infraestrutura para compra de créditos e também os equipamentos necessários para que o sistema de faturamento pré-pago seja viabilizado.

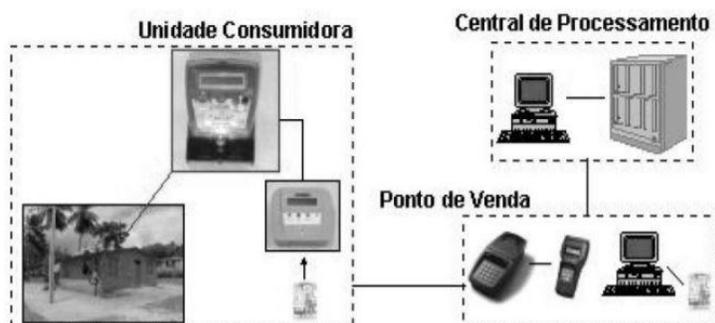


Figura 2: Diagrama de funcionamento do sistema pré-pago [15]

Os medidores de pré-pagamento são os elementos principais de um sistema de faturamento antecipado, e existem vários tipos de tecnologias aplicadas a eles,

das quais algumas serão apresentadas a seguir [6].

- Medidores com Cartões Magnéticos (Figura 3). Operados pela inserção de um cartão, com uma faixa magnética, contendo uma quantidade pré-definida de créditos.



Figura 3: Medidores com Medidores com Cartões Magnéticos [13]

- Medidores com *Smart Cards* (Figura 4). Operados pela inserção de um cartão reutilizável que possuem *chips* que armazenam informações do consumo. Estes são recarregados em pontos de venda de créditos, e os dados coletados através do medidor são enviados à concessionária de energia em cada evento de recarga.



Figura 4: Medidores com *Smart Cards* ou chaves eletrônicas [13]

- Medidores com Teclado (Figura 5). Operados pela inserção de um código diretamente no medidor. Nesta modalidade, a recarga é feita pela obtenção do código como mostra a figura 5, e pode ser realizada presencialmente em pontos de venda, pela *internet*, por telefone ou em totens de autoatendimento.



Figura 5: Medidores com teclados [13]



Figura 6: Recibo de compra de energia pré-paga [14]

Em relação aos usuários, a energia pré-paga é uma forma de possibilitar que o consumo de energia elétrica seja adequado à sua capacidade de pagamento, permitindo maior inclusão financeira. Este método de pagamento também é eficiente em situações em que o consumo não é contínuo, como por exemplo em imóveis que são alugados ou imóveis que são utilizados em temporadas específicas, bem como pode ajudar na percepção para o consumo consciente e economia de energia, uma vez que os usuários se tornam capazes de monitorar de forma mais detalhada o uso de eletricidade para se manter no orçamento estabelecido.

Evidenciando a economia de energia do método, dados da SRP – *Salt River Project*, uma concessionária de serviços públicos do estado do Arizona nos EUA – Estados Unidos da América, mostra que na última década o programa *M-Power*, possibilitou uma redução de 12% no uso de energia de seus clientes [7].

Segundo a *Texas ROSE – Texas Ratepayers' Organization to Save Energy*, uma organização sem fins lucrativos dos EUA dedicada à eletricidade acessível, as pessoas consomem menos porque não têm dinheiro, e por isso vivem sem eletricidade por algum período de tempo [7]. No Brasil, o IDEC – Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor, apoia a ideia de que a possibilidade de corte imediato de

energia vai contra a noção de essencialidade do serviço [8].

O maior suporte que o método de faturamento possui vem de grupos de especialistas relacionados a fornecimento de energia, que destacam as vantagens desta modalidade em contextos em que o país possui infraestrutura precária e pobreza, e sugerem que a energia pré-paga expande o acesso à toda população [10].

Experiências de pré-pagamento de energia elétrica no mundo

No início dos anos 1980 o Reino Unido foi pioneiro no método de pré-pagamento de energia, introduzindo a tecnologia de medidores pré-pagos [8], os quais funcionavam a moeda e conforme os avanços tecnológicos foram substituídos por medidores a chave eletrônica ou cartões [11].

Na vanguarda dos países em desenvolvimento, esteve a África do Sul em 1988, quando a ESKOM – *Electricity Supply Commission*, uma companhia pública de serviços de eletricidade, iniciou um projeto de instalação de medidores pré-pagos [8], que teve como foco o fornecimento de energia para uma população de baixa renda e geograficamente dispersa [12].

Na Índia, ele foi utilizado, inicialmente, por companhias de distribuição com o intuito de reduzir furtos de energia e atrasos nos pagamentos de faturas [8]. Hoje, planeja trocar todos os medidores para medidores inteligentes de pré-pagamento até 2022 [6]. Na Argentina, os medidores pré-pagos começaram a ser implantados em 1993, quando a EMSE – *Energía Mendoza Sociedad del Estado* teve a iniciativa de instalar medidores em algumas lojas da Estação Central de Ônibus de Mendoza, experiência que logo foi estendida para comunidades do país [12].

Em Moçambique, o pré-pagamento foi introduzido em 1995, em um projeto-piloto realizado na cidade de Maputo, conectando quinhentos clientes [1]. No Haiti, o serviço pré-pago foi lançado em 2012 e ajudou famílias a deixar velas e lâmparas a querosene para trás [7].

Faturamento pré-pago de energia elétrica no Brasil

De acordo com a ANEEL, através da Resolução Normativa nº 610 de 1º de abril de 2014 [3], que regulamenta as opções de faturamento do consumo de energia elétrica, o tipo de faturamento deverá ser opcional, e sua adesão feita por solicitação à concessionária de energia.

No modelo pré-pago, fica a cargo da distribuidora, a definição da tecnologia a ser utilizada no sistema de medição, que deverá minimamente fornecer a visualização da quantidade de créditos disponíveis e possuir alarme visual e sonoro para avisos sobre o consumo ao usuário.

A distribuidora deverá disponibilizar os meios adequados para compra de créditos ou créditos de emergência, permitindo a compra de qualquer valor igual ou superior a 5 kWh. O consumidor ficará sujeito à suspensão do fornecimento após o esgotamento dos créditos, porém a distribuidora deverá disponibilizar ao consumidor a opção de utilização de um crédito de emergência de no mínimo 20 kWh, mediante solicitação do usuário.

O pré-pagamento pode abranger apenas UCs do Grupo B. Não poderão aderir a modalidade UCs que demandem corrente elétrica superior a 100 A, e que sejam classificadas como iluminação pública, possuam sistema de microgeração ou minigeração, sejam enquadradas na tarifa horária branca ou possuam descontos tarifários relacionados à irrigação e agricultura.

Apesar de existir uma regulamentação da ANEEL para a implantação da modalidade pré-paga de faturamento de energia elétrica, esse assunto está em pauta desde 2012, quando, em julho do mesmo ano a ANEEL abriu a Audiência Pública nº 48/2012 para discutir a regulamentação do pré-pagamento de energia elétrica [4]. Em 01/04/2014 a ANEEL aprovou a Resolução Normativa nº 610 de 1º de abril de 2014 contemplando a regulamentação. Neste mesmo ano foi publicada a Portaria INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia nº 545, de 12 de dezembro de 2014 [5], que estabelece considerações técnicas que devem ser aplicadas aos equipamentos pertencentes ao sistema de faturamento pré-pago.

Além dos entraves técnicos, este modelo de faturamento, tem sido alvo de fortes críticas dos órgãos de defesa do consumidor. O IDEC, por exemplo, alega que o modelo pode deixar os usuários vulneráveis a ficar sem energia elétrica, que, conforme dispõe a Lei no 7.783/1989 [6] é um serviço essencial, e também que os consumidores de baixa renda são notadamente os mais vulneráveis ao corte de energia [7].

Em defesa a estas críticas, a ANEEL garante que o pré-pagamento será opcional para os consumidores [3]. Tendo em vista a baixa adesão da modalidade e a pressão dos órgãos de defesa do consumidor, a ANEEL abriu em 2017 a Consulta Pública nº 16/2017 na qual recebeu contribuições e opiniões dos consumidores até 19/3/18[8]. O assunto voltou à tona em fevereiro de 2019 quando foi apresentado o Projeto de Lei 151/19 [9], que estuda a sua implementação [10].

Iniciativas para implantação do pré-pagamento de energia no Brasil

Segundo a Nota Técnica nº 014/2012 da ANEEL [11], o primeiro experimento de pré-pagamento de energia no SEB reconhecido pela ANEEL ocorreu em 2005, por solicitação da concessionária AMPLA – Ampla Energia e Serviços S.A.

(atualmente, Enel Distribuição Rio), que através da Resolução Autorizativa nº 391, de 22/12/2005, foi autorizada a implantar o sistema em locais predefinidos de sua área de concessão. Em março de 2005, a AMPLA encerrou o projeto por enfrentar dificuldades na implementação do sistema pela falta de regulamentação. Em 2009 outras duas autorizações de implantação do sistema em caráter experimental foram concedidas pela ANEEL. A Resolução Autorizativa nº 1.822, de 3/3/2009, autorizou a empresa CELPA – Centrais Elétricas do Pará S.A. a implantar dois projetos piloto para o atendimento das comunidades isoladas de Araras e Santo Antônio, nos Municípios de Curralinho e Breves. A resolução Autorizativa nº 2.150, de 4/11/2009, autorizou a empresa Amazonas Energia a implantar o sistema para o atendimento de 13 comunidades isoladas no Estado do Amazonas. A figura 7 mostra a implementação do sistema



Figura 7: Residências no estado do Amazonas com energia pré-paga [14]

A solução implantada no Amazonas consiste na utilização de energia de maneira pré-paga oriunda de mini usinas fotovoltaicas em comunidades isoladas, constituídas por, em média, por 20 residências. Anteriormente, estas comunidades não eram atendidas pela distribuidora local, e o acesso à eletricidade era limitado à utilização de geradores à óleo diesel. Os moradores investiam aproximadamente R\$25,00/mês, além de uma cota gratuita fornecida pelas prefeituras e um custo de R\$15,00 a R\$30,00, referente ao deslocamento para compra de diesel. Já com o sistema de pré-pagamento, os usuários passaram a investir entre R\$5,00 e R\$10,00/mês para usufruir da eletricidade 24h por dia, podendo adquirir créditos a qualquer momento nas redondezas das comunidades. O sistema foi vistoriado pela ANEEL em 2012 para verificar a eficiência do modelo de pré-pagamento e aprovação da população atendida e o grau de satisfação dos consumidores com o sistema de pré-pagamento foi unânime. Também foi constatado que a população adequou seus hábitos de consumo ao preço da energia e à sua capacidade de pagamento. Não houve relatos sobre a sinalização visual e sonora de esgotamento de crédito,

pois nenhum dos usuários entrevistados teve o fornecimento suspenso por falta de pagamento e nem deixaram que o consumo chegasse ao limite que emite os sinais. Neste projeto a distribuidora firmou convênios com as prefeituras, e agentes de saúde ou professores das comunidades ficaram responsáveis pela venda dos créditos [15].

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa aqui realizada revela que a energia pré-paga foi uma proposta inovadora para a prestação de serviços de distribuição de energia e viabilizou a acessibilidade à eletricidade em muitas regiões.

Para as concessionárias de energia, o pré-pagamento auxilia na redução de custos operacionais, como a não necessidade de leitura física nos medidores, evitando despesas de deslocamento de colaboradores ou erros humanos na leitura, na emissão das faturas em papel, desconexão e reconexão de UCs. A inadimplência dos usuários também diminui, pois só é adquirido o montante de energia que o consumidor pode pagar no momento, implicando na melhoria da arrecadação da concessionária. O gerenciamento do consumo por parte da distribuidora é mais eficiente, pois com medidores inteligentes, o monitoramento é feito em tempo real e as perdas não técnicas, devido furtos e fraudes, são identificadas e mitigadas com mais facilidade.

Para os usuários finais, a energia pré-paga permite que a aquisição de créditos seja realizada em conformidade com sua capacidade de pagamento, concedendo ao consumidor maior flexibilidade e autonomia em suas despesas com eletricidade e promovendo a conscientização da população no que se refere à mudança de hábitos para economia de energia.

Em contrapartida, algumas desvantagens também podem ser identificadas, e estas são base para a controversialidade do tema, como a alegação de que a população de baixa renda teria seu acesso privado e deixariam de utilizar energia por não poderem arcar com os custos de compra de créditos. Também há debates sobre a desconexão imediata dos usuários que tiverem seus créditos totalmente consumidos. O custo de implantação do sistema de energia pré-paga é argumento mais forte por parte das distribuidoras.

No Brasil esta modalidade, apesar de regulamentada pela ANEEL em 2014, não foi implantada em caráter definitivo. Antes da regulamentação houve alguns projetos-pilotos pela Agência, entretanto apenas um experimento, no Amazonas teve continuidade. Desde então algumas concessionárias de energia planejam implementar a modalidade, uma vez que atualmente há um movimento de melhorias e inovação no setor, com o surgimento das Redes Elétricas Inteligentes.

No quesito regulatório, é possível elucidar alguns itens importantes que não são abrangidos pela norma vigente: não apresenta um cronograma que determine um prazo para a disponibilização do serviço pelas concessionárias de energia, falta de clareza no processo para desconexão de uma UC que consumir todos seus créditos adquiridos, não é especificado o método de incidência de impostos em diferentes regiões na compra de créditos.

Algumas soluções para a aceitação do o pré-pagamento de energia no Brasil pelos consumidores, concessionárias e órgãos de defesa do consumidor, seriam: adequação da resolução existente conforme experiências internacionais que são bem aceitas; implantação do sistema em pequenas regiões ou comunidades para apresentação do modelo a uma maior parcela da população e possibilidade das distribuidoras conhecerem as melhores práticas do método; incentivos financeiros do governo às distribuidoras para implementação da modalidade; desenvolvimento, por parte das concessionárias, de fornecedores de equipamentos que atendam os regulamentos técnicos metrológicos do INMETRO e requisitos da ANEEL; permissão da utilização do sistema em sistemas de mini ou microgeração; e a sinergia e aproveitamento dos investimentos referentes às inovações para *smart grids* com a troca de medidores existentes para medidores que atendam também o pré-pagamento de energia caso o método seja solicitado pelos consumidores.

CONCLUSÕES

De acordo com as informações coletadas neste trabalho conclui-se que a modalidade de faturamento pré-paga possui um grande potencial para obter bom desempenho no Brasil, mas para isso alguns obstáculos precisam ser superados. Sugere-se que a resolução vigente carece de melhorias que contornem deficiências identificadas e esclareçam o método proposto. Estas melhorias deverão contemplar o detalhamento dos procedimentos de desconexão. Em outros países, por exemplo, a desconexão não pode ser realizada durante a noite e a disponibilização de créditos de emergência é realizada imediatamente e o pagamento é feito na próxima aquisição. Este método também é fortemente criticado no sentido de que os consumidores de baixa renda serão prejudicados por poderem não ter capacidade financeira de adquirir créditos, porém a modalidade adotada atualmente apenas mascara o problema, uma vez que a legislação vigente, possibilita que o usuário final tenha um período de tempo, antes do desligamento para conseguir quitar sua dívida.

REFERÊNCIAS

- [1] IEA, Int. Energy Agency. Statistics data browser. **Electricity generation by source, Brazil 1990-2017**. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics>> Acesso 1/7/2019.
- [2] EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Relatório Síntese - ano base 2017. **Balço Energético Nacional 2018**. Rio de Janeiro, 2018.
- [3] ANEEL. A Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil 3ª edição**. Brasília, 2008.
- [4] PAULA, Gilberto José. **Medidor de demanda de energia elétrica residencial com acesso remoto**. UNICEUB. Brasília, 2013.
- [5] EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2020**. Brasília, 2019.
- [6] TOLEDO, Fábio. **Desvendando as Redes Elétricas Inteligentes: Smart Grid Handbook**. Rio de Janeiro: Brasport, 2012.
- [7] GARTHWAITE, Josie. National Geographic. **Prepay Plans for Electricity Offer Alternative to the Usual Monthly Power Bill**. 2014. Disponível em: <<https://www.nationalgeographic.com/news/energy/2014/06/140604-pre-paid-electricity-billing-plans-help-or-hurt-consumers/>> Acesso 23/8/2019.
- [8] IDEC, Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor. **Energia pré-paga: boa pra quem**. 2012. Disponível em: <<https://idec.org.br/em-acao/revista/atendimento-ruim/materia/energia-pre-paga-boa-para-quem>> Acesso 23/8/19.
- [9] ESTEVES, Gheisa R. T. **An overview of electricity prepayment experiences and the Brazilian new regulatory framework**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Rio de Janeiro, 2015.
- [10] BAPTISTA, Idalina. **Everyday Practices of Prepaid Electricity in Maputo, Mozambique**. Institute for Science, Innovation and Society (InSIS) University of Oxford. Oxford, 2013.
- [11] OWEN, Gill; WARD, Judith. **Smart pre-payment in Great Britain**. Sustainability First. Londres, 2010.
- [12] CASARIN, Ariel A. e NICOLLIER, Luciana. **Prepaid Meters in Electricity. A Cost-Benefit Analysis**. IAE Business School. B. Aires, 2008.
- [13] DARLAN, Régis. **Implantação De Um Medidor Pré-Pago De Energia Elétrica Com Comunicação Via Rede Móvel**. UNIJUÍ. Ijuí, 2015.
- [14] LAMIM, Hugo. Superintendência de Regulação dos Serviços de Distribuição. **Pré-pagamento de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 610/2014**. Brasília, 2015.
- [15] BARBOSA, C. Pinho, J. GALHARDO, M. Cruz, D. **Implementação e Operação do Primeiro Sistema de Pré-Pagamento de Eletricidade no Brasil, Instalado em uma Localidade Isolada na Região Amazônica**

CAPÍTULO 6

EXPRESSÕES ANALÍTICAS DO CAMPO ELETROMAGNÉTICO NO DOMÍNIO DO TEMPO PROVOCADO POR TRANSITÓRIOS DE CORRENTE ELÉTRICA

Data de aceite: 26/08/2020

Geraldo Peres Caixeta

Universidade São Francisco

<http://lattes.cnpq.br/8010032658680160>

RESUMO: O presente trabalho faz uma reapresentação do desenvolvimento de expressões analíticas para o cálculo do campo eletromagnético provocado pelos transitórios de corrente elétrica, no domínio do tempo e em coordenadas Cartesianas. O principal objetivo dessa reapresentação está na própria conclusão da tese de doutorado, apresentada no ano de 2000, quando foi sugerida a sua utilização em outras aplicações, além daquelas para as quais foram aplicadas inicialmente. Apesar da validação dos resultados apresentados àquela época, poucos trabalhos foram produzidos posteriormente, possivelmente ocasionados pela falta de uma melhor divulgação dos resultados em meios científicos mais adequados. Com essa reapresentação, espera-se que tais expressões sejam úteis à comunidade científica que desenvolvem trabalhos na área de interesse aqui considerada. O desenvolvimento dessas expressões parte das quatro equações de Maxwell e fazem todas as considerações particulares e constitutivas do ambiente físico e temporal necessárias aos casos de transitórios de corrente elétrica, em geometrias quaisquer, empregando o conceito de linhas de transmissão e com os seus respectivos parâmetros distribuídos. Com o emprego de softwares,

tanto para determinar o transitório da corrente elétrica na linha de transmissão, que poderia ser simplesmente um cabo condutor disposto numa configuração geométrica arbitrária, como também para o emprego dessas expressões, acredita-se numa grande contribuição no estudo e projetos de mecanismos de proteção na área de compatibilidade eletromagnética. Os resultados aqui apresentados mostram a coerência dos termos já explorados em outras literaturas clássicas na área e abrem possibilidades de outros trabalhos futuros com a aplicação dessas expressões.

PALAVRAS-CHAVE: Compatibilidade Eletromagnética, Transitórios Eletromagnéticos, Eletromagnetismo, Equações de Maxwell, Descargas Atmosféricas.

ANALYTICAL EXPRESSION OF THE ELECTROMAGNETIC FIELD IN THE TIME DOMAIN CAUSED BY ELECTRIC CURRENT TRANSIENT

1 | INTRODUÇÃO

Expressões analíticas de cálculo do campo eletromagnético devido a sinais em linhas de transmissão são bem conhecidas e encontradas em qualquer livro de eletromagnetismo. A maioria dos autores apresenta tais expressões de forma separada, conforme a distância do ponto à fonte, em campo distante e campo próximo. Por se tratar de estudos em regime permanente, o desenvolvimento de equações

no domínio da frequência é suficiente, além de ser de mais fácil obtenção, já que envolve considerações pela análise fasorial. Por outro lado, em casos de transitórios de sinais e de fenômenos não lineares, o estudo desses sinais no domínio do tempo se torna menos enfadonho e mais eficiente quando comparado com o domínio da frequência. Além disso, quando se trata de transitórios envolvendo geometrias mais complexas, o sistema de coordenadas Cartesianas muitas vezes é preferível, do ponto de vista da lógica computacional. Apesar das limitações de domínios, no caso de haver respostas em um domínio e seja necessário conhecer a resposta no outro, basta aplicar o método da Transformada Rápida de Fourier. Este trabalho busca revisitar o desenvolvimento de expressões para o cálculo de campo eletromagnético, bem como as considerações feitas desde as 4 equações de Maxwell até a sua solução analítica, desenvolvido durante o trabalho publicado pelo autor (Caixeta, 2000). Essa revisita às expressões propostas no ano de 2000 se justifica, pelo hiato de trabalhos considerando essas expressões ao longo de vários anos desde a sua publicação, apesar das diversas publicações alcançadas à época (Caixeta, 1997) (Caixeta, 1998).

A quantidade de softwares para o estudo envolvendo fenômenos de transitórios eletromagnéticos na área de compatibilidade eletromagnética é muito grande, principalmente quando são considerados aqueles comerciais e de alto custo financeiro. Esses softwares utilizam rotinas internas que aplicam diferentes métodos numéricos, a depender do tipo de aplicação e análise desejada (SADIKU, 2000), (TESCHE, 1997), (TAFLOVE, 1995). Métodos numéricos como FDTD, Elementos Finitos, Método dos Momentos, dentre outros, apresentam limitações em análise de fenômenos em que as fronteiras do domínio do espaço estudado seja de difícil definição, como por exemplo, desde análises de transitórios provocados por descargas atmosféricas nuvem-terra, até descargas eletrostáticas em placas de circuito impresso (TAFLOVE, 1998). Particularmente, para este primeiro caso, o canal de uma descarga atmosférica pode ser modelado como uma linha de transmissão com distribuição dos parâmetros ao longo do canal, com a fonte da descarga conectada à base/terra ou ao topo/nuvem (UMAN, 1975). Se se deseja conhecer o comportamento do campo eletromagnético numa determinada região distante deste canal, a aplicação dos softwares comerciais se torna falha ou muito pesada do ponto de vista de recursos computacionais. Assim, conhecendo uma expressão analítica para o cálculo do campo a partir do transitório da corrente elétrica presente no canal da descarga, se torna extremamente útil (CAIXETA, 1997). Esse tipo de análise se torna ainda mais útil quando se deseja levar em consideração o transitório das correntes elétricas presentes em estruturas de proteção contra descargas atmosféricas, geralmente envolvendo geometricamente prédios comerciais ou mesmo casas residenciais. Essas estruturas também podem ser tratadas pela

teoria de linhas de transmissão, considerando cabos interconectados terminados em outros cabos em diferentes configurações geométricas. Nessas situações, a disposição geométrica de cada linha de transmissão que compõe a estrutura não é bem definida.

Uman (1975), desenvolveu uma expressão analítica, no domínio do tempo e em coordenadas cilíndricas, para a expressão de campo eletromagnético gerado por descargas atmosféricas (RUBINSTEIN, 1989). A expressão foi largamente utilizada por outros autores e mostrou ser muito eficiente em diversas aplicações (DEGAUQUE, 1993).

Thomas e Christopoulos (1994) desenvolveram uma outra expressão analítica, só que em coordenadas Cartesianas, com o mesmo propósito de determinar campos eletromagnéticos gerados por uma descargas atmosféricas no domínio do tempo. Essa expressão mostrou ser mais eficiente que a de Uman, apresentando maior flexibilidade por trabalhar em coordenadas Cartesianas. Apesar dessa flexibilidade quando aplicada a campos gerados por linhas de transmissão em uma única direção, a mesma não apresentou o mesmo desempenho quando aplicada em casos de estruturas formadas por outras linhas de transmissão dispostas em configurações geométricas distintas. Para se determinar campos em estruturas de proteção formadas pela conexão de várias linhas, dispostas em geometrias arbitrárias, a expressão de Thomas tornou-se enfadonha. Foi então desejável o desenvolvimento de novas expressões analíticas, em coordenadas Cartesianas, no domínio do tempo, considerando um cabo condutor disposto numa geometria qualquer (figura 1), modelado a partir da teoria de linhas de transmissão para a obtenção do transitório de corrente. Será apresentado a seguir, o desenvolvimento dessas expressões a partir das quatro equações de Maxwell e pelas considerações constitutivas do ambiente a ser modelado.

Partindo das quatro equações de Maxwell, e considerando o conceito de vetor potencial magnético \vec{A} e a relação constitutiva, sabe-se que (PAUL, 1992) e (KRAUS, 1988):

$$\vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{A} \quad \Rightarrow \quad \vec{H} = \frac{1}{\mu} \vec{\nabla} \times \vec{A} \quad (1)$$

Assegurando verdadeira a lei de Gauss, considerando a segunda-equação de Maxwell, pela expressão:

$$\vec{\nabla} \cdot (\vec{\nabla} \times \vec{A}) = 0 \quad (2)$$

Substituindo essa expressão na terceira equação de Maxwell (lei de Faraday), relaciona-se a variação espacial do campo elétrico com a variação no espaço e no

tempo com o vetor potencial magnético:

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \Rightarrow \quad \vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial (\vec{\nabla} \times \vec{A})}{\partial t} \quad \Rightarrow \quad \vec{\nabla} \times \vec{E} = -\vec{\nabla} \times \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$$

Passando tudo para o primeiro membro, resulta:

$$\vec{\nabla} \times \left(\vec{E} + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \right) = 0 \quad (3)$$

Com alguns passos de álgebra vetorial, chega-se à já conhecida expressão de campo elétrico, vetorialmente no sentido contrário ao gradiente do potencial elétrico adicionado à taxa de variação temporal do potencial magnético:

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}V - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \quad (4)$$

Para efeito de generalização da configuração geométrica de um cabo condutor, como comentado acima, será considerado o segmento de uma linha de transmissão disposto numa geometria qualquer, no sistema de coordenadas Cartesianas, como ilustrado na figura 1.

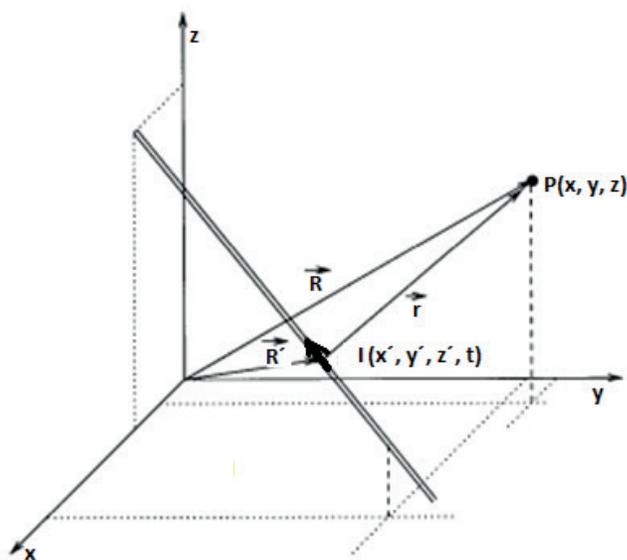


Figura 1 – Segmento de um cabo condutor disposto numa geometria qualquer.

Fonte: Adaptado de Caixeta (2000).

A definição do vetor potencial magnético será aplicada como passo intermediário para cálculo da expressão do campo magnético. De acordo com a Figura 1, o vetor potencial magnético, considerando retardo no tempo, pode ser expresso por:

$$\vec{A}(R, t) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{I(r', t - r/c)}{r} d\vec{L}' \quad (5)$$

Onde:

R = posição do ponto onde calcular $\vec{A}(R, t)$.

r = distância do ponto do elemento de corrente até o ponto onde calcular $\vec{A}(R, t)$.

r' = posição do elemento de corrente.

$d\vec{L}'$ = elemento diferencial indicando a direção do vetor densidade de corrente $\vec{J}(r')$ associado à corrente $I(r')$.

Sabendo-se que:

$$I(r', t - r/c) = \int_{S'} \vec{J}(r', t - r/c) \cdot d\vec{S}' = \int_{S'} J(r', t - r/c) dS'$$

Com isso, a expressão do vetor potencial magnético, se torna:

$$\vec{A}(R, t) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{V'} \frac{\vec{J}(r', t - r/c)}{r} dV' \quad (6)$$

Em coordenadas Cartesianas, e na forma diferencial:

$$d\vec{A}(R, t) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{\vec{J}(r', t - r/c)}{r} dx' dy' dz'$$

Simplificando para densidade de corrente filamental, uma vez que o comprimento dos condutores é muito maior que a seção transversal, e já considerando uma distribuição espacial dos elementos diferenciais, tem-se:

$$d\vec{A}(R, t) = [dA_x(R, t)\hat{a}_x + dA_y(R, t)\hat{a}_y + dA_z(R, t)\hat{a}_z] \quad (7)$$

Com:

$$dA_x(R, t) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i_x(r', t - r/c)}{r} dx' \quad (8.1)$$

$$dA_y(R, t) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i_y(r', t - r/c)}{r} dy' \quad (8.2)$$

$$dA_z(R, t) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i_z(r', t - r/c)}{r} dz' \quad (8.3)$$

2 I EXPRESSÃO PARA AS COMPONENTES DA INTENSIDADE DO CAMPO MAGNÉTICO

A forma diferencial da equação (1), fica:

$$d\vec{H}(R, t) = \frac{1}{\mu_0} \vec{\nabla} \times [d\vec{A}(R, t)]$$

Em coordenadas Cartesianas, o rotacional dessa expressão, fica:

$$d\vec{H}(R, t) = \frac{1}{\mu_0} \left\{ \left[\frac{\partial(dA_z)}{\partial y} - \frac{\partial(dA_y)}{\partial z} \right] \hat{a}_x + \left[\frac{\partial(dA_x)}{\partial z} - \frac{\partial(dA_z)}{\partial x} \right] \hat{a}_y + \left[\frac{\partial(dA_y)}{\partial x} - \frac{\partial(dA_x)}{\partial y} \right] \hat{a}_z \right\} \quad (9)$$

As derivadas parciais dos termos diferenciais do vetor potencial magnético, conforme equações (8.1 – 8.3), são:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(dA_z)}{\partial y} &= \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i_z(r', t - r/c)}{r} dz' \right) \\ \Rightarrow \frac{\partial(dA_z)}{\partial y} &= -\frac{\mu_0}{4\pi r} \left[\frac{1}{c} \frac{\partial i_z(r', t - \frac{r}{c})}{\partial t} + \frac{i_z(r', t - \frac{r}{c})}{r} \right] \frac{\partial r}{\partial y} dz' \\ \Rightarrow \frac{\partial(dA_z)}{\partial y} &= -\frac{\mu_0}{4\pi r} \left[\frac{1}{c} \frac{\partial i_z(r', t - \frac{r}{c})}{\partial t} + \frac{i_z(r', t - \frac{r}{c})}{r} \right] \frac{(y - y')}{r} dz' \quad (10) \end{aligned}$$

Adotando o mesmo procedimento para o restante das derivadas parciais da expressão do rotacional, e substituindo na equação (9), chega-se às expressões diferenciais da intensidade do campo magnético (dH_x ; dH_y ; dH_z):

$$dH_x(R, t) = -\frac{1}{4\pi r^2} \left\{ \left[\frac{(y - y')}{c} \frac{\partial i_z(r', t - \frac{r}{c})}{\partial t} + \frac{i_z(r', t - \frac{r}{c})}{r} \right] dz' - \left[\frac{(z - z')}{c} \frac{\partial i_y(r', t - \frac{r}{c})}{\partial t} + \frac{i_y(r', t - \frac{r}{c})}{r} \right] dy' \right\} \quad (11.1)$$

$$dH_y(R, t) = -\frac{1}{4\pi r^2} \left\{ \left[\frac{(z - z')}{c} \frac{\partial i_x(r', t - \frac{r}{c})}{\partial t} + \frac{i_x(r', t - \frac{r}{c})}{r} \right] dx' - \left[\frac{(x - x')}{c} \frac{\partial i_z(r', t - \frac{r}{c})}{\partial t} + \frac{i_z(r', t - \frac{r}{c})}{r} \right] dz' \right\} \quad (11.2)$$

$$dH_z(R, t) = -\frac{1}{4\pi r^2} \left\{ \left[\frac{(x-x')}{c} \frac{\partial i_y(r', t - \frac{r}{c})}{\partial t} + \frac{i_y(r', t - \frac{r}{c})}{r} \right] dy' - \left[\frac{(y-y')}{c} \frac{\partial i_x(r', t - \frac{r}{c})}{\partial t} + \frac{i_x(r', t - \frac{r}{c})}{r} \right] dx' \right\} \quad (11.3)$$

Substituindo essas três componentes na equação (9), tem-se a expressão diferencial do vetor intensidade de campo magnético, em função do espaço e do tempo:

$$d\vec{H}(R, t) = dH_x(R, t)\hat{a}_x + dH_y(R, t)\hat{a}_y + dH_z(R, t)\hat{a}_z \quad (12)$$

Cuja integral, resulta nas três componentes vetoriais:

$$\vec{H}(R, t) = H_x(R, t)\hat{a}_x + H_y(R, t)\hat{a}_y + H_z(R, t)\hat{a}_z \quad (13)$$

Ou, substituindo os termos:

$$\begin{aligned} \vec{H}(R, t) = & - \int \frac{1}{4\pi r^2} \left\{ \left[\frac{(y-y')}{c} \frac{\partial i_z(r', t - \frac{r}{c})}{\partial t} + \frac{i_z(r', t - \frac{r}{c})}{r} \right] dz' \right. \\ & - \left. \left[\frac{(z-z')}{c} \frac{\partial i_y(r', t - \frac{r}{c})}{\partial t} + \frac{i_y(r', t - \frac{r}{c})}{r} \right] dy' \right\} \hat{a}_x \\ & - \int \frac{1}{4\pi r^2} \left\{ \left[\frac{(z-z')}{c} \frac{\partial i_x(r', t - \frac{r}{c})}{\partial t} + \frac{i_x(r', t - \frac{r}{c})}{r} \right] dx' \right. \\ & - \left. \left[\frac{(x-x')}{c} \frac{\partial i_z(r', t - \frac{r}{c})}{\partial t} + \frac{i_z(r', t - \frac{r}{c})}{r} \right] dz' \right\} \hat{a}_y \\ & - \int \frac{1}{4\pi r^2} \left\{ \left[\frac{(x-x')}{c} \frac{\partial i_y(r', t - \frac{r}{c})}{\partial t} + \frac{i_y(r', t - \frac{r}{c})}{r} \right] dy' \right. \\ & - \left. \left[\frac{(y-y')}{c} \frac{\partial i_x(r', t - \frac{r}{c})}{\partial t} + \frac{i_x(r', t - \frac{r}{c})}{r} \right] dx' \right\} \hat{a}_z \quad (14) \end{aligned}$$

3 I EXPRESSÃO PARA O CAMPO ELÉTRICO

A forma diferencial da expressão (4), reescrita, fica:

$$d\vec{E} = -\vec{\nabla}dV - \frac{\partial d\vec{A}}{\partial t}$$

O gradiente do elemento diferencial do potencial elétrico em coordenadas Cartesianas, é:

$$\vec{\nabla}dV = \frac{\partial(dV)}{\partial x} \hat{a}_x + \frac{\partial(dV)}{\partial y} \hat{a}_y + \frac{\partial(dV)}{\partial z} \hat{a}_z \quad (15)$$

A relação entre o vetor potencial magnético e o potencial elétrico, pela condição de Lorentz, é:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{A} = -\mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial V}{\partial t} \quad \Rightarrow \quad V = -\frac{1}{\mu_0 \varepsilon_0} \int_0^t (\vec{\nabla} \cdot \vec{A}) d\tau$$

Na forma diferencial, tem-se que:

$$dV = -\frac{1}{\mu_0 \varepsilon_0} \int_0^t (\vec{\nabla} \cdot d\vec{A}) d\tau \quad (16)$$

O divergente do elemento diferencial do vetor potencial magnético, considerando as expressões 7 e 8, fica:

$$\vec{\nabla} \cdot (d\vec{A}) = \frac{\partial(dA_x)}{\partial x} + \frac{\partial(dA_y)}{\partial y} + \frac{\partial(dA_z)}{\partial z}$$

A derivada de cada componente nos respectivos eixos coordenados fica:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(dA_x)}{\partial x} &= \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\mu_0}{4\pi r} i_x(r', t - r/c) \right] dx' \\ &= \frac{\mu_0}{4\pi r^2} \left[\frac{\partial i_x(r', t - r/c)}{\partial x} r - \frac{\partial r}{\partial x} i_x(r', t - r/c) \right] dx' \\ &= \frac{\mu_0}{4\pi r^2} \left[-\frac{r}{c} \frac{\partial i_x(r', t - r/c)}{\partial t} \frac{\partial r}{\partial x} - i_x(r', t - r/c) \frac{\partial r}{\partial x} \right] dx' \end{aligned}$$

Resultando em:

$$\frac{\partial(dA_x)}{\partial x} = -\frac{\mu_0}{4\pi r^2} \left[\frac{(x-x')}{c} \frac{\partial i_x(r', t - \frac{r}{c})}{\partial t} + \frac{(x-x')}{r} i_x(r', t - \frac{r}{c}) \right] dx' \quad (17.1)$$

As componentes do divergente com relação aos eixos “y” e “z” são deduzidas de maneira semelhante, e resultam em:

$$\frac{\partial(dA_y)}{\partial y} = -\frac{\mu_0}{4\pi r^2} \left[\frac{(y-y')}{c} \frac{\partial i_y(r', t - \frac{r}{c})}{\partial t} + \frac{(y-y')}{r} i_y(r', t - \frac{r}{c}) \right] dy' \quad (17.2)$$

$$\frac{\partial(dA_z)}{\partial z} = -\frac{\mu_0}{4\pi r^2} \left[\frac{(z-z')}{c} \frac{\partial i_z(r', t - \frac{r}{c})}{\partial t} + \frac{(z-z')}{r} i_z(r', t - \frac{r}{c}) \right] dz' \quad (17.3)$$

Substituindo as equações (17.1 - 17.3) na equação (16), tem-se o termo em função de “x”:

$$dV(x) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r^2} \left[\frac{(x-x')}{c} \int_0^t \frac{\partial i_x(r', t - \frac{r}{c})}{\partial t} dt + \frac{(x-x')}{r} \int_0^t i_x(r', t - \frac{r}{c}) dt \right] dx'$$

Fazendo o mesmo para as componentes “y” e “z”, o diferencial do potencial elétrico total, fica:

$$\begin{aligned} dV = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r^3} & \left\{ (x-x') \left[\frac{r}{c} i_x(r', t - \frac{r}{c}) + \int_0^t i_x(r', t - \frac{r}{c}) dt \right] dx' \right. \\ & + (y-y') \left[\frac{r}{c} i_y(r', t - \frac{r}{c}) + \int_0^t i_y(r', t - \frac{r}{c}) dt \right] dy' \\ & \left. + (z-z') \left[\frac{r}{c} i_z(r', t - \frac{r}{c}) + \int_0^t i_z(r', t - \frac{r}{c}) dt \right] dz' \right\} \quad (18) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dV = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r^3} & \left\{ (x-x') \left[\frac{r}{c} i_x(r', t - \frac{r}{c}) + \int_0^t i_x(r', t - \frac{r}{c}) dt \right] dx' + \right. \\ & + (y-y') \left[\frac{r}{c} i_y(r', t - \frac{r}{c}) + \int_0^t i_y(r', t - \frac{r}{c}) dt \right] dy' + \\ & \left. + (z-z') \left[\frac{r}{c} i_z(r', t - \frac{r}{c}) + \int_0^t i_z(r', t - \frac{r}{c}) dt \right] dz' \right\} \quad (18) \end{aligned}$$

Aplicando o gradiente nesta expressão do diferencial do potencial elétrico, de acordo com a expressão (15), a componente “x” desse gradiente, fica:

$$\frac{\partial(dV)}{\partial x} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left\{ \frac{1}{r^3} \left[\frac{\partial f(x)}{\partial x} + \frac{\partial f(y)}{\partial x} + \frac{\partial f(z)}{\partial x} \right] - \frac{3}{r^4} \frac{\partial r}{\partial x} [f(x) + f(y) + f(z)] \right\} \quad (19)$$

Onde a derivada parcial da função f(x) com relação a “x” é:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial f(x)}{\partial x} &= (x-x') \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{r}{c} i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right) + \int_0^t i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \right) \right] + \frac{r}{c} i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right) \\
&\quad + \int_0^t i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \\
\Rightarrow \frac{\partial f(x)}{\partial x} &= (x-x') \left[\frac{1}{c} \frac{\partial r}{\partial x} i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right) + \frac{r}{c} \frac{\partial i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial x} + \int_0^t \frac{\partial i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial x} d\tau \right] + \\
&\quad + \frac{r}{c} i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right) + \int_0^t i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \\
\Rightarrow \frac{\partial f(x)}{\partial x} &= (x-x') \left[\frac{1}{c} \frac{\partial r}{\partial x} i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right) - \frac{r}{c^2} \frac{\partial i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \frac{\partial r}{\partial x} - \frac{1}{c} \int_0^t \frac{\partial i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \frac{\partial r}{\partial x} d\tau \right] \\
&\quad + \frac{r}{c} i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right) + \int_0^t i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \\
\Rightarrow \frac{\partial f(x)}{\partial x} &= \frac{(x-x')^2}{rc} i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right) - \frac{(x-x')^2}{c^2} \frac{\partial i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} - \frac{(x-x')^2}{rc} i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right) \\
&\quad + \frac{r}{c} i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right) + \int_0^t i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \\
\Rightarrow \frac{\partial f(x)}{\partial x} &= \frac{r}{c} i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right) - \frac{(x-x')^2}{c^2} \frac{\partial i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} + \int_0^t i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \quad (20.1)
\end{aligned}$$

Com o mesmo procedimento para as funções $f(y)$ e $f(z)$, duas derivadas parciais com relação à “x”, resulta:

$$\frac{\partial f(y)}{\partial x} = - \frac{(y-y')(x-x')}{c^2} \frac{\partial i_y \left(r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \quad (20.2)$$

$$\frac{\partial f(z)}{\partial x} = - \frac{(z-z')(x-x')}{c^2} \frac{\partial i_z \left(r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \quad (20.3)$$

Substituindo as expressões (20.1 – 20.3) em (19), e desenvolvendo, tem-se:
Componente \hat{a}_x :

$$\begin{aligned}
4\pi\epsilon_0 \frac{\partial(dV)}{\partial x} = & \left\{ \left[\frac{1}{r^2c} - \frac{3(x-x')^2}{r^4c} \right] i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right) - \frac{(x-x')^2}{r^3c^2} \frac{\partial i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \right. \\
& \left. + \left[\frac{1}{r^3} - \frac{3(x-x')^2}{r^5} \right] \int_0^t i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \right\} dx' \\
- & \left\{ \frac{3(x-x')(y-y')}{r^4c} i_y \left(r', t - \frac{r}{c} \right) + \frac{(y-y')(x-x')}{r^3c^2} \frac{\partial i_y \left(r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \right. \\
& \left. + \frac{3(x-x')(y-y')}{r^5} \int_0^t i_y \left(r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \right\} dy' \\
- & \left\{ \frac{3(x-x')(z-z')}{r^4c} i_z \left(r', t - \frac{r}{c} \right) + \frac{(z-z')(x-x')}{r^3c^2} \frac{\partial i_z \left(r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \right. \\
& \left. + \frac{3(x-x')(z-z')}{r^5} \int_0^t i_z \left(r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \right\} dz' \quad (21.1)
\end{aligned}$$

Seguindo o mesmo procedimento, chega-se à expressão da componente “y” e “z” do gradiente do diferencial do potencial elétrico:

Componente \hat{a}_y :

$$\begin{aligned}
4\pi\epsilon_0 \frac{\partial(dV)}{\partial y} = & - \left\{ \frac{3(x-x')(y-y')}{r^4c} i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right) + \frac{(x-x')(y-y')}{r^3c^2} \frac{\partial i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \right. \\
& \left. + \frac{3(x-x')(y-y')}{r^5} \int_0^t i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \right\} dx' \\
& + \left\{ \left[\frac{1}{r^2c} - \frac{3(y-y')^2}{r^4c} \right] i_y \left(r', t - \frac{r}{c} \right) - \frac{(y-y')^2}{r^3c^2} \frac{\partial i_y \left(r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \right. \\
& \left. + \left[\frac{1}{r^3} - \frac{3(y-y')^2}{r^5} \right] \int_0^t i_y \left(r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \right\} dy' \\
- & \left\{ \frac{3(y-y')(z-z')}{r^4c} i_z \left(r', t - \frac{r}{c} \right) + \frac{(z-z')(y-y')}{r^3c^2} \frac{\partial i_z \left(r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \right. \\
& \left. + \frac{3(y-y')(z-z')}{r^5} \int_0^t i_z \left(r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \right\} dz' \quad (21.2)
\end{aligned}$$

Componente \hat{a}_z :

$$\begin{aligned}
4\pi\epsilon_0 \frac{\partial(dV)}{\partial z} = & - \left\{ \frac{3(x-x')(z-z')}{r^4 c} i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right) + \frac{(x-x')(z-z')}{r^3 c^2} \frac{\partial i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \right. \\
& \left. + \frac{3(x-x')(z-z')}{r^5} \int_0^t i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \right\} dx' \\
& - \left\{ \frac{3(y-y')(z-z')}{r^4 c} i_y \left(r', t - \frac{r}{c} \right) + \frac{(x-x')(z-z')}{r^3 c^2} \frac{\partial i_y \left(r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \right. \\
& \left. + \frac{3(y-y')(z-z')}{r^5} \int_0^t i_y \left(r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \right\} dy' + \\
& + \left\{ \left[\frac{1}{r^2 c} - \frac{3(z-z')^2}{r^4 c} \right] i_z \left(r', t - \frac{r}{c} \right) - \frac{(z-z')^2}{r^3 c^2} \frac{\partial i_z \left(r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \right. \\
& \left. + \left[\frac{1}{r^3} - \frac{3(z-z')^2}{r^5} \right] \int_0^t i_z \left(r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \right\} dz' \quad (21.3)
\end{aligned}$$

Falta ainda determinar a derivada do vetor diferencial do potencial magnético com relação ao tempo, para que a expressão do campo elétrico fique completa (equação 4). Das expressões (7) e (8.1 – 8.3), tem-se que:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial(dA_x(R, t))}{\partial t} &= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{i_x(r', t - r/c)}{r} dx' \right] \\
&= \frac{\mu_0}{4\pi} \left[\frac{1}{r} \frac{\partial i_x(r', t - r/c)}{\partial t} - \frac{1}{r^2} i_x(r', t - r/c) \frac{\partial r}{\partial t} \right] dx' \\
\Rightarrow \frac{\partial(dA_x(R, t))}{\partial t} &= \frac{\mu_0}{4\pi r} \left[\frac{\partial i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} - \frac{c}{r} i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right) \right] dx' \quad (22.1)
\end{aligned}$$

Tomando o mesmo procedimento para as componentes “y” e “z”:

$$\frac{\partial(dA_y(R, t))}{\partial t} = \frac{\mu_0}{4\pi r} \left[\frac{\partial i_y \left(r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} - \frac{c}{r} i_y \left(r', t - \frac{r}{c} \right) \right] dy' \quad (22.2)$$

$$\frac{\partial(dA_z(R, t))}{\partial t} = \frac{\mu_0}{4\pi r} \left[\frac{\partial i_z \left(r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} - \frac{c}{r} i_z \left(r', t - \frac{r}{c} \right) \right] dz' \quad (22.3)$$

Finalmente, substituindo as expressões 21.1 - 21.3 e 22.1 – 22.3 na expressão (4) do campo elétrico, como se segue:

$$\vec{E}(R, t) = \int_R dE_x(R, t)\hat{a}_x + \int_R dE_y(R, t)\hat{a}_y + \int_R dE_z(R, t)\hat{a}_z \quad (23)$$

Onde:

Componente “x” do campo elétrico

$$\begin{aligned} 4\pi\epsilon_0 dE_x(R, t) = & \left\{ \left[\frac{3(x-x')^2}{r^4c} - \frac{1}{r^2c} \right] i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right) + \left[\frac{(x-x')^2}{r^3c^2} - \frac{1}{rc^2} \right] \frac{\partial i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \right. \\ & \left. + \left[\frac{3(x-x')^2}{r^5} - \frac{1}{r^3} \right] \int_0^t i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \right\} dx' \\ & + \left\{ \frac{3(x-x')(y-y')}{r^4c} i_y \left(r', t - \frac{r}{c} \right) + \frac{(y-y')(x-x')}{r^3c^2} \frac{\partial i_y \left(r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \right. \\ & \left. + \frac{3(x-x')(y-y')}{r^5} \int_0^t i_y \left(r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \right\} dy' \\ & + \left\{ \frac{3(x-x')(z-z')}{r^4c} i_z \left(r', t - \frac{r}{c} \right) + \frac{(z-z')(x-x')}{r^3c^2} \frac{\partial i_z \left(r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \right. \\ & \left. + \frac{3(x-x')(z-z')}{r^5} \int_0^t i_z \left(r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \right\} dz' \quad (24.1) \end{aligned}$$

Componente “y” do campo elétrico

$$\begin{aligned} 4\pi\epsilon_0 dE_y(R, t) = & \left\{ \frac{3(x-x')(y-y')}{r^4c} i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right) + \frac{(y-y')(x-x')}{r^3c^2} \frac{\partial i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \right. \\ & \left. + \frac{3(x-x')(y-y')}{r^5} \int_0^t i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \right\} dx' \\ & + \left\{ \left[\frac{3(y-y')^2}{r^4c} - \frac{1}{r^2c} \right] i_y \left(r', t - \frac{r}{c} \right) + \left[\frac{(y-y')^2}{r^3c^2} - \frac{1}{rc^2} \right] \frac{\partial i_y \left(r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \right. \\ & \left. + \left[\frac{3(y-y')^2}{r^5} - \frac{1}{r^3} \right] \int_0^t i_y \left(r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \right\} dy' \\ & + \left\{ \frac{3(y-y')(z-z')}{r^4c} i_z \left(r', t - \frac{r}{c} \right) + \frac{(z-z')(y-y')}{r^3c^2} \frac{\partial i_z \left(r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \right. \\ & \left. + \frac{3(y-y')(z-z')}{r^5} \int_0^t i_z \left(r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \right\} dz' \quad (24.2) \end{aligned}$$

Componente “z” do campo elétrico

$$\begin{aligned}
 4\pi\epsilon_0 dE_z(R, t) = & \left\{ \frac{3(x-x')(z-z')}{r^4 c} i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right) + \frac{(z-z')(x-x')}{r^3 c^2} \frac{\partial i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \right. \\
 & \left. + \frac{3(x-x')(z-z')}{r^5} \int_0^t i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right) dt \right\} dx' \\
 & + \left\{ \frac{3(y-y')(z-z')}{r^4 c} i_y \left(r', t - \frac{r}{c} \right) + \frac{(z-z')(y-y')}{r^3 c^2} \frac{\partial i_y \left(r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \right. \\
 & \left. + \frac{3(y-y')(z-z')}{r^5} \int_0^t i_y \left(r', t - \frac{r}{c} \right) dt \right\} dy' \\
 & + \left\{ \left[\frac{3(z-z')^2}{r^4 c} - \frac{1}{r^2 c} \right] i_z \left(r', t - \frac{r}{c} \right) + \left[\frac{(z-z')^2}{r^3 c^2} - \frac{1}{r c^2} \right] \frac{\partial i_z \left(r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \right. \\
 & \left. + \left[\frac{3(z-z')^2}{r^5} - \frac{1}{r^3} \right] \int_0^t i_z \left(r', t - \frac{r}{c} \right) dt \right\} dz' \quad (24.3)
 \end{aligned}$$

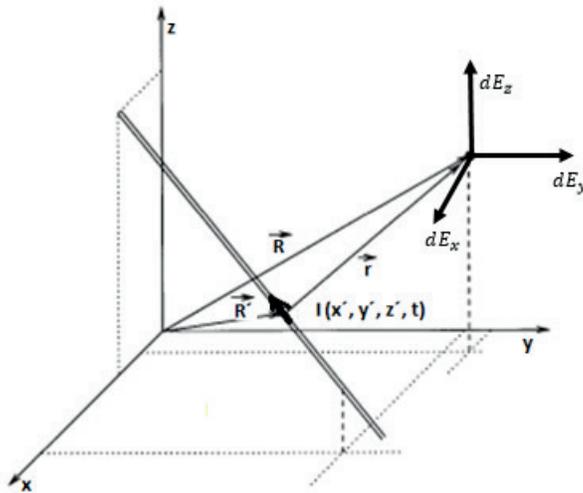


Figura 2 – Componentes do campo elétrico em coordenadas Cartesianas.

Fonte: Adaptado de Caixeta (2000).

Assim, conhecida a corrente em um dipolo qualquer em um instante $t - r / c$, o campo eletromagnético pode ser calculado no instante t , em um ponto $P(x, y, z)$ a uma distância r do centro do dipolo.

Nas expressões de (24.1 – 24.3), pode-se verificar a presença dos termos de campo próximo e de campo distante. Assim, é possível observar que:

- Os termos das equações acima, expressos em função da carga, que são aqueles que aparecem nas integrais temporais da corrente:

$$\int_0^t i_x \left(r', t - \frac{r}{c} \right) d\tau \quad (C),$$

se referem às componentes de campo eletroestático, consideradas de campo próximo, que são funções inversas com a distância ao cubo $1/r^3$.

- Os termos em função direta da corrente, na forma:

$$i(r', t - r/c) \quad (A)$$

se referem às componentes de campo elétrico indutivo, os quais são funções inversas com a distância ao quadrado $1/r^2$.

- Já os termos que estão em função do diferencial da corrente, na forma:

$$\frac{\partial i \left(r', t - \frac{r}{c} \right)}{\partial t} \quad (A/s)$$

se referem às componentes de campo elétrico irradiado, consideradas de campo distante, os quais são funções da distância na forma inversa da distância $1/r$.

- Como era de se esperar, nas expressões da intensidade de campo magnético, observa-se apenas as componentes em função direta da corrente elétrica e de seu diferencial no tempo. A ausência de componente em função da integral da corrente no tempo - relacionada ao conceito de carga elétrica, se justifica pela própria lei de Faraday.

4 | CONCLUSÃO

Foram apresentadas as expressões de campo eletromagnético provocado por transitórios de corrente elétrica, no domínio do tempo e em coordenadas Cartesianas. Foi demonstrado, em trabalhos anteriores, que essas expressões são muito úteis em estudos na área de interferências eletromagnéticas provocadas pelos transitórios de corrente elétrica em situações em que a disposição geométrica do caminho da corrente não esteja bem definida, quando então, foi proposto o desenvolvimento dessas expressões. Além disso, objetivando cobrir todo o espectro de frequência dos sinais, notadamente daqueles de origem transitória, foi considerado o domínio do tempo e não da frequência, como ocorre na maioria dos trabalhos de outros autores.

Vale ainda ressaltar que as expressões aqui desenvolvidas, podem ser aplicadas tanto no caso de campo eletromagnético gerado pelo transitório de corrente provocados pela incidência de descargas atmosféricas em estruturas, como também pelo transitório de corrente em linhas de transmissão em alta tensão, dentre outras aplicações, desde que seja possível considerar uma configuração de distribuição filamentar da corrente elétrica

As expressões de campo elétrico e de campo magnético, aqui apresentadas, foram aplicadas na solução de campo devido ao transitório de corrente em estruturas de proteção contra descargas atmosféricas, validadas tanto com medições em campo, realizadas por outros autores e disponíveis na literatura, quanto com os resultados obtidos pelos autores das expressões analíticas citadas acima.

REFERÊNCIAS

CAIXETA, G. P. Simulação Computacional de Descargas Atmosféricas em Estruturas de Proteção Visando Análises de Compatibilidade Eletromagnética. Tese de doutorado. Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, abril de 2000.

CAIXETA, G. P. and J. Pissolato Filho, Electromagnetic fields generated by lightning on protection structures of telecommunication centers, in IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, August 1997.

CAIXETA, G. P. and J. Pissolato Filho, Calculation of electromagnetic fields from arbitrary conductors configurations in time-domain simulations, in International Symposium on Electromagnetic Compatibility, EMC'RomaS8, September 1998.

SADIKU, M.N.O. Numerical Techniques in Electromagnetics, Second Edition 2nd Edition, CRC Press, 2000.

TESCHE, F. M, Michel V. Ianoz and Torbjorn K. EMC Analysis Methods and Computational Models. John Wiley & Sons, 1997.

TAFLOVE, A. Computational Electrodynamics – The Finite-Difference Time-Domain Method. Artech House, 1995.

TAFLOVE, A. Advances in Computational Electrodynamics – The Finite-Difference Time-Domain Method. Artech House, 1998.

UMAN M.A., D.K. McLain, and E.P. Krider. The electromagnetic radiation from a finite antenna. American J. Phys., 43:33–38, Jan., 1975.

RUBINSTEIN M. and M.A. Uman. Methods for calculating the electromagnetic fields from a known source distribution: Application to lightning. *IEEE - Trans. on EMC*, 31(2):183–189, may, 1989.

DEGAUQUE P. and Joel Hamelin. Electromagnetic Compatibility. Oxford University Press, 1993.

THOMAS D.W.P., C. Christopoulos, and E.T. Pereira. Calculation of radiated electromagnetic

fields from cables using time-domain simulation. *IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility*, 36(3) :201–205, August 1994.

PAUL C.R. *Introduction to Electromagnetic Compatibility*. John Wiley & Sons, 1992.

KRAUS J.D. *Electromagnetics*. McGraw-Hill, second edition, 1988.

CAPÍTULO 7

DESEMPENHO DE MICRORREACTORES FABRICADOS POR MANUFATURA ADITIVA EM REAÇÃO DE SAPONIFICAÇÃO DO ACETATO DE ETILA

Data de aceite: 26/08/2020

Data de submissão: 14/07/2020

Katherine Oliveira Alves

Universidade São Francisco
Campinas – SP

<http://lattes.cnpq.br/4371980775175482>

Vanessa de Souza Rocha

Universidade São Francisco
Campinas – SP

<http://lattes.cnpq.br/7094916568095199>

Filipe Alves Coelho

Universidade São Francisco
Campinas – SP

<http://lattes.cnpq.br/7316975557784147>

RESUMO: Ao observar a crescente busca por versatilidade e sustentabilidade alinhadas a produção localizada e a plantas miniaturizadas, engenheiros químicos ao redor do globo buscam desenvolver novos e menores equipamentos, que sejam melhores que os macros ou tão eficientes quanto. Assim sendo, o presente trabalho apresenta a comparação das conversões alcançadas de uma reação padrão, a qual ocorreu mediante a hidrólise do acetato de etila em meio alcalino, utilizando o hidróxido de sódio, em duas geometrias distintas de microrreatores construídos por intermédio da manufatura aditiva para viabilizar um processo de intensificação. No trabalho foi utilizado o Software SolidWorks Explorer em conjunto com a impressora 3D modelo Sethi3D AiP A3 que possibilitou a parte

de desenho e construção dos microrreatores. Com o intuito de verificar a conversão da reação nos microdispositivos utilizou-se do método da titulometria. Todos os experimentos foram realizados nos laboratórios da Universidade São Francisco, campus Campinas, São Paulo. Para efeitos de comparação, os valores de conversão também foram contrapostos para a mesma reação realizada em reatores CSTR e PFR, sob mesmas condições operacionais. Com os dados experimentais observados, foi possível então averiguar a eficiência dos microrreatores, demonstrando que o segundo protótipo apresentado neste trabalho obteve uma conversão maior do que o primeiro modelo. A conversão deste modelo também foi maior que um reator agitado sob mesmas condições operacionais.

PALAVRAS-CHAVE: Microdispositivos, impressão 3D, reatores.

ADDITIVE MANUFACTURED MICROREACTORS PERFORMANCE IN ETHYL ACETATE SAPONIFICATION REACTION

ABSTRACT: The growing demands for flexibility and sustainability aligned with local and miniaturized plants, led chemical engineers around the world to develop new and smaller equipment, as efficient (or even more) than the regular size ones. This work presents the performance comparison of two different geometry of microreactors built with additive manufacturing in the reaction of ethyl acetate hydrolysis with sodium hydroxide. The geometry was generated with SolidWorks Explorer and the model was

manufactured with a SETHI3D AiP A3 printer. The microreactors conversions were analyzed with the aid of titrimetry. All the experiments were executed at São Francisco University at the city of Campinas - SP, Brazil. The conversion of both microdevices were also compared with the performance of a CSTR and PFR reactors, under the same operational conditions. The experimental data indicated that both microreactors were efficient to process the reaction and microreactor n. 2 showed higher conversion. This microreactor also performed higher conversion than a CSTR under the same operational conditions.

KEYWORDS: Microdevices, 3D printing, reactors.

1 | INTRODUÇÃO

1.1 Microrreatores e intensificação de processos

A busca por flexibilização, intensificação de processos, plantas miniaturizadas e engenharia verde são tendências para modernização das plantas indústrias contemporâneas. Sendo assim é papel dos engenheiros químicos reavaliar os designs das mesmas levando em consideração tais ideias (INSTITUTION OF CHEMICAL ENGINEERS, 2007). Diferente do que se possa imaginar o conceito de intensificação de processos não é algo recente, apesar de suas diversas definições.

O “termo intensificação de processos” foi introduzido na literatura científica entre as décadas de 1960 e 1970 em publicações na Europa Oriental. Entretanto, via-se o processo de intensificação apenas como simples melhorias de processos. Foi apenas nos anos 80 com um impulso da “Imperial Chemical Industries” (ICI), uma empresa britânica formada pela junção de outras do ramo químico, que possuía um grupo intitulado “New Science Group”, o qual Colin Ramshaw fazia parte, que o termo intensificação do processo tornou-se mais difundido (STANKIEWICZ e MOULIJN, 2004). Os trabalhos de Ramshaw foram continuados na Universidade de Newcastle (KEIL, 2018). Alguns meses depois já ocorria uma reunião anual de pesquisa que foi intitulada como “Process Intensification”, realizada no Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade de Manchester (UMIST).

Dentre os dispositivos resultantes de intensificação, encontram-se os microrreatores. Os microrreatores são reatores químicos miniaturizados, ou seja, possuem dimensões extremamente pequenas chegando a possuir canais com diâmetros na faixa de 10-500 μm (IWASAKI *et al.*, 2005) (Figura 1). Em sua forma mais simples, pode-se realizar uma analogia de sua estrutura com sanduíches por estes serem constituídos por diversas camadas com redes de canais em paralelo. Nestas camadas podem ocorrer diversas funções, desde a mistura até a reação catalítica, troca de calor ou separação.

Por intermédio de técnicas de bombeamento como, eletrocinética ou hidrodinâmica, é possível reunir reagentes em sequências específicas, misturá-los

e permitir que reajam por um tempo determinado em regiões controladas das redes de canais (HASWELL e WATTS, 2005; STANKIEWICZ e MOULJIN, 2004).

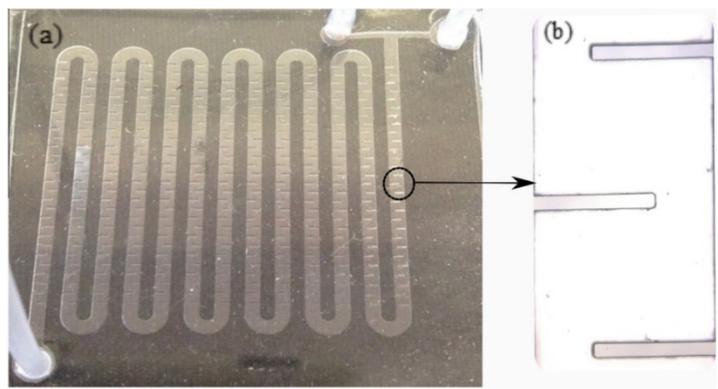


Figura 1 – Foto do (a) microdispositivo desenvolvido para a produção de biodiesel, com detalhe para o (b) microcanal.

Fonte: SANTANA *et al.*, 2017.

Dentre as diversas técnicas de fabricação de microrreatores, uma promissora é a manufatura aditiva.

1.2 Manufatura aditiva

Popularmente conhecida como impressão 3D (três dimensões), a manufatura aditiva (AM), prototipagem rápida (RP), forma livre de sólidos (SFF), ou tecnologia em camadas foi descrita pela primeira vez no final dos anos 80 por Charles Hull (GOU *et al.*, 2016).

A manufatura aditiva pode ser definida como uma tecnologia de fabricação automatizada no qual a partir de dados projetados em um programa de modelagem 3D, ocorre a criação física de cada camada única e a junção de camadas subsequentes em sequência para formar a peça física (GOU *et al.*, 2016; GEBHARDT e HÖTTER, 2016).

Existem vários processos de tecnologia em camadas, estes se diferenciam pela forma como se cria cada camada, oferecendo assim vantagens distintas. Comumente o FDM (*Fused Deposition Modeling*) é o método mais utilizado, por ser de fácil manuseio e um bom custo benefício (BARAN *et al.*, 2017). A máquina lê os dados do desenho projetado por *software* CAD (*Computer-Aided Design*) ou realiza uma varredura de um artefato existente e envia para a máquina AM, onde esta última estabelece camadas sucessivas de líquido, pó, ou o material de folha (Figura 2). É possível fazer uma analogia deste processo com a criação de um

objeto usando blocos de construção ou Legos, ou então em uma impressora a jato de tinta que volta a página, adicionando camadas de material em cima uns dos outros até que se obtenha o trabalho final (CAMPBELL *et al.*, 2011).



Figura 2 - Processo de Fabricação Aditiva Generalizado

Fonte: Adaptado de CAMPBELL *et al.* 2011.

Nesses dispositivos, um fio de material termoplástico é aquecido na cabeça do bocal de extrusão a várias temperaturas, dependendo do material utilizado. A grande maioria das impressoras 3D utilizam acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS) ou poliácido láctico (PLA), mas existem outros materiais como poliamida (PA), policarbonato (PC), nylon, etc. O polímero ABS é bem rígido e leve, fácil de usar, oferece um equilíbrio entre resistência a produtos químicos e flexibilidade. Já o PLA é um poliéster sintético, produzido a partir do ácido láctico fermentado proveniente de culturas, sendo assim trata-se de um termoplástico alifático, ou seja, biodegradável. Este último suporta até 150 – 160°C, sendo que o ABS resiste de -20°C até temperaturas superiores a 200°C (AMBROSI e PUMERA, 2016; BARAN *et al.*, 2017).

Uma das principais vantagens em se trabalhar com fabricação aditiva está na sua capacidade de criar quase qualquer forma complexa ou característica geométrica, é um processo que oferece maior liberdade para o desenho do protótipo. As somas destes fatores nos levam a novas oportunidades em diversas indústrias, tão diversas quanto as automotivas, aeroespacial e de bioengenharia. Peças criadas por essa tecnologia não envolvem muitos processos de montagem, fundição, moldagem e usinagem, processos complexos que estão presentes na indústria e envolvem ferramentas, máquinas, computadores e robôs, o que economiza tempo e custo de produção. Por fim, obtemos uma redução de resíduos, já que o uso de substâncias químicas nocivas é mínimo, como soluções de corrosão e limpeza; e inicia-se a possibilidade do uso de materiais recicláveis (ACHILLE *et al.*, 2017; CIAGLIA *et al.*; 2017; GOU *et al.*; 2016).

2 | METODOLOGIA

2.1 Design e fabricação dos microrreatores

Para o desenho dos canais dos microdispositivos, recorreu-se à literatura a respeito dos mesmos, optando pela escolha de dois modelos: o Modelo 1, baseado no trabalho de MACHADO *et al.* (2014) (Figura 3a) e o Modelo 2, baseado em KHAYDAROV *et al.* (2018) (Figura 3b), com modificações nas entradas e zonas de mistura.

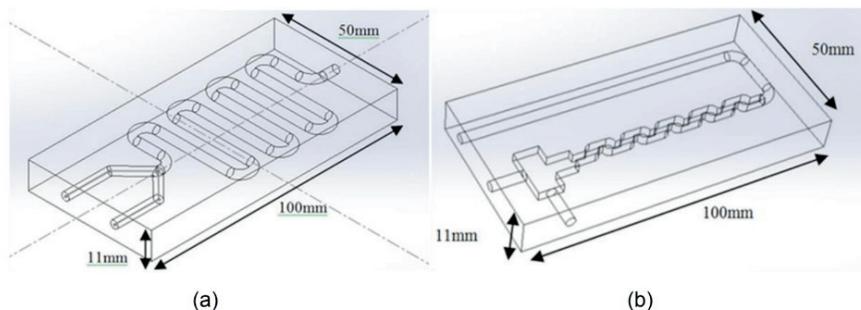


Figura 3 – Desenho dos microcreatores em software CAD: (a) modelo 1 e (b) modelo 2.

Fonte: Autoria própria.

Os microrreatores foram construídos pelo método de manufatura aditiva com polímero ABS e utilizou-se uma impressora modelo Sethi3D AiP A3. Ambos foram construídos com canais de 3mm de diâmetro e volume total de 2mL. Para que esta técnica fosse possível foi necessário criar um modelo tridimensional projetado por software CAD. O programa que se empregou para esta finalidade foi a versão gratuita do *software* SolidWorks Explorer 2019. Este *software* gera um arquivo no formato .stl que é carregado pela impressora. Os parâmetros utilizados para impressão estão expressos na Tabela 1.

Parâmetro	Valor
Qualidade	0,15 mm
Velocidade de impressão	40 mm/s
Velocidade de perímetro exterior	30 mm/s
Velocidade de enchimento	50 mm/s
Densidade enchimento	90%

Tabela 1 – Configuração da impressora.

Ambas as impressões utilizaram o filamento do material ABS, adquirido também na Universidade São Francisco, campus Swift. Havia também a opção de trabalhar-se com PLA e, portanto, para a escolha realizou-se testes com os reagentes que iriam ter contato com estes, e ambos se mostraram estáveis em contato com estes materiais, porém optou-se por escolher o ABS por questões de resistência mecânica.

As atividades experimentais envolvendo as reações foram executadas no laboratório de Engenharia Química da Universidade São Francisco, Campus Swift (Campinas, São Paulo, Brasil) e as impressões no laboratório de Engenharia Mecânica da mesma instituição.

2.2 Reação de Saponificação do Acetato de Etila

A saponificação do acetato de etila foi a reação utilizada para que pudessem ser realizadas as comparações e avaliações de desempenho dos microrreatores. A mesma foi selecionada devido à abrangência de dados encontrados na literatura, além de ser fácil de controlar, não necessitar de altas temperaturas e possuir baixos riscos de manipulação, sendo uma reação fácil de prever possíveis comportamentos (KRÜGER *et al.*, 2013), o que facilita uma comparação de desempenho de ambos os microdispositivos. A Equação 1 ilustra a reação geral (MARTINS e PIRES, 2019).



Após a fabricação dos microrreatores, iniciou-se as etapas de síntese da reação. Essas atividades experimentais foram executadas no laboratório de Engenharia Química da Universidade São Francisco, campus Swift. Os experimentos foram realizados em triplicata. A fim de realizar os experimentos foram preparadas soluções de Acetato de Etila e Hidróxido de Sódio nas concentrações de 0,1 mol/L. Com o intuito de ser possível inserir simultaneamente cada reagente nos dispositivos utilizou-se de bombas peristálticas e com auxílio de mangueiras realizou-se as conexões com o microdispositivo (Figura 4). Durante os ensaios, inicialmente preenchia-se os reservatórios e era necessário ajustar as vazões, tal ação teve de ser realizada por intermédio de experimentos, em triplicata, onde utilizou-se uma proveta de 25 mL e um cronômetro.



Figura 4 – Sistema reacional composto por duas bombas peristálticas e o microrreator.

As vazões foram ajustadas para 0,41 mL/s de cada reagente. Esta vazão foi escolhida em função do trabalho de MARTINS e PIRES (2019), que utilizam esta condição operacional na reação de saponificação do acetato de etila. Assim, seria possível comparar os resultados dos microrreatores com reatores que do tipo tubular e tanque agitado destes autores.

Com finalidade de realizar as análises individuais do desempenho de cada microdispositivo, aplicou-se a titulometria. Coletaram-se amostras de 10mL de 30 em 30 segundos, até atingir 5 minutos de passagem dos reagentes nos equipamentos, essas amostras foram depositadas em Erlenmeyers que já continham 15mL de Ácido Clorídrico (HCl) 0,1 mol/L, após a mistura dos mesmos acrescentou se 5 gotas da solução indicadora de Fenolftaleína 1%, como titulante utilizou se uma solução de Hidróxido de Sódio 0,01 mol/L. Ressaltando que estes procedimentos foram realizados em triplicata para cada um dos microrreatores.

Logo após a realização das titulações com os dados obtidos nos experimentos, foram determinadas as concentrações por intermédio da aplicação da Equação (2), e na seqüência com o intuito de encontrar às conversões de ambos os microrreatores, desenvolveu-se o cálculo da Equação (3).

$$C_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl}} = C_{\text{OH}^-, \text{amostra}} \cdot V_{\text{amostra}} + C_{\text{OH}^-, \text{titulante}} \cdot V_{\text{OH}^-, \text{titulante}} \quad (2)$$

$$X = \frac{C_{\text{OH}^-, \text{inicial}} - C_{\text{OH}^-, \text{amostra}}}{C_{\text{OH}^-, \text{inicial}}} \quad (3)$$

As conversões de cada reator foram consideradas a partir da média aritmética da triplicata.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a impressão do reator Modelo 1, foram necessárias 4h44 de trabalho da impressora e 14,99m de filamento ABS. Já o Modelo 2, foram utilizadas 6h11, neste foram empregados 20,63m do material. A Figura 5 mostra a impressão de uma amostra com um corte a fim de verificar a qualidade da impressão dos canais.

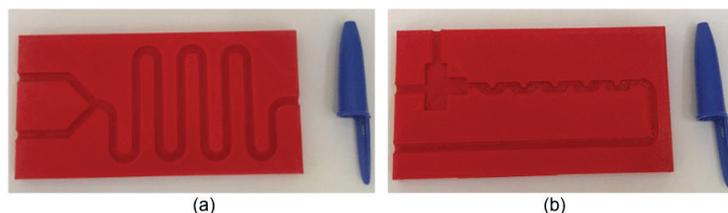


Figura 5 – Corte nos reatores para análise da qualidade dos microcanais: (a) Modelo 1 e (b) Modelo 2.

Os experimentos foram realizados em temperatura ambiente próxima de 30°C. No decorrer da passagem dos reagentes nos canais dos microrreatores, foram recolhidas as amostras de cada equipamento, onde por mediação da titulação possibilitou o cálculo da concentração de hidróxido de sódio através da Equação (2) e posteriormente a conversão dos microdispositivos pela Equação (3). Nas Figuras 6 e 7 estão apresentados as concentrações de hidróxido de sódio na saída de cada microrreator. As medições começaram em 30s visto que este é o tempo necessário para coletar as primeiras amostras dos microrreatores após a injeção dos reagentes. Nota-se que o reator inicia a produção próximo da condição de estado estacionário.

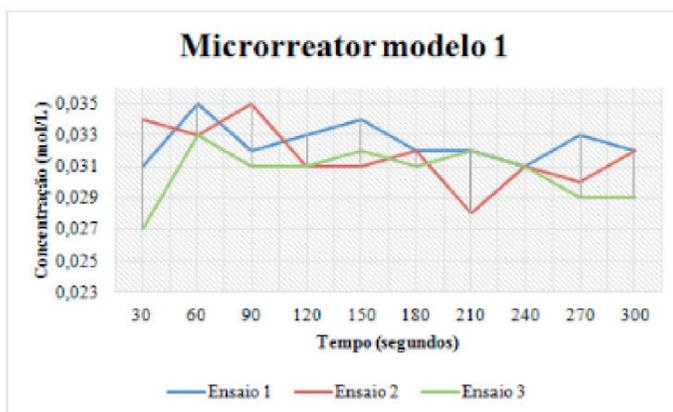


Figura 6 - Concentração de Hidróxido de Sódio x Tempo para o Modelo 1.

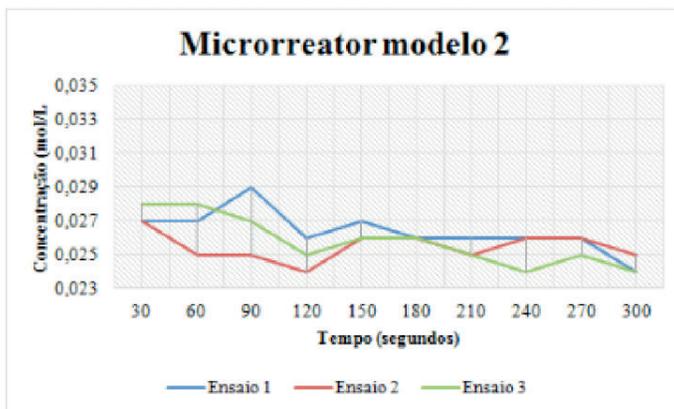


Figura 7 - Concentração de Hidróxido de Sódio x Tempo para o Modelo 2.

Dessa forma, as conversões experimentais foram estimadas em 68% para o Modelo 1 e 74% para o Modelo 2. Observa-se que a conversão do microrreator Modelo 2 é 6% maior que a do Modelo 1 e isso pode ser atribuído à geometria do mesmo. Ambos os fluxos dos microrreatores foram determinados como laminares ao encontrar o número de Reynolds para os mesmos, no modelo 1 ($Re = 0,416$) e para o modelo 2 ($Re = 0,278$).

Porém, existe um diferencial no comportamento do fluxo no microrreator 2 que possui uma parte do seu canal com chicanas, as quais desempenham o papel mais importante no processo de transporte em massa. Devido à diferente forma do canal de seção transversal, o fluxo regularmente se estende, dobra e rompe e esses efeitos intensificam significativamente o transporte de massa transversal e, portanto, a taxa de mistura e o desempenho do reator da mesma forma são intensificados. A eficiência da mistura depende fortemente do regime de convecção, essa eficiência de mistura pode ser significativamente melhorada, aproveitando a recirculação laminar induzida pelos ângulos em zigue-zague, o chamado fluxo de vórtice, semelhante ao observado na Figura 8.

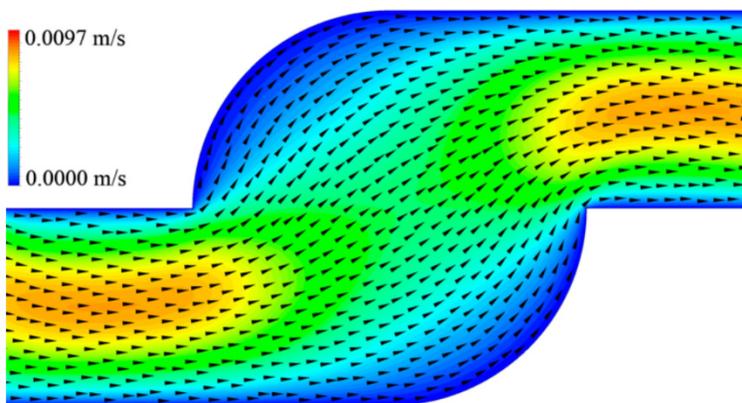


FIGURA 8 - Distribuição da velocidade ao longo do microcanal chicana para baixos números de Reynolds

Fonte: Adaptado de KHAYDAROV *et al.*, 2018.

As conversões obtidas nos experimentos foram comparadas com a de um reator tanque agitado contínuo e um tubular, em mesmas condições operacionais, oriundas do trabalho de MARTINS e PIRES (2019). Neste trabalho, foi observada que a conversão do tanque agitado foi de 65,1% enquanto do reator tubular, 82,4%.

Mesmo o reator de tanque agitado possuindo um volume aproximadamente 100 vezes maior que dos microdispositivos, onde o volume era próximo de 2 mL, os mesmos conseguiram alcançar uma conversão superior, sendo que o Modelo 2 obteve uma diferença de 8,9%. Tais resultados são reflexos dos aspectos relacionados a geometria dos microrreatores como já discutidos anteriormente, bem como o reator de tanque agitado na prática não conseguir manter uma mistura perfeita e completa. Este pode apresentar gradientes concentração, ou seja, suas propriedades não são constantes em todos os pontos do volume reacional. Em relação ao reator tubular, cuja conversão os equipamentos desenvolvidos não conseguiram alcançar, pode-se atribuir ao fato do microreator se assemelhar em sua geometria, mas possivelmente não promover o mesmo grau de mistura que o reator em escala maior.

4 | CONCLUSÕES

Assim, sabendo que há uma crescente busca por novos desenvolvimentos alinhados a produção localizada e a plantas miniaturizadas, engenheiros químicos ao redor do globo buscam criar/aperfeiçoar novos e menores equipamentos, que sejam melhores que os macros ou tão eficientes quanto. Dessa maneira o presente artigo cobriu a construção e análise do desempenho de microrreatores fabricados por manufatura aditiva, sendo possível investigar a aplicabilidade dos mesmos de

maneira experimental. Com base no que foi apresentado fica clara a eficiência dos microdispositivos produzidos por manufatura aditiva.

Acerca da execução dos ensaios nos microrreatores, pode se dizer que houve dificuldades para sanar problemas decorrentes de vazamentos nos tubos que interligavam os mesmos as bombas peristálticas, necessitando assim de diversos testes para garantir um escoamento estável.

Em relação às conversões atingidas em cada microdispositivo, fica claro que o microrreator Modelo 2 apresentou um melhor desempenho operacional quando comparado ao Modelo 1 e quando comparados a reatores que se assemelham a um CSTR e um PFR, demonstraram resultados relevantes, evidenciando que os mesmos em mesmas condições operacionais ultrapassam a conversão do CSTR, mesmo sendo 100 vezes menor que este. Em relação a um reator tubular, a conversão foi menor.

REFERÊNCIAS

ACHILLE, C; AMELOOT, R; KUHN, S; PARRA-CABRERA, C. 3D Printing in chemical engineering and catalytic technology: structured catalysts, mixers and reactors. **The royal society of chemistry**. [S.l.], p.209-230, set. 2017.

AMBROSI, A; PUMERA, M. 3D-Printing technologies for electrochemical applications. **Chemical society reviews**. [S. l.], p. 2740-2755. abr. 2016.

BARAN, T; KLAMA, P; WOJTYŁA, S. Is 3D printing safe? Analysis of the thermal treatment of thermoplastics: ABS, PLA, PET, and nylon. **Journal of occupational and environmental hygiene**. [S.l.], p.80-85, fev. 2017.

CAMPBELL, T; GARRET, B; IVANOVA, O; WILLIAMS, C. **Could 3D printing change the world? Technologies, potencial and implications of additive manufacturing**. In: Atlantic Council – Ideas. Influence. Impact., 2011, p. 1-16.

CIAGLIA, T; GLOTZ, G; GUTMANN, B. Design and 3D printing of a stainless steel reactor for continuous difluoromethylations using fluoroform. **Royal society of chemistry**. [S. l.], p. 919-927. set. 2017.

GEBHARDT, Andreas; HÖTTER, Jan-Steffen. **Additive Manufacturing**. München: Hanser, 2016.

GOU, J; HUI, D; JIANG, M; WANG, X; ZHOU, Z. 3D Printing of polymer matrix composites: A review and prospective. *Composites Part B: Engineering*. **Composites part b: engineering**. p. 442-458, set. 2016.

HASWELL, S J.; WATTS, P. The application of microreactors for organic synthesis. **Chemical Society Reviews**. p. 235-246, 2005.

INSTITUTION OF CHEMICAL ENGINEERS. A Roadmap for 21st Century Chemical Engineering. **Icheme**, p.10-12, maio 2007.

IWASAKI, T; SUGA, S; YOSHIDA, J. Enhancement of chemical selectivity by microreactors. **Chemical engineering and technology**, p. 259-266, 2005.

KEIL, F.J. Process intensification. **Reviews in chemical engineering**, p. 135-200, 2018.

KHAYDAROV , V.; BOROVIKSKAYA , E..; RESCHETILOWSKI, W. Numerical and Experimental Investigations of a Micromixer with Chicane Mixing Geometry. **Applied Sciences**, v. 8, n. 12, p. 1-16, 2018.

KRÜGER, Adolfo Guilherme; REIS, Camila dos Santos; POSTAL, Kahoana. **Cinética da saponificação do Acetato de Etila - Determinação da constante de velocidade da reação**, Universidade Federal do Paraná. Curitiba: 2013.

MACHADO, A.H.L.; PANDOLI, O.; MIRANDA, L. S. M.; DE SOUZA, R. O. M. A. Micro reatores: Novas oportunidades em síntese química. **Revista Virtual de Química**, v. 6, n. 4, p. 1076-1085, 2014.

MARTINS, D.; PIRES, J.F. Construção de reatores contínuos: tanque agitado e reator tubular para avaliação de desempenho na reação de saponificação do acetato de etila. **Núcleo do Conhecimento**, Ed. 10, v. 02, p. 176-200, 2019.

SANTANA, H.S.; TORTOLA, D.S.; JR SILVA, J.L.; TARANTO, O.P. Biodiesel synthesis in micromixer with static elements. **Energy Conversion and Management**, v. 141, p.28-39, 2017.

STANKIEWICZ, A.; MOULIJN, J A.. **Re-engineering the chemical processing plant: Process Intensification**. Marcel Dekker, 2004.

CAPÍTULO 8

AVALIAÇÃO DA BIODEGRADAÇÃO E ENVELHECIMENTO ACELERADO POR RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA NA BLENDA PBAT/TPS

Data de aceite: 26/08/2020

Data de submissão: 29/04/2020

Fernanda Andrade Tigre da Costa

Universidade São Francisco
Bragança Paulista – SP
<http://lattes.cnpq.br/4983471696496187>

Marcelo Augusto Gonçalves Bardi

Universidade São Francisco
Bragança Paulista – SP
<http://lattes.cnpq.br/3841717646904035>

RESUMO: A acumulação de materiais plásticos descartados no meio ambiente vem sendo motivo de preocupação pela sociedade científica. Uma alternativa para esse problema é a utilização de plásticos biodegradáveis. Dentre esses plásticos, a adição do amido termoplástico (TPS) ao poli(butileno adipato co-tereftalato) (PBAT) resulta em um polímero altamente biodegradável que, por esse fator, é utilizado para obter embalagens que exigem um curto tempo de vida útil. Contudo, o estudo tem o propósito de avaliar a biodegradação da blenda de PBAT/TPS em solo simulado em dois diferentes tipos de ambientes, um em um solo que simula as condições normais do ambiente e outro totalmente esterilizado, para avaliar a efetiva ou não ação dos microrganismos. Outro objetivo é avaliar a degradação da blenda de PBAT/TPS por radiação ultravioleta (UV) e posteriormente submeter tais amostras ao processo de biodegradação em solo simulado para observar se o pré-envelhecimento influencia

na biodegradação. Portanto, inicialmente foi discutido os resultados das caracterizações realizadas nas amostras expostas à degradação em solo simulado por 1 mês (DSC, DRX, MEV e colorimetria). E de acordo com os resultados, foi possível afirmar que a ação dos microrganismos não teve influência na degradação do material, pelo menos durante a fase inicial de biodegradação em 1 mês. Com base nesse resultado, foi realizado um ensaio de biodegradação em solo simulado durante um tempo maior (6 meses) em ambiente normal para avaliar o comportamento do material durante mais tempo, no qual a perda de massa manteve na redução 20% da composição inicial, a mesma obtida no ensaio de 1 mês. Então, essa perda de massa foi o limite que o material se degradou nas condições deste trabalho. Posteriormente foi feito o pré-envelhecimento por radiação ultravioleta durante 10 dias à 60°C de acordo com ASTM D5208-09 (“Standard Practice for Fluorescent Ultraviolet (UV) Exposure of Photodegradable Plastics,” 2009). Análises de perda de massa, DSC e TG foram realizadas para avaliar o efeito do pré-envelhecimento. E de acordo com os resultados, foi possível afirmar que a exposição à luz ultravioleta acelerou o processo de biodegradação, na qual sem exposição à luz UV a amostra degradou 20% e com a exposição à luz UV degradou 40% no solo durante 1 mês. Entretanto, comparando os tipos de ambientes, a ação dos microrganismos ainda não teve influência na degradação do material, pelo menos durante a fase inicial de 1 mês.

PALAVRAS-CHAVE: Solo simulado, blenda PBAT/TPS, degradação, microrganismos,

radiação ultravioleta.

EVALUATION OF BIODEGRADATION AND AGING ACCELERATED BY ULTRAVIOLET RADIATION IN THE PBAT/TPS BLEND

ABSTRACT: The accumulation of plastic materials discarded in the environment has been a matter of concern for the scientific society. An alternative to this problem is the use of biodegradable plastics. Among these plastics, the addition of thermoplastic starch (TPS) to poly(butylene adipate co-terephthalate) (PBAT) results in a highly biodegradable polymer that, for this reason, is used to obtain packaging that requires a short shelf life. However, the study has the purpose of evaluating the biodegradation of the PBAT/TPS blend in simulated soil in two different types of environments, one in a soil that simulates the normal conditions of the environment and the other fully sterilized, to evaluate the effective or not action of microorganisms. Another objective is to evaluate the degradation of the PBAT/TPS blend by ultraviolet (UV) radiation and subsequently submit such samples to the biodegradation process in simulated soil to observe whether pre-aging influences biodegradation. Therefore, the results of the characterizations performed on samples exposed to degradation in simulated soil for 1 month were initially discussed (DSC, DRX, SEM and colorimetry). And according to the results, it was possible to state that the action of the microorganisms had no influence on the degradation of the material, at least during the initial phase of biodegradation in 1 month. Based on this result, a simulated soil biodegradation test was carried out for a longer time (6 months) in a normal environment to assess the material's behavior for a longer time, in which the loss of mass kept the initial composition reduced by 20%, the same obtained in the 1 month trial. So, this loss of mass was the limit that the material was degraded under the conditions of this work. Subsequently, ultraviolet radiation was pre-aged for 10 days at 60°C according to ASTM D5208-09 ("Standard Practice for Fluorescent Ultraviolet (UV) Exposure of Photodegradable Plastics," 2009). Mass loss, DSC and TG analyzes were performed to assess the effect of pre-aging. And according to the results, it was possible to state that exposure to ultraviolet light accelerated the biodegradation process, in which, without exposure to UV light, the sample degraded 20% and with exposure to UV light degraded 40% in the soil for 1 month. However, when comparing the types of environments, the action of microorganisms has not yet influenced the degradation of the material, at least during the initial phase of 1 month.

KEYWORDS: Simulated soil, PBAT/TPS blend, degradation, microorganisms, ultraviolet radiation.

1 | INTRODUÇÃO

Os impactos ambientais das sacolas plásticas estão em toda parte, desde a poluição visual até a morte dos animais (ORSO, 2014). De acordo com Grimberg (2018), 300 milhões de toneladas de plástico são geradas por ano em todo o mundo, aproximadamente 1/3 desta composição vem de embalagens e a maioria dos

plásticos usados são descartados incorretamente no ambiente.

Buscando a melhoria para a degradação de materiais plásticos no ambiente, várias propostas alternativas foram consideradas. Segundo Boscaro (2014), o uso de polímeros biodegradáveis é uma alternativa ambientalmente menos impactante que os polímeros tradicionais. Desta forma, os plásticos podem continuar sendo utilizados pela indústria e pelo comércio, não contribuindo para o acúmulo de resíduos sólidos gerados pela sua disposição (BOSCARO, 2014).

Os polímeros biodegradáveis são degradados pela ação de bactérias, fungos e algas. Normalmente, suas cadeias são inicialmente quebradas por processos como hidrólise e fotólise, e então os microrganismos podem acessar o volume polimérico e degradar os subprodutos de massa molecular mais baixa por ação enzimática (FECHINE, 2013). O processo geral da biodegradação é ilustrado na Figura 1. Na qual a degradação se divide em duas fases, a fase abiótica e a fase biótica. A fase abiótica é onde ocorre a hidrólise das macromoléculas do polímero para se dividir em monômeros e oligômeros, onde neste momento são suficientemente pequenos para serem digeridos pelos microrganismos, dando início a fase biótica. Na fase biótica, os microrganismos metabolizam o polímero gerando biomassa podendo realizar dois tipos de produção, a aeróbica (gerando CO₂ e água) e a anaeróbica (gerando gás metano).

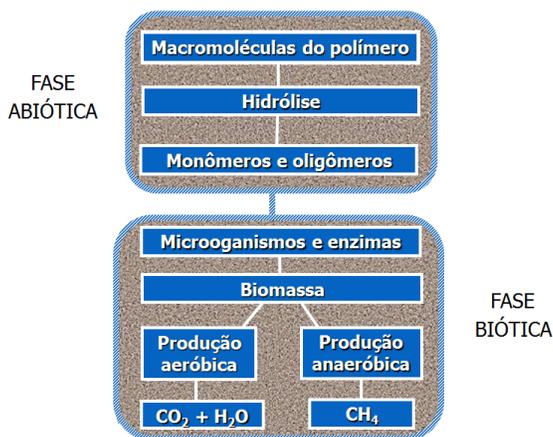


Figura 1 - Esquema genérico da biodegradação. (Adaptada de BARDI & ROSA, 2007).

Além disso, polímeros biodegradáveis são usados em misturas com outros polímeros para aumentar a biodegradabilidade. No estudo de Ferro et al (2015), foi possível afirmar que a adição de amido ao polietileno com 50% na composição, em

relação ao volume, teve um percentual satisfatório na perda de massa, comparado aos estudos encontrados na literatura, que foi de 8% em relação ao filme controle. O ensaio foi feito por tratamento enzimático como uma técnica de medição de biodegradabilidade (FERRO et al, 2015).

O amido é um dos polímeros naturais que tem sido muito utilizado na produção de plásticos biodegradáveis, pois pode ser obtido de várias fontes da natureza, como milho, mandioca e outros (TEE et al, 2013). Entretanto, o amido não apresenta propriedades termoplásticas em sua forma nativa, mas pode ser processado na presença de plastificantes e altas temperaturas para obtenção do amido termoplástico (TPS) (TEE et al, 2013). O amido é composto por dois tipos de estrutura: amilose e amilopectina, um linear e outro totalmente ramificado. A Figura 2 ilustra a estrutura química do amido.

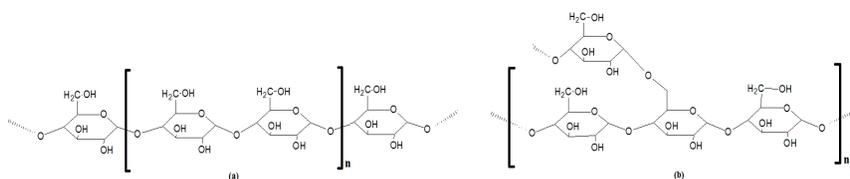


Figura 2 - Estrutura química do amido: (a) amilose; (b) amilopectina.

Fonte: Próprio autor.

Polímeros à base de amido são mais biodegradáveis, o que possibilita sua inserção no processo de compostagem (CHUAYJULJIT et al, 2017). No entanto, o amido tem algumas desvantagens, como o forte comportamento hidrofílico e propriedades mecânicas mais fracas quando comparado com os polímeros sintéticos. No entanto, estudos foram realizados para procurar composições poliméricas, a fim de garantir seu grau de biodegradabilidade e sua resistência mecânica (CHUAYJULJIT et al, 2017).

Polímeros sintéticos biodegradáveis também despertam interesse, como o poli (co-tereftalato de adipato de butileno) (PBAT), cuja estrutura química é apresentada na Figura 3. O PBAT é um copolímero sintético, biodegradável e derivado do petróleo produzido pela empresa BASF, também conhecida como Ecoflex® (CARDOSO et al, 2017). Este polímero é geralmente estudado para aplicações de embalagens (DONG et al, 2013).

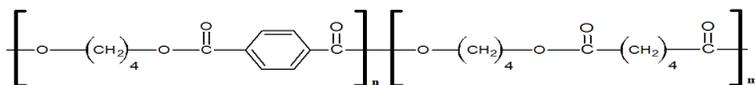


Figura 3 - Estrutura química do PBAT.

Fonte: Próprio autor.

Uma mistura que foi estudada a partir de PBAT e TPS é conhecida como Ecobras®, desenvolvida em parceria entre a BASF e a Corn Products of Brazil (PAIVA et al, 2015). Quando o amido e o PBAT são misturados, o custo é menor e as suas propriedades de degradabilidade aumentam (CHAVES DA SILVA et al, 2017). Ele foi desenvolvido para possuir biodegradabilidade, juntamente com boas propriedades mecânicas e de processamento (PAIVA et al, 2015).

No estudo de Santos et al (2014), foram preparados filmes biodegradáveis a partir de fécula de mandioca, poli (butileno adipato-co-tereftalato) (PBAT) e montmorilonita (MMT) utilizando o processo de extrusão por sopro e analisou-se os efeitos de diferentes tipos e concentrações de MMT na microestrutura, e propriedades mecânicas dos filmes resultantes. Os filmes foram produzidos pela mistura de 30% de PBAT com glicerol (17,5%), amido (49,0-52,5%) e quatro tipos diferentes de montmorilonita (Cloisite® Na+, 10A, 15A e 30B) em duas concentrações diferentes (1,75% e 3,5%). Todos os filmes preparados neste estudo mostraram um aumento no espaçamento basal das camadas de MMT. Em particular, os filmes com 10A e 30B apresentaram o maior aumento no espaçamento basal de intercalação, sugerindo a formação de compósitos intercalados. A adição de nano argilas, diminuiu o alongamento dos filmes (SANTOS et al, 2014).

Embora existam alguns estudos que analisam as propriedades da blenda PBAT/TPS juntamente com diversas combinações com outros materiais, poucos são os estudos que avaliam o mecanismo microbiológico da degradação da blenda. Portanto, este ainda é um campo desconhecido de acordo com a literatura.

Portanto, este projeto tem por objetivo acompanhar a biodegradação da blenda de poli(butileno adipato co-tereftalato)/amido Termoplástico (Ecobras®), pré-envelhecido por radiação ultravioleta, em dois diferentes tipos de solo simulado. Na qual a caracterização dos componentes puros e as suas misturas será realizada por meio de propriedades térmicas, mecânicas, reológicas e morfológicas.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Como material de estudo, Ecobras® (BASF S.A., São Paulo, SP), obtido na forma de filmes em bobina, gentilmente doados pela Corn Products do Brasil S.A. (Jundiaí, SP), foi caracterizado e submetido aos ensaios de biodegradação. Para a preparação do solo foi utilizado areia média-fina, água química e microbiologicamente pura (deionizada e desmineralizada) e terra vegetal, onde essa terra é preparada com composto orgânico, de origem vegetal, rico em nutrientes que exercem influência direta no solo, melhorando suas propriedades (Marca: Pedra Grande).

2.2 Método

Durante esse período de projeto foram realizados os seguintes procedimentos:

- Caracterização das amostras obtidas do ensaio de biodegradação da blenda PBAT/TPS durante 1 mês em dois ambientes (normal e esterilizado), por DSC, DRX, MEV e colorimetria;
- Ensaio de biodegradação da blenda PBAT/TPS durante 6 meses no ambiente normal;
- Ensaio de degradação acelerada da blenda PBAT/TPS por luz ultravioleta;
- Ensaio de biodegradação da blenda PBAT/TPS pré-degradada por UV durante 1 mês em dois ambientes (normal e esterilizado);
- Caracterização das amostras obtidas do ensaio de biodegradação da blenda PBAT/TPS pré-degradada por UV durante 1 mês em dois ambientes (normal e esterilizado), por DSC e TG.

2.2.1 Caracterização por DSC, DRX, MEV e Colorimetria das amostras do ensaio de 1 mês em dois ambientes

As análises de calorimetria exploratória diferencial (DSC) foram realizadas com o calorímetro modelo DSC 204 Phoenix®, TASC 414/3 A, fabricado pela empresa NETZSCH (Gerätebau G. m. b. H., Selb, Alemanha). As curvas DSC foram obtidas para as amostras originais e biodegradadas, utilizando-se razão de aquecimento de $10^{\circ}\text{C min}^{-1}$ até à temperatura de 200°C , utilizando-se atmosfera de ar e cadinho de alumínio fechado. Sendo assim, foi possível obter as temperaturas de transição vítrea, de fusão e a entalpia de fusão (T_g , T_m e ΔH_m , respectivamente) para cada amostra. O grau de cristalinidade (X_C) do PBAT foi determinado pela Equação 1.

$$X_c = \frac{\Delta H_m}{\Delta H_m^o} \times 100 \quad (1)$$

Onde H_m é a variação da entalpia de fusão do PBAT e H_m^o é a variação da entalpia de fusão para o PBAT 100% cristalino, equivalente a 114 J/g (HERRERA *et al*, 2002).

Nas análises de difratometria de raios-X (DRX) foram realizadas com o difratômetro modelo X'Pert-PRO MRD XL, PW3040/80 DRX, fabricado pela empresa PANalytical (Lelyweg 1, 7602 EA Almelo). Para obter os resultados, foi utilizado na análise a energia de feixe em um tubo de cobalto, tensão de 40kV e corrente de 45mA.

Para as análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram realizadas no Microscópio Eletrônico de Varredura FEI®, modelo Quanta 650 FEG High Resolution E-SEM, fabricado pela empresa Thermo Fisher Scientific (5350 NE Dawson Creek Drive Hillsboro, Oregon 97124 USA). As amostras foram analisadas sob diferentes magnificações que varia de acordo com as diferentes imagens (3k, 10k e 50k). O modo de detecção foi utilizado o detector de elétrons secundários para operação em alto vácuo (ETD), a tensão de varredura de 5,00 keV, a abertura do obturador de 3,0 e a razão WD de 7,99 mm.

E nas análises de colorimetria foram realizadas com o colorímetro modelo Spectro-Guide Sphere Gloss CD-6834, fabricado pela empresa BYK (BYK-Gardner GmbH, Geretsried, Alemanha). Os valores obtidos foram das coordenadas L^* , a^* , b^* e G (brilho). Onde as amostras foram medidas em um fundo branco, para diminuir interferências na medição, e foram feitas três medições em pontos diferentes em cada amostra, para maior precisão das coordenadas.

2.2.2 Ensaio de biodegradação de 6 meses no ambiente normal

Após a caracterização das amostras foi realizado um ensaio de biodegradação em ambiente normal nas mesmas condições do ensaio de biodegradação anterior de 1 mês, porém, o estudo foi prolongado para 6 meses.

A preparação do solo de ensaio foi feita com 58% de terra vegetal, 21% de areia média-fina e 21% de água deionizada e desmineralizada obtida pela técnica de osmose reversa (marca: Quimis Aparelhos Científicos LTDA, local de fabricação: Diadema – SP – Brasil, modelo: Q842-210). Na qual, para cada recipiente de solo simulado foram enterradas 4 amostras de 3x3cm do material estudado.

A temperatura e o pH de cada pote foram frequentemente examinados e suas umidades controladas por meio de medidor 4x1 digital de solo (marca: DANOPLUS, local de fabricação: China, modelo: AMT-300).

2.2.3 Ensaio de degradação acelerada por radiação ultravioleta

O ensaio de aceleração da degradação por luz ultravioleta da blenda foi realizado no sistema acelerado de envelhecimento para não metálicos (Ultra violeta “B”/Condensação) – (ASTM G53), modelo UV COND, (Comexim Matérias Primas Ind. Com. Ltda., SP). No qual, foi realizado o envelhecimento por luz ultravioleta do tipo “B”, durante 10 dias a 60°C, das amostras a serem enterradas no solo.

2.2.4 Ensaio de biodegradação da amostra pré-envelhecida por luz UV durante 1 mês nos dois ambientes

Após a degradação por luz ultravioleta, as amostras foram submetidas ao ensaio de biodegradação durante 1 mês em dois tipos de ambiente, um em condições normais da natureza e outro totalmente esterilizado, assim sendo possível avaliar a efetiva ou não ação dos microrganismos na degradação.

A preparação do solo e o procedimento foi realizado nas mesmas condições dos ensaios anteriores de biodegradação.

Para a esterilização dos potes foi utilizado a autoclave vertical (marca: Phoenix Luferco, local de fabricação: Araraquara – SP – Brasil, modelo: AV). E para manter o conteúdo dos potes estéreis durante o ensaio foi preciso executar esses testes dentro da cabina de segurança biológica (marca: Grupo VECO, local de fabricação: Campinas – SP – Brasil, modelo: A1).

2.2.5 Caracterização por DSC e TG das amostras biodegradadas e pré-envelhecidas

As análises de calorimetria exploratória diferencial (DSC) foram realizadas nas mesmas condições do teste anterior.

As análises de termogravimetria (TG) foram realizadas na termobalança modelo TG 209 F1 Iris®, fabricado pela NETZSCH (Gerätebau G. m. b. H., Selb, Alemanha). As curvas de TG foram obtidas para as amostras originais e biodegradadas, utilizando-se razão de aquecimento de 10°C min⁻¹ até à temperatura de 600°C, utilizando-se atmosfera de nitrogênio e cadinho de cerâmica aberto. Sendo assim, foi possível obter as temperaturas de estabilização, de 50% de degradação e a massa residual (T_{est} , $T_{50\%}$ e m_r , respectivamente), como mostra a Figura 21. O resultado pode ser diferenciado numericamente, em relação ao tempo ou temperatura, para dar uma curva termogravimétrica derivada (DTG). Gráficos de DTG são úteis na tentativa de resolver processos sobrepostos e para alguns métodos de análise cinética (BROWN, 2001).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização por DSC, DRX, MEV e Colorimetria das amostras do ensaio de 1 mês em dois ambientes

Análises de DSC foram realizadas para amostras de PBAT/TPS submetidas ao ensaio de biodegradação em ambiente normal e esterilizado, ao longo de 30 dias, conforme ilustrado na Figura 4.

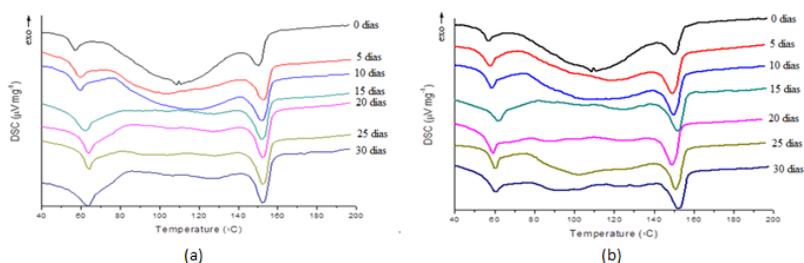


Figura 4 - Curvas DSC para amostras PBAT/TPS: (a) expostas no ambiente normal; (b) expostas no ambiente esterilizado.

A partir dos dados apresentados na Figura 4, foi possível determinar as temperaturas de transição vítrea (T_g), fusão (T_m) e entalpia de fusão (ΔH_m) das amostras, relatadas nas Tabelas 1 e 2.

Solo Simulado	Sem Envelhecimento	5 Dias	10 Dias	15 Dias	20 Dias	25 Dias	30 Dias
T_g (°C)	57,0	59,8	59,4	62,2	63,9	63,8	63,3
T_m (°C)	150,1	152,5	152,0	152,3	152,5	152,7	152,6
ΔH_m (J/g)	14,47	19,53	25,95	26,66	27,36	27,98	26,07
X_c (%)	12,69	17,13	22,76	23,38	24,00	24,54	22,96

Tabela 1 - Resultados da análise de DSC das amostras no ambiente normal.

Solo Esterilizado	Sem Envelhecimento	5 Dias	10 Dias	15 Dias	20 Dias	25 Dias	30 Dias
T_g (°C)	57,0	59,6	60,6	63,1	62,2	61,6	60,5
T_m (°C)	150,1	151,1	151,8	152,9	152,0	151,9	152,2
ΔH_m (J/g)	14,47	24,31	27,58	27,29	25,64	25,51	26,12
X_c (%)	12,69	21,32	24,19	23,94	22,49	22,38	22,91

Tabela 2 - Resultados da análise de DSC das amostras no ambiente esterilizado.

Observou-se que o processo de biodegradação causou alterações de aproximadamente 1,25% na localização do pico de fusão e 80,2% na sua entalpia, caracterizando que houve redução nas frações molares dos componentes da blenda, facilitando sua mobilidade no material fundido. Tal fator pode ser também observado no deslocamento da temperatura de transição vítrea, característica do PBAT. Isso ocorreu devido à região cristalina da amostra ter aumentado, possível observar também pelo aumento do grau de cristalinidade (X_c).

O processo de biodegradação afetou diretamente os domínios morfológicos do material estudado. Sendo assim, é possível observar que não houve variação significativa entre solo normal e autoclavado, indicando que apenas os fatores físicos abióticos impactam no estágio inicial da biodegradação, visto que a hidrólise é a etapa inicial e responsável por tornar disponível o substrato para as demais etapas (GUERI *et al*, 2017).

Análises de DRX das amostras expostas aos dois ambientes foram realizadas, sendo que os espectrômetros são apresentados na Figura 5.

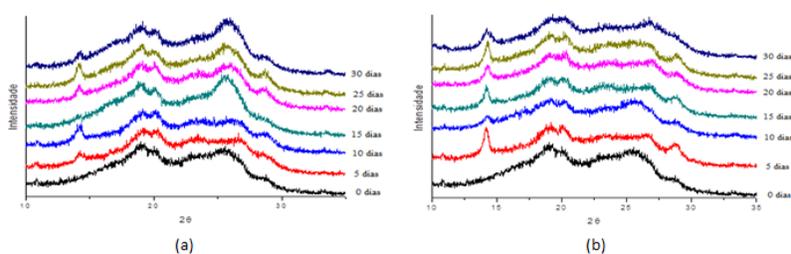


Figura 5 - Resultados obtidos para a análise de DRX: (a) ambiente normal; (b) ambiente esterilizado.

Foi possível observar que, à medida em que o tempo de exposição no solo aumentou, a região cristalina da amostra também aumentou, indicando que houve uma degradação do material, visto que a região amorfa do material (amido) diminuiu devido a degradação inicial.

Por meio de MEV, foi possível obter as micrografias em diferentes magnitudes para as amostras envelhecidas a nos dois ambientes, conforme apresentado nas Tabelas 3 e 4.

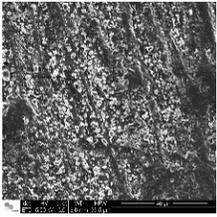
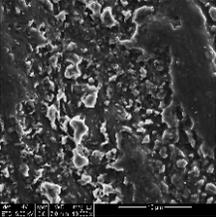
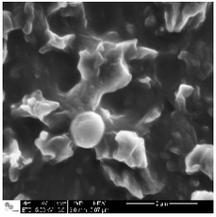
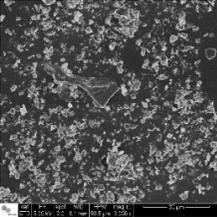
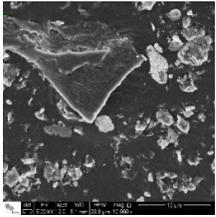
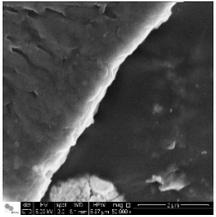
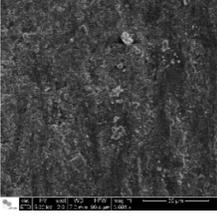
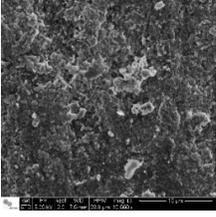
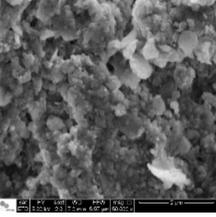
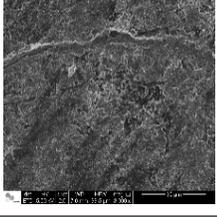
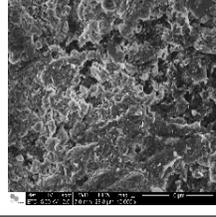
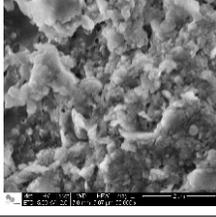
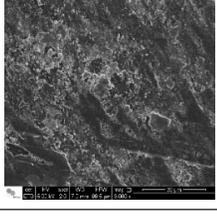
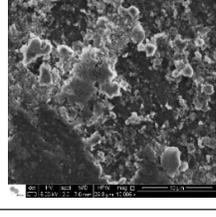
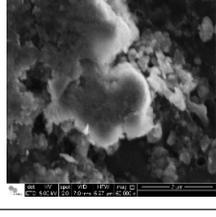
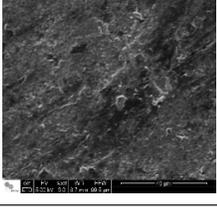
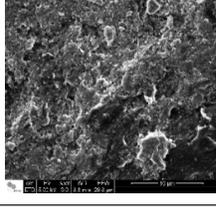
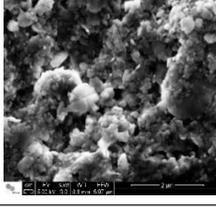
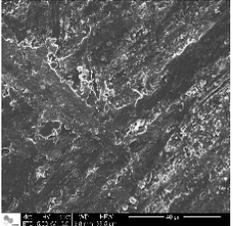
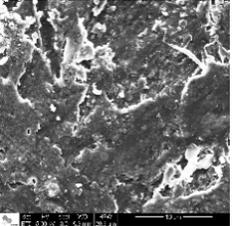
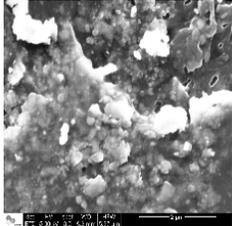
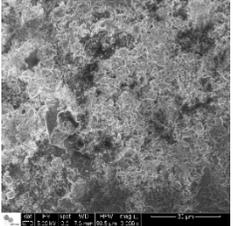
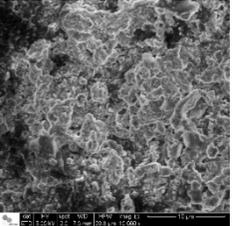
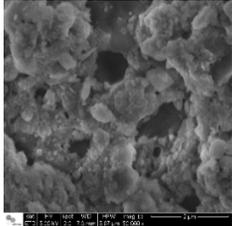
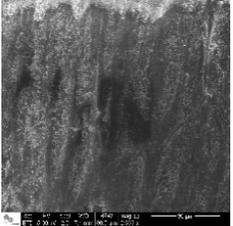
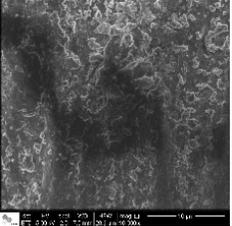
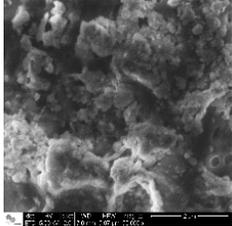
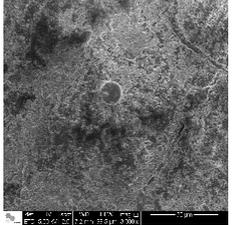
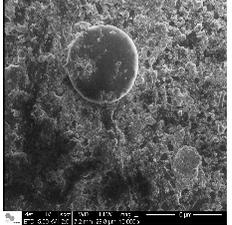
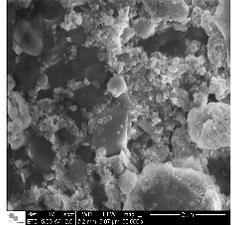
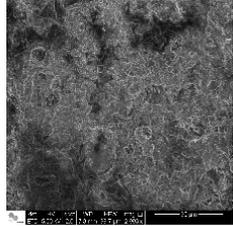
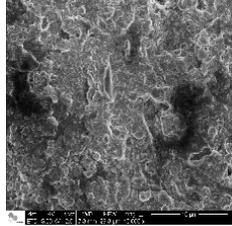
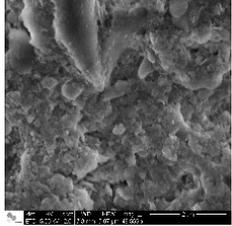
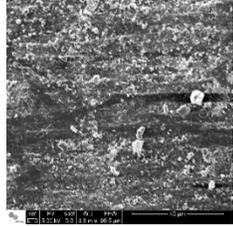
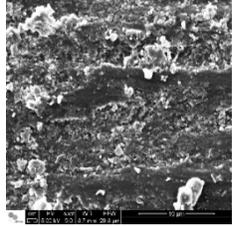
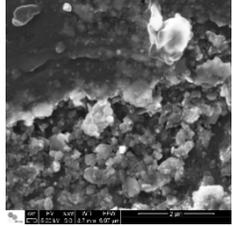
Tempo de exposição	3k	10k	50k
0 dias			
5 dias em ambiente esterilizado			
5 dias em ambiente normal			
10 dias em ambiente esterilizado			
10 dias em ambiente normal			
15 dias em ambiente esterilizado			

Tabela 3 - MEV da amostra de PBAT/TPS em diferentes condições de solo (Parte 1).

15 dias em ambiente normal			
20 dias em ambiente esterilizado			
20 dias em ambiente normal			
25 dias em ambiente esterilizado			
25 dias em ambiente normal			
30 dias em ambiente esterilizado			

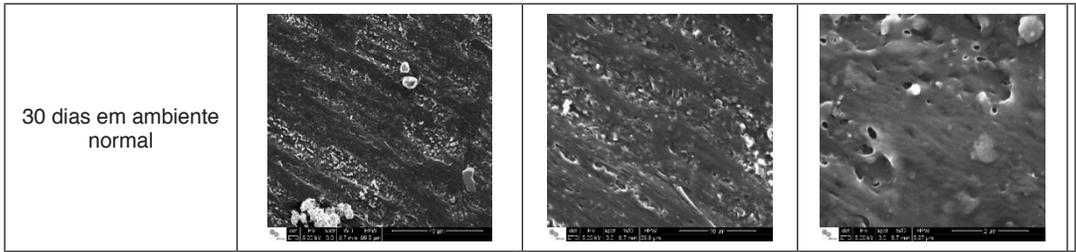


Tabela 4 - MEV da amostra de PBAT/TPS em diferentes condições de solo (Parte 2).

Através das imagens de MEV, foi possível observar a mudança da superfície da amostra de acordo com o tempo de exposição no solo, no qual a superfície do filme tende a ficar mais homogênea. Isso se dá devido a região amorfa do material (amido) diminuir principalmente pelo processo de hidrólise, fazendo com que a região cristalina (PBAT) prevaleça.

Na análise de Colorimetria foram obtidos os valores médios das coordenadas L^* , a^* , b^* e G , para as amostras do ambiente normal e do ambiente esterilizado, vermelho e preto respectivamente, mostrados nas Figuras 6 e 7.

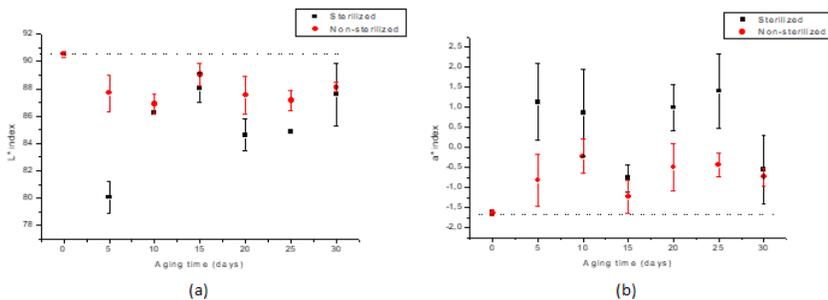


Figura 6 - Os valores médios para amostras PBAT/TPS não envelhecidas e envelhecidas em diferentes condições do solo: (a) para o índice L^* ; (b) para o índice a^* .

No índice L^* , as amostras obtiveram resultados menores do que a amostra padrão (sem envelhecimento). Isso afirma que houve um escurecimento das amostras, visto que 100 representa o branco e 0 representa o preto.

No índice a^* , as amostras obtiveram resultados maiores do que a amostra padrão. Isso afirma que as amostras tenderam para uma coloração mais avermelhada, visto que positivo representa o vermelho e negativo representa o verde.

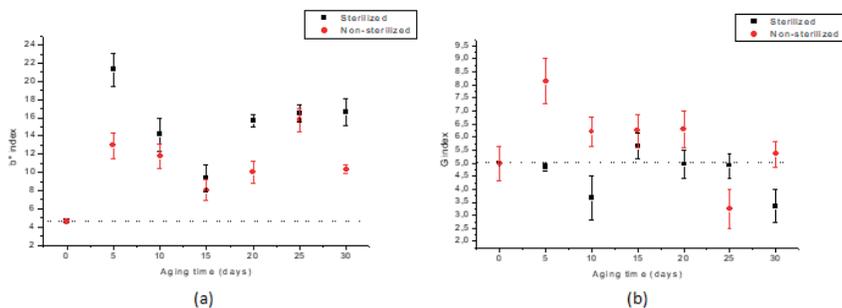


Figura 7 - Os valores médios para amostras PBAT/TPS não envelhecidas e envelhecidas em diferentes condições do solo: (a) para o índice b^* ; (b) para G (brilho).

No índice b^* , as amostras também obtiveram resultados maiores do que a amostra padrão. Isso afirma que as amostras tenderam para uma coloração mais amarelada, visto que positivo representa o amarelo e negativo representa o azul.

Para a análise do brilho, os resultados variaram diferentemente em relação ao padrão. Isso se dá devido a superfície da amostra apresentar vestígios do solo, fazendo que haja uma interferência na medição do brilho da amostra.

De acordo com Bardi (2014), o aumento do valor médio do índice b^* , aproximando-se da região amarela, indica a degradação da amostra. O amarelecimento pode estar relacionado ao aumento dos grupos carbonila no material, sendo este um grupo cromóforo, cuja presença é esperada em materiais em processo de degradação (PELEGRINO & BARDI, 2016).

3.2 Ensaio de biodegradação de 6 meses no ambiente normal

A perda de massa das amostras submetidas ao ensaio de biodegradação (em %) é representada na Figura 8.

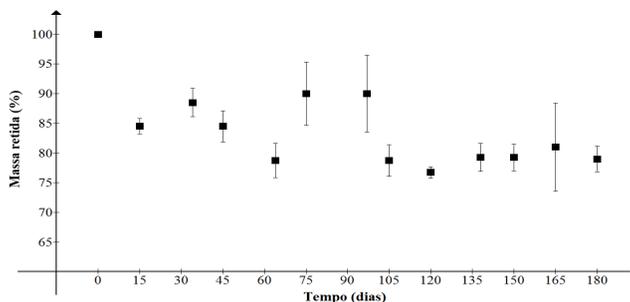


Figura 8 - Gráfico da perda de massa da amostra de PBAT/TPS durante o ensaio de biodegradação em 6 meses.

A degradação da amostra durante 6 meses reduziu para aproximadamente 80% da amostra inicial. O mesmo comportamento foi observado durante o ensaio de biodegradação anterior em 1 mês. Isso afirma que, nas condições desse estudo, a amostra degradou o máximo possível, visto que o tempo de exposição ao solo aumentou e a amostra não degradou mais que 20%.

Esse comportamento pode ser explicado pela hipótese de que, como o solo utilizado neste estudo é rico em nutrientes, os microrganismos não precisaram metabolizar o polímero como fonte de nutrientes, pois o ambiente em que os microrganismos estavam era favorável para seu desenvolvimento. Fazendo com que o material somente sofra a etapa inicial da degradação (hidrólise) e não ocorra a ação dos microrganismos.

3.3 Ensaio de degradação acelerada por radiação ultravioleta

Como resultado do envelhecimento acelerado por luz UV das amostras após 10 dias expostas à 60°C, é possível observar a aparência das amostras na Figura 9.



Figura 9 – Amostras selecionadas para exposição na câmara de degradação acelerada por luz ultravioleta: a) Antes da exposição; b) Após 10 dias de exposição.

É possível observar que a amostra ficou mais amarelada durante a exposição a luz ultravioleta, essa mudança é melhor observada na Figura 10. Sendo assim, possível observar o efeito da degradação térmica na amostra.

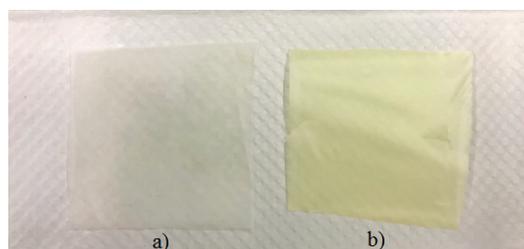


Figura 10 - Comparação das amostras antes de depois do envelhecimento por luz UV: a) amostra sem envelhecimento; b) amostra após 10 dias na câmara de degradação acelerada por luz UV.

3.4 Ensaio de biodegradação da amostra pré-envelhecida por luz UV durante 1 mês nos dois ambientes

Durante o ensaio de biodegradação, a perda de massa das amostras pré-envelhecidas por UV nos dois diferentes tipos de ambiente estão representadas na Figura 11.

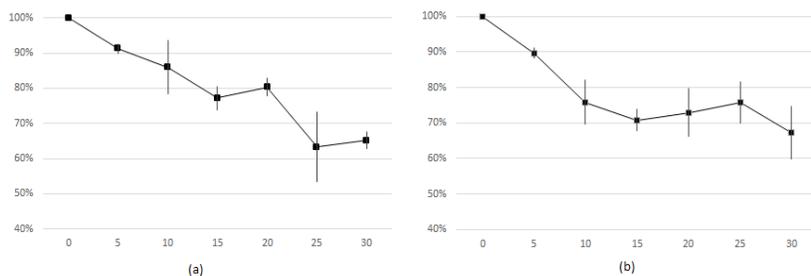


Figura 11 - Perda de massa na biodegradação: (a) em ambiente normal; (b) em ambiente esterilizado.

É possível notar que em ambos os ambientes degradou aproximadamente 40% da massa inicial. Porém, não apresentou uma diferença significativa quanto à perda de massa em função do tipo de ambiente exposto.

Na Figura 12 é possível comparar o comportamento da perda de massa com e sem a exposição a luz UV na biodegradação nos diferentes ambientes utilizando os dados obtidos nesse período e no período anterior. Na qual indica que a exposição a luz UV acelerou a biodegradação da blenda PBAT/TPS.

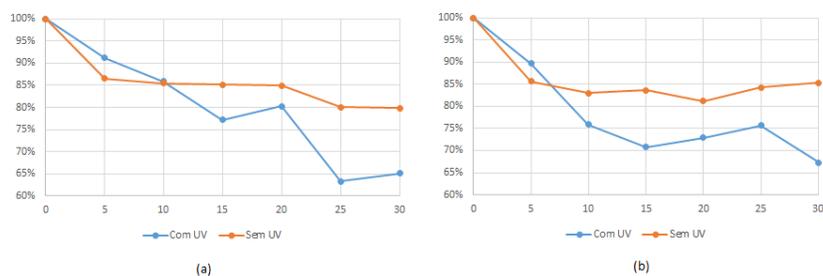


Figura 12 - Perda de massa na biodegradação com e sem pré-envelhecimento por radiação UV: (a) em ambiente normal; (b) em ambiente esterilizado.

3.5 Caracterização por DSC e TG das amostras biodegradadas e pré-envelhecidas

A Figura 3 ilustra as curvas de DSC para a amostra sem envelhecimento e com envelhecimento acelerado por luz UV. Onde, é possível observar que a exposição a luz UV ocasionou mudanças nas propriedades do polímero, tais como a ausência do pico de transição vítrea e a antecipação do pico de fusão.

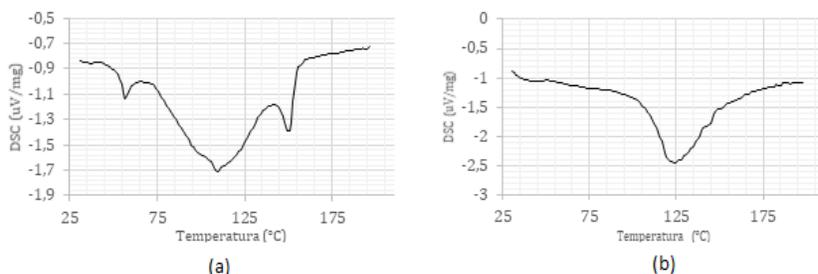


Figura 13 - Curva de DSC para amostra de PBAT/TPS: (a) sem envelhecimento; (b) com envelhecimento por luz UV.

Já a Figura 14 representa as curvas de DSC das amostras retiradas a cada 5 dias durante a biodegradação nos dois diferentes tipos de ambiente.

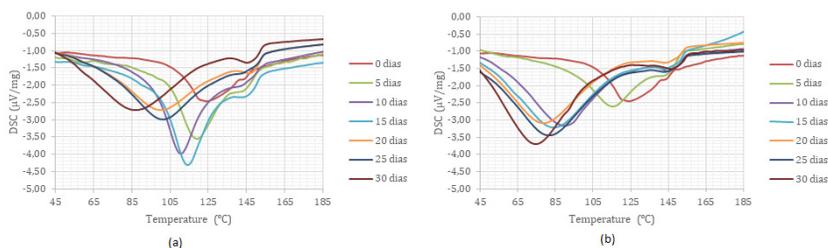


Figura 14 - Curvas de DSC das amostras durante a biodegradação: (a) em ambiente normal; (b) em ambiente esterilizado.

Em ambos os ambientes é possível notar que a medida em que o tempo de exposição à biodegradação aumenta, o pico de fusão se desloca cada vez mais para temperaturas mais baixas.

Os dados obtidos na análise de DSC para as amostras biodegradadas em ambiente normal e esterilizado estão representados nas Tabelas 5 e 6, respectivamente. Sendo possível observar claramente a redução da temperatura de fusão durante a biodegradação.

Solo Simulado	Sem Envelhecimento	Só UV	5 Dias	10 Dias	15 Dias	20 Dias	25 Dias	30 Dias
Tg (°C)	57,0	-	-	-	-	-	-	-
Tm (°C)	150,1	124,4	119,3	110,6	114,4	99,8	101,0	87,4
ΔH_m (J/g)	14,47	103,5	161,8	251,0	281,9	339,7	362,2	469,6
X_c (%)	12,69	90,79	141,93	220,17	247,28	297,98	317,72	411,93

Tabela 5 - Resultados da análise de DSC das amostras no ambiente normal.

Solo Simulado	Sem Envelhecimento	Só UV	5 Dias	10 Dias	15 Dias	20 Dias	25 Dias	30 Dias
Tg (°C)	57,0	-	-	-	-	-	-	-
Tm (°C)	150,1	124,4	115,7	90,1	84,2	79,2	81,9	74,2
ΔH_m (J/g)	14,47	103,5	164,9	447,4	464,0	497,6	510,1	531,6
X_c (%)	12,69	90,79	144,65	392,46	407,02	436,49	447,46	466,32

Tabela 6 - Resultados da análise de DSC das amostras no ambiente esterilizado.

As curvas de TG e DTG para a amostra sem envelhecimento e com envelhecimento por luz UV são representadas pela Figura 15.

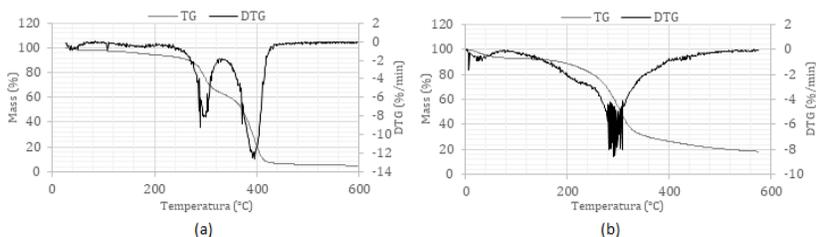


Figura 15 - Análise de TG e DTG para a mostra de PBAT/TPS: (a) sem envelhecimento; (b) com envelhecimento por radiação ultravioleta.

É possível observar que na Figura 15a, a curva de DTG apresenta dois picos que representa o TPS e o PBAT respectivamente. Já na Figura 15b, a luz UV fez com que a blenda se degradasse e apresentou um único pico.

As análises de TG das amostras retiradas a cada 5 dias da biodegradação nos dois tipos de ambiente, sem o pré-envelhecimento por UV, estão representadas na Figura 16. E as análises de TG para as amostras biodegradadas com pré-envelhecimento por luz UV estão representadas na Figura 17.

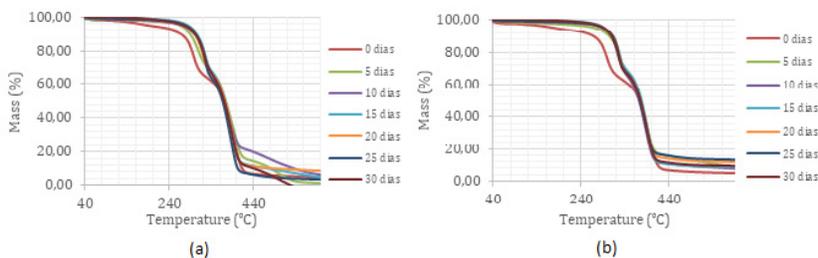


Figura 16 - Curvas de TG para as amostras sem UV biodegradadas: (a) em ambiente normal; (b) em ambiente esterilizado.

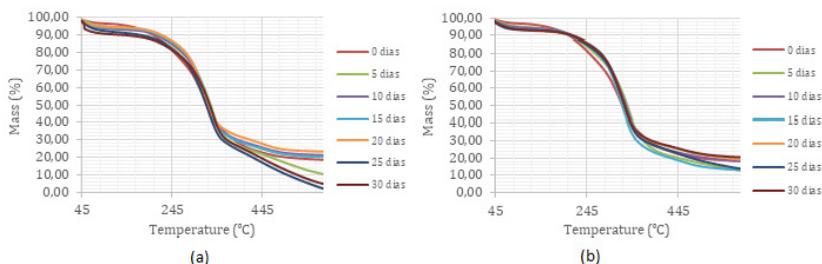


Figura 17 - Curvas de TG para as amostras com UV biodegradadas: (a) em ambiente normal; (b) em ambiente esterilizado.

É possível observar que sem o pré-envelhecimento, a perda de massa apresentou dois estágios de degradação, já as amostras com o pré-envelhecimento apresentaram um único estágio de degradação.

Os dados obtidos na análise de TG com o pré-envelhecimento por radiação ultravioleta estão representados nas Tabelas 7 e 8. Na qual é possível ver uma tendência a diminuir a temperatura de estabilização a medida em que aumenta o tempo de exposição no solo.

Solo Simulado	Sem Envelhecimento	Só UV	5 Dias	10 Dias	15 Dias	20 Dias	25 Dias	30 Dias
T_{est} (°C)	210,8	93,7	139,8	133,6	131,1	128,1	113,0	101,5
$T_{50\%}$ (°C)	371,7	323,4	331,8	324,1	327,5	326,3	320,3	329,3
m_r (%)	4,84	18,26	9,80	21,34	20,14	23,30	0,83	4,34

Tabela 7 - Resultados da análise de TG das amostras no ambiente normal.

Solo Simulado	Sem Envelhecimento	Só UV	5 Dias	10 Dias	15 Dias	20 Dias	25 Dias	30 Dias
T _{est} (°C)	210,8	93,7	142,3	141,6	129,4	121,8	117,8	107,7
T _{50%} (°C)	371,7	323,4	333,0	330,6	321,7	327,8	327,9	328,2
m _r (%)	4,84	18,26	12,27	18,26	12,79	18,41	12,93	20,13

Tabela 8 - Resultados da análise de TG das amostras no ambiente esterilizado.

4 | CONCLUSÕES

As análises realizadas para a caracterização das amostras no período anterior afirmam que, durante a fase inicial de 1 mês, as amostras degradadas em ambiente normal e esterilizado não tiveram diferenças quanto a degradação. Ou seja, a ação dos microrganismos não teve influência significativa.

No ensaio de biodegradação, em ambiente normal durante 6 meses, a perda de massa foi a mesma apresentada no ensaio durante 1 mês. Então o tempo prolongado da exposição ao solo, nas condições desse ensaio de biodegradação, não teve influência na perda de massa da amostra. Isso nos afirma que, mesmo aumentando o tempo de exposição no solo, a ação dos microrganismos não teve influência da degradação do material. Dado a hipótese de que os microrganismos não atuaram na degradação do polímero pois estavam em um ambiente rico em nutrientes, sendo desprezível metabolização do polímero.

E para o ensaio da degradação por UV, as amostras apresentaram uma degradação quanto a coloração da mesma, de acordo com o esperado. Esse pré-envelhecimento das amostras de PBAT/TPS acelerou a biodegradação das amostras em duas vezes, visto que a perda de massa sem o pré-envelhecimento foi de 20% e com o pré-envelhecimento foi de 40% da amostra inicial. Também sendo possível avaliar pelas análises térmicas de DSC e TG, pela perda característica de transição vítrea após o pré-envelhecimento e também pela diminuição na temperatura de fusão a medida em que aumentava o tempo de exposição à biodegradação.

REFERÊNCIAS

BARDI, M. A. G.; ROSA, D. S. **Avaliação da biodegradação em solo simulado de poli(-caprolactona), acetato de celulose e suas blendas.** *Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo*, v. 26, n. 1, p. 43-47, 2007.

BARDI, M. A. G. **Avaliação do impacto ambiental gerado por tintas gráficas curadas por radiação ultravioleta ou feixe de elétrons em materiais para embalagens plásticas convencionais ou biodegradáveis pós-consumo.** Tese. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2014.

BOSCARO, M. E. **Determinação de elementos químicos em plásticos biodegradáveis naturais e sintéticos.** Tese. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2014.

- BROWN, M. E. **Introduction to Thermal Analysis: Techniques and Applications**. Springer Science & Business Media, 2001.
- CARDOSO, L. G.; SANTOS, J. C. P.; CAMILLOTO, G. P.; MIRANDA, A. L.; DRUZIAN, J. I.; GUIMARÃES, A. G. **Development of active films poly (butylene adipate co-terephthalate)-PBAT incorporated with oregano essential oil and application in fish fillet preservation**. *Industrial Crops and Products*, 108, 388-397, 2017.
- CHAVES DA SILVA, N. M.; CORREIA, P. R. C.; DRUZIAN, J. I.; FAKHOURI, F. M.; FIALHO, R. L. L.; ALBUQUERQUE, E. C. M. C. **PBAT/TPS Composite Films Reinforced with Starch Nanoparticles Produced by Ultrasound**. *International Journal of Polymer Science*, 2017.
- CHUAYJULJIT, S.; HOSILILAK, S.; ATHISART, A. **Thermoplastic cassava starch/sorbitol-modified montmorillonite nanocomposites blended with low density polyethylene: properties and biodegradability study**. *Journal of Metals, Materials and Minerals*, v. 19, n. 1, 2017.
- DONG, W.; ZOU, B.; YAN, Y.; MA, P.; CHEN, M. **Effect of Chain-Extenders on the Properties and Hydrolytic Degradation Behavior of the Poly (lactide)/Poly (butylene adipate-co-terephthalate) Blends**. *International journal of molecular sciences*, 14(10), 20189-20203, 2013.
- FECHINE, G. J. M. **Polímeros biodegradáveis: tipos, mecanismos, normas e mercado mundial**. *SciELO-Editora Mackenzie*, 2013.
- FERRO, D. M.; JÚNIOR, Á. V.; FRONZA, N.; QUADRI, M. G. N. **Filmes de amido e polietileno: avaliação da biodegradação por via enzimática**. *Blucher Chemical Engineering Proceedings*, v. 1, n. 2, p. 14172-14179, 2015.
- GRIMBERG, E.; PRADO, R.; LEITE, C. **I Seminário Internacional-” Oceanos livres de plásticos”**. *Unisanta BioScience*, v. 7, n. 6, p. I-II, 2018.
- HERRERA, R.; FRANCO, L.; RODRÍGUEZ-GALAÑ, A.; PUIGGALI, J. **Characterization and Degradation Behavior of Poly(butylene adipate-co-terephthalate)s**. *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*. v. 40, p. 4141-4157, 2002.
- GUERI, M. D.; DE SOUZA, S. N. M.; KUCZMAN, O. **Parâmetros operacionais do processo de digestão anaeróbia de resíduos alimentares: uma revisão**. *BIOFIX Scientific Journal*, v. 1, n. 1, p. 17-25, 2017.
- ORSO, L.; VASCONCELOS, M. C.; FRANZOI, L. C. **Impactos ambientais causados pelo descarte de sacolas plásticas**. *Maiêutica-Ciências Biológicas*, v. 1, n. 1, 2014.
- PAIVA, L. O.; COUTO, L. O.; COSTA, A. C. A.; LEITE, M. C. A. M. **Degradation of polyester-based and vegetable fiber polymeric composites**. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*. 1(4), 98, 2015.
- PELEGRINO, A. N.; BARDI, M. **Estudo do ciclo de vida pós-consumo de materiais plásticos descartados no meio ambiente**. *Caderno PAIC*, v. 17, n. 1, p. 179-190, 2016.
- SANTOS, R. A. L.; MULLER, C. M. O.; GROSSMANN, M. V. E.; MALI, S.; YAMASHITA, F. **Starch/poly (butylene adipate-co-terephthalate)/montmorillonite films produced by blow extrusion**. *Química Nova*, v. 37, n. 6, p. 937-942, 2014.
- TEE, T. T.; SIN, L. T.; GOBINATH, R.; BEE, S. T.; HUI, D.; RAHMAT, A. R.; FANG, Q. **Investigation of nano-size montmorillonite on enhancing polyvinyl alcohol-starch blends prepared via solution cast approach**. *Composites Part B: Engineering*, 47, 238-247, 2013.

CAPÍTULO 9

ESTUDO DA EFICIÊNCIA DA REMOÇÃO DA PRATA SOLÚVEL EM EFLUENTES UTILIZANDO FIBRA DE COCO IN NATURA E ATIVADA

Data de aceite: 26/08/2020

Jaqueline Cristina de Souza

Universidade São Francisco
Campinas - São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/0551575601539901>

Núbia de Moura Dias Sousa

Universidade São Francisco
Campinas - São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/8352114264735410>

Pollyanna Oliveira Coutinho

Universidade São Francisco
Campinas - São Paulo

Danielle Matias Rodrigues

Universidade Estadual de Campinas – Unicamp
Campinas – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/7484531764653005>

Rafael Augusto Valentim da Cruz Magdalena

Universidade São Francisco
Bragança Paulista - São Paulo

André Augusto Gutierrez Fernandes Beati

Universidade São Francisco
Campinas - São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/1511136460506757>

RESUMO: Sendo a maior parte dos resíduos industriais contaminados, os metais pesados são elementos altamente tóxicos, por isso é necessário um tratamento eficaz para sua descontaminação. O tratamento convencional envolve diversos processos, sendo alguns deles custosos e ineficientes em altas quantidades,

busca-se então novas técnicas utilizando materiais orgânicos para tal tratamento. A biossorção é uma tecnologia que utiliza materiais biológicos para a remoção de metais de soluções através da sorção, a exemplo, temos como biossorvente utilizado a fibra de coco verde. A demanda de plantio designada para o consumo da fruta do coco in natura é muito grande, gerando enormes quantidades de resíduos sólidos originando como subproduto a fibra do coco. Esse biossorvente possui baixo custo, é biodegradável, de fonte renovável, e por ser de fácil produção possui alta disponibilidade, tornando-a de interesse ambiental, econômico e social. Baseado na aplicação da fibra de coco ativada e in natura foi possível avaliar a capacidade de adsorção da mesma através da remoção da prata de um efluente, propondo portanto um método alternativo para o tratamento de águas residuais. Os resultados das análises demonstraram que a fibra do coco verde é um efetivo biossorvente.

PALAVRAS-CHAVE: Biossorvente, contaminação e metais pesados.

STUDY OF THE EFFICIENCY OF REMOVAL OF SOLUBLE SILVER IN EFFLUENTS USING NATURAL AND ACTIVATED COCONUT FIBER

ABSTRACT: As most industrial waste is contaminated, heavy metals are highly toxic elements, so effective treatment for their decontamination is required. Conventional treatment involves several processes, some of which are costly and inefficient at high temperatures. New techniques that use organic

materials for treatment are then researched. A biosorption is a technology that uses biological materials to remove metals from solutions using sorption, for example, we have a green coconut fiber as biosorbent. The demand for a plant designated for the consumption of coconut fruits in the wild is very large, generating huge waste residues originated as coconut fiber byproducts. This biosorbent has low cost, biodegradable, renewable source, and because it is easy to produce has high availability, becoming an environmental, economic and social interest. Based on the application of activated coconut fiber and nature, it was possible to evaluate the adsorption capacity of the same silver removal rate of an effluent, thus proposing an alternative method for wastewater treatment. The results of the analysis showed that the green coconut fiber is an effective biosorbent.

KEYWORDS: Biosorbent, contamination and heavy metals.

1 | INTRODUÇÃO

Em decorrência do acelerado desenvolvimento industrial e do aumento da poluição química causada em águas e solos, o meio ambiente tem sentido de maneira notável e preocupante este impacto. Visando minimizar os problemas ambientais, buscam-se constantemente por novas tecnologias para o tratamento de efluentes (KIELING e MORAES, 2009).

Com a finalidade de controlar a qualidade dos efluentes gerados pelas atividades industriais criaram-se regulamentações ambientais, que através da caracterização e da identificação dos agentes poluidores, nos norteia em relação ao tratamento adequado a ser utilizado.

A nível nacional, a legislação vigente sobre os padrões e condições de lançamentos de efluentes é a Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Se tratando do estado de São Paulo, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) é a responsável pelo controle, fiscalização, monitoramento e licenciamento destas atividades geradoras de poluição. O Decreto Estadual nº 8468 de 8 de setembro de 1976 desta mesma companhia, dispõe sobre a prevenção e controle da poluição do meio ambiente.

O artigo 18 do Decreto 8468, pauta sobre efluentes que são lançados no rio e o artigo 19A quando o corpo receptor é para abastecimento público. A maior parte dos resíduos industriais contaminantes são os metais pesados, estes são elementos altamente tóxicos aos organismos vivos, sendo, portanto, considerados poluentes já que alguns possuem efeito deletério, ocasionando sérios transtornos à saúde humana quando ingeridos em doses inadequadas.

Presentes no meio aquático os metais pesados podem estar na forma de complexos solúveis inorgânicos ou orgânicos, quando em soluções podem estar na forma iônica; tem a capacidade de formar ou ficar contidos em partículas

orgânicas, coloidais minerais ou também fixados no sedimento ou agregado à biota (AGUIAR, NOVAES e GUARINO, 1991). Esses metais quando presentes nos efluentes industriais reduzem a capacidade autodepurativa das águas, devido à ação tóxica que eles exercem sobre os microrganismos que são os responsáveis pela recuperação das águas, por meio da decomposição dos materiais orgânicos que nelas são lançados.

Guerra *et al.* (2007) esclarece que os tratamentos clássicos de efluentes que contém metais pesados incluem processos físico-químicos de troca iônica, precipitação, adsorção e extração por solventes. Estes métodos convencionais para esta descontaminação de águas residuais, necessitam de alto investimento, não se mostram eficazes e não propiciam uma solução definitiva ao meio ambiente visto que alguns processos utilizam quantidades de substâncias tóxicas como agentes complexantes, gerando mais resíduos e inviabilizando a reciclagem e recuperação desses metais.

As concentrações dos compostos de prata nas águas naturais são insignificantes, mas a presença desse material em elevadas concentrações faz deste um resíduo de Classe I (ABNT, 2004), tornando-o perigoso e podendo causar efeitos tóxicos sobre peixes e seres humanos (SOUZA, RODRIGUES, SILVA e GUERRA, 2013).

Os processos para tratamento de efluentes resulta em custos elevados, como por exemplo os processos de membrana e troca iônica, além disso podem produzir resíduos de difícil tratamento, como a oxidação e precipitação química. Devido a isso, a busca por novas técnicas para remoção e recuperação metais pesados em águas residuárias têm se voltado para o uso da biomassa sendo utilizada como material biossorvente.

1.1 Fibra de Coco

O fruto do coqueiro é de grande importância socioeconômica, além de produzir a água de coco in natura, contém o albúmen, muito utilizado na indústria de alimentos e cosméticos. Amplamente produzido em mais de 200 países, a produção desse fruto no Brasil se destaca em diversos setores, dentre eles os setores socioeconômico, agrônomico e agroindustrial, tendo como principal região produtora a região Nordeste (FERREIRA, WARWICK e SIQUEIRA, 1994; MARTINS, 2011).

A composição do coco é dividida em epicarpo, endocarpo, mesocarpo e albúmen. O epicarpo é casca verde ou marrom fina que fica na parte externa do coco (a coloração varia de acordo com o tempo de maturação do fruto); o mesocarpo do fruto é constituído por feixes de fibras e pelo pó; o endocarpo, camada fina, dura e marrom no interior do fruto, que envolve a parte comestível do coco; o albúmen sólido é a parte comestível do fruto e o albúmen líquido é a água de coco. Essa

composição do coco pode ser observada na Figura 1 abaixo.



Figura 1: Descrição das partes do coco

Fonte: AGRIZZI, 2017

Em um coco maduro aproximadamente 65% do peso total confere à parte interna - noz e aos albumens (sólido e líquido - água de coco), e os 35% que restam fazem parte da casca - parte fibrosa, que em sua composição possui porções de fibras e uma porção denominada pó, que está interligada com as fibras (ROSA *et al.*, 2002).

A maior parte da produção brasileira de coco é destinada ao consumo do fruto in natura, gerando a casca como subproduto. Este subproduto gerado em grandes quantidades, na maioria das vezes, é designado a lugares inadequados como aterros e vazadouros, fazendo destes potenciais emissores de gases-estufa, como o metano. Por se decompor em cerca de 8 anos, este resíduo proporciona a proliferação de doenças e possíveis contaminações de água e solo (ROSA *et al.*, 2002).

Visando minimizar problemas ambientais e contribuindo com a diminuição do lixo, o desenvolvimento de alternativas para aproveitamento da casca de coco possibilita também a redução da disposição inadequada desse resíduo sólido. Essa alternativa por ser grande interesse comercial, gera um novo potencial de mercado, fazendo dela um objeto de estudo e interesse econômico.

A fibra de coco apresenta inúmeras vantagens, possui baixo custo, é biodegradável, de fonte renovável e de fácil produção, vêm sendo utilizadas principalmente na agricultura e na indústria além de possuir uma alta disponibilidade. A fibra de coco atua como um reforço para materiais em razão de possuir uma estrutura física vantajosa, possui um alto potencial de retenção de umidade assim como elevado número de poros (ABAD *et al.*, 2002). Os elevados índices de rigidez e dureza presentes nela acontecem devido a seus principais componentes, a celulose e o lenho (MURRAY, 2001).

1.2 Adsorção

Adsorção é uma operação de transferência de massa, o qual avalia-se a habilidade de determinados sólidos se concentrarem na superfície de substâncias líquidas ou gasosas a fim de obter a separação destes fluidos. A espécie presente em um fluido, denominada adsorvato se acumula sobre a superfície de outra espécie sólida, adsorvente. Isso ocorre quando se coloca duas fases em contato, uma sólida e uma fluida, devendo sempre estar com concentração de uma espécie na fase fluida e maior a interface do que no seu interior envolvendo a integração de mecanismos de transporte específicos para cada tipo de poluente, dependendo do poluente será físico ou químico (DOĞAR *et al.*, 2010). A remoção das substâncias da superfície sólida é chamada de dessorção.

Este fenômeno é algo que acontece na superfície dos materiais, portanto só ocorrerá de forma significativa em sólidos que tiverem grandes quantidades de poros presentes em suas superfícies, fazendo desses adsorventes um produto visado no comércio (RUTHVEN, 1984).

Na operação de adsorção as moléculas da fase líquida se juntam aos poros da fase sólida o que ocasiona uma diminuição da concentração do líquido que a fase sólida estava diluída. Dependendo da estrutura desta fase sólida, ela conseguirá admitir poucas moléculas da fase líquida em um único poro, dependendo do material selecionado com o passar do tempo os sítios do meio sólido são ocupados, com variação do sólido selecionado.

A força de interação presente entre as espécies que estão em contato, fase que será adsorvida e o sólido adsorvente, será a responsável por distinguirem se será uma adsorção física ou química.

O fato da adsorção ser química ou física depende da natureza das forças envolvidas entre elas. Na Fisissorção ocorre a ligação da superfície por forças fracas intermoleculares entre as espécies com interações do tipo Van der Waals. É inespecífica e pode ocorrer entre qualquer adsorvente. A fisissorção é um processo reversível, pois a intensidade de suas interações são fracas e não formam ligações químicas. Graças à facilidade de recuperação e a capacidade de retenção alcançada com a multicamada essa técnica é empregada (BANSAL e GOYAL, 2005).

Na quimissorção ocorre troca ou compartilhamento de elétrons entre as moléculas de adsorvato e a superfície do adsorvente (específico), apresenta-se, portanto, uma reação química, geralmente do tipo covalente (variando com o tipo de substância). Esse processo é exotérmico e irreversível, devido a formação de uma terceira espécie diferente. Nesse tipo de adsorção a espessura é unimolecular (BANSAL e GOYAL, 2005).

São vários os fatores que influenciam a adsorção, por ser um fenômeno de

superfície, alguns fatores podem influenciar na adsorção: a área superficial específica do adsorvente, as propriedades do adsorvente e do adsorvato, natureza do solvente, temperatura e o pH do meio. O equilíbrio de adsorção traz informações relevantes sobre o mecanismo do processo. Quando o equilíbrio é atingido, pode-se obter a concentração final de soluto na solução em equilíbrio e a capacidade de adsorção do adsorvente. A relação entre esse equilíbrio de adsorção e a concentração final do adsorvato nos apresenta as isotermas de adsorção.

1.3 Biossorção

A presença de íons metálicos em soluções diluídas é suficientemente perigosa para o ser humano e para o meio ambiente. Buscando a recuperação desses íons metálicos diversos processos estão sendo analisados devido à ineficiência dos métodos clássicos em consideração a política ambiental. Pensando na melhoria desses processos, a adsorção com materiais naturais está em alta, em razão da elevada capacidade de retenção e reversibilidade de cátions metálicos (JIMENEZ, BOSCO e CARVALHO, 2004).

Partindo da necessidade de novas tecnologias que tem o intuito de remover poluentes em líquidos e gases de maneira que houvesse uma interação entre desenvolvimento industrial e a preservação da natureza levou-se a estudos onde nos processos utilizam recursos naturais, essas técnicas ganharam atenção especial, uma delas é a biossorção.

Biossorção define-se como uma tecnologia que utiliza materiais biológicos para a remoção de metais de soluções pela sorção, a afinidade natural que os compostos biológicos têm por elementos metálicos faz desta uma alternativa promissora.

Os materiais que promovem a biossorção são chamados de biossorventes e podem ser resíduos de indústrias fermentativas ou a biomassa. Estes biossorventes removem os metais tóxicos através da adsorção, este fenômeno consiste na capacidade de alguns materiais como biomassas em combinar com íons ou moléculas de meio aquoso ou gasoso.

A utilização da casca de coco verde como material biossorvente para metais apresenta grande potencial para remoção de metais devido ao seu elevado teor de matéria orgânica composta principalmente por lignina (35 a 45%) e celulose (23 a 43%). Estes são biopolímeros reconhecidamente associados à remoção de metais pesados (PINO, 2005).

O presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência do processo de remoção de prata solúvel em efluentes com a utilização de um biossorvente natural, a fibra de coco verde de duas maneiras, in natura e ativada.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material Adsorvente

Para a obtenção de parte das fibras de coco produzidas foram utilizadas cascas de cocos. O material separado passou por uma dilaceração em um moinho de facas o qual foi responsável pela separação das fibras. A mistura obtida foi lavada com pequenas porções de água a fim de obter uma fibra limpa, livre de demais partes do coco, em seguida foi seca em temperatura ambiente até secagem completa, como a Figura 2 abaixo mostra.



Figura 2: Etapas do preparo da fibra de coco in natura

Para a obtenção do pó da fibra do coco, como a Figura 3 mostra, utilizou-se as fibras de coco verde já obtidas em laboratório. A mesma foi cortada manualmente em pedaços menores, e após essa redução das medidas da fibra, com a utilização das peneiras granulométricas com agitador de peneira Mesh, separou-se em dois tamanhos o adsorvente, obtendo, por fim, partículas com dimensões menores que $200\ \mu\text{m}$ e maiores que $75\ \mu\text{m}$.



Figura 3: Etapas para obtenção da fibra in natura em pó

2.2 Ativação da Fibra

Para a ativação da fibra de coco verde utilizou-se uma solução de concentração 1:1 de Ácido Nítrico $0,1\ \text{mol/L}$ e Ácido Clorídrico $0,1\ \text{mol/L}$. O biossorvente inteiro e em pó a ser ativado foram colocados em béqueres e foram submersos na solução de ativação, sem agitação, pelo período de 24 horas dentro da estufa a temperatura de 80°C . Após este período, realizou-se a filtração do biossorvente utilizando papel-filtro diâmetro $170\ \text{mm}$ seguido da lavagem da fibra ativada com água destilada a fim de aumentar o pH da mesma para neutro. As fibras ativadas ficaram na estufa a 40°C até completa secagem.

2.3 Efluente

O efluente analisado é oriundo de uma indústria de latas, localizada no município de Campinas. Sua caracterização foi feita através de análises que atendam aos parâmetros exigidos pelo decreto 8468, artigo 18 e 19A. Os ensaios foram realizados na Quimi Quali Laboratório de análises de água, efluentes e resíduos, situado na Rua Romualdo Andreazzi, 167 - Jardim do Trevo – Campinas-SP. A quantificação da prata se deu através de um Espectrômetro de Absorção Atômica que resultaram nas concentrações finais de prata presente nos efluentes tratados.

2.4 Ensaios de Biossorção

O biossorvente foi dividido em duas partes sendo metade fibra inteira e metade fibra em pó. A ativação foi feita apenas da metade de cada divisão, obtendo-se 25% de fibra inteira in natura, 25% fibra inteira ativada, 25% da fibra em pó in natura e 25% da fibra em pó ativada. Para os ensaios, houve a variação somente da massa da fibra de coco e o volume se manteve constante, sendo de 300 mL do efluente bruto para cada ensaio. As massas de fibras de coco utilizadas foram de 1g, 2g, 4g, e 8g como mostra a Figura 4.

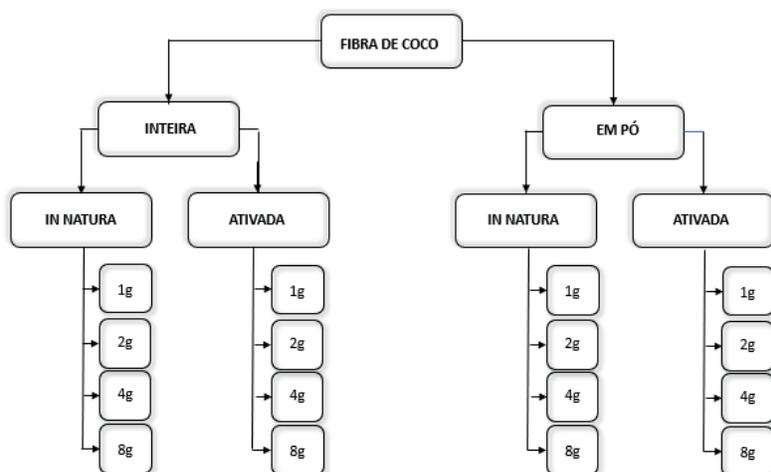


Figura 4: Biossorventes utilizados no tratamento do efluente

A biossorção foi feita sem agitação e o período de contato foi de 24 horas. Após esse processo, os efluentes tratados foram filtrados a fim de obter-se somente a fase líquida da reação. As amostras foram armazenadas em frascos de vidro âmbar e levadas para a análise da concentração final de prata presente nos efluentes tratados.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerou-se que após 24 horas de contato da amostra com o efluente, o conjunto atingiu seu estado de equilíbrio, ou seja, adotou-se como concentração de equilíbrio a concentração final de cada efluente tratado após o ensaio de biossorção.

Os resultados quantitativos obtidos pelas análises após a adsorção, com base no efluente bruto contendo 2,960 mg/L de prata, estão representados pela Tabela 1.

EFLUENTE TRATADO - PRATA (mg/L)				
Massa (g)	Fibra inteira		Fibra em pó	
	In Natura	Ativada	In Natura	Ativada
1	0,083	0,041	0,034	0,09
2	0,215	0,11	0,335	0,199
4	0,268	0,166	0,243	0,554
8	0,102	0,248	0,275	0,428

Tabela 1: Concentração final do efluente após biossorção

De acordo com o que pode se observar na tabela 1 acima, o menor valor de prata obtido nas amostras analisadas foi o do efluente tratado com 1g da fibra em pó na sua forma in natura. O tratamento avaliado de menor eficiência foi utilizado 4g da fibra em pó em sua forma ativada. A fibra inteira se mostrou mais eficiente quando utilizada 1g de biossorvente e teve um pior desempenho quando tratado com 4g de fibra, ambas na forma in natura. Os resultados apresentados pela fibra em pó mostram que o melhor desempenho do biossorvente ocorreu com 1g da fibra in natura e o tratamento que obteve o menor rendimento foi o efluente tratado com 4g de fibra ativada, conforme mostra a Figura 5.

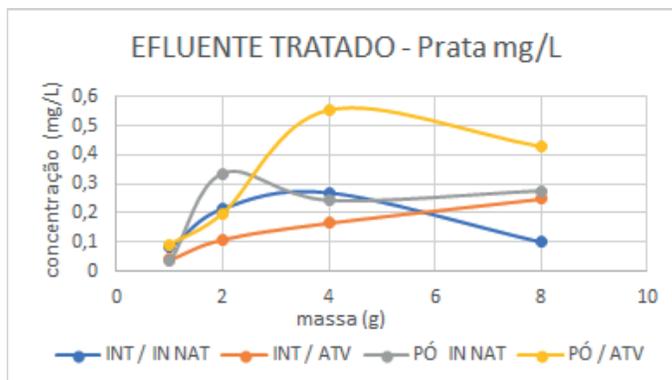


Figura 5: Concentração final do efluente após biossorção

O biossorvente em estudo, fibra de coco verde, é composta de matéria orgânica, com uma variação de 35 a 45% de lignina e 23 a 43% de celulose (PINO, 2005) e de acordo com NGAH; HANAFIAH (2008) esses materiais com porcentagens de materiais lignocelulósicos apresentam grupos polares, sendo assim o adsorvato tem influência na adsorção, variando a afinidade com o adsorvente.

A diversidade de resultados apresentados na adsorção entre as diferenças de massas pode ter ocorrido pois nem sempre todas as moléculas que se chocam são capazes de se fixarem nos sítios ativos. As moléculas que são postas em contato para colidirem necessitam de energia suficiente para adsorção, se conseguem colidir, a adsorção está completa, obedecendo a teoria das colisões (SCHMAL, 2013).

Considerando também que ao adicionar a fibra em pó no efluente a ser tratado houve a agitação com auxílio de uma bagueta, para que toda a fibra entrasse em contato com o efluente, nesse exato momento pode ter ocorrido a entrada de bolhas de ar entre as fibras, fazendo com que elas ficassem unidas na superfície do béquer com o efluente, criando uma dificuldade de exposição dos poros ao fluído, dificultando a transferência de massa. Essas bolhas de ar podem ter diminuído a adsorção nas soluções que possuíam maior quantidade de fibra (2g, 4g e 8g), o que demonstrou uma adsorção pouco eficiente comparada a que utilizou menor quantidade de fibra em seu processo(1g).

Com base nos dados obtidos experimentalmente, foi possível avaliar a eficiência de adsorção para cada tratamento através da porcentagem de redução de prata encontrado em cada um deles. Estes valores estão representados pela Tabela 2.

REDUÇÃO DA PRATA (%)				
Massa (g)	Fibra inteira		Fibra em pó	
	In Natura	Ativada	In Natura	Ativada
1	97,20	98,61	98,85	96,96
2	92,74	96,28	88,68	93,28
4	90,95	94,39	91,79	81,28
8	96,55	91,62	90,71	85,54

Tabela 2: Quantidade de redução da Prata em cada efluente tratado

Utilizando os valores de redução de prata citados na tabela acima, realizou-se uma comparação do perfil da eficiência da biossorção realizada através da figura abaixo. A Figura 6 do lado esquerdo representa o perfil da eficiência de adsorção da fibra do coco in natura e a do lado direito tem o mesmo objetivo, porém representa o perfil da fibra ativada.

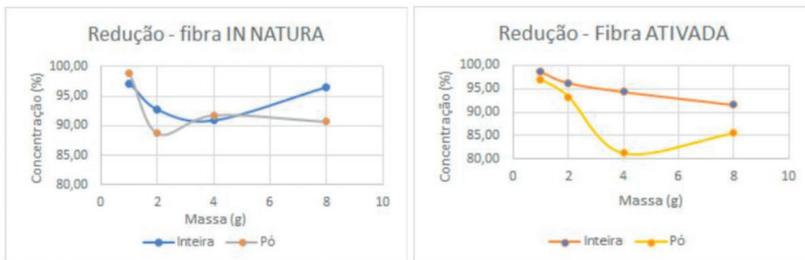


Figura 6: Redução da Prata na Fibra in natura e ativada

O comportamento de redução de prata que fez uso da fibra inteira ativada e in natura e em pó ativada e in natura estão demonstradas pela Figura 7, lado esquerdo e lado direito respectivamente.

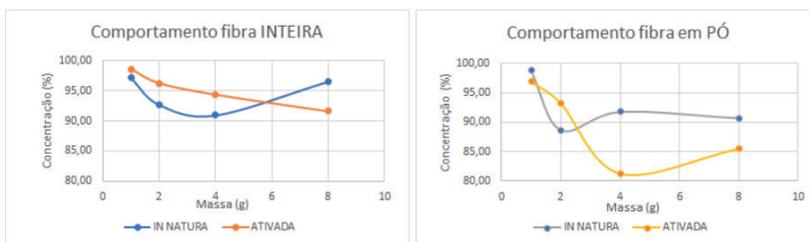


Figura 9: Desempenho da fibra inteira e em pó

Pela Figura 7 (lado esquerdo) observa-se que a fibra ativada promove maior adsorção até 4g, após isso sua eficiência diminui. Essa diminuição da adsorção pode ser um indicativo de saturação dos sítios existentes. Nota-se conforme a Figura 7 (lado direito), que a fibra em pó ativada possui um melhor desempenho no processo de biossorção que a fibra in natura. Para uma análise geral comparativa, a figura 8 abaixo relaciona a porcentagem de redução obtida em todas as amostras de efluentes tratados.

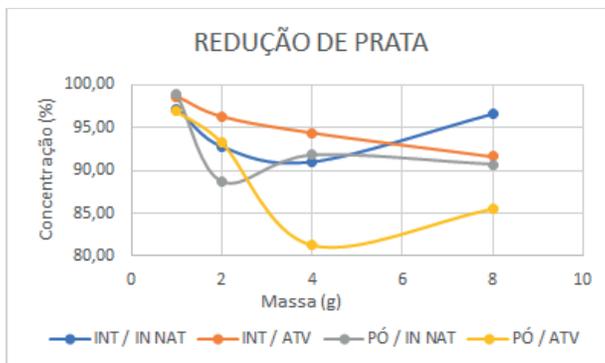


Figura 8: Desempenho de redução de prata da bioissorção

Avaliando a Figura 8, é possível notar que as quatro análises que obtiveram maior eficiência no processo de bioissorção foram as amostras que continham a menor quantidade de massa de adsorvente.

Os tratamentos de menor eficiência foram os que utilizam a fibra em pó. Em relação ao adsorvente ativado e in natura, a bioissorção se mostrou de maior eficiência quando utilizadas fibras inteiras. Avaliando a fibra inteira e ativada, a eficiência da adsorção foi diminuindo à medida que a massa do bioissorvente aumentava. Se tratando da fibra inteira, quando ativada ela obteve um melhor desempenho de redução perante a fibra inteira in natura até 4g do bioissorvente utilizado.

O efluente em estudo com presença de prata em solução é derivado do AgNO_3 e em solução o nitrato de prata se dissocia, fazendo com que a prata fique com carga positiva de 2 elétrons (Ag^+), a fibra que foi ativada em meio ácido, possui excesso de H^+ . Em pequena quantia (1g), funciona bem pois houve baixa repulsão entre adsorvente e adsorvato. Aumentando-se a quantidade de fibra (2g, 4g e 8g), aumenta-se a quantidade de H^+ presente na solução de adsorção, fazendo com que limitasse parte da adsorção efetiva do processo. Uma possibilidade para diminuir ou cessar essa repulsão seria aumentar o pH da solução de ativação, o que diminuiria os H^+ presentes na fibra que pode ser transferido para a solução em tratamento. Aumentando o pH pode ser que haja uma maior interação eletrostática e um aumento da afinidade adsorvato e adsorvente, melhorando o processo de adsorção (TOLEDO *et al.*, 2005).

3.1 Cinética de Adsorção

A cinética de adsorção é de grande importância no estudo de adsorção, pois oferece informações a respeito do mecanismo do processo de adsorção e o desenrolar de reações. Esta é a responsável por verificar a velocidade da adsorção e é expressa pela taxa de remoção do adsorvato em relação ao tempo.

Há produtos que atingem o equilíbrio em minutos e outros podem levar dias para entrar em estado de equilíbrio, para definir este tempo são necessários estudos de cinética dos processos de adsorção.

Estão presentes na cinética de adsorção algumas etapas como a transferência de massa, difusão no poro e difusão na superfície. Pode-se observar na figura 9 abaixo a cinética de adsorção média e na tabela 3 os dados obtidos pela Equação 1.

$$V = \frac{(C_f - C_o)}{t} \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde: V é a velocidade média de adsorção; Co é concentração inicial do adsorvato (mg/L); Cf é a concentração do adsorvato no equilíbrio (mg/L); t é o tempo (min).

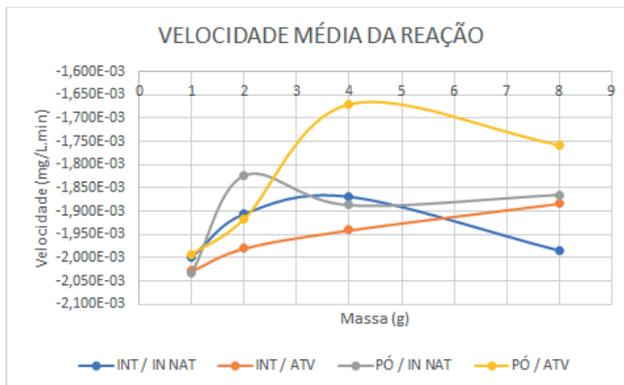


Figura 9: Velocidade Média da Adsorção

Calculando a velocidade da reação (Figura 9), observa-se que a cinética de adsorção varia de acordo com a massa do adsorvato. A velocidade da reação neste processo é proporcional a eficiência de adsorção, ou seja, quanto mais rápida a velocidade da reação, maior será a redução obtida na biossorção.

Analisando percebe-se que a cinética diminui com o aumento da massa. O pó ativado é o que tem menor velocidade de reação. Ao se aproximar da massa de 4g, a velocidade da reação tem uma pequena melhora, mas com 8g a eficiência cai, demonstrando que a eficiência da velocidade de reação é melhor em pequenas quantias de massa de fibra, independente se a fibra for ativada ou in natura.

Visto que a adsorção é prejudicada devido a área de contato entre o adsorvato e o adsorvente, dificultando o transporte de massa, novamente observa-se que este pode ser um dos problemas encontrados no processo. Como já comentado, o pH da

solução faz com que haja uma perda das propriedades principalmente das forças intermoleculares, sendo esse um outro fator para a obtenção desses resultados.

3.2 Isotermas de Adsorção

A capacidade de adsorção foi calculada com base na diferença de concentração na solução antes e após o processo de adsorção de acordo com o balanço de massa representado na equação 2.

$$q = \frac{(C_o - C_e)V}{m} \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde:

q é a capacidade de adsorção;

Co é concentração inicial do adsorvato;

Ce é a concentração do adsorvato no equilíbrio;

V é volume da solução e

m é massa do adsorvente.

Os dados da capacidade de adsorção obtidos utilizando a Equação 2 estão expressos na Tabela 4 abaixo.

Capacidade de adsorção (qe)					
Fibra	M (g)	V (L)	Co (mg/L)	Cf (mg/L)	qe
Inteira in natura	1	0,3	2,96	0,083	0,86310
	2			0,215	0,41175
	4			0,268	0,20190
	8			0,102	0,10718
Inteira ativada	1	0,3	2,96	0,041	0,87570
	2			0,11	0,42750
	4			0,166	0,20955
	8			0,248	0,10170
Pó in natura	1	0,3	2,96	0,034	0,87780
	2			0,335	0,39375
	4			0,243	0,20378
	8			0,275	0,10069
Pó ativado	1	0,3	2,96	0,09	0,86100
	2			0,199	0,41415
	4			0,554	0,18045
	8			0,428	0,09495

Tabela 4: Capacidade de adsorção da fibra

Os perfis das curvas da capacidade máxima de adsorção são expressos através das figuras abaixo. A Figura 10 representam as isotermas com a fibra in natura, e as isotermas com a fibra ativada. Nota-se que a mesma massa apresenta áreas de contato diferentes.

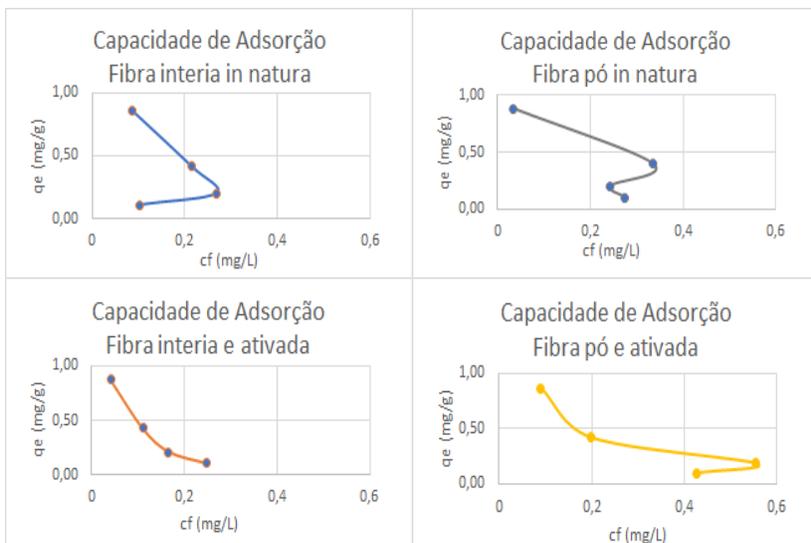


Figura 10 – Pseudo-Isoterma em diferentes condições Físicas e Tratamento Químico

De acordo com os gráficos da figura 10, verifica-se que a capacidade de adsorção para cada um dos tratamentos feitos tem um influência pela concentração e área. Percebe-se que em altas concentrações de adsorvente, forma-se adjuntos durante o processo de adsorção, o que ocasiona uma diminuição da área superficial de adsorção diminuindo assim a eficiência do processo.

A título de comparação foi feita a isoterma de Langmuir. Para isso fez-se a linearização das curvas da capacidade de adsorção, esta foi necessária para que fossem encontradas as equações da reta de cada um dos perfis de tratamento. Os resultados estão expressos na Tabela 5 abaixo.

Linearização			
Fibra	M (g)	Cf (mg/L)	qe
Inteira in natura	1	12,048	1,159
	2	4,651	2,429
	4	3,731	4,953
	8	9,804	9,331
Inteira ativada	1	24,390	1,142
	2	9,091	2,339
	4	6,024	4,772
	8	4,032	0,898
Pó in natura	1	29,412	1,139
	2	2,985	2,540
	4	4,115	4,907
	8	3,636	9,932
Pó ativado	1	11,111	1,161
	2	5,025	2,415
	4	1,805	5,542
	8	2,336	10,532

Tabela 5: Linearização

Um gráfico comparativo com todos perfis das curvas utilizando os resultados após a linearização está sendo representado pela figura 13.

Transformar os dados através da utilização da linearização da equação tem a capacidade de simplificar a determinação das leis físicas que regem o processo.

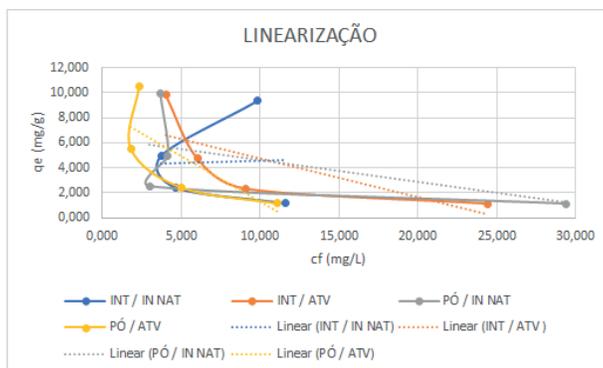


Figura 13 - Linearização e equação da reta

A adsorção que teve uso da fibra inteira e in natura possui caráter químico, pois houve interação alta em comparação com os demais processos tiveram interação menor com o adsorvato. Através do cálculo do valor da capacidade máxima de adsorção foi possível analisando a possibilidade de prever a capacidade máxima de adsorção da fibra de coco, observou-se a possibilidade de aplicar a isoterma de Langmuir, expressa pela Equação 3 abaixo:

$$q = \frac{q_{max}K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad \text{Eq. (3)}$$

onde:

q é quantidade do soluto adsorvido por grama de adsorvente no equilíbrio (mg.g^{-1});

q_{max} é a capacidade máxima de adsorção (mg.g^{-1});

K_L é a constante de interação adsorvato/ adsorvente (L. mg^{-1}) e

C_e é a concentração do adsorvato no equilíbrio (mg. L^{-1}).

LANGMUIR							
Fibra	a	b	qmax	kl	ce	cf	q
Inteira in natura	0,0342	4,2128	29,23976608	0,14407776	2,877	0,083	8,56848725
					2,745	0,215	8,286771959
					2,692	0,268	8,171486619
					2,858	0,102	8,52840495
Inteira ativada	-0,3097	7,8923	-3,228931224	-2,44424531	2,919	0,041	-3,75526565
					2,85	0,11	-3,77014436
					2,794	0,166	-3,78285275
					2,712	0,248	-3,8025766
Pó in natura	-0,1765	6,4014	-5,66572238	-1,1298471	2,926	0,034	-8,1227423
					2,625	0,335	-8,54779696
					2,717	0,243	-8,40305799
					2,685	0,275	-8,45172377
Pó ativado	-0,7315	8,6209	13,67054	-0,63061884	2,87	0,09	30,55033247
					2,761	0,199	32,1158614
					2,406	0,554	40,09884302
					2,532	0,428	36,57974676

Tabela 6: Parâmetros da isoterma de Langmuir

Os modelos de isoterma utilizando os valores encontrados experimentalmente não obtiveram o valor esperado, portanto acredita-se que seja possível encontrar um modelo de isoterma que melhor descreve nosso processo. Os valores das constantes de Langmuir não foram semelhantes aos encontrados na literatura o que inviabilizou a comparação dos resultados.

Para a realização dos cálculos efetivos da isoterma de Langmuir, deveriam ser realizadas análises nas amostras de efluente tratadas retiradas em tempos distintos, antes e após o período de 24 horas (período estudado).

Como a quantidade de substância adsorvida na superfície decresce com o aumento da temperatura, a uma temperatura constante, a quantidade adsorvida deveria aumentar com a concentração do adsorvato, por isso o termo adotado de pseudo-isotermas.

Neste processo de descontaminação de efluentes com bioissorventes, não apresentou mudança de temperatura, então possivelmente se aumentasse a temperatura para um valor maior e constante do efluente em tratamento poderia ter ocorrido a desobstrução dos poros internos do adsorvente, o que possibilitaria uma adsorção mais eficiente e a obtenção de melhores resultados nas isotermas.

4 | CONCLUSÕES

Através dos resultados laboratoriais encontrados, considerando o decreto 8468 em seus parâmetros do artigo 18 nenhum dos efluentes analisados antes do tratamento com a fibra obedeceu aos limites para descarte de efluente direto no corpo receptor. Já se tratando do artigo 19A, o efluente tratado com a fibra inteira, in natura e com 1g de massa de bioissorvente, apresentou o melhor resultado de bioissorção, com uma redução de 98,85% da prata comparada com o efluente bruto, fazendo desse um efluente apto para seu lançamento em abastecimento público. De maneira geral, todos os efluentes tratados com 1g de massa de bioissorvente, apresentaram maior redução da quantidade de prata, sendo a fibra ativada e in natura de pouca relevância, alcançando o principal objetivo do trabalho.

Quanto aos modelos de isotermas de adsorção, não obteve-se dados que se encaixassem na isoterma de Langmuir, mas que não se exclui a possibilidade de existir um modelo de isoterma no qual os dados obtidos se encaixassem.

Pode-se observar que vários fatores influenciaram para a obtenção de tais resultados sendo que a quantidade de massa foi o fator mais relevante do estudo. Dentre outros fatores que influenciaram no processo de adsorção foi a possibilidade de presença de bolhas de ar, a influência do ph e a transferência de massa que estão descritos ao longo do trabalho.

De acordo com as adsorções realizada, comprovou-se que a superfície do adsorvente em estudo é heterogênea e possui uma alta capacidade de adsorção graças a seu elevado número de poros e a distribuição dos sítios ativos presente nele.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao professor José Pedro Thompson Junior e a todos que nos ajudaram a realizar este trabalho, a contar pela família (em especial da nossa

colega Jaqueline Cristina que com uma força tarefa nos ajudou na obtenção do mesocarpo do coco e também a cortar fibra no tamanho que foi utilizado para os experimentos), amigos e colegas de trabalho que de alguma forma acrescentaram seja em conhecimento ou dedicando um pouquinho do seu tempo a cortar a fibra. Agradecemos a equipe de técnicos do laboratório da Universidade São Francisco que com muita paciência estiveram sempre prontos a nos ajudar e orientar, em especial ao técnico Victor Henrique Zaneti que nos ensaios laboratoriais. Também agradecemos ao colega, David Aguiar Ferreira Junior, aluno do curso de engenharia química da USF Bragança Paulista que nos auxiliou grandemente nos cálculos das pseudo-isotermas.

REFERÊNCIAS

- ABAD, M., NOGUERA, P., PUCHADES, R., MAQUIEIRA, A., NOGUERA, V. Physico-chemical and chemical properties of some coconut coir dusts for use as a peat substitute for containerized ornamental plants. **Bioresource Technology**, v. 82, p. 241- 245, 2002.
- AGUIAR, M. R. M. P.; NOVAES, A. C.; GUARINO, A. W. S.. Remoção de Metais Pesados de Efluentes Industriais por Aluminossilicatos. **Química Nova**, Vol. 25, 2002.
- AGRIZZI, T., **Pirólise da casca de coco**: estudo da cinética de devolatilização e identificação dos produtos. 2017. 101 f. Dissertação (Mestrado em Energia)- Centro Universitário Norte do Espírito Santo da Universidade. São Mateus, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10.004**: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- BANSAL, R. C., GOYAL, M. **Activated carbon adsorption**. 2005, 170 p.
- BARCELOS, K. M. **Análise do potencial do leito de jorro como reator para pirólise da casca de coco**: estudo experimental e simulação via CFD. 2016. 115 f. Dissertação (Mestrado em Energia)- Centro Universitário Norte do Espírito Santo. São Mateus, 2016.
- BOHN, H. L.; McNEAL, B. L.; O'CONNOR, G. A.. **Soil chemistry**. New York: John Wiley, 1979. 329p.
- DOĞAR, C., GÜRSES, A., ACIKYILDIZ, M., ÖZKAN, E.. Thermodynamics and kinetic studies of biosorption of a basic dye from aqueous solution using green algae *Ulothrix* sp.. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**. v. 76, edição 1, p. 279–285, mar. 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927776509005669>>. Acesso em 20 out. 2019.
- Feema; *Poluição hídrica da Baía de Guanabara por metais pesados cromo e zinco*, Rio de Janeiro, Brasil, 1992.
- FERREIRA, J. M. S.; WARWICK, D. R. N.; SIQUEIRA, L. A. A cultura do coqueiro no Brasil. **Embrapa Tabuleiros Costeiros**. Aracaju, 1994. 306 p.
- FREUNDLICH, H. M. F. Over the adsorption in solution. **J. Phys. Chem.** v. 57, p 385-471, 1906.

GUERRA, D. L.; AIROLDI, C.; LEMOS, V. P.; ANGÉLICA, R. S.; VIANA, R. R.. Aplicação de Al-PILC na adsorção de Cu^{2+} , Ni^{2+} e Co^{2+} utilizando modelos físico-químicos de adsorção. **Eclet. Quím.**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 51-60, 2007. Disponível em:<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-46702007000300008&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 15 nov. 2019.

JIMENEZ, R. S.; BOSCO, S. M.; CARVALHO, W. A. Remoção de metais pesados de efluentes aquosos pela zeólita natural escolocita – influência da temperatura e do pH na adsorção em sistemas monoelementares. **Química nova**, São Paulo, v. 27, n. 5, p. 734738, 2004.

KIELING, A. G; MORAES, C. A. M; BREHM, F. A; Utilização De Cinza De Casca De Arroz Na Remoção De Cromo Hexavalente. **Estudos Tecnológicos**. v. 5, n° 3, p. 351-362. 2009.

LANGMUIR, I. The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. **Journal of the American Chemical Society**. v. 40, n. 9, p. 1361-1403, 1918.

LIMA, A. C. A.; NASCIMENTO, R. F.; SOUSA, F. F.; FILHO, J. M.; OLIVEIRA, A. C.; Modified coconut shell fibers: A green and economical sorbent for the removal of anions from aqueous solutions. **Chemical Engineering Journal**. v. 185-186, p. 274-284, 15 mar. 2012.

MARTINS, C. R.. Evolução da produção de coco no Brasil e o comércio internacional: panorama 2010. **Embrapa Tabuleiros Costeiros**. Documentos, 2011.

MELO, D. Q.; NETO, V. O. S.; OLIVEIRA, J. T.; BARROS, A. L.. Adsorption Equilibria of Cu^{2+} , Zn^{2+} , and Cd^{2+} on EDTA-Functionalized Silica Spheres. **Journal of Chemical Engineering Data**. v.3, n. 58, p. 798-806 ,mar. 2013.

MOREIRA, S. A. **Adsorção de íons metálicos de efluente aquoso usando bagaço do pedúnculo de caju**: estudo de batelada e coluna de leito fixo. 2008. 133 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental) - Pós- graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2008.

MURRAY, N. P. **Caracterización y evaluación agronómica del residuo de fibra de coco**: un nuevo material para el cultivo en sustrato. Tesis del Doctorales. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2001.

NGAH, W. S. W.; HANAFIAH, M. A. K. M. Biosorption of copper ions from dilute aqueous solutions on base treated rubber (*Hevea brasiliensis*) leaves powder: kinetics, isotherm, and biosorption mechanisms. **Journal of Environmental Sciences**. v. 20, n. 10, p. 1168-1176, 2008.

PINO, G. **Biossorção de metais pesados utilizando pó da casca de coco verde (cocos nucifera)**. Dissertação (Mestrado) - Pontifícia universidade Católica – PUC, Rio de Janeiro. 2005.

RAULINO, G. S. C. **Sistema piloto de adsorção de íons de metais em coluna (leito fixo) utilizando como adsorvente o pó da casca de coco verde**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

ROSA, M.F.; BEZERRA, F.C.; CORREIA, D.; SANTOS, F. J. S.; ABREU, F. A. P.; FURTADO, A. A. L.; BRIGIDO, A. K. L.; NOROES, E. R. V.. Utilização da casca de coco como substrato agrícola. Documentos v. 52, Fortaleza: **Embrapa Agroindústria Tropical**. 24p, mai 2002.

RUTHVEN, D. M., **Principles of Adsorption and Adsorption Processes**, John Wiley & Sons, 1984.

SCHMAL, M. - Cinética e Reatores: Aplicação na Engenharia Química teoria e exercícios, **SYNERGIA**. Rio de Janeiro - 2ª edição Revista Ampliada 2013.

SOUZA, G.D.; RODRIGUES, M. A.; SILVA, P. P.; GUERRA, W. Prata: Breve histórico, propriedades e aplicações. **Educación Química**. v. 24, ed. 1, p. 14-16, 2013.

SOUSA, V. O. OLIVEIRA; OLIVEIRA, A. G.; TEIXEIRA, R. N. P.; SILVA, M. A. A.. Use of coconut bagasse as alternative adsorbent for separation of copper (II) ions from aqueous solutions: isotherms, kinetics, and thermodynamic studies. **Bioresources and technology**. v. 6, n. 3, p. 3376-3395, 2011.

TOLEDO, B. I. GARCIA, M. A. F.; UTRILLA, J. R.; CASTILLA, C. M., FERNANDEZ, F. J. V.. Bisphenol a removal from water by activated carbon, Effects of carbon characteristics and solution chemistry. **Environmental Science Technology**. v. 39, p. 6246–6250, jul. 2005.

VIDAL, C. B.; RAULINO, G. S. C.; BARROS, A. L.; RIBEIRO, J. P.; PIRES, M. J. R.; NASCIMENTO, R.. F.. BTEX removal from aqueous solutions by HDTMA-modified Y zeolite. **Journal of Environmental 251 Management**, v. 112, p. 178-185, dez. 2012.

CAPÍTULO 10

AVALIAÇÃO DE SISTEMAS EMULSIONADOS FORMULADOS COM ÓLEO DE BURITI

Data de aceite: 26/08/2020

Data de submissão: 13/07/2020

Jeane Caroline Oliveira

Universidade São Francisco (USF)
Campinas, São Paulo, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3328002531543203>

Ludmila de Oliveira Maia

Universidade São Francisco (USF)
Campinas, São Paulo, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7678986056285254>

Iara Lúcia Tescarollo

Universidade São Francisco (USF)
Campinas, São Paulo, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7236475214443844>

RESUMO: Emulsões cremosas são muito utilizadas em farmácias de manipulação para incorporação de diversos ativos com variadas aplicabilidades. O uso de insumos da biodiversidade brasileira levou ao desenvolvimento de inúmeros produtos. O óleo de buriti (*Mauritia flexuosa* L.) tem se destacado no uso tópico em função de sua propriedade como lubrificar e regenerar a barreira hidrolipídica da pele frequentemente submetida a lesões. Buscando a tendência do uso de produtos naturais em preparações dermatológicas o objetivo deste trabalho visou à produção e avaliação de emulsões tópicas contendo óleo de buriti. As formulações foram produzidas com duas diferentes bases autoemulsivas seguida da avaliação física e estudo preditivo da estabilidade

das formulações propostas. As amostras foram avaliadas quanto ao aspecto, odor, avaliação tátil, pH, viscosidade aparente, e estabilidade preliminar. As formulações propostas se mostraram agradáveis e adequadas sob aspecto sensorial. Os testes efetuados foram úteis na caracterização das formulações. As duas bases contendo óleo de buriti mostraram-se estáveis frente aos testes realizados.

PALAVRAS-CHAVE: Óleo de buriti, Emulsão, Tecnologia farmacêutica.

ANALYSIS OF EMULSIONED SYSTEMS FORMULATED WITH BURITI OIL

ABSTRACT: Moisturizing cream are widely used in compounding pharmacy for incorporation of various assets with varying applicability. The use of Brazilian biodiversity led to the development of many products. Buriti oil (*Mauritia flexuosa* L.) has excelled in topical due to their property to lubricate and regenerate the hydrolipidic barrier often subjected to damage skin. In search of trends for the use of natural products in dermatological preparations the objective of this work was aimed at production and evaluation of topical emulsions containing Buriti oil. The formulations were produced with two different emulsive bases followed by physical assessment and predictive study of the stability of the proposed formulations. The samples were evaluated for appearance, odor, sensory analysis, pH, apparent viscosity, and primary stability. Formulations proposals proved pleasant and appropriate under sensory aspect. The tests performed were useful in the characterization of the formulations. The two emulsions containing Buriti oil were stable

according to the tests performed.

KEYWORDS: Buriti oil. Emulsion, Pharmaceutical technology.

1 | INTRODUÇÃO

As farmácias de manipulação, no Brasil, têm passado recentemente por profundas transformações para atender aos preceitos crescentes de qualidade aos aspectos regulatórios mais rigorosos. Este período crítico promove mudanças na busca da melhoria contínua da qualidade, visando ao atendimento dos atributos básicos de segurança e eficácia relacionados. A aquisição de um conhecimento técnico mais específico e aprofundado, bem como a adaptação de tecnologias já existentes ao preparo unitário de medicamentos individualizados representam os principais avanços dos farmacêuticos magistrais (FERRARI; TESCAROLLO, 2018; FERREIRA; BRANDÃO, 2011).

O crescimento traz novas perspectivas inerentes ao aumento da demanda não só por medicamentos, como também por dermocosméticos manipulados, tendo em vista a necessidade de atender a consumidores cada vez mais informados e exigentes. Como recurso eficaz, formulações tópicas magistrais têm sido muito indicadas para as mais diferentes manifestações cutâneas. Dentre as bases tópicas existentes, as emulsões são muito utilizadas para incorporação de diversos ativos com variadas aplicabilidades. Recentemente surgiram, como nova dimensão estratégica, produtos associados à ideia de tratamento e beleza denominados dermocosméticos (FERRARI; TESCAROLLO, 2018; BRASIL, 2015; FERREIRA; BRANDÃO, 2011). As emulsões dermocosméticas fazem parte da maior classe de produtos formulados em farmácias de manipulação. Apresentam diferentes características e podem variar em consistência como de fluidos estruturados (loções, linimentos) a semissólidos (cremes). Emulsões do tipo óleo em água (O/A) e água em óleo (A/O) são amplamente utilizadas como veículos para administrar medicamentos à pele e pelas suas propriedades terapêuticas. A aceitação de tais formulações pelo paciente baseia-se em atributos sensoriais, como aparência, textura e sensação causada na pele. Emulsões A/O tendem a ser mais oleosas, não absorvem bem exsudatos aquosos de lesões cutâneas e às vezes também difícil de ser removidas da pele pela lavagem. Em contraste, as emulsões O/A misturam-se facilmente com exsudatos do tecido lesado e são mais facilmente removidas por lavagem (AULTON; TAYLOR, 2018). Dependendo da composição das emulsões cremosas, as mesmas podem hidratar a pele por oclusão e umectação (RIBEIRO, 2010).

A pele é o maior órgão do corpo humano, servindo como uma barreira ao ambiente externo. Sendo assim, está sujeita a várias desordens e doenças causadas

por microrganismos, pela exposição à radiação, pelo contato com materiais irritantes e pela perda de água (RIBEIRO, 2010; DRAELOS, 2005). Portanto, torna-se imprescindível o desenvolvimento de produtos de modo a evitar tais desordens e a promover o bem-estar e saúde da pele. Dermocosméticos também podem ser usados para tratar doenças como a acne, ictiose, dermatite atópica e rosácea. A cosmética dermatológica também inclui preparados para proteção dos raios ultravioleta, melasma e o fotoenvelhecimento (RIBEIRO, 2010; DRAELOS, 2005).

O desenvolvimento da ciência permitiu, não só encontrar respostas para em aplicações terapêuticas, como também procurou produzir novas formulações dermocosméticas baseadas nas propriedades físicas e químicas dos recursos naturais, bem como na sua composição química, tirando vantagem dos seus benefícios tanto dermatológicos como cosméticos (BRASIL, 2015).

O emprego de insumos de origem natural tem crescido, não só pelo avanço na investigação científica, mas também pelas reais vantagens na aplicação de produtos vegetais relativamente a alguns produtos sintéticos. Cabe salientar que sociedade vem exigindo a adoção de tecnologias de produção econômicas, ecológicas e seguras, que por sua vez, requerem um enorme esforço por parte dos investigadores na pesquisa de compostos distintos, naturais e competitivos (BORGES et al., 2013; RIBEIRO, 2010; DRAELOS, 2005;). Dentre os insumos de origem vegetal que tem sido empregado na formulação de produtos farmacêuticos e cosméticos encontra-se óleo de buriti.

O buriti (*Mauritia flexuosa*), também conhecido como coqueiro-buriti, miriti, muriti, muritim, palmeira-dos-brejos, carandá-guaçu e carnadaí-guaçu, é uma palmeira da família *Palmae*, comum nas regiões alagadas e úmidas do Centro-Oeste, Norte e Nordeste do Brasil (ALMEIDA et al., 1998). O óleo extraído da polpa dos frutos de buriti desperta interesse devido à sua composição química e ação farmacológica (SILVEIRA et al., 2005). Sua composição é rica em ácidos graxos como os ácidos oléico, palmítico, linoléico, linolênico, esteárico e mirístico. Alguns pesquisadores ainda destacam que o óleo de buriti também apresenta traços de ácido palmitoléico (ALBUQUERQUE et al., 2003; BASTOS e ASSUNÇÃO, 1998; VILLACHICA, 1996). Além dos ácidos graxos, o óleo de buriti também é rico em carotenóides e tocoferóis, o que sugere boa perspectiva na utilização desse produto como alternativa terapêutica e cosmética (ROSSO e MERCADANTE, 2007). O óleo de buriti tem a função de lubrificar e regenerar a barreira hidrolipídica da pele frequentemente submetida a lesões (ZANATTA et al., 2008). Dados reportam que, quando usado em produtos pós-sol, o óleo de buriti evita danos provocados por radiação UV, justamente por apresentar propriedades fotoprotetoras (ZANATTA et al., 2010a).

No desenvolvimento de formulações, a quantidade de óleo empregada varia

de acordo com a finalidade do produto a ser formulado. Encontram-se, na literatura, concentrações de uso de 1,5 a 10% (SOUZA; ANTUNES JÚNIOR, 2016). Quanto à toxicidade, testes clínicos realizados com formulações contendo 5% de óleo de buriti em sua composição mostraram que este não apresentou potencial irritante ou tóxico acima dos limites previstos por lei. Os produtos testados apresentaram excelente compatibilidade com a pele, sendo bastante tolerados por ela. Vale ressaltar que o uso do ácido oléico em formulações cosméticas deve ser feito de forma controlada devido ao seu leve poder comedogênico (SOUZA; ANTUNES JÚNIOR, 2016; SILVA, 2002).

Atualmente, existem no mercado, óleos de buriti beneficiados, que apresentam características especiais, como comportamento hidrofílico, o que facilita sua incorporação em produtos cosméticos, principalmente em formulações de base aquosa (emulsões O/A). O uso de ativos da biodiversidade brasileira levou ao desenvolvimento de inúmeros produtos farmacêuticos, o que torna imprescindível a padronização de protocolos experimentais para atestar a qualidade dessas preparações, sobretudo em farmácias de manipulação. Sendo assim, é de grande importância o estudo da utilização do óleo de buriti, no intuito de avaliar a aplicabilidade na área farmacêutica, sinalizando o aproveitamento de recursos naturais com desenvolvimento sustentável e contribuição social. Buscando a tendência do uso de produtos naturais em sistemas emulsionados de uso tópico, o objetivo deste trabalho visou à produção e avaliação de bases dermocosméticas contendo óleo de buriti oriundo da biodiversidade brasileira, passíveis de serem produzidas em farmácias de manipulação, seguida da avaliação física e estudo preditivo da estabilidade das formulações propostas.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local de experimentação

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Desenvolvimento e Controle de Qualidade do Curso de Farmácia da Universidade São Francisco (USF) – Campinas, São Paulo.

2.2 Obtenção das emulsões

As emulsões dermocosméticas foram formuladas com matérias-primas denominadas pela *International Nomenclature Cosmetics Ingredients* (INCI). Formulação F1: *Cetearyl Alcohol / Sodium Cetearyl Sulf.* (Lanette N); *Isopropyl myristate* (miristado de isopropila); *Propylparaben* (propilparabeno); *Methylparaben* (metilparabeno); BHT (butilhidroxitolueno); *Disodium EDTA* (edetato dissódico); *Propylene Glycol* (propilenoglicol); *Mauritia flexuosa* Fruit Oil (óleo de buriti),

essência de buriti; *Aqua/ Water* (água). Formulação F2: formulada com os mesmos componentes da F1 alterando-se apenas a base autoemulsiva *Emulsifying Wax NF* (Polawax NF). A Tabela 1 destaca a composição qualitativa e quantitativa das formulações F1 e F2. Os componentes estão organizados obedecendo a uma sequência, do que está em maior quantidade para o que está em menor quantidade na formulação.

Componentes (INCI)	Formulações		Fase*
	Porcentagem (%)		
	F1	F2	
Aqua/ Water (Q.S.P.)	100	100	A
Cetearyl Alcohol / Sodium Cetearyl Sulf. (Lanette N)	10,0	-	O
Emulsifying Wax NF (Polawax NF)	-	10,0	O
Isopropyl myristate	5,0	5,0	O
Propylene Glycol	5,0	5,0	A
Mauritia flexuosa Fruit Oil	2,5	2,5	C
BHT	0,1	0,1	O
Methylparaben	0,1	0,1	A
Propylparaben	0,05	0,05	O
Disodium EDTA	0,01	0,01	A
Essência de buriti	0,01	0,01	C

Tabela 1: Composição qualitativa e quantitativa das formulações (% p/p).

Legenda: Q.S.P: Quantidade Suficiente Para. Fase: A (Aquosa), Fase O (Oleosa); Fase C (Ativo e Essência).

As emulsões foram preparadas seguindo os procedimentos farmacotécnicos para preparação de cremes (FERREIRA; BRANDÃO, 2011). A fase oleosa (Fase O) e a fase aquosa (Fase A) foram aquecidas sob temperatura de 70°C, a seguir, a fase aquosa foi adicionada sobre a fase oleosa, sob mesma temperatura, a agitação foi mantida até a temperatura de 40°C. A seguir incorporou-se o óleo de buriti e a essência artificial (Fase C), o processo de agitação foi mantido por mais trinta minutos. Após 48h (considerado Tempo 0 para as análises) as amostras foram separadas em grupos e acondicionadas em recipientes de vidro neutro transparente para posterior submissão dos testes de estabilidade preliminar. Em intervalos de tempo pré-estabelecidos (7, 14, 21 e 28 dias), amostras foram coletadas e analisadas quanto ao aspecto, características sensoriais e parâmetros físicos e físico-químicos.

As formulações-teste apresentando sinais de instabilidade (precipitação, turvação) adicionalmente às propriedades organolépticas consideradas

inadequadas, segundo critérios do formulador e também referendadas pela literatura, como aspecto, cor e odor subjetivamente desagradáveis, foram rejeitadas no estudo preliminar do desenvolvimento das formulações (BRASIL, 2004; BRASIL, 2007; MOUSSAVOU e DUTRA, 2012).

2.3 Determinação do tipo de emulsão

Na determinação do tipo de emulsão realizou-se o método do corante. Os corantes utilizados para o ensaio foram o azul de metileno, solúvel em fase aquosa e sudan III, solúvel em fase oleosa. Foram preparadas lâminas com as emulsões misturadas aos corantes e observadas ao microscópio óptico em aumento de 250 vezes (LAVASELLI; RASIA, 2003).

2.4 Teste Preliminar da Estabilidade

As amostras foram armazenadas à temperatura ambiente ($25^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$), à temperatura de $5^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$ em geladeira, e à temperatura de $40^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$ em câmara de estabilidade da marca Nova Ética, modelo 420 CLD. Em intervalos de tempo pré-estabelecidos (início, 7, 14, 21 e 28 dias), amostras foram coletadas e analisadas quanto ao aspecto, características sensoriais e parâmetros físicos e físico-químicos. Os resultados foram comparados com aqueles obtidos dos ensaios efetuados para as preparações mantidas em temperatura ambiente. Todos os estudos foram baseados no Guia de Estabilidade de Produtos Cosméticos (BRASIL, 2004), Guia de Controle de Qualidade de Produtos Cosméticos (BRASIL, 2007) e literatura especializada (ISAAC et al., 2008; MOUSSAVOU e DUTRA, 2012).

2.5 Determinação do Aspecto

A determinação do aspecto foi realizada por observação visual avaliando se ocorreram alterações do tipo separação de fases, precipitação, turvação. A determinação do aspecto foi realizada transferido 2,0 gramas da amostra para placa de Petri, após prévia homogeneização, observou-se seu aspecto, homogeneidade, brilho, maciez, presença de bolhas de ar.

2.6 Determinação do Odor

A determinação do odor foi realizada transferindo 2,0 gramas da amostra para placa de Petri, após prévia homogeneização, avaliou-se o odor diretamente através do olfato, sendo este comparado ao odor da amostra armazenada sob temperatura ambiente.

2.7 Determinação da Sensação Tátil

O teste foi realizado aplicando-se cerca de 2,5 g do produto no dorso da mão, depois desta ter sido lavada e seca.

2.8 Determinação do potencial hidrogeniônico

As amostras foram diluídas a 10% e o pH obtido com pHmetro marca Qualxtron, modelo 8010. Foram efetuadas três leituras consecutivas, obtendo-se como resultado a média das três leituras.

2.9 Teste de homogeneidade por centrifugação

O teste foi realizado centrifugando-se 5 g de cada amostra separadamente, a 3000 rpm por 30 minutos sob temperatura ambiente, utilizando-se centrífuga TTETTICH Zentrifugen, modelo EBA 20. Em seguida avaliou-se visualmente a homogeneidade, o nível de afloramento, sedimentação ou exsudato.

2.10 Teste de viscosidade aparente

A viscosidade aparente é medida em um único ponto e através de cisalhamento constante. As determinações da viscosidade foram obtidas através do viscosímetro de Brookfield RVT, modelo LVT sob temperatura ambiente ($25 \pm 2^\circ\text{C}$). Cerca de 150 g de cada amostra foram transferidas para recipiente apropriado, evitando-se a permanência de bolhas. De acordo com testes preliminares utilizou-se *spindle* número 6. O teste foi efetuado em diferentes velocidades: 0,5; 1,0; 2,0; 2,5; 4,0 e 5,0 rpm/minuto. A partir dos resultados obtidos construiu-se um gráfico da viscosidade em *centiPoise* (cP) em função da velocidade de rotação em rpm ($\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$).

3 | RESULTADO E DISCUSSÃO

É responsabilidade do formulador o desenvolvimento produtos dermatológicos estáveis, eficazes e seguros durante todo o tempo que durar seu prazo de validade. Na pesquisa e desenvolvimento de formulações os parâmetros a serem avaliados são definidos pelo formulador e dependem não só das características requeridas, como também dos componentes utilizados, da forma de apresentação e, principalmente, das especificações exigidas. Os principais ensaios incluem os organolépticos, físico-químicos e microbiológicos. Um cuidado a ser tomado é que os testes realizados devem, de fato, representar o conjunto de parâmetros que avaliem também a estabilidade do produto.

Dentre as inúmeras bases dermocosméticas utilizadas, a emulsão cremosa é muito popular na farmácia magistral e possui boa aceitação pelos consumidores. É resultante da dispersão de uma fase interna formada por gotículas ou glóbulos de um líquido distribuídos em um veículo no qual é imiscível, a fase externa, empregando um sistema tensoativo. Neste trabalho foram desenvolvidas duas emulsões cremosas distintas sob o ponto de vista iônico, ou seja, uma base autoemulsiva sulfatada de caráter aniônico (Cetearyl Alcohol / Sodium Cetearyl Sulf. - Lanette N) e outra uma

base autoemulsiva etoxilada não-iônica (Emulsifying Wax NF - Polawax NF), a fim de se estabelecer um grau de comparação de estabilidade ao incorporar o emoliente natural extraído do buriti (*Mauritia flexuosa* L.). O tipo de base emulsionante pode repercutir nas características intrínsecas das emulsões preparadas.

O óleo de buriti foi escolhido em virtude de suas propriedades na pele. Sua composição é rica em ácidos graxos, altos teores de β -caroteno e tocoferol. Os ácidos graxos, em especial o ácido oléico, auxiliam na regeneração da barreira hidrolipídica protetora da pele. Assim, pode ser empregado em cremes e loções para o corpo, óleos de banho e sabonetes (TESCAROLLO et al., 2016; BIGHETTI et al., 2008; ZANATTA et al. 2010b; SOUZA; ANTUNES JÚNIOR, 2016). Devido ao seu alto teor de β -caroteno, ele pode ser usado na fabricação de protetores solares e produtos pré e pós-sol. Testes clínicos mostraram que a adição de 5% de óleo de buriti em uma formulação de protetor solar acarretou em um acréscimo de cerca de 20% no FPS (Fator de Proteção Solar) final do produto, quando comparado a outro sem a adição do óleo (SILVA, 2002). Nas formulações F1 e F2 o óleo de buriti foi empregado como emoliente na concentração de 2,5 %.

Os emolientes são matérias-primas lipofílicas fundamentais nas emulsões cremosas, tendo várias funções relacionadas à formulação ou ao uso. Podem atuar como veículo e solvente de ativos, otimizar a permeação cutânea, atuar como agentes de brilho e consistência, contribuir na aparência da formulação e melhorar o espalhamento e a percepção sensorial final do produto pelo consumidor; hidratação e suavidade à pele e oferecer suplementos lipídicos (DEDEREN et al., 2012). Ribeiro (2010) destaca que os emolientes podem ainda exercer função de barreira protetora, são capazes de reter a umidade da pele e evitar a perda de água transepidermal. Os óleos vegetais têm vantagem de ser naturais e ricos em triglicerídeos de ácidos graxos insaturados, portanto, material semelhante ao encontrado na pele. O miristato de isopropila é uma mistura de ésteres do álcool isopropílico com ácidos graxos saturados, principalmente o ácido mirístico. É um éster resistente à oxidação e a hidrólise, não é sensibilizante ou irritante e absorvido pela pele. Tem baixo caráter oleoso sendo indicado para ser usado em formulações corporais (MICHALUN e MICHALUN, 2010). Neste trabalho o miristato de isopropila também foi usado como emoliente com objetivo de facilitar espalhamento da emulsão, além de conferir um toque agradável.

Para evitar possível oxidação à que os óleos vegetais estão susceptíveis foi usado o butilhidroxitolueno como antioxidante e o edetato dissódico como agente sequestrante. O sistema conservante foi composto pela associação entre propilparabeno e metilparabeno a fim de se prolongar o período de estabilidade da formulação. O propilenoglicol foi adicionado como umectante e a água como fase aquosa para completar a preparação (MICHALUN e MICHALUN, 2010). Neste

estudo as amostras foram armazenadas em condições previamente padronizadas sendo que as análises foram realizadas de sete em sete dias pelo período de 28 dias sendo os resultados apresentados no Quadro 1

Temperatura/ Tempo	Ambiente					Geladeira					Estufa				
	(25° ± 5°C)					(5° ± 2°C)					(40° ± 2°C)				
	0	7	14	21	28	0	7	14	21	28	0	7	14	21	28
F1															
Aspecto	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Odor	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	L	L
Avaliação tátil	LA	LA	LA	LA	LA	LA	LA	LA	LA	LA	LA	LA	LA	LA	LA
pH	6,0	5,9	5,9	6,1	6,1	6,0	5,9	5,9	6,0	6,0	6,0	6,0	5,9	6,1	6,1
Centrifugação	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
F2															
Aspecto	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Odor	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	L	L
Avaliação tátil	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA
pH	5,2	5,1	5,2	5,4	5,4	5,2	5,2	5,3	5,5	5,5	5,2	5,3	5,1	5,6	5,6
Centrifugação	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)

Quadro 1. Resultados globais obtidos na avaliação das características das Formulações F1, F2 e F3 em função do tempo e temperatura e condições de armazenamento.

Legenda: Aspecto: Normal, homogêneo e sem alterações (N); Levemente separado (L); Separado (S). **Odor:** Normal, sem alteração (N); Levemente modificado (L); Modificado (M); Intensamente modificado (I). **Cor:** Normal, sem alteração (N); Levemente modificado (L); Modificado (M); Intensamente modificado (I). **Separação de fases por centrifugação:** (-) não houve separação de fases, (+) houve separação de fases. **Avaliação tátil:** (DD) Duro e desagradável; (LD) Liso e desagradável; (DA) Duro agradável; (LA) Liso agradável; (PA) Pegajoso agradável; (PD) Pegajoso desagradável; (AA) Áspero agradável; (AD) Áspero desagradável; (SA) Seco agradável; (SD) Seco desagradável; (AA) Aveludado agradável; (AD) Aveludado desagradável.

De acordo com Isaac e colaboradores (2008) o teste de estabilidade preliminar consiste em submeter a amostra a condições extremas de temperatura e realizar os ensaios em relação aos vários parâmetros. Devem ser realizados antes de disponibilizar os produtos ao consumo, requisito fundamental à qualidade e à segurança dos mesmos. Produtos expostos ao consumo e que apresentem problemas de estabilidade físico-química e/ou microbiológica, além de descumprirem os requisitos técnicos de qualidade, podem colocar em risco a saúde do consumidor

e configurar infração sanitária (BRASIL, 2004). Conforme Isaac et al. (2008), o teste de estabilidade é considerado um procedimento preditivo, baseado em dados obtidos de produtos armazenados em condições que visam acelerar alterações passíveis de ocorrer nas condições de mercado. Embora todo procedimento preditivo não represente um resultado absoluto, possui uma ótima probabilidade de fornecer dados relevantes sobre o comportamento de um produto durante o seu armazenamento e utilização (BRASIL, 2004).

A Figura 1 apresenta a aparência das emulsões submetidas ao teste de centrifugação para as amostras armazenadas nas diferentes condições de tempo e temperatura.

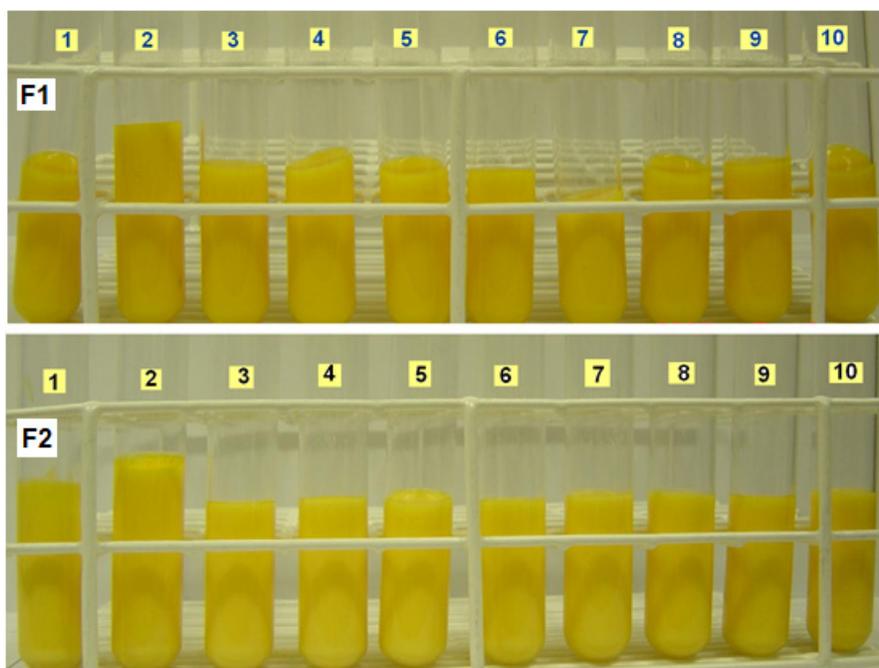


Figura 1. Aparência das emulsões preparadas com 2,5 % de óleo de buriti (*Mauritia flexuosa*) em base autoemulsiva aniônica sulfatada (F1) e base autoemulsiva não iônica etoxilada (F2). Condições: 1. T_0 (Tempo zero); 2. T_7 (5+/- 2°C); 3. T_{14} (5+/- 2°C); 4. T_{21} (5+/- 2°C); 5. T_7 (25+/- 2°C); 6. T_{14} (25+/- 2°C); 7. T_{21} (25+/- 2°C); 8. T_7 (40+/- 2°C); 9. T_{14} (40+/- 2°C); 10. T_{21} (40+/- 2°C).

A avaliação da aparência foi baseada em critérios subjetivos, construindo-se uma escala de valores arbitrários. O propósito desta avaliação foi o de verificar a ocorrência de quaisquer alterações que comprometessem a homogeneidade do sistema. De acordo com os resultados obtidos, observa-se que as duas formulações propostas neste trabalho, apresentaram-se homogêneas, não havendo alterações

significativas no aspecto e cor frente às condições empregadas no teste. As características relacionadas ao brilho das emulsões foram observadas visualmente, como resultado pôde-se notar que o brilho é uma característica intrínseca do tipo de base, ou seja, o Lanette N apresentou-se brilhoso, enquanto que o Polawax NF apresentou-se opaco; características essas que não foram alteradas durante o período de estudo.

A Figura 2 apresenta os resultados obtidos na determinação do tipo de emulsão e na caracterização dos tamanhos dos glóbulos da fase dispersa, sendo que tanto a amostra F1 como F2 foram caracterizadas como emulsões O/A sendo visível a impregnação dos corantes nas respectivas fases.

O odor foi comparado ao do padrão e foi mensurado diretamente através do olfato, um parâmetro subjetivo, mas aceito e preconizado pelo Guia de Estabilidade de Produtos Cosméticos (BRASIL, 2004). O resultado foi uma alteração na intensidade do odor das emulsões submetidas à estufa ($40 \pm 2^\circ\text{C}$) com o decorrer do tempo do que àqueles submetidos à geladeira ($5 \pm 2^\circ\text{C}$), o que se pode justificar pela maior sensibilidade ao estresse térmico.

A avaliação tátil pode ser considerada subjetiva, mas é importante para a aquisição de um produto pelo consumidor, no caso das formulações estudadas foi possível verificar que as mesmas mantiveram suas características durante o período de estudo sendo classificadas como agradáveis ao uso.

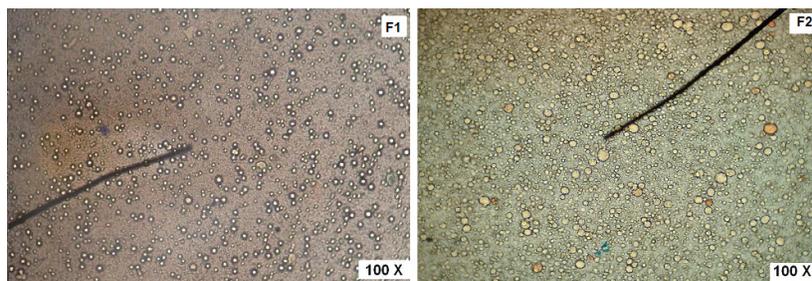


Figura 2. Microfotografias das emulsões preparadas com 2,5 % de óleo de buriti (*Mauritia flexuosa*) em base autoemulsiva aniônica sulfatada (F1) e base autoemulsiva não iônica etoxilada (F2). Amostras do tempo zero armazenadas sob temperatura ambiente ($25 \pm 2^\circ\text{C}$). Aumento de 100 vezes.

No que tange ao pH os valores estiveram entre pH 5,9 a 6,0 para F1 e pH 5,1 a 5,6 para F2. Esta diferença não foi considerada e está compatível com o pH da pele que é levemente ácido (4,6 – 5,8) e que contribui na proteção contra microrganismos (HARRIS, 2018).

A viscosidade é uma variável que caracteriza reologicamente um sistema.

A avaliação desse parâmetro ajuda a determinar se um produto apresenta a consistência ou fluidez apropriada e pode indicar se a estabilidade é adequada, ou seja, fornece indicação do comportamento do produto ao longo do tempo (ISAAC et al., 2008).

De acordo com os resultados obtidos (Figuras 3, 4 e 5), foi possível observar pequenas alterações no comportamento das formulações frente ao estresse térmico pelo qual as mesmas foram submetidas. As formulações apresentaram comportamento não newtoniano com características pseudoplásticas, ou seja, houve diminuição da viscosidade a partir do aumento da velocidade de cisalhamento. Esta característica também foi descrita por Zanatta, et al. (2010b) em seu estudo envolvendo emulsões de cristais líquidos contendo óleo de buriti.

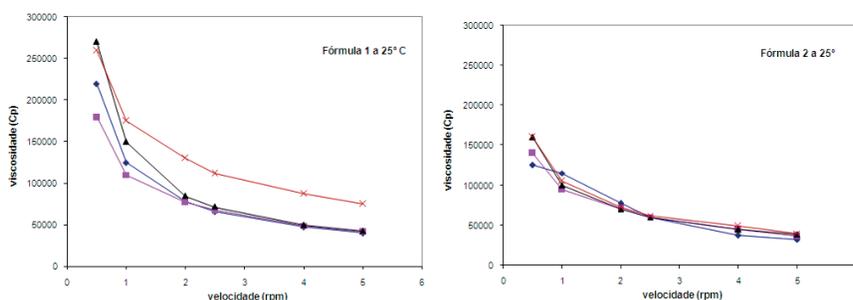


Figura 3. Resultados obtidos na determinação da viscosidade em *centiPoise* (1 Cp) em função da velocidade de rotação em rpm (\wedge) das formulações F1 e F2 sob temperatura ambiente ($25\pm 2^\circ\text{C}$) armazenadas por um período de 21 dias, sendo: \square tempo zero; \circ 7 dias; \blacktriangle 14 dias; \times 21 dias.

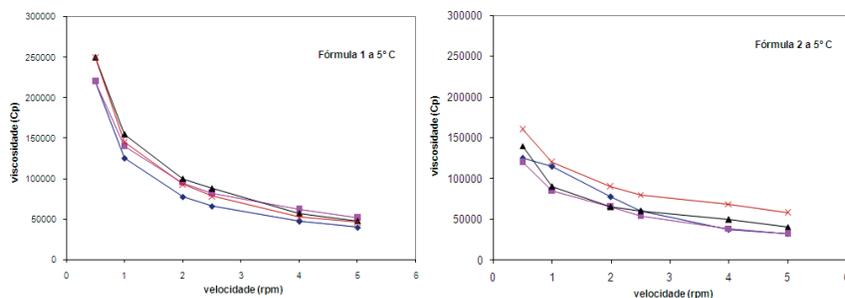


Figura 4. Resultados obtidos na determinação da viscosidade em *centiPoise* (1 Cp) em função da velocidade de rotação em rpm (\wedge) das formulações F1 e F2 sob temperatura ambiente ($5\pm 2^\circ\text{C}$) armazenadas por um período de 21 dias, sendo: \square tempo zero; \circ 7 dias; \blacktriangle 14 dias; \times 21 dias.

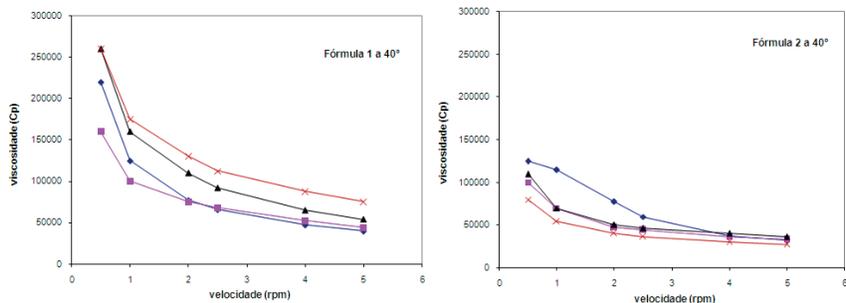


Figura 5. Resultados obtidos a partir na determinação da viscosidade em *centiPoise* (1 Cp) em função da velocidade de rotação em rpm (λ) das formulações F1 e F2 sob temperatura ambiente ($40\pm 2^{\circ}\text{C}$) armazenadas por um período de 21 dias, sendo: \square tempo zero; \square 7 dias; \blacktriangle 14 dias; \times 21 dias.

As formulações apresentaram comportamento não newtoniano com características pseudoplásticas, ou seja, houve diminuição da viscosidade a partir do aumento da velocidade de cisalhamento. Esta característica também foi descrita por Zanatta, et al. (2010b) em seu estudo envolvendo emulsões de cristais líquidos contendo óleo de buriti.

4 | CONCLUSÃO

Dentro das condições experimentais utilizadas neste trabalho foi possível concluir que o objetivo de desenvolver sistemas emulsionados acrescidas de óleo de buriti foi alcançado com sucesso. As formulações propostas se mostraram agradáveis e adequadas sob aspecto sensorial. Os testes efetuados foram úteis na caracterização dos produtos e as bases emulsionadas contendo óleo de buriti mostraram-se estáveis frente aos testes realizados. A técnica de preparo se mostrou reprodutível, de fácil manipulação. A abordagem adotada também permitiu a construção de uma base científica no desenvolvimento de preparações magistrais, assim como, na seleção dos componentes no decorrer de seu processo produtivo.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, M. L. S. et al. Infrared absorption spectra of Buriti (*Mauritia flexuosa* L.) oil. *Vibrational Spectroscopy*, v. 33, n. 1-2, p. 127-131, 2003.

ALMEIDA, S.P. de et al. Cerrado: espécies vegetais úteis. **Planaltina: Embrapa-CPAC**, v. 464, 1998.

AULTON, Michael E.; TAYLOR, Kevin MG (Ed.). **Aulton's Pharmaceutics E-Book: The Design and Manufacture of Medicines**. Elsevier Health Sciences, 2018.

- BASTOS, A. C. L. M.; ASSUNÇÃO, F. P. Oxidação dos óleos de tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart) e buriti (*Mauritia flexuosa* Mart). In.: **Tópicos especiais em tecnologia de produtos naturais**. Belém: UFPA, NUMA, POEMA, 1998, 302p.
- BIGHETTI, A.E. et al. Desenvolvimento de Sabonete em Barra com Óleo de Buriti (*Mauritia flexuosa* L.). **Infarma-Ciências Farmacêuticas**, v. 20, n. 5/6, p. 10-16, 2008.
- BORGES, R.C.G.; GARVIL, M.P.; ROSA, G.A.A. Produção de fitocosméticos e cultivo sustentável da biodiversidade no Brasil. **e-RAC**, v. 3, n. 1, 2013.
- BRASIL. Agência de Vigilância Sanitária. **Guia de estabilidade de produtos cosméticos** (séries temáticas), v.1, Brasília: Anvisa, 2004.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Guia de Controle de Qualidade de Produtos Cosméticos**. 2a. edição. Brasília: Anvisa, 2007, 120 p.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Anvisa Esclarece: 2841 - Cosmecêuticos, neurocosméticos, dermocosméticos e nutricosméticos. 2015.
- DEDEREN, J. C.; CHAVAN, B.; RAWLINGS, A. V. Emollients are more than sensory ingredients: the case of Isostearyl Isostearate. **International journal of cosmetic science**, v. 34, n. 6, p. 502-510, 2012.
- DRAELOS, Z.D. **Cosmecêuticos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005, 246 p.
- FERRARI, R.A.; TESCAROLLO, I.L. Caracterização de bases dermocosméticas formuladas com modificadores sensoriais. **Interbio** v.12 n.2, Jul-Dez, 2018, p.28-37.
- FERREIRA, A. O.; BRANDÃO, M. Guia prático da Farmácia Magistral, 3.ed, Volume 1 e 2, Pharmabooks: São Paulo, 2011.
- HARRIS, M.I.N.C. **Pele: Do nascimento à maturidade**. São Paulo: Senac, 2018.
- ISAAC, V.L.B. et al. Protocolo para ensaios físico-químicos de estabilidade de fitocosméticos. **Revista de Ciências Farmacêuticas básica e aplicada**, v. 29, n. 1, p. 81-96, 2008.
- LAVASELLI, S.A.; RASIA, R.J. Reología y estabilidad de excipientes para productos dermatológicos, elaborados con concentraciones variables del mismo emulgente. **Acta Farm. Bonaerense**, v. 23, n. 1, p. 59-66, 2004.
- MICHALUN, M.V.; MICHALUN, N. **Dicionário de ingredientes para cosméticos e cuidados da pele**. São Paulo: Cengage Learning Editora Senac São Paulo, 2010, 353p.
- MOUSSAVOU, U.P. A.; DUTRA, V.C. **Controle de Qualidade de Produtos Cosméticos**. Rede de Tecnologia e Inovação do Rio de Janeiro – REDETEC, 2012, 35p.
- RIBEIRO, C. **Cosmetologia Aplicada a Dermocosmética**. 2.ed. São Paulo: Pharmabooks Editora, 2010, 441p.
- ROSSO, V.V.; MERCADANTE, A.Z. Identification and quantification of carotenoids, by HPLC-PDA-MS/MS, from Amazonian fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, n. 13, p. 5062-5072, 2007.

SILVA, C. R. Bioativos tropicais com eficácia comprovada. **Cosmet Toilet**, v. 14, n. 1, p. 42-6, 2002.

SILVEIRA, C. S. et al. Atividade antimicrobiana dos frutos de *Syagrus oleracea* e *Mauritia vinifera*. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 15, n. 2, p. 143-148, 2005

SOUZA, V.M.; ANTUNES JUNIOR, D. **Ativos dermatológicos: Dermocosméticos e nutracêuticos**. São Paulo: Daniel Antunes Junior, 2016, 826p.

TESCAROLLO, I.L. et al. Sensory analysis and physicochemical of phytocosmetic moisturizer formulated with oil buriti. **Visão Acadêmica**, v. 17, n. 1, 2016, p.31-44.

VILLACHICA, H. et al. **Frutales y hortalizas promisorios de la Amazonia**. Lima: Tratado de Cooperacion Amazonica, Secretaria Pro-Tempore, 1996, 367p.

ZANATTA, C. F. et al. Photoprotective potential of emulsions formulated with Buriti oil (*Mauritia flexuosa*) against UV irradiation on keratinocytes and fibroblasts cell lines. **Food and chemical toxicology**, v. 48, n. 1, p. 70-75, 2010a.

ZANATTA, C.F. et al. Rheological behavior, zeta potential, and accelerated stability tests of Buriti oil (*Mauritia flexuosa*) emulsions containing lyotropic liquid crystals. **Drug development and industrial pharmacy**, v. 36, n. 1, p. 93-101, 2010b.

ZANATTA, C.F. et al. Low cytotoxicity of creams and lotions formulated with Buriti oil (*Mauritia flexuosa*) assessed by the neutral red release test. **Food and chemical toxicology**, v. 46, n. 8, p. 2776-2781, 2008.

CAPÍTULO 11

EMBALAGEM CARTONADA: METODOLOGIA PARA SEPARAÇÃO E RECICLAGEM DE SEUS COMPONENTES

Data de aceite: 26/08/2020

Data de submissão: 13/07/2020

Mayara Elizabeth Pereira

Universidade São Francisco
Itatiba – SP

<http://lattes.cnpq.br/2001891582427681>

José Fernando Marin Junior

Universidade São Francisco
Itatiba – SP

<http://lattes.cnpq.br/5512527505734094>

Roberta Martins da Costa Bianchi

Universidade São Francisco (USF)
Itatiba, São Paulo

<http://lattes.cnpq.br/1178282277362723>

RESUMO: A embalagem cartonada (embalagem longa vida) é uma embalagem asséptica utilizada especialmente nas indústrias alimentícias no envase e conservação de alimentos. São compostas de uma mistura de papel (75%), polietileno de baixa densidade (PEBD) (20%) e alumínio (Al) (5%) e apresentam um tempo médio de degradação de aproximadamente 100 anos sendo difíceis de serem recicladas. O objetivo desse trabalho é apresentar uma alternativa para a separação dos materiais que constituem a embalagem cartonada por meio do processo chamado hidrapulper e um forno de indução eletromagnética. A separação dos materiais ocorreu em duas etapas, sendo a primeira a desagregação do papel do composto PEBD/Al por meio do processo hidrapulper.

Na segunda etapa foi construído um forno de indução eletromagnética o qual gerou uma fonte de corrente elétrica ao material condutor proporcionando um aquecimento térmico (400°C durante 2 minutos) permitindo a separação do PEBD do AL. Para comparação, o composto PEBD/Al também foi analisado num forno Mufla a 400 °C durante 30 minutos. Os materiais submetidos ao tratamento térmico apresentaram uma perda de massa correspondente à evaporação do PEBD, de aproximadamente 66% no forno de indução e 75% na Mufla. As análises de FTIR indicam a sua remoção devido à ausência dos picos na região em 2914,44 e 2848,86 cm^{-1} correspondente ao estiramento assimétrico e simétrico respectivamente, da ligação C-H. Para analisar a viabilidade econômica do processo, foi calculada a energia consumida por cada equipamento sendo aproximadamente 214 kWh.kg para o forno Mufla e 49 kWh.kg no forno de indução. Ambos os equipamentos podem ser utilizados no processo de degradação do composto PEBD/Al. Embora a degradação observada fosse menor no forno de indução, sua viabilidade econômica em relação ao consumo de energia torna-se mais atrativa para o processo.

PALAVRAS-CHAVE: Reciclagem, embalagem cartonada asséptica, hidrapulper, indução magnética.

**CARTONED PACKAGING:
METHODOLOGY FOR SEPARATION AND
RECYCLING OF ITS COMPONENTS**

ABSTRACT: The carton packaging (long

life packaging), is an aseptic packaging used especially in the food industries for conservation and food storage. They are composed of a mixture of paper (75%), low density polyethylene (LDPE) (20%) and aluminum (Al) (5%), difficult to recycle have an average degradation time of approximately 100 years. The objective of this work is to present an alternative for the separation of the materials that make up the carton packaging through a process called hidrapulper and an electromagnetic induction furnace. The separation occurred in two stages, the first one was the the disintegration of the paper of the compound LDPE/Al through the process called hydrapulper. The second step an electromagnetic induction furnace was built that generated a source of electric current to the conductive material, providing a thermal heating (400°C for 2 minutes) allowing separation of the LDPE from the Al. For comparison, the LDPE/Al compound was also analyzed in a muffle furnace at 400°C for 30 minutes. The materials submitted to the thermal treatment showed a mass loss corresponding to the evaporation of the LDPE, of approximately 66% in the induction furnace and 75% in the muffle furnace. The FTIR analysis indicates its removal due to the absence of the peaks in the region at 2914,44 and 2848,86 cm^{-1} corresponding to the asymmetric and symmetrical cooling, respectively, of the C-H bond. To analyze the economic viability of the process, the energy consumed by each equipment was calculated, being approximately 214 kWh.kg for the muffle furnace and 49 kWh.kg in the induction furnace. Both equipment can be used in the process of degradation of the compound LDPE/Al. Although the observed degradation was lower in the induction furnace, its economic viability in relation to the energy consumption becomes more attractive for the process.

KEYWORDS: Recycling, aseptic carton packaging, hydrapulper, magnetic induction.

1 | INTRODUÇÃO

O desenvolvimento populacional, combinado com o consumo de mercadorias, têm contribuído com a geração de resíduos sólidos urbanos (RSU), exigindo melhor administração e tratamentos adequados dos RSU de modo a minimizar o impacto ambiental. Alguns países sofrem com a ausência de espaço físico apropriado para o destino dos resíduos (SALLES, 2009). Segundo Abrelpe (2017), a geração de resíduos sólidos no Brasil em 2017 apresentou um total anual de quase 78,4 milhões de toneladas, dos quais 6,9 milhões de toneladas de resíduos não foram coletados, que podem ter sido descartados sem uma orientação adequada, sendo encontrados em rios, lagos, mares, matas e ruas (PORTAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 2013).

Diante desse cenário, é importante conscientizar os indivíduos em relação ao descarte dos resíduos, bem como enfatizar a possibilidade da sua reutilização e/ou reciclagem. Essas ações podem contribuir para minimizar o esgotamento de bens e de recursos energéticos (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), conforme a Lei nº 12.305/10, art.8º do capítulo 3, determina os instrumentos importantes para instituir a

responsabilidade compartilhada dos geradores de resíduos com serviços de manejo na logística reversa de embalagens pós-consumo (BRASIL, 2017). De acordo com a Associação Brasileira de Latas de Alumínio (ABRALATAS), estudos mostram que 3% de todo o resíduo no Brasil é reciclado, 30% dos RSU produzidos poderiam ser reaproveitados e apenas 18% dos municípios possuem coleta seletiva (ABRALATAS, 2017). As quantidades de resíduos orgânicos e inorgânicos crescem a cada ano nos aterros sanitários (SEGATO e SILVA, 2018), ocasionando a transmissão de doenças e causando impactos no ecossistema. Uma alternativa para este problema seria a reciclagem do produto pós-consumo, transformando-o em matéria-prima novamente para utilização em um novo produto.

As embalagens cartonadas são muito utilizadas na indústria alimentícia para o armazenamento de alimentos como leite, iogurte, suco, achocolatados, entre outros e representam grande parte dos RSU. Elas são constituídas por seis camadas de três materiais distintos (Figura 1). Observando de dentro para fora, tem-se duas camadas de polietileno, uma de alumínio, outra de polietileno, uma de papel e a última de polietileno, sendo atribuída a elas uma função diferente. Em quantidade, o papel representa 75% da embalagem, enquanto que o polietileno representa 20% e o alumínio 5%. (TETRA PAK, 2006). Essas embalagens quando descartadas de forma inadequada, podem contribuir com o impacto ambiental.



Figura 1 – Estrutura das embalagens cartonadas assépticas.

Fonte: TETRA PAK, 2006.

A indústria de embalagens desenvolveu novos produtos para permitir comodidade ao consumidor e alguns deles não são feitos de um único material, como, por exemplo, a embalagem cartonada, consideradas de difícil reciclagem e

degradação incerta devido a composição de diferentes materiais que apresentam propriedades físico-químicas distintas.

A partir da separação dos materiais pode-se estimar o tempo de degradação na natureza. A celulose, por exemplo, é biodegradável e leva cerca de 6 meses para ser totalmente degradada na natureza. Já o plástico e o alumínio não são biodegradáveis e têm tempo elevado para total degradação na natureza, sendo mais de 100 anos para o plástico e de 100 a 500 anos para o alumínio (LANDIM *et al.*, 2016). O papel pode ser separado do polietileno e do alumínio no sistema tradicional utilizado há anos na fabricação de papel, porém, com algumas modificações para extrair este polietileno e alumínio. Diferente dos resíduos plásticos normais no processo de reciclagem de papel, o polietileno e o alumínio podem ser comercializados como matéria-prima e reciclados pela indústria de plásticos (NEVES *et al.*, 2015).

De acordo com dados levantados pelo Cempre, 21% foi o índice de reciclagem de embalagens longa-vida da Tetra Pak no Brasil no ano de 2015, o que totalizou em mais de 59 mil toneladas. Cada tonelada de embalagem cartonada reciclada gera em torno de 680 quilos de papel Kraft (CEMPRE, 2015). Implicações ambientais têm impulsionado a coleta de embalagens pós-consumo, além disso, a procura por produtos que possam estar de volta à cadeia produtiva vem crescendo consideravelmente (NEVES *et al.*, 2015). Neves e colaboradores (2015) realizaram um estudo de reciclagem de embalagens cartonadas da Tetra Pak localizada na cidade de Monte Mor, no estado de São Paulo. Foram conduzidos vários testes industriais de acordo com o processo de produção de diversas fábricas e os resultados relacionados aos ensaios de tração, rasgo, alongamento e arrebentamento corroboraram com os valores exigidos pelas normas, com sensível potencial de ganho nestas características através de um refino.

Diante do exposto, o objetivo desse trabalho é propor uma metodologia econômica e ambientalmente sustentável para reciclar embalagens cartonadas por meio da separação de cada material que as compõem.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Trata-se do detalhamento dos materiais e métodos a serem utilizados para a concepção dos protótipos na qual foram desenvolvidos para separar os componentes das embalagens cartonadas.

2.1 Construção do Protótipo - Hidrapulper

O protótipo hidrapulper foi desenvolvido em escala laboratorial de baixo custo a fim de promover a desagregação do papel da embalagem longa vida. Para a construção do desagregador, utilizou-se um liquidificador comum, entretanto, retirou-se a hélice que vem no copo do liquidificador e trocou-se por uma hélice

adaptada de modo que não cortasse a embalagem.

2.2 Construção do Protótipo – Forno de Indução Magnética

O forno de indução magnético (NARDI, 2014) foi desenvolvido em escala laboratorial de baixo custo com o intuito de separar o composto de alumínio e plástico que sobrou do processo de hidrapulper. A base do forno foi construída utilizando uma peça de madeira em MDF de 50 cm x 30 cm. A Figura 2 ilustra como o circuito foi montado.

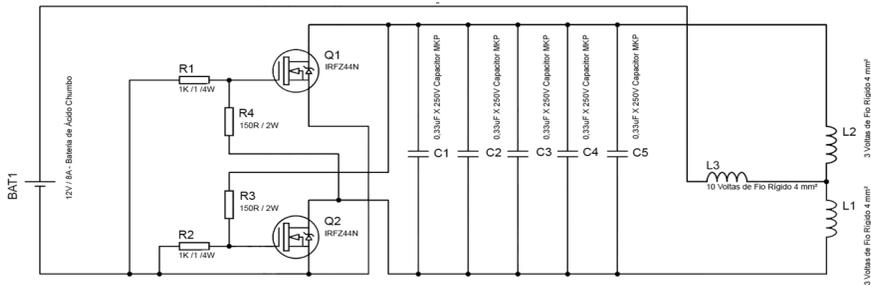


Figura 2 – Circuito de como fazer um aquecedor indutivo.

Legenda: BAT= fonte chaveada; R = resistor; Q = transistor com dissipador de calor;

C = capacitor; L= bobina.

Fonte: NARDI, 2014.

Inicialmente foram cortados quatro pedaços do fio de cobre rígido com seção de 4 mm², sendo dois de 15 cm e dois de 38 cm de comprimento. Utilizaram-se os dois pedaços de fio de 38 cm para construir uma bobina com 6 cm de diâmetro, deixando-se uma sobra de 5 cm para fora. Um deles (L1) foi enrolado em 3 voltas de modo espiral, os terminais foram dobrados de modo que as duas extremidades da bobina ficassem paralelas. O mesmo procedimento foi realizado para o segundo fio (L2) a fim de dar continuação a bobina, obtendo-se, assim uma bobina final de 6 espiras com tape central. Para juntá-las foi utilizada uma solda de estanho.

Em seguida foram usados cinco capacitores de 6,8 µF x 250 V unidos com dupla face. O terminal direito de cada capacitor foi soldado em um pedaço de fio de 15 cm deixando uma sobra de 5 cm na parte frontal. O mesmo procedimento foi realizado para o terminal esquerdo para assegurar uma associação em paralelo, resultando na soma de suas capacitâncias. Após esta etapa, as sobras de 5 cm foram unidas com estanho às duas extremidades da bobina de 6 espiras. As outras duas extremidades dos fios da bobina foram estanhadas e reservadas.

Foram acoplados dois MOSFETs IRFZ44N (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) (FIGURA 3) aos dissipadores de calor Q1 e Q2 com auxílio de uma chave 1/8", efetuando-se alguns ajustes em suas extremidades, sendo a primeira (*gate*) cortada ao meio, a segunda (*drain*) mantida reta e a terceira (*source*) dobrada para cima formando um ângulo de 90°. Com isso, foram soldadas as duas extremidades que haviam sido estanhadas com o terminal *drain* de cada MOSFET.

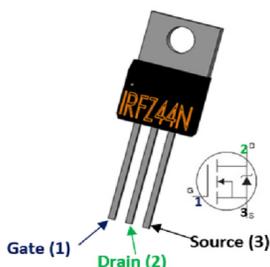


Figura 3 – Representação de um MOSFET IRFZ44N.

Fonte: Components 101, 2019.

Cortou-se um outro pedaço de fio de cobre rígido com secção de 4 mm² para utilizar na junção dos terminais *sources* dos MOSFETs, tornando-se o pólo negativo do sistema. Os resistores de 1k Ω (R1 e R2) foram soldados entre os terminais *gates* e *source* de cada MOSFET.

Para facilitar o processo de soldagem, as duas extremidades do resistor de 150 Ω (R3) e as duas barras de cobres ligados ao *drain* dos MOSFETs receberam uma camada de estanho. Posteriormente, soldou-se uma extremidade do resistor na barra ligado ao *drain* de um MOSFET e a outra extremidade soldada no *gate* do outro MOSFET. Os mesmos procedimentos foram realizados para o resistor (R4) para formar um circuito cruzado. O terminal que liga o *source* também recebeu uma camada de estanho e foi soldado ao fio negativo, que posteriormente foi ligado na bateria.

A segunda bobina (L3) de 1 cm de diâmetro foi confeccionada utilizando 55 cm de fio de cobre rígido com secção de 4 mm² e uma caneta modelo *pilot* como molde. Os fios foram enrolados 10 vezes em volta da caneta deixando uma sobra de 5 cm para fora. Após a construção, soldou-se a bobina entre o *tape* central da bobina de 6 espiras e seu polo positivo. Em seguida, soldou-se 9 cm de um fio de 0,25 mm² ao terminal da bobina de 10 espiras, para que fosse ligado no pólo positivo da bateria.

Após a montagem do circuito, foi necessário fazer um sistema de ventilação forçada para evitar o superaquecimento. Para montar a caixa (Figura 4) foram necessárias 5 peças de MDF, sendo três de 16,5 cm x 24,5 cm, uma de 16,5 cm x 16,5 cm e uma de 13 cm x 8 cm. Em duas peças de 16,5 cm x 24,5 cm foram feitos dois furos vazados de 12 cm x 12 cm, ambos a 5 cm da base (16,5 cm). Além disso, foi necessário realizar um furo vazado de 12 cm x 12 cm no centro da peça de 16,5 cm x 16,5 cm. Em todos os furos, colocou-se um *cooler*.

Todas as peças foram parafusadas de modo a formar uma caixa e a ventilação do *cooler* ficou para o lado de dentro juntamente com as fiações. A fiação positiva (vermelha) dos *coolers* foi unida em um único fio vermelho para tornar-se uma rede, o mesmo procedimento foi realizado para a fiação negativa (preto). Os dois fios saíram por um furo de Ø1,5 cm localizado no lado esquerdo da tábua e ligados a uma fonte chaveada no polo positivo e o outro no negativo.

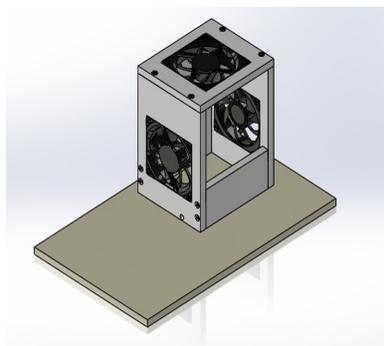


Figura 4 – Caixa montada para dispor o circuito no seu interior.

Para inserir o circuito dentro da caixa, colocou-se mais uma peça de MDF de 9 cm x 8 cm para colar a base do dissipador de calor, acomodando-se o circuito de modo que a bobina ficasse para fora. Os fios que foram ligados no terminal da bobina de 10 espiras e no terminal que liga o *source* também foram passados pelo furo Ø1,5 cm do lado esquerdo da tábua e ligados a fonte chaveada no polo positivo e o outro no negativo.

Por fim, em uma placa de acrílico de 14 cm x 15 cm foi colocada uma fita dupla face de 0,4 cm nas bordas dos lados direito e esquerdo e colou-se esta placa na madeira frontal.

2.3 Desagregação do papel – Processo do Hidrapulper

Para desagregar o papel contido nas embalagens cartonadas, as caixas de leite foram picadas em cubos de 5 cm x 5 cm. Foram inseridas no copo do liquidificador 1 caixa

picada (28g) para 1L de água e após 10 minutos de agitação no hidrapulper, retirou-se com o auxílio de uma pinça o composto de PEBD mais alumínio, além da primeira camada de plástico que estava agregada ao papel para se obter a polpa de água e papel. Acoplaram-se duas telas uma em cima da outra em uma fôrma de alumínio, para que pudesse jogar aos poucos a polpa de água e papel, no intuito de separá-los e ficarem retos. Para retirar o excesso de água foi colocado um pano em cima e com movimentos laterais, fez-se com que a água excedente saísse. Esses movimentos foram repetidos 3 vezes, até que o papel ficasse o mais seco possível. A camada de papel formada foi colocada entre duas madeiras e após a sua secagem, foi retirada formando o papel reciclado. A partir do balanço de massa verificou-se o rendimento obtido.

2.4 Separação do Alumínio e Plástico no Forno Mufla

Para realizar a separação na Mufla, primeiramente pesaram-se várias amostras do resíduo do composto de polietileno e alumínio geradas no processo de hidrapulper, colocaram-se 3 amostras em cadinho de cerâmica e inseridas no forno. As amostras foram submetidas às temperaturas de 150 °C, 200 °C, 250 °C, 300 °C e 400 °C durante 30 minutos. Após esta etapa, foram retiradas do forno e pesadas novamente.

2.5 Separação do Alumínio e Plástico no Forno de Indução Magnética

As amostras geradas no processo de reciclagem via hidrapulper foram pesadas e inseridas no cilindro de latão, alocado no centro da bobina de aquecimento do forno e analisadas nas temperaturas de 150 °C, 200 °C, 250 °C, 300 °C e 400 °C, durante dois minutos. Após esse procedimento, as amostras foram retiradas e pesadas.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Montagem dos Protótipos

Ao longo da montagem e testes do hidrapulper, notou-se certa dificuldade em achar a potência e hélice adequadas para conseguir a total separação do papel, sem rasgar a embalagem. No fim, ao invés de usar um propulsor marinho de 6 pás, foi adaptada uma “hélice” reta, (Figura 5(A)).

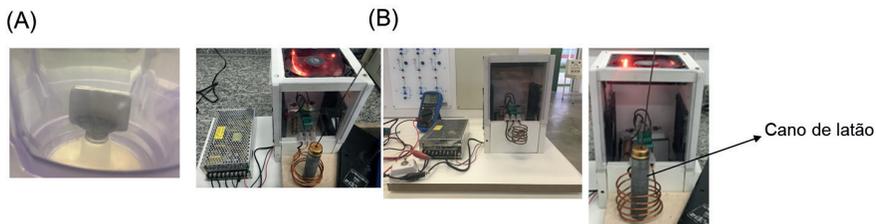


Figura 5 – (A) Protótipo do hidrapulper indicando a hélice reta. (B) Protótipo do forno de indução magnética indicando o cilindro de latão.

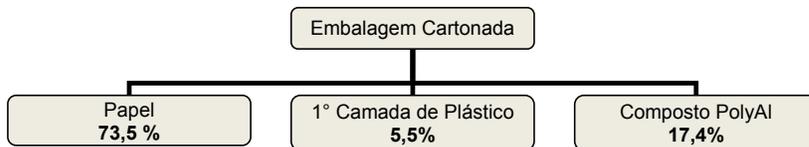
A Figura (5B) mostra o protótipo do forno de indução magnética. Durante alguns testes, houve a necessidade de utilizar um cano de latão no interior da bobina, pois a bobina de cobre não era capaz de induzir o alumínio devido a pouca massa e por apresentar baixa condução magnética, impedindo a sua separação do plástico.

3.2 Obtenção do papel reciclado

Em um processo de desagregação do papel por hidrapulper se obtém 75% de papel e 25% de um composto de PEBD e alumínio (PolyAl), sendo 5% alumínio e 20% PEBD, apresentando uma perda média de 2% (NEVES, 1999). No hidrapulper construído nesse trabalho, após vários ciclos de desagregação obteve-se a separação (% m/m) de 73,5% de papel (Figura 6), e uma eficiência no processo de 96,4%. O Fluxograma 1 indica que houve uma perda média de 1,5% de papel e 2,1% de PEBD e alumínio, isso ocorreu devido a hélice adaptada enroscar ao PolyAl. Além disso, por ser um processo manual, ocorre a perda de materiais no momento da separação dos componentes ou até mesmo na fabricação da folha de papel reciclado.



Figura 6 – Papel seco após desagregação no processo de hidrapulper.



Fluxograma 1 –Papel obtido no processo de desagregação.

3.3 Separação do Plástico e Alumínio

3.3.1 Forno Mufla

Foram realizados testes em 5 temperaturas diferentes durante 30 minutos para observar o comportamento de cada amostra e sua respectiva perda de PEBD (Tabela 1).

Temperatura (°C)	Amostra após 30 min	Média de Material perdido PEBD(%)
150		1,2%
200		16,5%
250		25,7%
300		68,8%
400		73,0%

Tabela 1 – Resultados obtidos, referente aos testes no forno Mufla.

Observa-se na Tabela 1 que o percentual de material perdido de PEBD aumentou à medida que houve o aumento da temperatura. As amostras expostas a 150 °C tiveram perda média de apenas 1,2% de polietileno, entretanto, foi possível notar que o polietileno começou a derreter e constatou-se uma diferença entre a amostra inicial, notando-se um aspecto mais brilhante. Embora o polietileno de baixa densidade apresente uma t_m (temperatura de fusão cristalina) de 100 à 125°C, ela pode variar através do seu grau de cristalinidade devido às suas moléculas apresentarem elevadas ramificações tanto em cadeia curta quanto em cadeia longa (CALIANI, 2005), ou seja, quanto maior sua cristalinidade maior seu ponto de fusão.

As amostras expostas a 200 °C e 250 °C apresentaram uma perda de PEBD de 16,5% e 25,7%, respectivamente, foi perceptível a mudança da coloração de

incolor para amarela e um aspecto mais pegajoso, isso ocorre quando o PEBD é submetido a altas temperaturas e pelo fato de ter a presença de oxigênio, o que acaba levando à combustão parcial (GONÇALVES, 2007).

A Figura 7 apresenta os espectros referentes às análises de infravermelho (IR) do polímero PEBD antes (linha vermelha) e após o tratamento térmico (linhas verde e preta) na Mufla. O PEBD, por ter uma longa cadeia e ramificações carbônicas (CH_2), apresenta um espectro relativamente simples e com regiões bem definidas entre 2914 cm^{-1} a 720 cm^{-1} . Os picos em $2914,44\text{ cm}^{-1}$ e $2848,86\text{ cm}^{-1}$ correspondem ao estiramento assimétrico e simétrico, respectivamente, da ligação C-H. A Tabela 2 apresenta a atribuição dos modos vibracionais de todos os picos. Observa-se para as amostras submetidas aos tratamentos térmicos de 300 °C (linha verde) e 400 °C (linha preta) a remoção total dos picos característicos, indicando a perda e/ou degradação do polímero (TAKASHI, 2016).

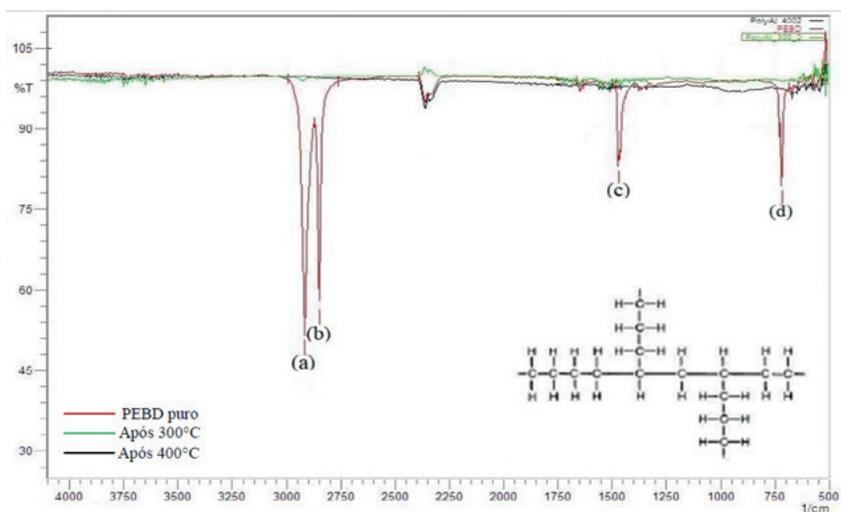


Figura 7 – Análise de infravermelho das amostras retiradas da Mufla e do PEBD puro.

Frequência (cm^{-1})	Modo Vibracional
(a) 2914,44	Estiramento assimétrico, C-H
(b) 2848,86	Estiramento simétrico, C-H
(c) 1471,69	Deformação angular simétrica (scissoring), CH_2
(d) 717,52	Deformação angular fora do plano de flexão, C-H

Tabela 2 – Número de onda e o modo vibracional. (Fonte: TAKASHI).

3.3.2 Forno Indução Magnética

As amostras foram tratadas termicamente utilizando um forno de indução magnética nas mesmas condições de temperatura realizadas na Mufla, porém, com tempo de 2 minutos. No forno de indução não havia um controlador de temperatura e o sistema chegava a 400 °C rapidamente. Assim, houve a necessidade do controle manual, ou seja, o sistema era desligado quando atingia a temperatura desejada. Os testes foram realizados a fim de comparar os métodos de tratamento térmico e verificar qual deles apresentaria a melhor resposta com relação à separação dos materiais. A Tabela 3 mostra os resultados obtidos por meio do forno de indução.

Temperatura (°C)	Amostra após 2 min	Média de Material perdido PEBD(%)
150		4,9%
200		11,9%
250		21,9%
300		46,4%
400		65,5%

Tabela 3 – Resultados obtidos referente aos testes no forno de indução magnética.

Em relação aos dados apresentados pela Mufla, observou-se que os resultados foram próximos, entretanto, nas temperaturas de 200 °C e 250 °C, o alumínio apresentou apenas uma leve coloração amarelada.

A Figura 8 apresenta os espectros referentes às análises de infravermelho (IR) do polímero PEBD antes (linha verde) e após o tratamento térmico (linha vermelha 300 °C e preta 400 °C). Observa-se para a amostra submetida a 300 °C a presença dos picos característicos do PEBD, porém, com menor intensidade, esse fato sugere que o polímero da amostra não foi totalmente retirado e/ou degradado. No entanto, para a amostra submetida a 400 °C, os picos desapareceram, indicando a remoção do polímero. Embora o forno de indução apresentou menor percentual de material perdido, pôde-se observar que os resultados foram promissores, indicando a possibilidade de utilizar esse método para separar os materiais em um menor tempo.

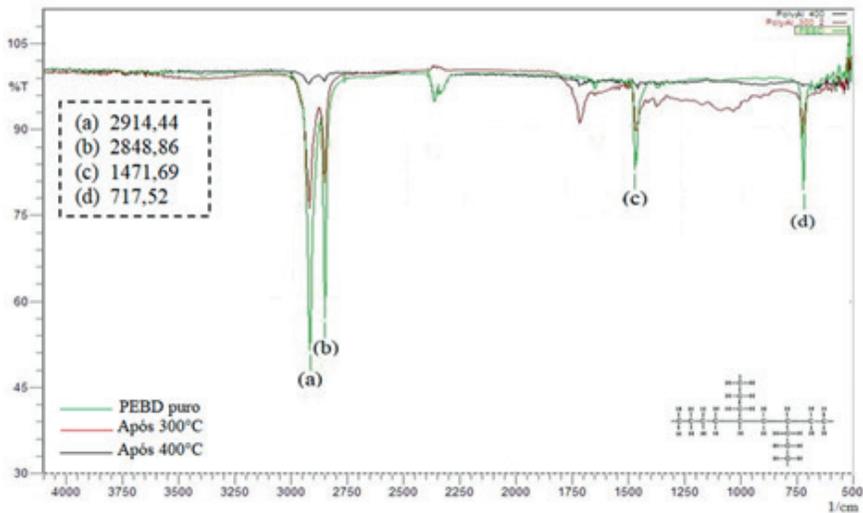


Figura 8 – Análise infravermelho das amostras retiradas do forno de indução magnética e do PEBD puro.

Para analisar a viabilidade econômica dos dois métodos, foi calculado o valor em reais da energia consumida por cada equipamento, primeiramente utilizou a Equação 1, para determinar a potência dissipada.

$$P = U \cdot i \quad (1)$$

Sendo P = potência dissipada ($W=J \text{ s}^{-1}$); U = diferença de potencial (ddp - volts) e i = intensidade da corrente elétrica (A).

Os valores utilizados de U e I para o cálculo de potência do forno Mufla foram 220 V e 5,8 A, respectivamente, enquanto que para o forno de indução magnética os valores foram 127 V e 1,35 A.

A energia elétrica utilizada para ambos os fornos foi calculada multiplicando-se as potências obtidas pelo tempo gasto no manuseio de cada forno, convertendo os resultados para $kWh \cdot kg^{-1}$. Para determinar o custo, em reais, da energia elétrica utilizada por kg de PolyAl em cada forno, multiplicou-se os valores obtidos por R\$ 0,578, sendo este o valor de cada kWh disponível na fatura referente ao mês de setembro de 2018 da empresa Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL), fornecedora da energia elétrica na região dos testes. Os resultados são apresentados na Tabela 4.

Forno	Tempo (s)	Peso médio (kg)	Potência (J.s ⁻¹)	Energia elétrica (kWh. kg ⁻¹)	Custo de energia elétrica (R\$ por kg)
Mufila	480	0,00079	1276,00	214,14	124,00
Indução	120	0,00012	171,45	48,76	28,20

Tabela 4 – Comparativo de energia gasta e sua produtividade.

Verifica-se que o custo de energia elétrica para o forno de indução magnética é 77,2% menor, comparado com o forno Mufila, indicando a sua viabilidade produtiva e econômica.

A Tabela 5 apresenta uma comparação dos equipamentos referente aos diferentes métodos de separação PolyAl. Observa-se que, além do plasma, há outros métodos de separação mais viáveis e rentáveis, sendo o forno de indução magnética a melhor opção seguida pelo forno Mufila.

Equipamentos	Nome comercial	Tipo de sistema	Valor	Temperatura máxima (°C)
	Forno Mufila Vantec	Isolamento térmico de baixa densidade	R\$ 17.800,00	1200
	Vacuum Hot-Pressing Sintering Furnace Vacuum Spark Plasma Sintering Furnace	Transformação de energia elétrica em calor transportado por um gás	US\$ 150.000,00	50000
	Unidades de Potência VIP-1 Plus	Indução eletromagnética	R\$ 60.000,00	1400
	Protótipo deste trabalho	Indução eletromagnética	Aproximadamente R\$ 400,00	400

Tabela 5 – Comparativo entre os métodos de separação do PolyAl.

4 | CONCLUSÕES

Este trabalho possibilitou uma análise dos processos economicamente viáveis para a reciclagem do plástico e alumínio. Além disso, permitiu o desenvolvimento de um protótipo de um forno de indução magnética para analisar as etapas do processo

de separação dos materiais e sua viabilidade.

Por meio dos testes realizados, verificou-se que os resultados apresentados referentes a taxa de evaporação do polímero, na temperatura de 400 ° C, foram 73,0% para o forno Mufla e 65,5% para o forno de indução magnética. Embora o forno de indução magnética apresente menor taxa de evaporação, o tempo necessário para atingir esta taxa foi de apenas 2 minutos, enquanto que no forno Mufla foi de 30 minutos. Além disso, o custo da energia elétrica foi 77,2% menor para o forno de indução comparado ao forno Mufla, indicando a sua viabilidade produtiva e econômica.

De modo geral, ambos os métodos estudados podem ser utilizados para incentivar a reciclagem dos componentes das embalagens cartonadas, contribuindo com a redução dos impactos ambientais causados pelo descarte inadequado das embalagens.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade São Francisco pelo espaço cedida para a realização dos testes, aos professores Elaine Cristina Marques, João Alex Franciscon Vaz, Monica Tais Siqueira D' Amelio Felipe e Filipe Alves Coelho, aos técnicos José Antônio Batista e João Roberto Roson, ao Eng. Guilherme Camargo, além das empresas Toyo Ink, Ideal Indústria Mecânica Ltda e ao Sr. Wagner Jansiski Sanerip da Sanertech.

REFERÊNCIAS

ABRALATAS. **A reciclagem no Brasil em números**. 2017. Disponível em: <<http://www.abralatas.org.br/a-reciclagem-do-brasil-em-numeros/>>. Acesso em 27 março de 2018.

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. 2017. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2017.pdf>> Acesso em 7 dezembro de 2018.

ASENSIO, R.C., Moya, M.S.A., de la Roja, J.M., Gómez, M., 2009. **Analytical characterization of polymers used in conservation and restoration by ATR-FTIR spectroscopy**. Anal. Bioanal. Chem. 395 (7), 2081–2096.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Regulamenta a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, 2017.

CEMPRE - **Embalagens Longa Vida**. 2015. Disponível em <<http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/9/embalagens-longa-vida>>. Acesso em 02 de maio de 2018.

COMPONENTS 101. **IRFZ44N N-Channel Power MOSFET**, 2019. Disponível em <<https://components101.com/mosfets/irfz44n-datasheet-pinout-features>>. Acesso em 04 de abril de 2020.

GONÇALVES C. K., **Pirólise e combustão de resíduos plásticos**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Engenharia de materiais, USP.

HAHN, A. F.; CAVALHEIRO, A. Z.; SANTANA, F. E. **Projeto Conceitual de um Desagregador para Reciclagem de Papel**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - IF-SC. 2010.

LANDIM A. P. M.; BERNARDO C. O.; MARTINS M. R. F.; SANTOS M. B.; MELO N. R.; **Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil**. Polímeros. vol.26. UFRRJ, 2016.

NARDI M. **Forno de indução magnética**. 2014. Disponível em: <<https://www.marlonnardi.com/p/como-fazer-um-aquecedor-indutivo-facil.html>>. Acesso em 01 de agosto de 2018.

NEVES, F. L.; MERENDINO, E. M.; PIVA, M.; HONORATO, R.; **Aseptic Carton Packages: Recycling Review** - Tetra Pak Brasil, 2015.

OLIVEIRA, M.C.; NETO, J. B.; LOPES, Ada A. S. L.; FONSECA, A. M.; COSTA, E. A. S.; XAVIER, A. R.; **Resíduos Sólidos Urbanos e impactos ambientais: legislação e educação ambiental**. Âmbito Jurídico, Rio Grande, XX, n. 159, abr 2017. Disponível em: <http://www.ambitojuridico.com.br/site/index.php?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=18751&revista_caderno=5>. Acesso em 07 dezembro de 2018.

PORTAL RESÍDUOS SÓLIDOS. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <<http://portalresiduossolidos.com/lei-12-3052010-politica-nacional-de-residuos-solidos/>>. Acesso em 19 de março de 2018.

SALLES, A. C. N.; **Emissões De Gases Do Efeito Estufa Dos Dormentes De Ferrovia De Madeira Natural E De Madeira Plástica No Brasil E Na Alemanha Com Base Nos Seus Ciclos De Vida**. 2009. 201 p. Tese (Doutorado Em Planejamento Energético).

SEGATO, L. M.; SILVA, C. L. - **Caracterização Do Chorume Do Aterro Sanitário De Bauru**. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. UNESP, 2018.

TAKASHI, Y. -**赤外分光30講. やさしい化学30講シリーズ (Espectroscopia de infravermelho 30 palestras)**. Química fácil 30 séries de palestras. Asakura Shoten. 2016.

TETRA PAK. **Relatório Socioambiental 2004-2005**. São Paulo, 2006.

Data de aceite: 26/08/2020

Data de submissão: 13/07/2020

Ana Caroline Ross Mateo

Universidade São Francisco
Campinas-SP

<http://lattes.cnpq.br/2842218471217793>

Angélica Sampaio dos Santos

Universidade São Francisco
Campinas-SP

<http://lattes.cnpq.br/7439198983616350>

Renata Lima Moretto

Universidade São Francisco
Campinas-SP

<http://lattes.cnpq.br/9818772550330671>

<https://orcid.org/0000-0001-7431-1651>

RESUMO: O planejamento urbano é imprescindível para o desenvolvimento e crescimento adequado dos municípios e principalmente para evitar inconvenientes sociais e estruturais. Um dos principais problemas que ocorrem nas cidades brasileiras está relacionado ao panorama da drenagem urbana, que é evidenciada em períodos chuvosos, onde a sua má gestão ocasiona grandes complicações como os alagamentos e conseqüentemente, prejuízos a toda população. Dessa maneira, o presente artigo tem por objetivo o estudo de caso do estado de São Paulo, buscando conhecer e compreender o funcionamento da drenagem urbana juntamente com as dificuldades que os municípios enfrentam por meio de consulta ao

corpo técnico de instituições públicas, registro fotográfico, análise dos dados coletados e análise geoespacial. Por fim, destaca-se que o mau gerenciamento do sistema de drenagem está ligado a diversos fatores como impermeabilização de áreas, inadequado uso e ocupação do solo, descarte incorreto de resíduos, desmatamento, entre outros, que contribuem para o surgimento de alagamentos desequilibrando o ciclo hidrológico. Deste modo, a elaboração de plano de macrodrenagem que contempla projeto de revegetação de áreas verdes e a implantação de programas de conscientização ambiental são fundamentais para o bom funcionamento da drenagem em diversas cidades do estado de São Paulo.

PALAVRAS-CHAVE: Drenagem urbana, São Paulo, alagamentos.

CHALLENGES OF URBAN DRAINAGE IN THE STATE OF SÃO PAULO

ABSTRACT: Urban planning is essential for the development and adequate growth of the municipalities and mainly to avoid social and structural inconveniences. One of the main problems that occur in Brazilian cities is related to the panorama of urban drainage, which is evidenced in rainy periods, where its poor management causes major complications such as flooding and, consequently, damage to the entire population. Thus, this article aims to study the case of the state of São Paulo, seeking to know and understand the functioning of urban drainage together with the difficulties that municipalities face through consultation with the

technical staff of public institutions, photographic record, analysis of collected data and geospatial analysis. Finally, it is emphasized that the poor management of the drainage system is linked to several factors such as waterproofing areas, inadequate use and occupation of the soil, incorrect waste disposal, deforestation, among others, which contribute to the emergence of flooding, unbalancing the hydrological cycle. In this way, the elaboration of a macro-drainage plan that contemplates a project for revegetation of green areas and the implementation of environmental awareness programs are fundamental for the proper functioning of drainage in several cities in the state of São Paulo.

KEYWORDS: Urban drainage, São Paulo, flooding.

1 | INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta em sua história, várias marcas que explicam as dificuldades urbanas que se vive atualmente. O país foi colonizado pelos portugueses, que detinham de um espírito aventureiro durante o descobrimento das terras. Essa característica era apresentada pelo uso predatório das terras, pela falta do desejo de permanecer na colônia com maior exploração do litoral para facilidade de acesso às navegações, ausência de organização na construção das cidades, entre outros aspectos. Anos depois, o Brasil sofre com o crescimento desordenado da urbanização acarretado pela frenética Revolução Industrial, e acompanhado do mau gerenciamento de edificações, obras e infraestruturas urbanas, o que gerou diversos problemas como o inadequado uso e ocupação do solo e sua impermeabilização.

O processo de urbanização no Brasil resultou no desenvolvimento de grandes centros urbanos e, conseqüentemente, no aumento da impermeabilização de superfícies reduzindo a infiltração de água pluvial no solo, provocando a erosão e compactação deste, assim como as inundações nas ruas e córregos. Segundo os dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD, 2015), cerca de 85% da população brasileira vive em zona urbana, sendo sudeste a região com maior número de habitantes em zona urbana (93%) e o estado de São Paulo com 95,9 % (IBGE, 2010) de urbanização. Segundo dados do IBGE (2013), a região sudeste apresenta o maior número de municípios atingidos por alagamentos, exatamente por ter o maior valor em porcentagem de população que vive em área urbana, resultando em uma região com maior área impermeável em comparação às outras regiões. Outro efeito negativo é que, de acordo com Rezende (2010), o processo de urbanização altera o ciclo hidrológico, modificando o balanço hídrico da bacia hidrográfica e provocando inundações (Figura 1).

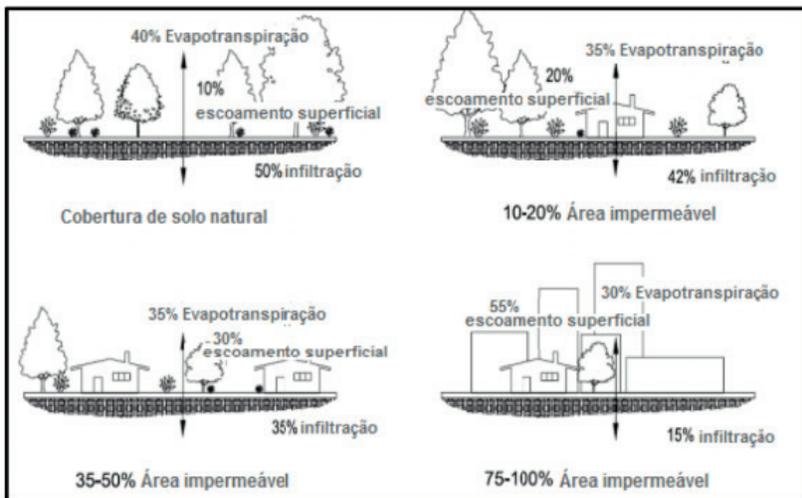


Figura 1 - Variação relativa dos elementos do ciclo hidrológico em função da impermeabilização.

Fonte: Adaptado de: Programs and Planning Division (1999) apud SOUSA (2014, p.1)).

Segundo Buchberger e Grayman (2008), os principais desafios ligados à drenagem urbana são as mudanças climáticas, a obsolescência da infraestrutura, o crescimento populacional, a saúde pública e a sustentabilidade. Existem diversos impactos negativos sobre a saúde, qualidade de vida e bem-estar da população quando os sistemas de infraestrutura se tornam frágeis e não possuem capacidade de se adaptarem ao aumento súbito de demandas (UPADHYAYA et al., 2014).

Os sistemas de drenagem urbana são fundamentais para a mitigação dos danos causados pelas inundações e baseiam-se no controle de escoamento superficial de forma direta. Segundo as Diretrizes Básicas para Projetos de Drenagem Urbana no Município de São Paulo (Prefeitura de São Paulo, 1999), estes sistemas têm como objetivos a diminuição da probabilidade da população e de suas propriedades serem atingidas pelas águas das inundações e redução dos danos causados; preservação das várzeas naturais em condições de minimizar as interferências com o escoamento das vazões de cheias, com a sua capacidade de armazenamento, com os ecossistemas aquáticos e terrestres de especial importância e com a interface entre as águas superficiais e subterrâneas; garantir que as medidas corretivas sejam compatíveis com as necessidades regionais; reduzir os problemas relacionados à erosão e sedimentação; melhorar a qualidade ambiental e manter o bem-estar social; e permitir a utilização das várzeas para atividades de lazer.

A adequada gestão da drenagem urbana está relacionada a três conceitos:

planejamento, procedimento e preparo. O planejamento é o mais fácil de ser compreendido nas habilidades técnicas, contudo, é o mais complexo de realizar, pois se deve pensar em longo prazo e cumprir algumas tarefas, segundo Martins (2012), como: elaboração dos planos diretores, projeto e implantação de sistemas de redução de risco bem como o uso maciço de todo o elenco de medidas estruturais e não estruturais. O conceito de procedimento é baseado na realização do monitoramento, manutenção e operação dos sistemas estruturais estabelecidos, previsão de eventos e extremos, e na admissão de medidas de sustentação, como campanhas de conscientização, capacitação e fortalecimento da máquina institucional encarregada do setor. E por último, o preparo, que constitui a disciplina para as respostas às situações críticas e emergenciais relativa ao sistema de drenagem urbana com preparo adequado a vários setores para antecipar os impactos, com gestão prévia dos mesmos e dos recursos que serão necessários para suprimir os danos fatais (MARTINS, 2012).

Para um bom planejamento e controle de inundações, é imprescindível também avaliar as medidas estruturais e não estruturais. As medidas estruturais são obras de engenharia, ou seja, ações construtivas projetadas para o controle das cheias como as barragens, piscinões, diques, reservatórios, interferências nas calhas dos rios ou parques inundáveis (ANDRADE FILHO et al., 2000; REZENDE, 2010). E as medidas não estruturais são ações que buscam mitigar as consequências das inundações através de campanhas e programas governamentais, normas, prevenção e previsão de cheias, alertas da ocorrência, mapa de áreas com risco de inundação (ANDRADE FILHO et al., 2000).

O estado de São Paulo, em suas diversas cidades, sofre com a problemática da drenagem urbana, o que leva a engenharia buscar por alternativas ou tecnologias viáveis a fim de propor soluções efetivas de longo prazo, sendo necessário investir e projetar um sistema de drenagem urbana eficaz. Diante disso, o desenvolvimento desse estudo envolve a análise dos fatores que intensificam as inundações e das formas de controlar e atenuar os impactos tendo em vista a adaptação e conciliação com o ambiente urbano consolidado.

2 | METODOLOGIA

O presente estudo baseia-se no conjunto de análises dos aspectos ambientais, históricos e geográficos para a caracterização do local a ser estudado bem como para a possível identificação de áreas vulneráveis à alagamentos. A Figura 2 apresenta as etapas para a elaboração deste estudo.

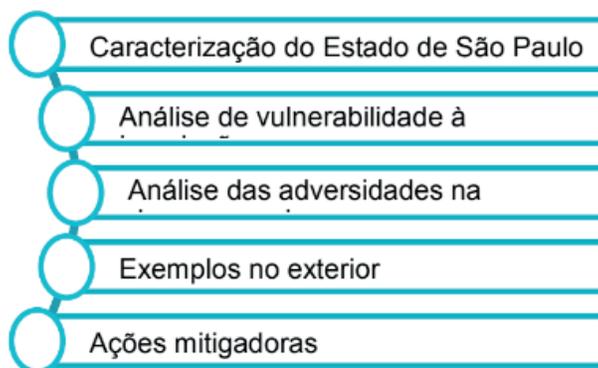


Figura 2 – Etapas para elaboração do presente estudo

Fonte: Próprio autor.

2.1 Análise demográfica

Os dados demográficos são relevantes para o estudo uma vez que a população é o alvo mais atingido pelas inundações. Essa análise auxilia na no entendimento sobre os desafios no sistema de drenagem urbana, como o crescimento populacional que, na maioria das vezes, está associado à expansão urbana do local. Nesse sentido, observou-se a progressão populacional em relação ao processo de urbanização no Estado de São Paulo.

2.2 Análise histórica

Os dados históricos do local de estudo podem apontar algumas justificativas e respostas como consequências para o atual cenário. O início do processo de urbanização, a cultura da população e as atividades econômicas são alguns dos fatores que definem o uso e ocupação do solo de determinado local. Dessa maneira, o presente estudo utilizou dessas informações para compreender os problemas enfrentados atualmente na drenagem urbana do estado de São Paulo.

2.3 Análise geoespacial

Para iniciar o estudo das características geográficas do estado de São Paulo, elaborou-se um levantamento de dados geográficos através do uso de programas e recursos de geoprocessamento como o Sistema Ambiental Paulista DATAGEO, *Google Earth*, AutoCAD e QGIS. Das características estudadas incluem-se: o uso e ocupação do solo, com o objetivo de analisar o desenvolvimento da urbanização; a hidrografia, o clima e o relevo para identificar os locais considerados de maior vulnerabilidade a alagamentos e enchentes.

2.4 Análise comparativa

Realizaram-se analogias entre o Brasil e outros países que também sofrem com a ocorrência de enchentes, mas que buscaram alternativas para atenuar os impactos gerados.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização do Estado de São Paulo

Nos primórdios, São Paulo vivia da implantação da lavoura de cana-de-açúcar. No século XIX, as plantações de café substituíram as de cana-de-açúcar, ocupando o primeiro plano da economia nacional na época. Atualmente há o predomínio dos serviços, indústria e agropecuária no estado.

O estado de São Paulo está localizado na Região Sudeste, com uma riqueza produzida de aproximadamente 2 trilhões de reais, representando 31,93% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro (IBGE e SEADE, 2017), considerado o estado mais populoso com cerca de 41.262.199 habitantes (IBGE,2010) com estimativa de 45.919.049 habitantes para o ano de 2019, com densidade demográfica de 166,23 hab./km² e índice de desenvolvimento humano de 0,783. Sua extensão territorial é ocupada por uma área de 248.219,94km. Na Figura 3, observa-se a distribuição dos habitantes no estado.

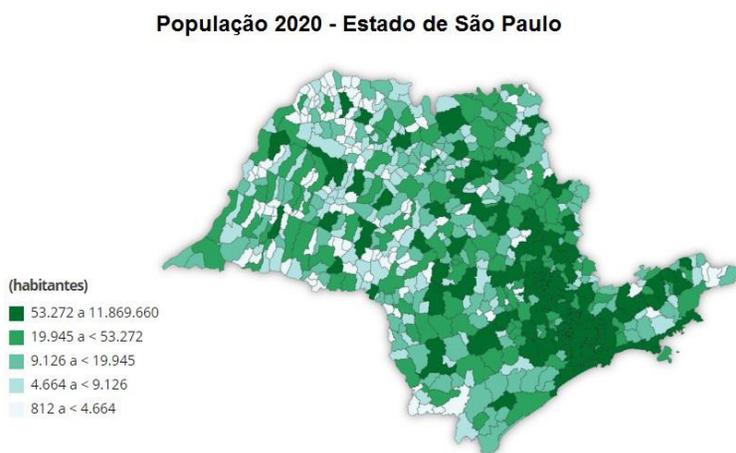


Figura 3 – População do Estado de São Paulo no ano de 2020

Fonte: Adaptado de SEADE, 2020.

A Figura 4 apresenta o crescimento da urbanização no Estado de São Paulo entre os anos 1980 e 2020. O grau de urbanização é o percentual definido pela relação da quantidade de população urbana sobre a população total do estado.



Figura 4 – Crescimento da urbanização no Estado de São Paulo de 1980 a 2020

Fonte: Adaptado de SEADE, 202).

O clima predominante do estado é o clima tropical de altitude, caracterizado por temporada de chuvas durante o verão e seca no inverno, com temperatura média superior a 22°C nos meses mais quentes. A intensidade e frequência das chuvas na capital São Paulo, ocorre entre os meses de outubro e março, correspondendo a 80% do total de chuvas no ano, coincidindo com a época de grandes estragos causados pela chuva, como alagamentos e deslizamentos de terra. No mês de fevereiro do ano de 2020, o volume de chuva registrado chegou a 449 milímetros (mm), maior volume acumulado desde o início das medições (Biblioteca Virtual, 2020).

Conforme o Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (ROSSI, 2017), o estado possui em grande parte solo do tipo Argissolos (retenção de água é maior nos horizontes abaixo da superfície) e Latossolos (alta permeabilidade). Segundo dados apresentados pela Secretaria Infraestrutura e Meio Ambiente, Coordenadoria de Planejamento Ambiental (CPLA) no Sistema Ambiental Paulista, o Estado de São Paulo possui maiores altitudes e declividades na porção leste e sudeste, que apresenta relevo mais irregular e ondulado, sendo reduzidas até a região oeste do estado e com relevo mais plano e com poucas variações de declividade.

A porção leste e sudeste do estado de São Paulo é a região mais urbanizada com grande concentração populacional e apresenta maior índice pluviométrico

bem como aponta maior vulnerabilidade de risco de inundação. A Figura 5 aponta os municípios com maior índice de acidentes naturais e risco de inundações e escorregamentos, muitos desses municípios já possuem planos de contingência conforme dados do Instituto Geológico do Estado de São Paulo (2013).

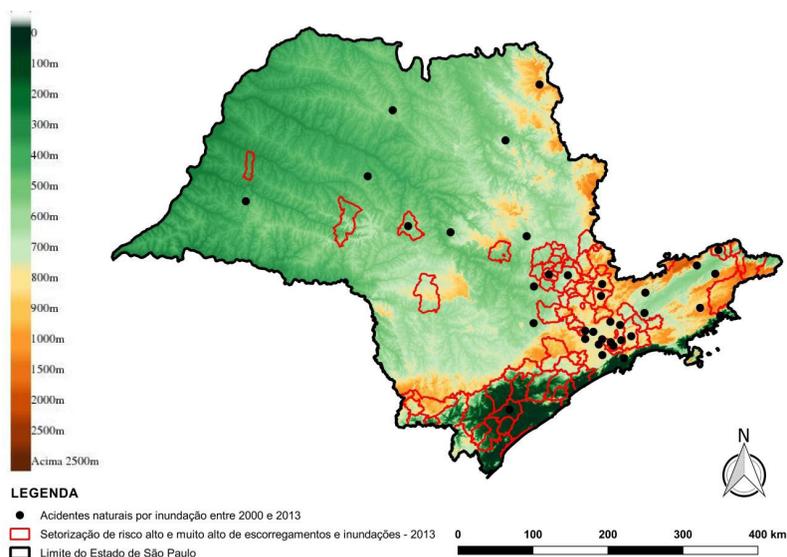


Figura 5 – Mapa de elevação do Estado de São Paulo com regiões vulneráveis à inundações

Fonte: Adaptado de Sistema Ambiental Paulista – DATAGEO, 2020.

O Estado de São Paulo naturalmente apresenta algumas regiões com maior probabilidade de inundação devido ao tipo de relevo e índices pluviométricos, como por exemplo, as regiões litorâneas e as mais próximas destas. Entretanto, o processo de expansão urbana junto do crescimento populacional está diretamente relacionado com a impermeabilização do solo que suprime vegetações alterando o ciclo natural da água e afetando o meio ambiente de forma negativa e agressiva. Além disso, a urbanização promove o aumento de demandas por serviços saneamento que por vezes não é atendido de forma eficiente, muitas regiões ainda são carentes de saneamento básico. Esses fatores contribuem com a degradação ambiental e intensificam a ocorrência de desastres considerados naturais afetando a própria população e seu ambiente urbano.

3.2 Brasil e países que sofrem com a problemática da drenagem urbana

Segundo o Relatório de Desastres Naturais na América Latina e Caribe do

Escritório das Nações Unidas de Coordenação de Assuntos Humanitários (OCHA, 2019), o Brasil é o segundo dentre os 15 países do mundo com mais pessoas expostas ao risco de inundações, cerca de 7,41 milhões de pessoas.

Além de causar problemas estruturais, as enchentes podem ser veículos de doenças. Em 2018, por exemplo, cerca de 826 mil pessoas foram atingidas na Nigéria pelas inundações e a Organização Mundial da Saúde (OMS) entrou em ação para avaliar as condições sanitárias do local, pois doenças contagiosas como cólera e malária, são facilmente transmissíveis pela água.

A fim de obter o controle de cheias sem afetar a urbanização existente, em Kuala Lumpur, Malásia, foi projetado o conhecido *Smart Tunnel (Stormwater Management and Road Tunnel*, do inglês, Gestão de Águas Pluviais e Túnel Rodoviário), trata-se da canalização do Rio Kerayong dentro de um túnel, sendo que a metade inferior deste corre o curso d' água e por cima há uma via de tráfego. Durante o período de cheias, o trânsito é cessado temporariamente e o túnel atua como um canal fechado que recebe plenamente o escoamento da água da chuva, mas para o bom funcionamento é necessário investir alto para possuir um sistema de detecção de chuva eficiente que comunique previamente a engenharia de tráfego do município a fim de que esta possa atuar de forma prudente. Isso mostra a possibilidade de criar adaptações em ambientes já urbanizados para atenuar risco de alagamento, inundação e enchente.

3.3 Desafios e ações

Nas regiões do estado de São Paulo que apresentam maior ocupação urbana percebe-se que as medidas estruturais são mais adotadas do que as não estruturais. Há leis e planos de ações para o controle de cheias, entretanto, o setor público vem implantando cada vez mais medidas estruturais, algumas até fazem parte do plano de macrodrenagem do município. Porém, mesmo assim em situações de cheias, o órgão público necessita atender de modo paliativo enquanto o preventivo vem sendo implantado aos poucos. Na maioria das vezes, as ações mitigadoras são temporárias e resolvem o problema em apenas um ponto específico, sem levar em consideração a jusante, o que pode aumentar a gravidade do problema a curto/médio prazo se a obra não for bem projetada.

Todo o sistema de drenagem urbana deve estar integrado no desenvolvimento urbano simultaneamente com outros setores, como o abastecimento de água e esgotamento sanitário, a gestão de resíduos sólidos, uso do solo, transporte, conservação ambiental sempre incluindo os aspectos institucionais conforme as leis em vigência, como a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que determina diretrizes nacionais para o saneamento básico e dispositivos legais complementares, a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 e suas alterações, que dispõe sobre a proteção da

vegetação nativa (Novo Código Florestal). Desse modo, um sistema de drenagem urbana compatível com a qualidade de um bom planejamento, reduz riscos de inundação e aumenta a disponibilidade hídrica nas cidades, além de restabelecer o ciclo hidrológico natural garantindo água para a preservação de todas as formas de vida.

O 3º Diagnóstico de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas (SNIS, 2018) relata sobre a deficiente gestão da infraestrutura que os municípios apresentam, bem como a capacitação técnica dos agentes municipais que na maioria das vezes é insuficiente além da mudança de gestão que pode promover interrupções de projetos e trocas de corpo técnico.

As ocorrências de enchentes também são influenciadas pela falta de responsabilidade ambiental por parte da população, muitas pessoas ainda fazem o descarte incorreto de seus resíduos gerados, que podem ser facilmente levados até os cursos d'água através de chuvas e ventos, contribuindo com a degradação ambiental bem como com o assoreamento dos corpos hídricos. É imprescindível que a população faça a sua parte para atenuar a poluição ambiental e para isso é necessário que o poder público promova campanhas, programas e leis relativas à educação ambiental a fim de conscientizar as pessoas mostrando os impactos de suas ações sobre o meio ambiente.

Devido à magnitude da problemática associada com a drenagem urbana e à necessidade de buscar melhorias viáveis e práticas, algumas tecnologias vêm surgindo para auxiliar no controle de cheias através da expansão de áreas permeáveis mesmo dentro de um ambiente completamente impermeável, são os chamados *SUDS* (*Sustainable Urban Drainage Systems* - Sistemas Sustentáveis de Drenagem Urbana). Os *SUDS* contribuem com a recarga de aquíferos, aumentam a infiltração no solo, reduzem a velocidade de escoamento, controla processos erosivos, bem como podem armazenar água pluvial para uso posterior e aprimorar os aspectos urbanísticos (POLETO, 2011). As técnicas mais utilizadas são os pavimentos permeáveis e semipermeáveis, reservatórios de detenção e retenção, trincheira de infiltração, vala e valeta de infiltração, poço de infiltração e o telhado verde.

A cobertura florestal exerce papel fundamental na conservação de recursos naturais e principalmente de recursos hídricos dentro de uma bacia hidrográfica, contribuindo com o ciclo hidrológico e assegurando a qualidade, a quantidade e o controle dos cursos d'água (Fundação Agência das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, 2017). A implantação de projetos de revegetação de áreas verdes com espécies nativas, principalmente nas margens dos cursos d'água, promove a redução parcial da velocidade de escoamento contribuindo com o controle de cheias. Tal ação melhoraria a qualidade ambiental do estado de São Paulo uma

vez que este possui aproximadamente 495 municípios que estão classificados como de média à muito alta prioridade para recuperação florestal, conforme Resolução SMA 07, 18 de janeiro de 2017.

4 | CONCLUSÕES

Em diversos locais, a drenagem urbana apresenta falhas provenientes do mau gerenciamento das águas pluviais que dependem de recursos financeiros e equipe qualificada, bem como da inobservância de leis e normas por parte de empresas e da população, onde muitos fazem o descarte incorreto dos resíduos gerados mesmo o poder público dispondo de serviços ambientais e de saneamento.

Com base nas legislações ambientais vigentes, o Poder Executivo, como ação mitigadora, deve reconhecer a importância da elaboração de projetos de revegetação de áreas verdes com a finalidade de reduzir ou eliminar riscos de enchentes e alagamentos que possam atingir a população, assegurando condições do bem-estar público e ambiental. A manutenção da rede de galerias de águas pluviais deve ocorrer periodicamente junto com a atualização do banco de dados relacionados à drenagem urbana do município, possibilitando a fidelidade do estudo e projeto de dimensionamento do sistema de drenagem. O cumprimento dos planos que o município possui torna-se fundamental para a melhoria da infraestrutura urbana.

Muitas cidades ainda sofrem com enchentes sendo imprescindível planejamento e implantação de planos de macrodrenagem em âmbito regional. O planejamento é fundamental para um bom gerenciamento dos recursos hídricos a fim de melhorar o equilíbrio da disponibilidade hídrica entre os municípios e garantir a qualidade ambiental, social e econômica atendendo o tripé da sustentabilidade. Espera-se que este presente estudo possa estimular os órgãos públicos e profissionais do ramo da engenharia a buscarem medidas com uma visão mais holística de todo o sistema de drenagem de seu município, além de ações que promovam o engajamento da população dentro dessa questão.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, A. G. de; SZÉLIGA, M. R.; ENOMOTO, C. F. **Estudo de medidas não-estruturais para controle de inundações urbanas**. Publicatio UEPG: Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias, Ponta Grossa-PR, v. 6, n.1, p. 69-90, 2000.

BUCHBERGER, S.E.; CLARK, R.M.; GRAYMAN, W.M.; LI, Z.; TONG, S.; e YANG, J.. **Impacts of global change on municipal water distribution systems**. Décima Conferência Anual de Análise de Sistemas de Distribuição de Água WDSA, Kruger National Park, África do Sul. p.25-37. 2008.

DATAGEO. **Sistema Ambiental Paulista**. Disponível em: <<http://datageo.ambiente.sp.gov.br/app/?ctx=DATAGEO#>>. Acesso em: 10 mar. 2020.

FUNDAÇÃO AGÊNCIA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ. **Relatório de Gestão das Bacias PCJ 2016**. Fundação Agência das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, Piracicaba-SP, 2017.

IBGE. **Panorama do Estado de São Paulo (Censo 2010)**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE), 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/panorama>>. Acesso em: 25 abr. 2020.

INSTITUTO GEOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Municípios com Plano Preventivo de Defesa Civil ou Planos de Contingência em 2013**. Instituto Geológico do Estado de São Paulo, 2013.

MARTINS, J. R. S. **Gestão da drenagem urbana: só tecnologia será suficiente?** Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 2012.

OCHA. **Natural Disasters In Latin America And The Caribbean**. *United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (OCHA)*. Balboa, Panamá, 2019. Disponível em: <https://www.humanitarianresponse.info/sites/www.humanitarianresponse.info/files/documents/files/20191203-ocha-desastres_naturales.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2020.

POLETO, C.. **SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems): Uma Contextualização Histórica**. Revista THEMA. Vol. 08, nº 01. Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia Sul-rio-grandense. Pelotas, RS, Brasil. 2011.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. **Diretrizes Básicas Para Projetos De Drenagem Urbana No Município De São Paulo**. Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica. São Paulo, SP. 1999.

REZENDE, O.M. **Manejo sustentável de águas pluviais: uso de paisagens multifuncionais em drenagem urbana para controle das inundações**. UFRJ/Escola Politécnica, Rio de Janeiro-RJ, 2010.

ROSSI, Marcio. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado**. Instituto Florestal, São Paulo-SP, 2017, Vol. 1, p. 118.

SEADE. **Perfil dos Municípios Paulistas**. Fundação Sistema Nacional de Análise de Dados (SEADE). Disponível em: <<https://perfil.seade.gov.br/>>. Acesso em: 08 MAR. 2020.

SNIS. **3º Diagnóstico de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas (2018)**. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Brasília, 2019.

SOUSA, P. J. A. de. **Drenagem urbana sustentável e o regime de precipitação em Portugal**. Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT), Lisboa, Portugal, 2014.

UPADHYAYA, J.K.; BIWAS, N.; TAM, E. **A review of infrastructure challenges: assessing stormwater system sustainability**. NRC Research Press, Windsor, Ontario, Canada, p.483-492, 2014.

BIBLIOTECA VIRTUAL. **São Paulo: clima**. São Paulo- SP. Disponível em: <<http://www.bibliotecavirtual.sp.gov.br/temas/sao-paulo/sao-paulo-clima.php>>. Acesso em 09 jan 2020.

CAPÍTULO 13

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE FILTRAÇÃO PARA MELHORIA DA QUALIDADE DA ÁGUA DE RIBEIRINHOS

Data de aceite: 26/08/2020

Data de submissão: 13/07/2020

Gabriela Consoline Pires

Universidade São Francisco
Itatiba – SP

<http://lattes.cnpq.br/0601378184377106>

Liliani Alves da Silva

Universidade São Francisco
Itatiba – SP

<http://lattes.cnpq.br/5112620979069649>

Monica Tais Siqueira D'Amelio Felipe

Universidade São Francisco

<http://lattes.cnpq.br/0347184334616712>

RESUMO: Um dos papéis do Engenheiro Químico é aplicar seus conhecimentos para melhoria e zeladoria do planeta e da humanidade. Este trabalho teve como objetivo central desenvolver um sistema de operações unitárias para melhorar a qualidade da água consumida por grande parte da população brasileira que não tem acesso ao sistema de tratamento. O projeto consistiu em desenvolver um sistema de filtração, acessível para a sociedade, composto por duas etapas: um filtro areia e brita, responsável pela remoção de sólidos suspensos presentes na água e melhorando a turbidez da mesma e; um filtro composto pela macrófita *Eichorniacrassipes*, popularmente conhecida como Aguapé, a qual, teve o papel de realizar a remoção de metais pesados e demais contaminantes encontrados

na água, através do seu sistema radicular. Foram realizadas análises físico-químicas como turbidez, dureza, pH e condutividade, além de análise microbiológica de levedura e bactérias. Os resultados dessas análises mostraram que o sistema foi eficiente, uma vez que, quando comparados aos valores determinado pela Anvisa e o Ministério da saúde, obteve-se melhora no índice de cloreto, pH, turbidez e a diminuição de coliformes fecais, ocorrendo uma melhora significativa na qualidade da água. Mesmo essa água não sendo potável, a aplicação de operações unitárias simples contribuirá para a melhora da qualidade de vida daquelas pessoas sem acesso a saneamento básico.

PALAVRAS-CHAVE: Filtração, Aguapé, água.

DEVELOPMENT OF A FILTRATION SYSTEM TO IMPROVE RIBEIRINHOS WATER QUALITY

ABSTRACT: One of the Chemical Engineer's role is to apply his knowledge for the betterment and care of the planet and humanity. The objective of this work was to develop a system of unit operations to improve the quality of water consumed by a large part of the Brazilian population that does not have access to the treatment system. The project consisted of developing a filtration system, accessible to society. This filter consists of two steps: a sand and gravel filter, responsible for removing suspended solids present in the water and improving its turbidity and; a filter composed of macrophyte *Eichorniacrassipes*, popularly known as Aguapé, which had the role of removing heavy metals and

other contaminants found in water through its root system. Physicochemical analyzes were performed as turbidity, hardness, pH and conductivity, besides microbiological analysis of yeast and bacteria. The results of these analyzes showed that the system was efficient, since, when compared to the values determined by Anvisa and the Ministry of Health, an improvement in chloride index, pH, turbidity and a decrease in fecal coliforms was observed, resulting in an improvement significant in water quality. Even though this water is not potable, the application of simple unit operations will contribute to improving the quality of life of those without access to sanitation.

KEYWORDS: Filtration, Aguapé, water.

1 | INTRODUÇÃO

O papel do engenheiro químico para a sociedade é muito amplo. Um deles é a contribuição para a melhoria da qualidade de vida humana e do planeta. Segundo o Conselho Regional de Química IV região, “A química é a ciência da vida e é com o objetivo de contribuir para o bem comum e para a sustentabilidade do planeta (...)”. Neste âmbito, este projeto foi desenvolvido com o objetivo de ajudar as pessoas de baixa renda e sem acesso à água potável, com o intuito de melhoria de qualidade de vida para eles e de sustentabilidade para planeta.

A água é um dos elementos mais necessários à vida, o qual se faz presente em todos os seres vivos e em sua necessidade para viver. O corpo humano consiste em cerca de 70% de água, sendo utilizada em todas as reações químicas presente no corpo. Ela tem como tarefa o transporte de nutrientes, digestão, absorção, excreção de substância e auxilia na manutenção da temperatura corporal do organismo, além de compor uma porcentagem considerável em alimentos que consumidos pelo homem (JAVIER et al., 2015).

De acordo com dados demonstrados pelo Censo Demográfico realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em torno de 29,9 milhões de pessoas vivem em localidades rurais (IBGE, 2010). Segundo a Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios 67,2% da população, recolhem água de poços e chafarizes, onde, muitas vezes não possuem nenhuma proteção e isso acarreta em doenças devido à água estar em condições inapropriadas para consumo. A forma incorreta de consumo da água pode causar parasitoses intestinais, doenças de veiculação hídricas e diarreias (FUNASA, 2013).

Existem métodos que auxiliam no tratamento da água, como a floculação, coagulação, filtração, decantação, entre outros. A diferença entre eles é a maneira que o tratamento é realizado (WOTTON, 2002).

Como forma de viabilizar o tratamento da água, uma alternativa é o uso de plantas aquáticas, as quais desempenham um papel importante dentro dos ecossistemas. O Aguapé (*Eichhorniacrassipes*) é uma planta aquática que possui

uma alta proliferação em lagos, rios e sobre águas fundas e rasas. Contém uma característica positiva em relação à capacidade de retirar da água nutrientes e substâncias tóxicas, bactérias patogênicas, assim atua como biofiltro para essa despoluição. Porém, o crescimento em excesso da planta sem o manuseio apropriado pode acarretar em problemas ambientais (SILVA et al., 2014).

Outro método complementar para tratamento da água é através da filtração, a qual auxilia na remoção de impurezas e sólidos encontrados no meio. É uma função das mais importantes, pois atua como uma etapa corretiva, procedente de possíveis falhas ocorridas em métodos anteriores (TESTEZLAF, 2008). O mais importante na filtração é o meio filtrante que será utilizado, como areia e pedra.

Os filtros de areia possuem características na retenção de partículas, impurezas que se encontram em torno de 25 micra ou macro, além de retirar a turbidez da água e melhorar o sabor (SNATURAL MEIO AMBIENTE, 2018). O filtro de pedra possui características semelhantes com o de areia e o tamanho das pedras que serão utilizadas será responsável pela separação dos sólidos presentes na água (TESTEZLAF, 2008).

1.1 Efeitos da água contaminada no ser humano

No decorrer dos anos, a população apresenta constante crescimento e, com isso, a demanda do consumo de água aumenta simultaneamente (ZIMMERMAN, 2001).

Os recursos hídricos têm um papel importante em relação à saúde dos indivíduos, de tal forma que sua qualidade possui um impacto direto ao padrão de uso das águas. A contaminação desses recursos ocorre por protozoários patogênicos de origem humana, animal ou entérica, somente no esgoto doméstico contém mais de 3 milhões de coliformes termotolerantes por 100 mililitros, sendo os responsáveis por ser indicadores de contaminação fecal (BERTONCINI, 2008).

As bactérias, helmintos, algas, protozoários e vírus são organismos patogênicos responsáveis pelas doenças através de veiculação hídrica. A ingestão direta da água contaminada é a maneira mais comum de contágio com as doenças como, febre, hepatite A, gastrointestinais, diarreia, poliomielite, entre outras que trazem consequências graves à saúde e em alguns casos, causa a morte de pessoas que por outras razões, estão mais propensas às doenças (RAZZOLINI, 2008).

A qualidade da água está diretamente ligada à saúde das pessoas, pois é ela que compõe a maior parte da célula do ser humano e há fatores que alteram sua qualidade, como destinação inadequada do lixo, esgoto sanitário, resíduos industriais, mineradora e agrotóxica (OLIVEIRA,2014).

1.2 Sistemas simples de melhoria da qualidade da água

A dificuldade de oferecer água em condições ideais para a sociedade e em uma quantidade significativa é um dos problemas mais encontrados atualmente (OLIVEIRA, 2014). A falta de informações suficientes para que haja um tratamento adequado, gera como consequência o mau aproveitamento da água que poderia ser reutilizada (PATERNIANI et al., 2004).

O tratamento de água inclui séries de operações onde o intuito principal é a desinfecção e a clarificação. Em um contexto geral, essas operações são divididas em floculação, filtração, decantação, correção do pH, além da utilização do cloro que contribui para a remoção de odores e sabor da água (DUARTE, 2011).

A filtração é um dos processos desenvolvidos há anos, que integra um sistema com um filtro, onde, o mesmo é capaz de amenizar a coloração, turbidez e micro-organismos presentes na água, além de possibilitar a melhoria das características bacteriológicas, químicas e físicas. Esse tratamento possui vantagens em relação a outras tecnologias, pois, não há necessidade de equipamentos sofisticados para o controle do processo, além, da sua construção ser simples (PATERNIANI et al., 2004).

De maneira geral, o filtro se baseia em um meio poroso, o qual será realizado a passagem da água, ocorrendo a retenção de impurezas, de modo que ocorra sua desinfecção (TEIXEIRA, 2004). As técnicas de filtração podem ser divididas em três grupos de tratamento, sendo a filtragem rápida em meio granular, filtragem lenta em meio granular e tratamentos com altas tecnologias (COUTINHO et al., 2015). A granulometria da pedra, possui grande importância para a remoção das partículas indesejadas, quanto ao seu leito, quanto maior o seu diâmetro melhor eficiência pois, desta forma, previne entupimentos em todo o filtro, além de dificultar o desenvolvimento das macrófitas (SANTOS, 2014).

A utilização de biofiltros compostos por macrófitas é uma opção estudada por alguns autores para a realização de tratamento de efluentes (GONÇALVES JUNIOR et al., 2009). No caso da aquicultura existe um descarte dos efluentes, com isso, gera um acúmulo crônico de resíduos o que acarreta em consequências negativas para o meio ambiente. Klomjek e Nitisoravut (2005) apontam que o biofiltro é um sistema de baixo custo e com grande eficiência no tratamento da água, e a biomassa produzida em seu uso, pode ser reaproveitada para a produção de biogás, utilizado como fertilizantes e na alimentação animal. (GONÇALVES JUNIOR et al., 2008). Estes biofiltros podem ser construídos de maneira simples e barata e utilizados em residências.

1.3 Tratamento através do Aguapé

A *Eichhorniacrassipes*, conhecida popularmente como o Aguapé, é uma espécie de origem amazônica, na qual possui uma grande proliferação em lagos, além de possuir a capacidade de remover metais pesados e demais contaminantes encontrados na água. Devido a essas características, o Aguapé vem sendo aplicado para tratamentos de efluentes agropecuários e industriais, além de representar as macrófitas aquáticas com maior desempenho na melhoria da qualidade de efluentes (HENRY-SILVA e CAMARGO, 2006). A utilização do Crassipes é uma alternativa sustentável, uma vez que, sua estrutura é encontrada com facilidade, além de possuir outras qualidades, como o seu manuseio (LIMA et al., 2008).

Com seu crescimento espontâneo em lagos e rios, consegue se proliferar em águas rasas ou fundas, não distinguindo se está sob fundos de grande abundância de matérias orgânica ou até mesmo em fundos lamacentos, além de sua capacidade de extrair nutrientes dissolvidos em água (LOSCHIAVO, 2017).

Devido a essa espécie conseguir aderir em seus tecidos grandes quantidades de nutrientes, essa característica a torna importante como agente despoluidor de águas contaminadas, como resíduos industriais, tendo capacidade de absorver chumbo, ou mesmo outros metais pesados, sendo retidos em suas raízes (LOSCHIAVO, 2017).

Após a utilização da macrófita para a remoção de poluentes, a mesma pode ser utilizada em compostagem na produção de adubos, ração animal, além de servir na indústria de celulose, plásticos e papel entre outras (MEES, 2006).

Com o objetivo de melhorar o padrão de água consumido para alimentação e plantio de muitas famílias, desenvolveu-se um sistema simples de filtração de areia e biológica para que possa ser implementado em residências com baixo custo e minimizar problemas de saúde da população.

2 I METODOLOGIA

2.1 Construção do sistema de filtração

A construção do sistema de filtração foi dividida em duas partes: filtro físico (de areia e pedras) e filtro biológico (de Aguapé).

O filtro de areia e pedra foi construído em um galão de 10 litros, onde, foi retirada a parte superior com o objetivo de facilitar a inserção das camadas de areia e britas. A fim de impedir que partículas de areia passassem para o filtro posterior, na saída do galão foi colocado um bocal de Nylon e internamente instalada uma peneira, possuindo 12 mm de espaçamento e revestido com uma meia calça fina.

A montagem das pedras e areias foi baseada na diferença de diâmetro. A

primeira camada foi preenchida por areia lavada, possuindo diâmetro entre 0,05 a 0,42 mm. Em cima, foi colocada uma camada de brita 0 (diâmetro de 4,8 mm à 9,5 mm) e brita 1 (diâmetro de 9,5 à 19 mm), para reter as menores partículas de sujeiras encontradas na água. Por último, colocou-se a camada de brita 2 (diâmetro de 19 mm à 25 mm), com a finalidade de reter sujeiras maiores.

A macrófita *Eichhorniacrassipes*, conhecida como Aguapé, foi coletada no município de Joanópolis, interior de São Paulo, e é encontrada em abundância. A planta ficou alocada em um galão de 20 Litros, onde, o mesmo teve a parte superior cortada, para melhor encaixe da planta e na sua lateral foi colocado uma torneira, para a retirada da água final.

2.2 Análise da água

A água analisada foi captada no rio Atibaia no município de Itatiba - SP, perto da estação de tratamento SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, onde é realizado o tratamento dessa água. Para a realização das análises, foram coletadas três amostras de água, sendo elas, uma amostra da água original, outra da água que passou somente pelo filtro de areia e pedra e por último uma amostra da água que passou pelo sistema de filtração completo, avaliando o comportamento da água em todas as situações. As análises realizadas foram pH, condutividade, dureza, índice de cloreto, análise microbiológica.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Construção do sistema de filtração

O sistema de filtração construído (Figura 1) foi projetado de tal forma que a diferença de altura entre eles permitisse a mesma vazão de filtração, a qual foi obtida por diferença gravimétrica no valor de 87 mL/min.



Figura 1– Sistema de Filtração desenvolvido para melhoria da qualidade da água

Fonte: Autores.

A vazão do sistema é baixa devido à presença de um bocal de nylon colocado no filtro da areia e brita composto internamente por uma peneira de 12 mm, revestido por uma meia calça, com intenção de impedir a passagem dos grãos de areia e demais materiais suspensos na água. A baixa vazão contribui para a eficiência do processo de filtração.

3.2 Análises Físico químicas

Os resultados obtidos através das análises da água foram comparados com dados disponíveis pela Anvisa - Agência Nacional de Vigilância Sanitária e do Ministério da Saúde que apresenta dados sobre parâmetros físicos e químicos de qualidade da água para o consumo humano. A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos nas análises realizadas para cada fase da melhoria da água e a comparação com os valores da ANVISA.

O pH obtido da água do rio estava inferior ao valor determinado pelo Ministério da Saúde para o consumo humano. Mas, ao realizar a passagem da água nos filtros de areia e brita o pH se manteve entre os valores propostos de 6,0 a 9,5 e posterior ao filtro da macrófita, o pH final da análise foi de 7,66, o que caracteriza água neutra.

Parâmetro	Água do Rio	Filtro - Areia e Brita	Filtro - Aguapé	Resultado determinado pela Anvisa
pH	5,11	7,97	7,66	6,0 - 9,5
Condutividade ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	81,32	184,4	133,6	1,0 - 5,0
Índice de cloreto (ppm)	5,22	6,38	0,39	250
Dureza (ppm)	71	67,64	42,74	500

Tabela 1 - Análise da água.

Fonte: Autores. *Anvisa, 2017.

A condutividade das análises da água após a passagem pelos filtros foi superior ao proposto pela Anvisa, porém, de acordo com LÔNDERO e GARCIA (2010), no Brasil não há um limite aceitável para esse parâmetro, uma vez que, a condutividade não causa dano direto ao ser humano. Após o filtro de areia e brita o valor teve um aumento significativo, isso pode ter ocorrido pelas composições da areia e da brita que possuem íons e, portanto, interferem na condutividade. Porém, ao passar pelo filtro da macrófita, o valor decaiu, pois, a planta atua na absorção de íons.

Todas as análises de índice de cloreto apresentaram um valor muito inferior ao determinado pela Anvisa de 250 ppm, pois a água não teve adição de cloro em todo o seu processo. Entretanto, o mesmo é essencial para inativar as bactérias e os vírus. Em comparação com a eficiência dos filtros, o composto pela areia e brita aumentou o valor do índice de cloreto, porém após a água passar pelo filtro do aguapé houve uma diminuição significativa no valor. A planta faz o processo de filtração, absorção e eliminação do cloreto pela evapotranspiração, onde, através da transpiração a macrófita perde água para a atmosfera e outra parte é utilizada em seu processo de fotossíntese, de tal forma, a planta pode ser utilizada para a diminuição do índice de cloreto na água. Uma solução para o aumento deste íon, seria adicionar 1 colher de sopa de água sanitária no final do processo de filtração de 5 litros de água.

A água do rio foi caracterizada como água com dureza moderada mesmo com a passagem no filtro de areia e brita. Após a passagem no filtro da macrófita, a água ficou caracterizada como água mole, ou seja, o seu valor diminuiu, pois, a planta possui eficiência na remoção de nutrientes como o cálcio e o magnésio.

A mudança da coloração da água foi observada na primeira análise do filtro de areia e brita. A água do rio possuía uma coloração de líquido límpido amarelo, devido à presença de sujeiras e terra no local. Após a primeira filtração a coloração passou para líquido límpido transparente. Porém, ao passar pelo filtro da macrófita,

a água ficou levemente turva, devido à raiz conter alguns resquícios de terra do local que foi retirada. Para amenizar esse fator, a planta foi lavada em água limpa, a fim de remover os fragmentos de terra e a água submetida a nova filtração e obteve-se a coloração final líquido límpido transparente.

As análises microbiológicas foram realizadas no período de cinco dias em temperatura ambiente, a fim de, analisar o crescimento de bactérias e de leveduras, nas quais não foram possíveis o registro de fotos, devido à sua coloração muito clara. Os resultados foram comparados através de um gabarito disponibilizado junto aos tubos e evidenciados nos gráficos da Figura 2, em que é possível observar o comportamento dos microrganismos em cada análise. Nestes gráficos, o eixo do filtro de areia e brita é primário e os eixos do rio e do filtro do aguapé são os secundários, para melhor a comparação em ambos os gráficos.

De acordo com os resultados obtidos, observa-se que em ambas as análises a água após o filtro de areia e brita se mostrou com alta quantidade de bactérias e leveduras, isso ocorreu devido à contaminação que a areia e até mesmo a brita podem conter, muitas vezes relacionados ao local de onde os mesmos foram retirados. Isso implica na necessidade de esterilização das mesmas antes de utilizá-las no filtro.

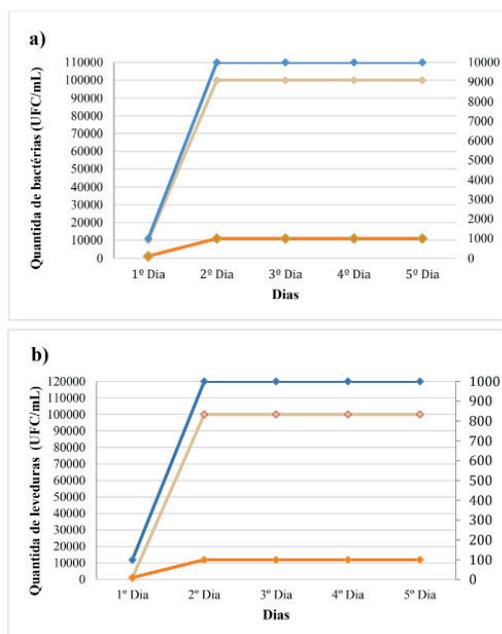


Figura 2 - Análise de (a) bactérias e (b) leveduras. A linha azul representa a água retirada do rio, a linha laranja, após o filtro de areia e brita e a linha verde, após o filtro de aguapé

Fonte: Autores.

A macrófita mostrou grande eficiência nesse quesito, pois, em relação à água do rio e após o filtro de areia e brita, a quantidade de bactérias e leveduras presentes diminuíram em uma escala de 10^5 a 10^3 e de 10^5 a 10^2 , respectivamente em cada análise. A partir desses resultados, comprova-se que o sistema radicular da *EichhorniaCrassipes*, possui grande eficiência na remoção de poluentes e microorganismos encontrados na água.

3.3 Análise de Potabilidade

Para obter um parâmetro com informações de potabilidade sobre a última coleta da água no processo de filtração, solicitou-se ao laboratório WGA BRASIL que realizasse essa análise. Como houve a necessidade de aumento de cloro, conforme Tabela 1, analisou-se a água filtrada original e esta água após adição de 2,0 ppm de cloro. Os resultados obtidos foram comparados com o da água potável (ANVISA, 2017) e foram os mesmos alcançado através do projeto, de tal forma, o sistema de filtração melhorou a qualidade da água, porém, a mesma não é considerada uma água potável, pois, existem coliformes fecais.

4 | CONCLUSÃO

Dentre tantos ramos da engenharia química, escolheu-se desenvolver um sistema de tratamento de água utilizando operações unitárias simples com o intuito de obter a melhoria na qualidade da água de rios e ribeirinhos. E o projeto desenvolvido alcançou os objetivos propostos, pois, conseguiu-se obter resultados satisfatórios após o sistema de filtração constituído por areia e brita e o filtro pela macrófita *EichhorniaCrassipes*.

Os valores obtidos nas análises realizadas pela água do rio evidenciaram que a mesma não se enquadrava nos padrões determinados para o consumo humano. Após as filtrações os valores melhoram e se aproximaram dos valores ideais. A água deixou de ter um pH ácido para atender aos padrões da ANVISA e a dureza também diminuiu. A turbidez da água também foi muito melhor pois foram retiradas terra e outros sólidos diluídos no meio, os quais poderiam causar graves problemas à saúde. A quantidade de microorganismos também diminuiu muito, o que acarreta em menos doenças aos consumidores.

O sistema radicular da planta teve grande influência na filtração, pois, absorveu os materiais particulados orgânicos e minerais presentes na água, passando a ser um agente despoluidor, diminuindo a quantidade de coliformes fecais e todos os outros parâmetros que foram realizados no projeto.

Para aumentar o índice de cloreto na água, sugere-se adicionar 2 ppm de água sanitária. E como trabalho futuro, sugere-se desenvolver um sistema de

eliminação de coliformes fecais para torná-la potável.

REFERÊNCIAS

ANVISA: AGÊNCIA NACIONAL DA VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Anexo XX – Do controle e da vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.** PRT MS/GM 2914/2011 da Portaria de Consolidação N°5, de 28 de setembro de 2017.

BERTONCINI, E. I. Tratamento de Efluentes e Reuso da Água no Meio Agrícola. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária.** São Paulo, v.1, n.1, p.152-169, 2008.

COUTINHO, M. M; ARAÚJO, R. N; SILVEIRA, L. M. Utilização da filtração lenta para tratamento de água com variações da turbidez. **Revista eletrônica de educação da faculdade Araguaia.** Goiânia, v.8, n.8, p. 114 - 123, 2015.

DUARTE, P. B. **Microorganismos indicadores de poluição fecal em recursos hídricos.** Monografia (Especialização em Microbiologia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

FUNASA: Fundação Nacional da Saúde. **Manual prático e análise de água.** 4º edição, Brasília, 2013.

GONÇALVES JUNIOR, A. C; SELZLEIN, C; NACKE, H. **Uso de biomassa seca de aguapé (Eichhorniacrassipes) visando à remoção de metais pesados de soluções contaminadas.** Acta Scientiarum Technology, v. 31, p. 103-108, Maringá, 2009.

HENRY-SILVA, G. G; CAMARGO, A. F. M. Tratamento de efluentes de carcinicultura por macrófitas aquáticas fluentes. **Revista Brasileira de Zootecnia.** Unesp/Caunesp, Rio Claro, v. 37, n. 2, 2008.

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010: População do Brasil é de 190.732.694 pessoas,** 2010.

JAVIER, A. B; ÁLGEL, G; ASCENSIÓN, M; RODRIGO, P. MAJEM, L. S; MOREIRAS. Conclusionsofthe II Internationaland IV Spanish HydrationCongress. Toledo, Spain, 2nd-4th December, 2015. **NutrHospitalaria,** Madrid, Vol 33, p. 1 - 3, 2016.

KLOMJEK, P. NITISORAVUT, S. **Constructedtreatmentwetland: a studyofeightplantpeciesunder saline conditions.** Chemosphere, Vol 58, 2005, pp. 585-593.

LIMA, C.B; OLIVEIRA, E. G; FILHO, J. M. A; SANTOS, F. J. S; PEREIRA, W. E. Qualidade da água em canais de irrigação com cultivo intensivo de tilápia nilótica. **Revista Ciências Animal Brasileira,** Ceará, v.39, n.4, p. 531-539, 2008.

LÔNDERO, E; GARCIA, C. **Sovergs. Site Higienistas,** 2010.

LOSCHIAVO, R. **Quais espécies de plantas conseguem filtrar a água?** Ecosistemas – Escritório de arquitetura especializado em Sustentabilidade, 2017.

MEES, Juliana Bortoli Rodrigues. **Uso de Aguapé (EICHHORNIA CRASSIPES) em sistema de tratamento de efluente de matadouro e frigorífico e avaliação de sua compostagem.** Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Agrícola) - Universidade estadual do Oeste do Paraná, Campus Cascavel, Cascavel, 2006.

OLIVEIRA, V. M. F. **Melhoria das condições da água utilizando filtro de areia modificado com biomassa**. Dissertação (Dissertação em engenharia química) - UFU. Uberlândia, MG, p. 22-25, 2014.

PATERNIANI, J. E. S; CONCEIÇÃO, C. H. Z. Eficiência da pré-filtração e filtração lenta no tratamento de água para pequenas comunidades. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 31, n. 4, p.803-812, 2004.

RAZZOLINI, Maria Tereza Pepe; GUNTHER, Wanda Maria Risso. Impactos na saúde das deficiências de acesso a água. **Saúde e Sociedade**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 21-32, 2008.

SANTOS, Marcus Vinicius Alves dos Santos. **Filtros de pedra de fluxo horizontal como pós-tratamento de lagoa de estabilização: remoção de sólidos suspensos e cianobactérias**. Dissertação (Pós-graduação do departamento de Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014.

SILVA, A. D; SANTOS, R. B; BRUNO, A. M. S. S; GENTELINI, A. S; SILVA, A. H. G; SOARES, E. C. Eficiência do aguapé sobre variáveis limnológicas em canais de abastecimento utilizados no cultivo de tabaqui. **Acta Amazônica**, vol. 44, n. 2, p. 255-262, 2014.

SNATURAL MEIO AMBIENTE. **Água Filtração e desinfecção**.

TEIXEIRA, A. R. **Aplicabilidade da Filtração Direta para o Tratamento de Água Eutrofizada**. Monografia (Especialização em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, 2004.

TESTEZLAF, Roberto. Filtros de areia aplicados à irrigação localizada: teoria e prática. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.28, n.3, p.604-613, 2008.

WOTTON, R.S. Waterpurificationusing sand. **Hydrobiologia**, London, v. 469, p. 193 - 201, 2002.

ZIMMERMAN, Robert H. Wetlandsandinfectiousdiseases. **Caderno Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 17, p. 127 -131, 2001.

SOBRE OS ORGANIZADORES

FILIFE ALVES COELHO - Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal de Alagoas, mestrado e doutorado em engenharia química pela Universidade Estadual de Campinas. Atua principalmente nas áreas de modelagem, simulação e controle de processos; eficiência energética e verificação formal aplicada a processos industriais. Atualmente é professor da Universidade São Francisco e assessor do curso de Engenharia Química da mesma instituição. É membro do Comitê Institucional de Iniciação Científica, Iniciação Tecnológica e de Extensão da Universidade São Francisco desde 2018. Dentre as linhas de pesquisa destacam-se modelagem e implementação de microreatores em processos contínuos, assim como desenvolvimento de experimentos didáticos para engenharia empregando microcontroladores. Já publicou trabalhos nas áreas de inteligência artificial aplicada à engenharia química, desenvolvimento de ferramentas computacionais e modelagem de equipamentos industriais.

IARA LÚCIA TESCAROLLO - Possui graduação em Ciências Farmacêuticas pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas), mestrado e doutorado em Fármacos e Medicamentos pela Universidade de São Paulo (USP/SP), área de Produção e Controle Farmacêuticos. Foi Coordenadora da Assistência Farmacêutica na Prefeitura Municipal de Itatiba onde desenvolveu projetos de Atenção Farmacêutica relacionados ao uso racional de medicamentos. Foi professora da Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas) e Faculdade de Americana (FAM). Na Universidade São Francisco (USF) foi Coordenadora do Curso de Farmácia – Campus Bragança Paulista, atualmente é Coordenadora do Programa Institucional de Iniciação Científica, Tecnológica e de Extensão, é Coordenadora do Núcleo de Pesquisa Acadêmica, professora do Curso de Farmácia, membro do Grupo de Pesquisa em Meio Ambiente e Sustentabilidade (GPMAS-USF) e Grupo de Pesquisa em Educação, Tecnologias e Inovação (GPETI-USF). Faz parte do Comitê de Ética em Pesquisa da USF. Desenvolve projetos voltados à produção e avaliação de formas farmacêuticas e cosméticas com ênfase no emprego de insumos e processos ambientalmente amigáveis. Também orienta projetos tendo como referência o estudo do impacto da implementação de Metodologias Ativas como Aprendizagem Baseada em Projetos e Sala de Aula Invertida nos cursos de graduação. Possui patentes, artigos e capítulos de livros publicados dentro do universo acadêmico-científico.

VICENTE IDALBERTO BECERRA SABLON - Possui graduação em Engenharia Rádio Técnica: especialidade Sistemas de Comunicações pelo Instituto Técnico Militar, graduação em Engenharia Eletrônica pela Universidad Central de las Villas, mestrado e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas UNICAMP. Atua como docente de graduação e pós-graduação na área de Engenharia Elétrica. Professor- pesquisador dos grupos de pesquisa: Comunicações Visuais da UNICAMP, Processamento Digital de Sinais, Eletrônica e Sistemas Digitais da UNIMEP. Atualmente é professor da Universidade São Francisco e assessor do Curso de Engenharia Elétrica da mesma Instituição, professor dos cursos de Engenharia da Universidade Metodista de Piracicaba. É membro do Comitê Institucional de

Iniciação Científica, Iniciação Tecnológica e de Extensão da Universidade São Francisco desde 2013. Membro do IEEE- Institute of Electrical and Electronic Engineers e do Comité Científico do Consorcio Latino-americano de Instituições de Engenharia (LACCEI), participa na comissão de elaboração da política nacional de inovação junto ao Centro de Gestão de Estudos Estratégicos (CGEE). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Telecomunicações, atuando principalmente nos seguintes temas: Processamento e Tratamento de Sinais, TVD, Processamento Digital de Imagem e Vídeo, Vídeo e Televisão.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Acessibilidade 41, 63
Aguapé 180, 181, 184, 185, 187, 188, 190, 191
Águas Pluviais 176, 177, 178, 179
Amido 95, 97, 98, 99, 104, 107, 115
Auditiva 39, 40, 41, 42, 51, 52

B

Bacia hidrográfica 169, 177
Balanço hídrico 169
Biodegradação 95, 97, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 108, 109, 110, 111, 112, 114, 115
Biofiltros 183
Blenda 95, 99, 100, 102, 104, 110, 112
Buriti 137, 138, 139, 140, 141, 144, 146, 147, 148, 149, 150, 151

C

Campo Eletromagnético 66, 67, 68, 79, 80, 81
Coliformes 180, 182, 189, 190
Computadores 27, 32, 33, 34, 35, 86
Computer 1, 2, 14, 26, 33, 37, 85
Condutividade 180, 185, 187
Contaminada 182
Corrente elétrica 61, 66, 67, 80, 81, 152, 164
COVID-19 1, 8, 9, 13

D

Dados demográficos 172
Deep Learning 2, 11, 12
Deficiência 39, 40, 41, 42, 50, 51, 52
Degradação 95, 97, 99, 100, 102, 104, 108, 109, 113, 114, 152, 155, 162, 175, 177
Dermocosméticos 138, 139, 150, 151
Desempenho 26, 29, 30, 32, 33, 34, 64, 68, 83, 88, 89, 91, 92, 93, 124, 126, 127, 184
Dinâmica Molecular 26, 27, 28, 30, 31, 34, 36

Disaggregation of loads 14, 24
Dispositivo 39, 40, 41, 44, 45, 47, 48, 49, 50, 51, 55
Drenagem 168, 170, 171, 172, 175, 176, 177, 178, 179

E

Embalagem 152, 154, 155, 156, 159
Emulsão 137, 142, 143, 144, 147
Estabilidade 137, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 150
Experiências 40, 60, 64

F

Faturamento 53, 54, 55, 56, 57, 60, 61, 64
Filtração 122, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191

H

Health 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 149, 181

I

Internet 2, 3, 5, 6, 11, 15, 25, 56, 58

M

Machine Learning 2, 10
Manufatura 83, 85, 87, 92, 93
Medidores 55, 56, 57, 58, 59, 60, 63, 64
memória 29, 31, 32, 33, 34, 35, 48
Microrreatores 83, 84, 85, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93

N

Neural Networks 2, 14, 15, 24

O

Órteses 41

P

Pandemic 1, 8, 9, 10
Polímeros 97, 98, 115, 167
Processos 25, 30, 33, 34, 35, 55, 84, 85, 86, 97, 102, 116, 118, 121, 128, 132, 165, 177, 183, 192
Protótipo 39, 50, 51, 83, 86, 155, 156, 160, 165

R

Reciclagem 118, 152, 153, 154, 155, 159, 165, 166, 167

S

Saponificação 83, 88, 89, 94

Simulação 26, 27, 28, 30, 31, 32, 34, 35, 81, 134, 192

Smart Grid 14, 15, 24, 25, 65

T

Tecnologia assistiva 39, 40, 51

Telecommunications 1, 2, 4

Telemedicine 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13

U

Urbana 168, 169, 170, 171, 172, 174, 175, 176, 177, 178, 179

V

Viscosidade 137, 143, 147, 148, 149

www.atenaeditora.com.br 
contato@atenaeditora.com.br 
[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 
www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Engenharia Moderna: Soluções para Problemas da Sociedade e da Indústria

www.atenaeditora.com.br 
contato@atenaeditora.com.br 
[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 
www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Engenharia Moderna: Soluções para Problemas da Sociedade e da Indústria