



# 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  
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª 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  
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª 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  
Profª Drª 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  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª 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  
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª 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  
Profª Drª 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  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
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/UFGA  
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 Cremona  
**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](http://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**

Jeane 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**

<b>CAPÍTULO 12.....</b>	<b>168</b>
DESAFIOS DA DRENAGEM URBANA NO ESTADO DE SÃO PAULO	
Ana Caroline Ross Mateo	
Angélica Sampaio dos Santos	
Renata Lima Moretto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.46720280912</b>	
<b>CAPÍTULO 13.....</b>	<b>180</b>
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.46720280913</b>	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES.....</b>	<b>192</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>194</b>

# 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  $\text{cm}^{-1}$  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  $\text{cm}^{-1}$  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, hidrapulper, 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.

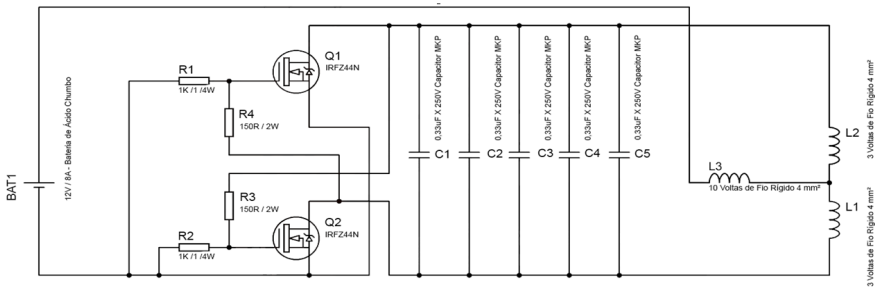


Figura 2 – Circuito de como fazer um aquecedor indutivo.

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 mm<sup>2</sup>, 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.

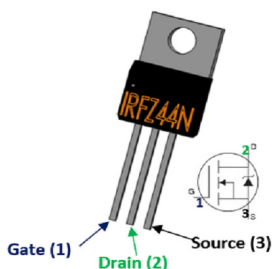


Figura 3 – Representação de um MOSFET IRFZ44N.

Fonte: Components 101, 2019.

Cortou-se um outro pedaço de fio de cobre rígido com secção de 4 mm<sup>2</sup> para utilizar na junção dos terminais *sources* dos MOSFETs, tornando-se o pólo negativo do sistema. Os resistores de 1k $\Omega$  (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 $\Omega$  (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 mm<sup>2</sup> 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 mm<sup>2</sup> 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.

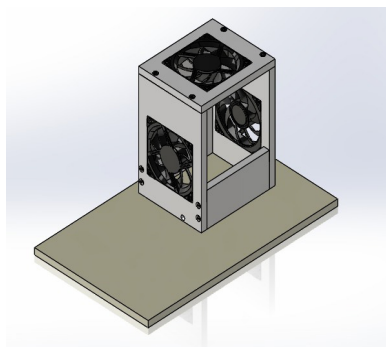


Figura 4 – Caixa montada para dispor o circuito no seu interior.

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)).

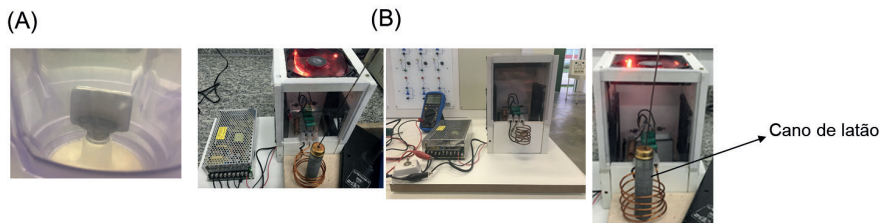


Figura 5 – (A) Protótipo do hidrapulper indicando a hélice reta. (B) Protótipo do forno de indução magnética indicando o cilindro de latão.

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.

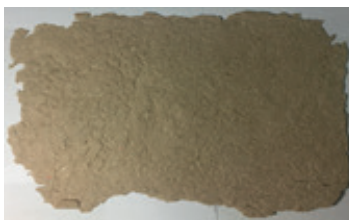
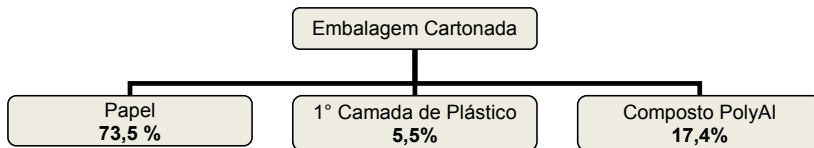


Figura 6 – Papel seco após desagregação no processo de hidrapulper.



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).

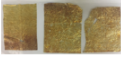

Temperatura (°C)	Amostra após 30 min	Média de Material perdido PEBD(%)
150		1,2%
200		16,5%
250		25,7%
300		68,8%
400		73,0%

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 ( $\text{CH}_2$ ), apresenta um espectro relativamente simples e com regiões bem definidas entre  $2914\text{ cm}^{-1}$  a  $720\text{ cm}^{-1}$ . 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  $300\text{ °C}$  (linha verde) e  $400\text{ °C}$  (linha preta) a remoção total dos picos característicos, indicando a perda e/ou degradação do polímero (TAKASHI, 2016).

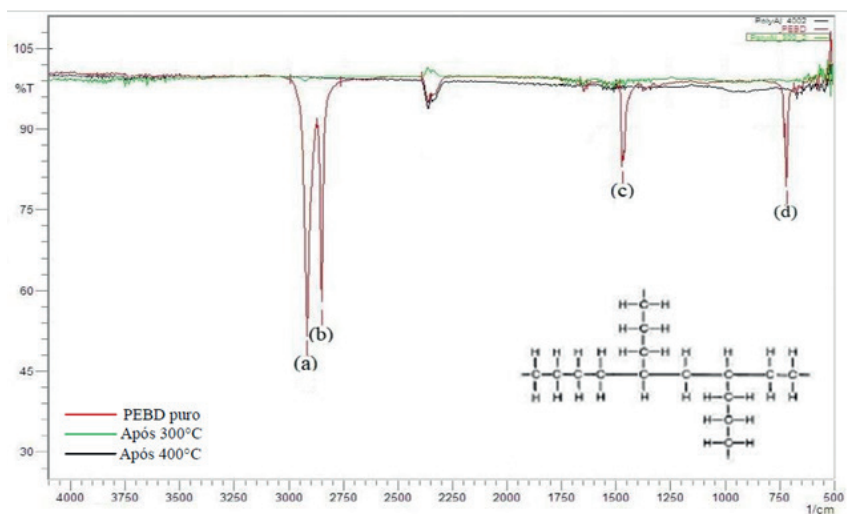


Figura 7 – Análise de infravermelho das amostras retiradas da Mufla e do PEBD puro.

Frequência ( $\text{cm}^{-1}$ )	Modo Vibracional
(a) 2914,44	Estiramento assimétrico, C-H
(b) 2848,86	Estiramento simétrico, C-H
(c) 1471,69	Deformação angular simétrica (scissoring), $\text{CH}_2$
(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.


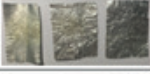



Temperatura (°C)	Amostra após 2 min	Média de Material perdido PEBD(%)
150		4,9%
200		11,9%
250		21,9%
300		46,4%
400		65,5%

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.

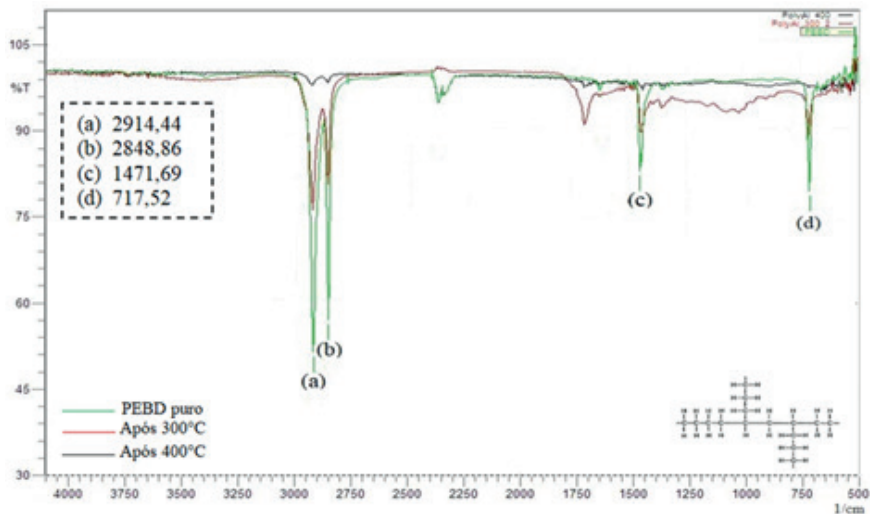


Figura 8 – Análise infravermelho das amostras retiradas do forno de indução magnética e do PEBD puro.

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 <sup>-1</sup> )	Energia elétrica (kWh. kg <sup>-1</sup> )	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](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.

## 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](http://www.atenaeditora.com.br)   
[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)   
[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)   
[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 

# Engenharia Moderna: Soluções para Problemas da Sociedade e da Indústria

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)   
[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)   
[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)   
[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 

# Engenharia Moderna: Soluções para Problemas da Sociedade e da Indústria