

COLEÇÃO  
**DESAFIOS**  
DAS  
**ENGENHARIAS:**

**ENGENHARIA SANITÁRIA**



**CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA**  
(ORGANIZADOR)

**Atena**  
Editora

Ano 2021

# COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

## ENGENHARIA SANITÁRIA



CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA  
(ORGANIZADOR)

**Atena**  
Editora

Ano 2021

**Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



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

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

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

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

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

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  
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – 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. Elói Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale 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  
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco  
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. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Salvador  
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  
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
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. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
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 Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí  
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 Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina  
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 Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra  
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 Federacl 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  
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalves de Lima – Universidade Federal do Piauí  
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  
Profª Drª Edna Alencar da Silva Rivera – Instituto Federal de São Paulo  
Profª Drª Fernanda Tonelli – Instituto Federal de São Paulo,  
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 Miraniide 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. Dr. Adaylson 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  
Profª Ma. Adriana Regina Vettorazzi Schmitt – Instituto Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais  
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
Profª Drª Andrezza 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. Me. Carlos Augusto Zilli – Instituto Federal de Santa Catarina  
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná  
Profª Drª 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. Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior – Universidade Estadual de Maringá  
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  
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein  
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará  
Prof. Me. Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho – Universidade Federal do Cariri  
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 Fenomenología & Subjetividade/UFPR  
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Profª Ma. Lilian de Souza – Faculdade de Tecnologia de Itu  
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Profª Drª Lúvia 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. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz  
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof. Me. Luiz Renato da Silva Rocha – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos

Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo  
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. Dr. Pedro Henrique Abreu Moura – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais  
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Rafael Cunha Ferro – Universidade Anhembi Morumbi  
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília  
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa  
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  
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
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



## Coleção desafios das engenharias: engenharia sanitária

**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Flávia Roberta Barão  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizador:** Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia sanitária /  
Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. –  
Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-225-5

<https://doi.org/10.22533/at.ed.255213006>

1. Engenharia sanitária. I. Paniagua, Cleiseano  
Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.

CDD 628

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

contato@atenaeditora.com.br

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

## APRESENTAÇÃO

O e-book intitulado: “Coleção Desafios das Engenharias: Engenharia Sanitária” é composto por dezesseis capítulos de livros que foram organizados e divididos em duas grandes áreas: (i) geração, reuso, reciclagem, reaproveitamento e disposição final de resíduos líquidos e sólidos e (ii) gestão de recursos hídricos e saneamento básico (rural e urbano).

O primeiro é composto por nove trabalhos que apresentam temáticas em voga na atualidade, entre os quais: i) descarte inadequado de medicamentos na rede coletora de esgoto residencial; ii) aproveitamento de resíduos da construção civil; iii) avaliação de áreas destinadas a disposição final de resíduos sólidos; iv) a importância da gestão de resíduos sólidos; v) reutilização de esgoto com vistas a sua utilização; vi) o uso de biotecnologia e biomassas de origem vegetal para remoção de contaminantes presentes em diferentes compartimentos aquáticos; vii) proposta de implantação de sistemas de tratamento de águas residuais provenientes de uma usina de materiais recicláveis e viii) estudo de viabilidade financeira do emprego de tratamento térmico de resíduos sólidos provenientes de áreas urbanas.

A segunda grande área apresenta sete trabalhos que apresentam temas, entre os quais: i) a importância da melhor gestão de águas da América Latina e do Caribe; ii) estudo de dimensionamento de drenagem de águas pluviais em área urbana; iii) a importância de se pensar o saneamento rural e urbano em áreas públicas e privadas e iv) estudo de caso de formação de ilhas de calor em áreas urbanas situadas em regiões com alta densidade demográfica. Todos os trabalhos presentes neste e-book procuram evidenciar e chamar a atenção para um problema que afeta a sociedade atual e comprometerá a sobrevivência das gerações vindouras: o excesso de resíduo gerado e depositado no ambiente e falta de recursos hídricos para os diversos usos pela humanidade.

Diante disso, a sociedade atual precisa voltar os olhos para a mudança de práticas e hábitos que comprometem e assolam a humanidade nos tempos atuais e que comprometerá a sobrevivência da espécie humana, podendo ocasionar sua extinção. Neste sentido, a Atena Editora vem trabalhando e buscando cada vez mais proporcionar que pesquisadores não só do Brasil, mas de diferentes países possam contribuir com o conhecimento científico que leve a sociedade a se informar e formar uma consciência coletiva em relação à harmonia entre homem e natureza. Para isso, a editora trabalha em prol de buscar a excelência em publicação de livros e capítulos de livros de acordo com os critérios estabelecidos e exigidos pela CAPES para obtenção do *Qualis* L1 por meio da divulgação de trabalhos em diferentes plataformas digitais e acessíveis de forma gratuita a todos os interessados.

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **A DELICADA E PROBLEMÁTICA RELAÇÃO ENTRE O USO E O DESCARTE INADEQUADO DE MEDICAMENTOS**

Camila de Mello de Micheli  
Talia Rebelatto Dambros  
Fabiana Regina Grigolo Luczkiewicz  
Valdir Eduardo Olivo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2552130061>

### **CAPÍTULO 2..... 13**

#### **APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL, PROCESSOS DE BENEFICIAMENTO EM USINA DE BRITAGEM EM PORTO VELHO – RO: UM ESTUDO DE CASO NA PRS RECICLADORA**

Eveline Galvan  
Marcela Barbosa de Moraes  
Márcio Augusto Sousa Silva  
Raimundo Amorim Duarte Neto  
Priscylla Lustosa Bezerra  
Naraíel Pereira Ferrari

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2552130062>

### **CAPÍTULO 3..... 22**

#### **AVALIAÇÃO DA ÁREA DE DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DE CONTAGEM – MG COM BASE NO ÍNDICE IQR**

Bruno da Silva Reis

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2552130063>

### **CAPÍTULO 4..... 35**

#### **GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E ROTAS DE TRATAMENTO: UM PANORAMA DO BRASIL E DO MUNDO**

Gustavo Henrique Faria de Araújo  
Liséte Celina Lange  
Vitor Alvarenga Torres

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2552130064>

### **CAPÍTULO 5..... 50**

#### **DIRETRIZES PARA OBTENÇÃO DE POTABILIDADE DIRETA ATRAVÉS DO REUSO DO ESGOTO**

Eduardo Antonio Maia Lins  
Nayhara Araújo Augusto do Nascimento

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2552130065>

### **CAPÍTULO 6..... 73**

#### **APLICAÇÃO DE ENZIMAS PEROXIDASES NO TRATAMENTO DE EFLUENTES**

## CONTAMINADOS COM FENOL: UMA REVISÃO


Mariana Gomes Oliveira  
Júlia Nercolini Göde  
Taciana Furtado Ribeiro  
Tháís Agda da Cruz Primo  
Renata Bulling Magro  
Lucas de Bona Sartor  
Emili Louise Diconcilli Schutz  
Alvaro João Zonta Neto  
Cristiane Gracieli Kloth  
Everton Skoronski

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2552130066>

## **CAPÍTULO 7..... 80**

### POTENCIALIDADES DA CASCA DE BANANA COMO BIOADSORVENTE DE CONTAMINANTES PRESENTES EM MATRIZES AQUÁTICAS: PERSPECTIVAS DE APLICAÇÃO NO BRASIL E NO MUNDO


Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
Bruno Elias dos Santos Costa  
Nivia Maria Melo Coelho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2552130067>

## **CAPÍTULO 8..... 92**

### PROPOSIÇÃO DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES EM UMA UNIDADE DE RECICLAGEM DE PLÁSTICOS NO MUNICÍPIO DE TRINDADE, GOIÁS

Ana Luiza Duarte de Abreu  
Rosana Gonçalves Barros  
Sandro Moraes Pimenta

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2552130068>

## **CAPÍTULO 9..... 111**

### VIABILIDADE FINANCEIRA, BENEFÍCIOS AMBIENTAIS E ENERGÉTICOS COM O TRATAMENTO TÉRMICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS GERADOS NOS MUNICÍPIOS OPERADOS PELA SABESP NA RMSP

Rodrigo Chimenti Cabral

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2552130069>

## **CAPÍTULO 10..... 142**

### ESTUDO DE CASO: DIMENSIONAMENTO DE MICRODRENAGEM PARA UMA REGIÃO DO CENTRO DO MUNICÍPIO DE SÃO LEOPOLDO- RS

Luana dos Santos Pinheiro  
José Carlos Alves Barroso Júnior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.25521300610>

## **CAPÍTULO 11..... 157**

### SANEAMENTO RURAL NO ESTADO DO PARÁ: PANORAMA, GESTÃO E TECNOLOGIAS

## ALTERNATIVAS PARA MUNICÍPIOS COSTEIROS

Hyago Elias Nascimento Souza

Eduardo Ribeiro Marinho

Carlos José Capela Bispo

Elzelis Muller da Silva

Antônio Pereira Júnior

Aline Souza Sardinha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.25521300611>

## CAPÍTULO 12..... 170

### ANÁLISE DOS IMPACTOS OCASIONADOS PELA FALTA DE SANEAMENTO EM TRECHO ANTROPORIZADO DO RIO SALGADO

Nyanne Maria Gonçalves Leite

Maria Isabel Ferreira dos Santos

Layane Moura Rodrigues

Guilherme Rodrigues Gomes

Rafael Roberto da Silva

Antonio Rondinely da Silva Pinheiro

Luan Alves Furtado

Jully Samara Ferreira de Carvalho

Maíra da Mota Gomes

Edilaine Araújo de Moraes

George do Nascimento Ribeiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.25521300612>

## CAPÍTULO 13..... 180

### DESARROLLO HUMANO Y AGUA EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE: HACIA LA GESTIÓN REGIONAL DEL AGUA

José Luis Montesillo-Cedillo

Miguel Angel Cruz-Vicente

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.25521300613>

## CAPÍTULO 14..... 191

### INSTALAÇÃO E MANUTENÇÃO DE REDES CONDOMINIAIS DE ESGOTOS SANITÁRIOS: UMA DISCUSSÃO CONCEITUAL SOBRE A UTILIZAÇÃO DE ESPAÇOS PÚBLICO E PRIVADO

Maria Teresa Chenaud Sá de Oliveira

Luiz Roberto Santos Moraes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.25521300614>

## CAPÍTULO 15..... 202

### USO DE MODELAGEM ESTOCÁSTICA PARA AVALIAR O IMPACTO DA GESTÃO DA DEMANDA

Vanessa Silva Santos

Bruna Katarina Pereira de Azevedo

Anderson de S. M. Gadéa


Eduardo Cohim

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.25521300615>

**CAPÍTULO 16.....212**

**ANÁLISE DE ILHAS DE CALOR EM BAIROS ADJACENTES – ESTUDO DE CASO NA CIDADE DO RECIFE**

Eduardo Antonio Maia Lins  
Giselle de Freitas Siqueira Terra  
Sérgio de Carvalho Paiva  
Raphael Henrique dos Santos Batista  
Camilla Borges Lopes da Silva  
Julia Ximenes Botelho de Melo  
Laura Grazielly Silva Candeias  
Ana Beatriz Lima de Albuquerque  
Marianna Dayane Alves de Souza dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.25521300615>

**SOBRE O ORGANIZADOR.....221**

**ÍNDICE REMISSIVO.....222**

## GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS E ROTAS DE TRATAMENTO: UM PANORAMA DO BRASIL E DO MUNDO

*Data de aceite: 23/06/2021*

*Data de submissão: 05/05/2021*

### **Gustavo Henrique Faria de Araújo**

Universidade Federal de Minas Gerais,  
Departamento de Engenharia Sanitária e  
Ambiental  
Belo Horizonte – Minas Gerais

### **Liséte Celina Lange**

Universidade Federal de Minas Gerais,  
Departamento de Engenharia Sanitária e  
Ambiental  
Belo Horizonte – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/5269818925304242>

### **Vítor Alvarenga Torres**

Faculdade Pitágoras  
Belo Horizonte – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/0031561405148976>

**RESUMO:** O manejo de resíduos sólidos urbanos (RSU) e a produção de energia no mundo são dois temas de especial interesse nas dinâmicas da sociedade atual. No Brasil, aproximadamente 64% dos RSU são dispostos em aterros sanitários e 18% em aterros controlados e lixões. Em países considerados desenvolvidos, 98% destes são manejados de maneira ambientalmente adequada e 2% dispostos a céu aberto. Referente à produção de energia, no entanto, aproximadamente 45% da matriz brasileira é composta por fontes de energia renováveis, contra apenas 15% da matriz mundial. Neste trabalho, buscou-se apresentar um panorama

da gestão de RSU no Brasil e no mundo como também apresentar a maioria dos sistemas de tratamento e disposição de RSU existentes no mundo, de processos termoquímicos a biológicos, de forma a destacar a potencialidade dos RSU e outros subprodutos das rotas de tratamento como combustíveis alternativos e renováveis para o transporte, indústria e geração de eletricidade, a fim de diversificar a matriz energética mundial.

**PALAVRAS-CHAVE:** Gestão de RSU; Tecnologias de Tratamento de RSU; Produção de Energia; Valoração Energética de Resíduos.

### MUNICIPAL SOLID WASTE MANAGEMENT AND TREATMENT ROUTES: A BRAZILIAN AND WORLD VIEW

**ABSTRACT:** The Municipal Solid Waste (MSW) management and world energy production are both special concerns in the currently society. In Brazil, approximately 64% of MSW are disposed of in landfills and 18% are open dumped or sent to controlled landfills. In developed countries, 98% of these are handled in an environmentally sound manner and only 2% open dumped. Regarding energy production, however, approximately 45% of the Brazilian matrix is composed of renewable energy sources, compared to only 15% of the world matrix. In this paper, is presented an overview of MSW management in Brazil and around the world, as well as the majority of existing MSW treatment and disposal systems in the world, from thermochemical to biological processes, in order to highlight the potential of MSW and other by-products of the treatment



routes as alternative and renewable fuels for transport, industry and electricity generation in order to diversify the global energy matrix.

**KEYWORDS:** MSW Management, MSW Treatment Technologies, Energy Production, Waste-to- Energy.

## 1 | INTRODUÇÃO

A temática de resíduos sólidos urbanos (RSU) é importante na atual conjuntura. Como figurante importante das componentes do saneamento básico (manejo de águas e esgotos, manejo de águas pluviais e manejo dos resíduos sólidos) esse tema revela-se essencial para a manutenção da qualidade de vida da população e da qualidade da biosfera, hidrosfera e atmosfera. Existem resíduos sólidos oriundos das atividades da construção civil, limpeza urbana, área da saúde, domicílios, limpeza urbana, estabelecimentos comerciais, mineração, sistemas agrossilvipastoris, transportes, dentre outros. Os domiciliares (de residência urbana) e os de limpeza urbana (originários na varrição de vias e limpeza da cidade) compõem os RSU.

O Parlamento Europeu estabelece a hierarquia dos procedimentos de gestão de resíduos em sua Directiva 2008/98/EC (PARLAMENTO EUROPEU, 2008). De importância primeira, esforços devem ser feitos a fim de reduzir o consumo de matéria prima e produtos finais, em segundo lugar deve-se buscar a reutilização de materiais ainda passíveis de uso e em terceiro lugar priorizar a reciclagem, ou seja, a transformação industrial do resíduo em outros produtos. Nem sempre é possível aplicar tais alternativas; assim, é necessário tratar, recuperar energia ou dispor esse material de maneira adequada.

O consumo e a produção de energia podem ser linkados ao tema de resíduos. De acordo com a BP Statistical Review of World Energy (2019), carvão mineral e petróleo são ainda hoje usados majoritariamente no mundo para produção de energia, sabendo-se da sua renovabilidade apenas em tempo geológico. Dessa forma, é cada vez mais imperativo entender o conceito de Economia Circular para que fomentem-se a implementação de tecnologias Waste-to-Energy (WtE) para recuperação de calor, energia ou eletricidade através do tratamento de RSU a fim de diminuir a dependência mundial por combustíveis fósseis e diversificar a matriz energética.

## 2 | OBJETIVO

Os objetivos específicos desse trabalho são: Analisar a gestão de resíduos no Brasil e no mundo; Analisar a produção de energia no Brasil e no mundo; Apresentar tecnologias de tratamento e destinação de resíduos; Apresentar o potencial energético de RSU e dos subprodutos gerados no tratamento.

### 3 | METODOLOGIA

Este trabalho foi construído por meio de informações e dados secundários de artigos científicos e relatórios oficiais. Entre eles, cita-se o “Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos” (SNIS, 2019), com informações do ano de 2017; o relatório *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050* (2018), do Grupo Banco Mundial, que apresentou dados de resíduos entre os anos 2011-2017; o documento *BP Statistical Review of World Energy* (2019), ano base de 2018; informações de leis e regulações oficiais do parlamento europeu e governos do Brasil, África do Sul, EUA e Austrália; e, por fim, artigos científicos aprovados em congressos e revistas das mais respeitadas no tema meio ambiente e energia, por meio das plataformas “Portal CAPES” e “Science Direct”.

### 4 | CONTEXTUALIZAÇÃO

Segundo o mais recente diagnóstico do manejo de RSU no Brasil, 91,7% da população total brasileira possui coleta domiciliar de resíduos, considerando tanto a população rural quanto a urbana. Este dado não representa a totalidade dos municípios brasileiros, e sim apenas 63,8% deles, uma vez que muitos municípios, por motivos técnicos ou desinteresse, não disponibilizam seus dados primários ao sistema. Ainda segundo o diagnóstico, 64,2% de todo o resíduo nacional é disposto adequadamente – isto é, por aterros sanitários –, 17,9% disposto de forma inadequada (“lixões”, ruas, corpos d’água e queimados) e os dados restantes se perdem na ausência de muitos municípios no sistema.

A taxa de geração de resíduos no mundo é crescente maior nos países subdesenvolvidos e emergentes que nos desenvolvidos – e ultrapassará, até 2050, em mais de duas vezes a taxa de crescimento da população (BANCO MUNDIAL, 2018); nos países de baixa renda, em média 90% dos resíduos totais são dispostos em lixões ou queimados. Apenas 13,5% de todo resíduo mundial é reciclado. Os RSU não geridos apropriadamente poluem corpos hídricos, solos, atmosfera, degradam a estética dos centros urbanos, contribuem para a formação das enchentes, geram altos custos de gestão às prefeituras e, por fim, podem contribuir com o aumento da incidência de doenças como febre tifóide, febre amarela, leptospirose, poliometrite pelos vetores moscas, ratos e baratas.

Em relação à energia, de acordo com a *BP Statistical Review of World Energy* (2019), a geração de energia por combustíveis não renováveis responde por aproximadamente 85% de toda a geração mundial, sendo os óleos (petróleo e óleos derivados) responsáveis por 33%, carvão 27% e gás natural 24% (BP, 2019). Os 15% restantes do consumo global de energia primária são compostos pelas energias hidroelétrica, nuclear e outras fontes renováveis (biomassa, solar, eólica, geotérmica) em ordem decrescente de participação. As energias renováveis, lideradas pela solar e eólica e excetuando a hidroelétrica,

no entanto, apresentaram o maior crescimento em relação a todas as outras formas de energia existentes na última década. Outro dado positivo é o fato da quota do carvão como combustível primário ter atingido seu menor valor dos últimos 15 anos, os já citados 27%. A descarbonização da matriz energética mundial se configura como o maior desafio para as próximas décadas, sobretudo nos países em desenvolvimento.

O uso de RSU como combustível em processos se apresenta como uma alternativa às indústrias e companhias elétricas face aos convencionais usos de carvão mineral e vegetal e óleos, contribuindo para uma lógica circular de economia e produção, como defendem os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU. A energia dos RSU está contida na estrutura química dos papéis, restos de alimentos, resíduos de poda, têxteis, plásticos, dentre outros.

## 5 | BASE DE DADOS SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO MUNDO

### a. Geração de resíduos sólidos urbanos

Resíduos sólidos são produzidos todos os dias por todos os seres humanos. Em 2016 foram 2,01 bilhões de toneladas de RSU gerados no mundo; até 2050 estima-se uma produção de 3,4 bilhões de toneladas por ano, apontando crescimento a médio-longo prazo. A relação “renda x geração de resíduos” segue função logarítmica crescente, segundo dados do Banco Mundial (2018), como pode ser visto no Figura 1.

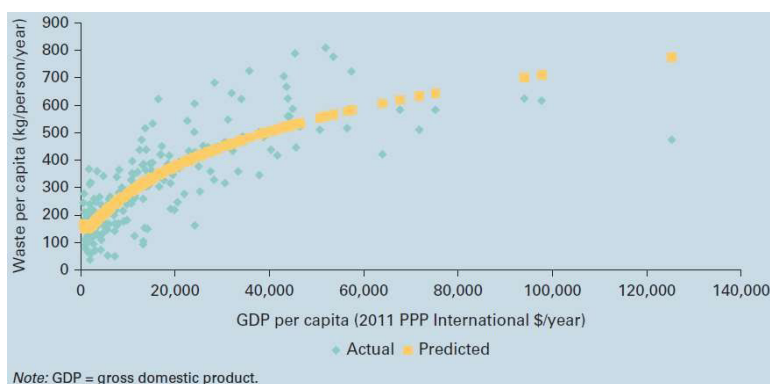


Figura 1. Relação entre PIB per capita e geração de resíduos per capita.

Fonte: Banco Mundial (2018).

A região que mais produz RSU no mundo em termos brutos é o leste asiático e pacífico, aproximadamente 23% de todos os resíduos do planeta, impulsionada por Cingapura, Nova Zelândia, Austrália e China. No outro lado da balança encontra-se o oriente médio e norte da África, com 6%. A região com maior taxa de produção é a América

do Norte (2,21 kg/habitante/dia). Em contrapartida, ainda que os maiores geradores, os países desenvolvidos têm diminuído a taxa de geração de resíduos devido ao aumento da consciência ambiental e ao alcance do ápice da disponibilidade de bens de consumo e do consumismo em si. Os EUA apresentam umas das maiores taxas de geração do mundo: 2,24 kg/habitante/dia. No Brasil, a taxa de geração de RSU é de 1,04 kg/habitante/dia, o que resulta uma produção aproximada de 80 milhões de toneladas para o ano de 2019. No Paquistão, gera-se 41 milhões de ton/ano. Da comparação entre EUA, Brasil e Paquistão, considerando as diferenças de renda per capita e contingente populacional, corrobora-se mais uma vez o fato de que a geração de resíduos intimamente está relacionada com o grau de desenvolvimento de um país.

### b. Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos

A Figura 3 discretiza a composição em função do nível de renda de um país. Quanto maior a renda, menor é a produção de resíduos orgânicos e maior a de materiais como papel e plástico.

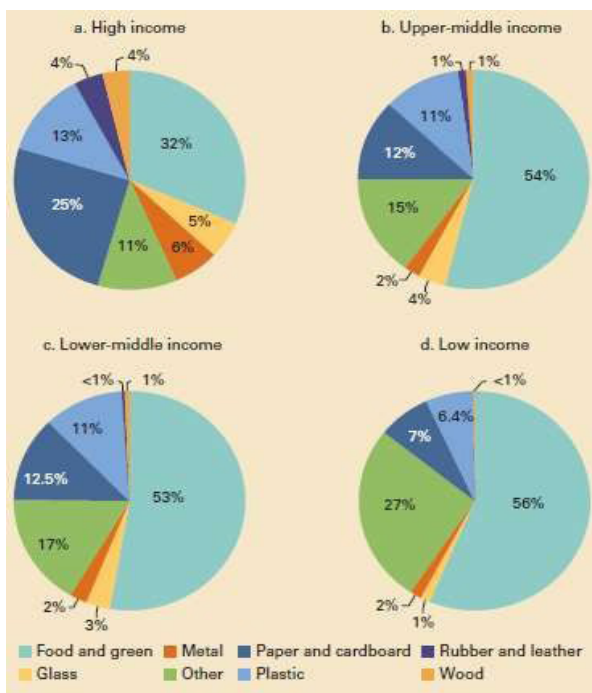


Figura 3. Composição dos RSU por nível de renda de países.

Fonte: Banco Mundial (2018).

### c. Coleta de resíduos sólidos urbanos

Nos países de baixa renda apenas 48% dos resíduos urbanos são coletados sendo que na área rural a taxa é de 26%. Em países de alta renda essa taxa é de 100% para área urbana e 98% para a rural. No Brasil, em 2017, 98,8% dos RSU foram coletados na área urbana e 42,9% foram coletados na área rural no país.

### d. Tratamento e disposição dos resíduos sólidos urbanos

As figuras 5 e 6 elucidam as formas de tratamento e disposição de resíduos no mundo, como também os métodos de tratamento e disposição por nível de renda dos países (níveis determinados pela metodologia do Banco Mundial).

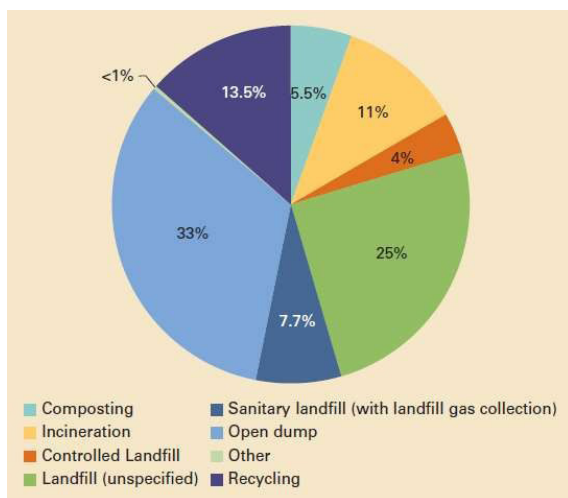


Figura 5. Formas de tratamento e disposição de resíduos no mundo.

Fonte: Banco Mundial (2018).

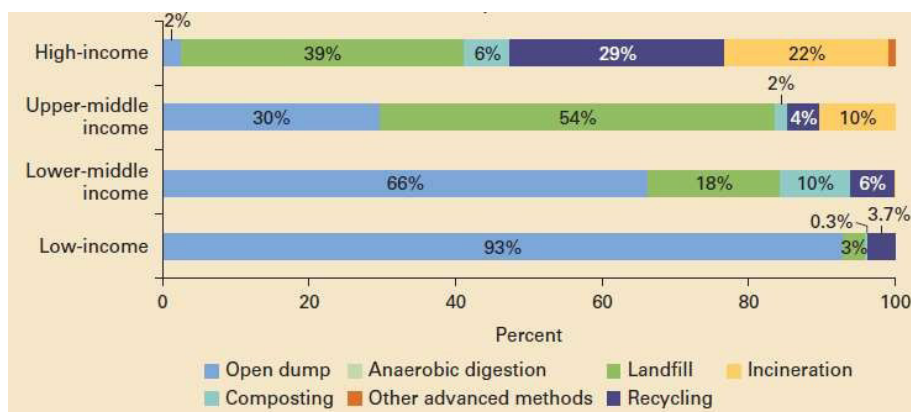


Figura 6. Métodos de tratamento e disposição por nível de renda de países.

Fonte: Banco Mundial (2018).

No Brasil, 64,2% do RSU coletados são enviados para aterros sanitários, 17,9% para aterros controlados ou lixões e 18% não têm informação, o que pode concorrer para envio inadequado (SNIS, 2017). Apenas 2,5% dos RSU no Brasil foram coletados seletivamente e 5,4% foram valorizados em Unidades de Triagem e Compostagem (UTC). Na Tailândia, considerado um país de média-alta renda, 52% dos resíduos coletados são lançados em sítios adequados de disposição e 48% foram queimados, destinados a lixões ou abandonados em locais indevidos.

## 6 I BASE DE DADOS SOBRE CONSUMO E PRODUÇÃO DE ENERGIA

A matriz energética representa o conjunto de fontes de energia disponíveis para movimentar a indústria e agropecuária, alimentar os transportes e gerar eletricidade. No Brasil, de acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN; 2019), a oferta interna é composta por 45,3% de energia oriunda de fontes renováveis e 54,7% de fontes não renováveis. A composição completa da matriz energética brasileira é apresentada na Figura 7. No mundo, 85% da produção energética é por fontes não renováveis e 15% por renováveis, como pode ser visto na Figura 8, confirmando como a participação das renováveis é pequena.

A seguir, alguns dados importantes da BP Statistical Review of World Energy (2019) foram selecionados e elencados: (a) a taxa de crescimento do consumo de energia primária mundial 2017/2018 foi a maior dos últimos dez anos. Especialistas do grupo explicam o dado pelo aumento do consumo doméstico mundial devido às mudanças climáticas (quente-frio) e ao padrão de crescimento da China; (b) China, EUA e Índia lideram a demanda atual por energia; (c) A taxa de crescimento das emissões de carbono foi a maior dos últimos 8 anos; (d) China e EUA lideram o consumo de óleos combustíveis; (d) O gás natural liderou o crescimento do consumo de energia 2017/2018, com a maior taxa de crescimento desde 1984; maiores consumidores são EUA, China, Rússia e Irã; (e) O carvão apresentou sua menor quota na matriz energética mundial dos últimos 15 anos. Países da OECD apresentaram o menor consumo desde 1975; China lidera a produção de carvão; (f) A China contribuiu com a maior taxa de crescimento das energias renováveis, sobrepujando a taxa da OECD inteira; (g) As energia renováveis apresentaram a maior taxa de crescimento dentre todas as outras nos últimos 10 anos. São lideradas por solar e eólica; (h) Óleos lideram a lista das fontes de energia primária com 33%; carvão com 27% e gás natural com 24%, somando todos aproximadamente 85%.

## 7 I FORMAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

### a. Gaseificação

Um dos principais processos termoquímicos de conversão de energia a partir de RSU

disponíveis na atualidade é a gaseificação. Neste processo controlado de oxidação parcial, utiliza-se quantidade de O<sub>2</sub> inferior à quantidade estequiométrica da combustão completa (ou há ausência de O<sub>2</sub>) para decompor compostos orgânicos, a elevadas temperaturas, para formação do chamado gás de síntese ou syngas (LUZ et al., 2015). Segundo o autor, a gaseificação por leito fluidizado é o processo mais utilizado no tratamento de resíduos atualmente, dentre os arranjos técnicos para gaseificação disponíveis.

## **b. Gaseificação à plasma**

Problemas relacionados ao alcatrão citados acima podem ser minimizados pela gaseificação a plasma, uma emergente variante evolutiva da gaseificação convencional, que utiliza-se do conversor plasma para a quebra de compostos orgânicos refratários nos gases simples H<sub>2</sub> e CO, contribuindo para aumento do PC do syngas. Simultaneamente, matéria inorgânica particulada e cinzas são convertidas a material vitrificado estável. A matéria prima pode ser submetida a condições extremas de temperatura (2.000-14.000°C). O componente adicional da tecnologia é o arco de plasma que emite radiação ultravioleta a qual contribui fortemente para a decomposição dos compostos refratários. É uma tecnologia considerada de alta complexidade, envolvendo também reações de oxidação com O<sub>2</sub>, gaseificação com vapor, hidrogênio e CO<sub>2</sub> (MUNIR et al., 2019). Materazzi et al. (2015) demonstraram quedas vertiginosas na concentração de alcatrão e compostos orgânicos voláteis (COVs), de 89 a 99% de diminuição no gás de saída. Tavares et al. (2019) demonstra que a temperaturas entre 1.500- 2.500°C e utilizando O<sub>2</sub> como agente gaseificador, as quantidades de H<sub>2</sub> e CO são incrementadas, o que provoca o aumento do PC do syngas (13.000 kJ/Nm<sup>3</sup>), visto que este parâmetro é altamente correlato à quantidade de CO presente na mistura de gases. A tecnologia possui grande potencial mas necessita superar os desafios de ser incipiente, possuir altos custos de investimento e requerer resíduos com triagem prévia.

## **c. Pirólise**

É um processo endotérmico de decomposição de matéria prima, entre 250-600°C, que ocorre na ausência de oxigênio (ou até mesmo a vácuo) produzindo char, óleo e syngas. O citado processo ocorre em três etapas: (1) secagem dos sólidos; (2) reações de volatilização de produtos; (3) decomposição dos produtos. As variáveis de controle são temperatura, taxa de aquecimento, tempo de residência da matéria-prima e dos vapores (CAMPUZANO et al, 2019). Ofori-Boateng et al. (2012) pontuam que a pirólise produz menos subprodutos que a gaseificação e incineração (10-40%), múltiplos combustíveis (char, óleo e syngas) e tem o menor gasto energético com a queima devido às temperaturas menores, enquanto Chen et al. (2017) pontuam que a produção de gases ácidos (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, HCl, HF, etc.), compostos orgânicos voláteis (COVs) e dioxinas e furanos (PCDD/Fs) é inferior à dos processos de combustão.

#### **d. Incineração**

É um dos processos de tratamento de resíduos mais consolidados no mundo. Ele envolve a queima controlada de resíduos sólidos a uma temperatura de 870-1200 °C por tempo necessário para oxidar praticamente toda a matéria orgânica, gerando gás de combustão quente e, por vezes, vapor de água a alta pressão em uma caldeira (OFORI-BOATENG et al., 2012). Um sistema típico possui câmara de armazenamento de resíduos, incinerador, caldeira, turbina a vapor, sistema de lavagem de gás e dispositivo de tratamento dos gases. Os sistemas de grelha e leito fluidizado são os mais comuns na China (ZHI et al., 2016) e no mundo.

#### **e. Autoclavagem e hidrólise térmica**

Autoclavagem é um processo hidrotérmico mecânico que ocorre sob condição de ambiente úmido, a altas temperaturas, sem combustão, pelo qual os RSU são tratados por vapor saturado a alta pressão em reator, hidrolisando e solubilizando açúcares (QUIRÓS et al., 2015; PECORINI et al., 2016). Um estudo realizado com RSU em escala real apresentou as seguintes condições gerais do sistema: (1) capacidade do reator de 35m<sup>3</sup>, processando de 10-15 toneladas de RSU não triado; (2) pressão de 6 bars; (3) temperatura de 145°C; e (4) tempo de detenção hidráulica de 30 minutos (GARCÍA et al., 2012). Outros autores utilizaram temperatura, pressão e tempo da mesma ordem de grandeza em diferentes matérias primas: (1) 134°C, 15-30 minutos a 2 bars; (2) 95°C, 45 minutos a 1 bar; (3) 200°C, 1 hora a 15,5 bars e (4) 220°C, 2 horas a 28,7 bars (PECORINI et al., 2016).

#### **f. Digestão anaeróbia e biometanização**

Digestão Anaeróbica é o processo pelo qual matéria orgânica é digerida por bactérias ácido, aceto e metanogênicas, na ausência de oxigênio, produzindo biogás e “digerido” majoritariamente. Plantas típicas de digestão para RSU envolvem pré-tratamento para separação da fração orgânica da inorgânica, a digestão e um pós-tratamento do digerido e do biogás produzido, a fim de aumentar seu potencial energético (FAN et al., 2018). O digerido é a parcela da matéria orgânica que não foi decomposta, um material sólido, com muita umidade (~90%), e o biogás é uma mistura de gases (50-70% de CH<sub>4</sub> e 30-50% de CO<sub>2</sub>) (PANIGRAHI; DUBEY, 2019). Um pós-tratamento do biogás, removendo elementos traços como oxigênio, nitrogênio, vapor de água e sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S), tóxico e responsável pela corrosão das estruturas metálicas de condução do gás, o transforma em biometano, com mais de 95% de CH<sub>4</sub> (GALLEGUILLOS et al., 2012), aumentando seu PC. Segundo Zamorano et al. (2017), a biometanização é o processo que mais reduz a emissão de gases de efeito estufa comparado a gaseificação, incineração e aterros sanitários. Para o autor, em locais de produção baixa a média de resíduos (em Granada, Espanha, são 45.000 ton/ano) a tecnologia deve ser empregada em conjunto com outras alternativas.



## **g. Compostagem**

Compostagem é um processo biológico controlado, pelo qual microorganismos decompõem aerobicamente matéria orgânica transformando-a em CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, minerais e matéria orgânica estabilizada reduzindo, assim, o volume do material inicial de 25-60% (RUBIN; RENKOW, 1998). As principais variáveis são temperatura, aeração ou fluxo de ar, umidade, tempo de residência do material e relação C/N.

## **h. Aterros sanitários**

Aterros sanitários são obras de engenharia geotécnica de disposição de resíduos no solo, sem causar danos à saúde pública, que minimiza impactos ambientais (NBR 8419; BRASIL, 1992). No Brasil, os aterros de resíduos não perigosos (classe II) recebem RSU, de acordo com os critérios da Norma Técnica Brasileira NBR 13896 (BRASIL, 1997) e resíduos perigosos, classe I, são enviados a aterros que seguem os critérios da NBR 10157 (BRASIL, 1987). O processo consiste no empilhamento de resíduos no solo, que são cobertos por terra na conclusão de uma jornada de trabalho a fim de afastar vetores de doenças, diminuir a produção de lixiviado, reduzir exalação de odores e impedir a saída descontrolada de gás (van ELK, 2007). As reações de decomposição aeróbica – breve, apenas na fase de deposição dos resíduos – e anaeróbica produzem lixiviado (ou chorume), uma mistura de líquidos proveniente da umidade e água dos resíduos, da atividade microbiana e das águas de percolação no solo (GUERRA et al., 2017). Ele é composto geralmente por matéria orgânica refratária dissolvida (ácidos fúlvicos e húmicos), componentes inorgânicos (amônia, sulfatos e cátions), metais pesados (cromo, mercúrio e chumbo) e compostos orgânicos xenobióticos (CHENG et al., 2019). Pode apresentar, assim, elevada carga orgânica recalcitrante (baixa razão DBO/DQO), podendo atingir DQO de 7.400 mg.L<sup>-1</sup> (GUERRA et al., 2017) ou valores muito mais superiores (ordem de 30.000 mg.L<sup>-1</sup>) sendo altamente deletério à qualidade das águas e solo, caso atinja-os.

## **8 | ANÁLISE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL DAS ROTAS DE TRATAMENTO**

Nesse trabalho, foram coletados dados analíticos de alguns estudos independentes entre si. O objetivo aqui foi apresentar uma perspectiva geral em termos ambientais, econômicos e técnicos das formas de tratamento apresentadas neste documento. A Tabela 1 apresenta valores médios de poder calorífico de RSU e subprodutos gerados no tratamento destes.

Matéria-prima		Poder	Poder	Referência
		Calorífico (MJ/Nm <sup>3</sup> )	Calorífico (MJ/kg)	
<b>RSU</b>			5--10	Mukherjee (2019)
<b>RDF</b>			12--16	Mukherjee (2019); Evangelisti (2015)
<b>Resíduo de poda</b>			19.7	da Silva (2019)
<b>Biogás</b>	Digestão Anaeróbica Termofílica	8--14		Fan (2018)
	Digestão Anaeróbica Mesofílica	12--22		Fan (2018)
	Aterro Sanitário	18--19		Ofori-Boateng (2012)
<b>Biometano</b>	Digestão Anaeróbica	36--38		McManus (2019)
	Gaseificação por ar	4--6		Ofori-Boateng (2012)
	Gaseificação por O <sub>2</sub>	10--20		
<b>Syngas</b>	Gaseificação plasma por O <sub>2</sub>	13		Tavares (2019)
	Pirólise de RSU	5--15		Bosmans (2019)
	Pirólise de RDF	15--30		
<b>Gás natural puro</b>		38		Ofori-Boateng (2012)
<b>Carvão</b>			21--32	Mukherjee (2019)

Tabela 1. Poder Calorífico de matérias-primas e subprodutos de tratamentos de RSU de acordo com alguns autores.

Fonte: Autor (2019).

A Tabela 2 apresenta dados técnicos, ambientais e econômicos de tecnologias de tratamento de RSU para comparação de alguns parâmetros. A geração de energia e potência, variáveis econômicas e redução de massa e dioxinas das tecnologias termoquímicas (gaseificação, plasma, pirólise, incineração) foram coletados de Munir et al. (2019) enquanto os outros dados foram de diversos outros autores. Particularmente aqui apresentou-se um desafio na busca por colocar de forma padronizada as informações em uma só tabela, visto que os dados primários e de entrada de cada trabalho científico diferiam, inclusive em termos do sistema de unidades adotado. Assim, cabe analisar a tabela de maneira muito cuidadosa, priorizando a ordem de grandeza dos valores. A gaseificação plasma se mostra como uma tecnologia párea às outras termoquímicas em investimento inicial, a despeito de sua complexidade. A quantidade de biogás e o potencial de enriquecimento deste nos aterros sanitários conta a favor da tecnologia. A pegada de carbono da autoclavagem e DA (biometanização) contam a favor deles.

	Gaseificação Plasma	Incineração	Pirólise	Gaseificação	Digestão Anaeróbica	Autoclavagem	Aterro sanitário
Parâmetro	Análise econômica						
Capital de Investimento (Milhões de US\$) (1)	80	101	116	87			
Custo de O&M (US\$Mi/ano)(1)	6.8	8.5	8.2	7.2			
Potencial de receita anual (US\$Mi/ano)(1)	3.1	3.2	-3.3	0.5			
	Análise Técnica						
Tempo de vida (anos)	30	20	30	20	20		20
Temperatura do processo (°C)	2.000<T<14.000	870<T<1200	250<T<800	650<T<1350	37<T<70	130<T<220	
Geração de potência (MW/tRSU)	-	5	5	5.5			
Geração de energia (kWh/tRSU)	685	816	544	571		43 MJ/tRSU (2)	1363 MJ/tRSU (4)
	Análise Ambiental						
Redução de massa (%)	82	90	75	84			
Dioxinas e Furanos (µg/Nm <sup>3</sup> )	<0.00925	<0.0983	-	-			
Pegada de carbono (kg CO <sub>2</sub> eq./tRSU)		266 (3)		270 (3)	189 (3)	-6.32 (2)	310 (3)

Tabela 2. Análise de alguns parâmetros das tecnologias de tratamento.

Fonte: Autor (2019), com dados de Munir (2019). (1) planta de 500 ton RSU/dia (2) Meng (2019) (3) Zamorano (2017) (4) Jeswani (2013). Temperaturas coletadas de vários autores.

## 9 | DISCUSSÃO

A população mundial continua crescendo e a quantidade de resíduos sólidos urbanos no mundo também, sobretudo em países subdesenvolvidos e emergentes, como mostram os dados do Banco Mundial (2018). A produção energética tende a aumentar devido à diminuição dos efeitos da recessão mundial, algo a se alertar, visto que a produção energética primária mundial é ainda altamente dependente dos combustíveis fósseis (petróleo, carvão e gás natural). A exploração de recursos naturais para produção de novos produtos e energia, assim, segue paralela aos hábitos consumistas das nações. As movimentações para a descarbonização da matriz energética têm ocorrido, porém a passos curtos. É necessário e emergencial que todas as partes estimulem e apliquem medidas que vão ao encontro dos objetivos de desenvolvimento sustentável presentes na Agenda 2030 da ONU, sendo a diversificação da matriz energética com combustíveis como biogás, syngas, RDF e SRF (CDRs), biometano, material carbonizado, fibra orgânica (FO), hidrogênio molecular e o próprio RSU um dos importantes alvos.

O setor de gestão e gerenciamento de RSU apresenta gargalos sobretudo nos países de baixa renda: a pequena consciência ambiental e instrução da população bem como a negligência de setores produtivos (como de serviços), a falta de investimentos privados em sistemas de tratamento de resíduos pela incerteza quanto às receitas e a visão política míope da classe política destes países em relação ao saneamento, são problemas. Investimentos em saneamento (inclui, assim, o tema de RSU) reduzem gastos com serviços de saúde em países onde doenças por vetores ocorrem em maior monta; gera distribuição

de renda aos envolvidos no processo de coleta, separação, reúso e venda de materiais; gera receita com produção ou venda de energia, calor ou eletricidade em processos adequados de tratamento; e, por fim, contribuem para a manutenção da qualidade do ecossistema. A implementação mais assertiva de ferramentas como a logística reversa, princípio do poluidor pagador, produção mais limpa (P+L), responsabilidade compartilhada também se mostram como políticas importantes e efetivas para o desenvolvimento limpo do setor produtivo.

Esforços estão sendo realizados. Tecnologias estão sendo desenvolvidas com melhores arranjos, equipamentos e/ou processos a fim de gerar produtos energéticos e buscando reduzir quantidades de gases de efeito estufa e gases tóxicos, assim como subprodutos sólidos tóxicos. A partir do que foi apresentado, alguns pontos importantes em relação aos sistemas de tratamento são levantados:

- Os processos termoquímicos (gaseificação, plasma, pirólise, incineração) geram calor e podem produzir eletricidade na planta, sendo a temperatura (T) uma das variáveis de maior importância nos processos. Eles reduzem bastante o volume dos RSU. Pré-processamentos de secagem e cominuição de RSU aumentam drasticamente a eficiência dessas tecnologias;
- A integração de duas ou mais tecnologias de tratamento apresentam grandes benefícios nos processos (i.e. turbina a gás e a vapor na incineração), ainda que possam apresentar custos mais altos de implantação e tempo de retorno de investimento;
- Os co-processos (co-pirólise, co-gaseificação, co-processamento, co-incineração, co-digestão) têm se apresentado como procedimentos otimizadores da cadeia, contribuindo para a em voga lógica de Economia Circular, pauta importante na União Européia e outros países como Austrália e Japão. O princípio de se utilizar subprodutos ou resíduos de variados setores produtivos como matéria-prima de outros processos produtivos e ou tratamento de RSU ligando o fim ao início ajuda na gestão de resíduos e na adequação a requisitos técnicos de plantas industriais;
- O pré-processamento de RSU melhora a eficiência de todos os processos citados (desconsiderando a autoclavagem), contribuindo também para uma gestão adequada e para o aumento do poder calorífico do CDR ou subproduto dos processos (char, syngas, biogás);
- Resíduos de poda e madeira, papéis e cartões, plásticos, borrachas e têxteis são os componentes mais energéticos dos RSU.

As mais novas disposições, conferências e legislações mundiais têm dado grande atenção à reciclagem como prioridade no gerenciamento dos resíduos, precedendo qualquer outro sistema de tratamento. Afinal, sabe-se que ela se encontra como prioridade na hierarquia de resíduos. Alguns organismos internacionais e novos planos e resoluções de países desenvolvidos têm tentado diminuir a fatia dos aterros sanitários e incineradores

na gama de rotas existentes.

## 10 | CONCLUSÃO

Os processos de tratamento e disposição estão cada vez mais tecnológicos, eficientes e social e ambientalmente corretos. A ciência não priva o meio ambiente dos avanços inerentes ao tempo. Não somente pelo curso natural das inovações, as tecnologias, políticas e gestão integrada têm estado em voga devido ao grande estrago já realizado pelo homem no meio. Ainda que a população mundial esteja crescendo numa menor taxa, o consumo ainda aumenta, impulsionado pela melhoria da qualidade de vida geral da população. Práticas econômicas nocivas de trabalho sub-remunerado criam lógica de mercado de super produção. A mudança de mentalidade nesse aspecto é lenta. Acordos e leis a favor do meio ambiente por vezes são pouco respeitados quando estes prejudicam de alguma forma o poderio, soberania ou posição econômica de uma nação. Grandes empresas, distribuidoras e vendedores criam melhorias paliativas nos seus processos para apenas se adequar às legislações ambientais. A eficiência energética tem mais importância pois reduz custos de produção, algo que a lógica capitalista aprova, o que não é errado, uma vez que energia é matéria prima cara e de difícil obtenção. No entanto, políticas públicas e movimentos do setor produtivo, energético e de saneamento devem ser realizados com pensamento longínquo, para futuras gerações, de forma a minimizar problemas ambientais.

A geração, coleta, transporte, recuperação, tratamento e destinação final de resíduos sólidos no Brasil e no mundo são um desafio e merecem toda e qualquer atenção a fim de se melhorar a qualidade de vida da população mundial e preservar a vida das gerações presentes e futuras.

## REFERÊNCIAS

ABNISA, Faisal; DAUD, Wan. A review on co-pyrolysis of biomass: An optional technique to obtain a high-grade pyrolysis oil. *Energy Conversion and Management*, [s. l.], 2014.

ABNT. NBR 10157 Aterros de resíduos perigosos - Critérios para projeto, construção e operação. Rio de Janeiro 1997

ABNT. NBR 13896 Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro 1997.

ABNT. NBR 8419 Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro 1992

BOSMANS, A.; HELSEN, L. ENERGY FROM WASTE: REVIEW OF THERMOCHEMICAL TECHNOLOGIES FOR REFUSE DERIVED FUEL (RDF) TREATMENT. *Third International Symposium on Energy from Biomass and Waste*, Belgium, 2016.

BP Statistical Review of World Energy. 68. ed. UK: Bob Dudley, junho 2019. Disponível em: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf>. Acesso em: 2 out. 2019

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. [S. l.], 2 ago. 2010.

CAMPUZANO, Felipe et al. Auger reactors for pyrolysis of biomass and wastes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], 2019.

CHEN, Ming et al. Treatment of Volatile Compounds from Municipal Solid Waste Pyrolysis to Obtain High Quality Syngas: Effect of Various Scrubbing Devices. *Energy & Fuels*, [s. l.], 2017.

CHENG, Y. et al. Recent advances in municipal landfill leachate: A review focusing on its characteristics, treatment and toxicity assessment. *Science of the Total Environment*, [s. l.], 2019.

COMISSÃO EUROPEIA. 2/12/2015. Plano de ação da UE para a economia circular, Bruxelas, 2015.

CUCHIELLA, F. et al. Sustainable waste management: Waste to energy plant as an alternative to landfill. *Energy Conversion and Management*, [s. l.], 2014.

DA SILVA, J.B.S. et al. ANÁLISE DE RESÍDUOS DE PODAS URBANAS E A POTENCIAL APLICAÇÃO PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA LIMPA. 19º Simpósio Nacional de Biocombustíveis, São Luís/MA, 2019

DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT AND ENERGY. AUSTRALIAN GOVERNMENT. National waste policy: less waste, more resources. ., [s. l.], 2018.

DONG, J. et al. Comparison of waste-to-energy technologies of gasification and incineration using life cycle assessment: Case studies in Finland, France and China. *Journal of Cleaner Production*, [s. l.], 2018.

EUROPEAN PARLIAMENT. Circular economy package Four legislative proposals on waste. European Parliamentary Research Service, [S. l.], p. 1 - 12, 3 jul. 2018.

FAN, Y. et al. Anaerobic digestion of municipal solid waste: energy and carbon emission footprint. *Journal of Environmental Management*, [s. l.], 2018.

GALLEGUILLOS, K. et al. Tecnologías disponibles para la Purificación de Biogás usado en la Generación Eléctrica. *Información Tecnológica*, [s. l.], v. 23, ed. 2, 2012

GARCÍA, Ana et al. Biological treatment of the organic fibre from the autoclaving of municipal solid wastes; preliminary results. *Biosystems Engineering*, [s. l.], 2012.

GUERRA, I. et al. Estudo da tratabilidade de lixiviado gerado em um aterro controlado. *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, [s. l.], 2017.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Adsorção 74, 76, 84, 85, 86, 88, 91

Água potável 50, 51, 52, 71, 109, 174, 180

Água residual 92, 93, 94, 97

Águas pluviais 24, 25, 32, 36, 112, 142, 151, 152, 155, 156, 158, 163, 167, 174

Antibióticos 1, 4, 6, 7, 10, 86

Aproveitamento 13, 15, 21, 80, 111, 112, 113, 119, 120, 121, 123, 126, 127, 128, 137, 139, 140, 167, 209

Área de preservação permanente 159, 173, 174, 176, 178, 179

Aterros controlados 24, 35, 41, 111, 112, 115, 133, 135

Aterros sanitários 17, 22, 23, 24, 25, 34, 35, 37, 41, 43, 44, 47, 48, 80, 111, 116, 118, 120, 121, 133, 138, 139

### B

Bioadsorvente 80, 83, 86, 221

Biomassa 37, 55, 80, 83, 90, 123, 129, 130, 131, 132

### C

Cloração 50, 63, 70

Cloretos 50, 57

Coliformes fecais 92, 100, 106

Coliformes totais 98, 99

Combustíveis fósseis 36, 46, 129

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB 115, 116, 117, 139

Compostagem 41, 44, 100, 112, 157, 167, 168

Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA 5, 11, 108, 120, 171

Construção civil 13, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 30, 33, 36, 114

Contaminantes 1, 51, 80, 83, 86, 88, 89, 94, 221

Co-processamento 47

Corpos d'água 3, 10, 23, 33, 37, 159, 174, 175

Corpos hídricos 1, 37, 74, 76, 178

### D

Demanda bioquímica de oxigênio 50, 57, 64, 98, 99, 106

Demanda química de oxigênio 50, 57, 98, 99, 106

Descarte irregular 1

Desenvolvimento sustentável 38, 46, 168

Desinfecção 50, 57, 61, 62, 63, 64, 66, 67, 68, 70, 71, 72, 106, 121

Digestão anaeróbica 43

Drenagem 18, 24, 25, 26, 27, 32, 33, 108, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 152, 155, 156, 164, 165, 167, 174

## **E**

Efluente 50, 52, 54, 55, 56, 57, 62, 65, 66, 70, 74, 77, 79, 92, 94, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 104, 105, 106, 107, 108, 109

Emissões atmosféricas 212, 213

Enzimas 62, 73, 74, 75, 76, 77

Esgotamento sanitário 112, 157, 158, 159, 162, 163, 167, 171, 173, 174, 175, 176, 192, 199, 200, 201

## **F**

Fontes renováveis 37, 41

## **G**

Gaseificação 41, 42, 43, 45, 47, 112, 121, 123, 124, 125

Gerenciamento dos resíduos 10, 20, 23, 34, 47

Granulometria 17, 18, 85

## **H**

Hormônios 7, 86, 87, 88, 89

## **I**

Incineração 6, 42, 43, 45, 47, 63, 112, 121, 122, 123, 139, 140

Índice de Desenvolvimento Humano - IDH 180

## **L**

Lagoas de maturação 50, 66, 70

Lençóis freáticos 5, 22, 23

Lixões 24, 35, 37, 41, 80, 111, 112, 115, 135

## **M**

Macrodrenagem 143

Matéria prima 13, 14, 20, 36, 42, 48, 90, 92, 95, 112

Matriz energética 35, 36, 38, 41, 46, 112, 121, 130

Medicamentos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12



Meio ambiente 1, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 11, 12, 21, 24, 27, 34, 37, 48, 52, 62, 73, 75, 92, 94, 98, 107, 108, 111, 120, 122, 129, 134, 135, 138, 139, 140, 156, 157, 165, 168, 171, 174, 175, 178, 179

Microdrenagem 142, 143, 144, 146, 147, 148, 150, 152, 154, 155

## **P**

Pirólise 42, 45, 47, 112, 121, 124

Política nacional de resíduos sólidos 1, 11, 23, 49, 112, 120

Processos convencionais de tratamento 67, 80

## **R**

Reciclagem 14, 15, 17, 18, 21, 36, 47, 92, 93, 95, 98, 100, 101, 107, 108, 109, 112, 119, 122, 139

Recursos hídricos 3, 52, 66, 87, 89, 94, 99, 108, 157, 173, 174, 175, 178, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 203, 209

Recursos naturais 14, 15, 20, 46, 93, 157

Resíduos 1, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 46, 47, 48, 49, 55, 64, 76, 98, 100, 107, 109, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 132, 133, 135, 137, 138, 139, 140, 143, 157, 158, 159, 160, 163, 164, 165, 166, 167, 171, 174, 176, 221

Resíduos da construção civil 15, 16, 21, 114

Resíduos industriais 28, 33, 114, 122

Resíduos sólidos urbanos 14, 22, 23, 24, 25, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 46, 48, 100, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 132, 133, 137, 138, 139, 140, 163

Reutilização 14, 33, 36, 112, 167, 221

## **S**

Saneamento básico 22, 36, 52, 111, 112, 113, 116, 117, 133, 137, 138, 139, 140, 157, 158, 159, 160, 162, 164, 165, 166, 168, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 178, 179, 191

Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP 140

Saneamento rural 157, 158, 160, 162, 164, 165, 166, 167, 168

Socioambiental 160

Sólidos dissolvidos totais 50, 57, 59, 66, 70

Sólidos suspensos totais 50, 57, 60

## **T**

Toxicidade 66, 70, 73, 74, 77

Tratamento térmico 111, 112, 113, 120, 121, 124, 125, 126, 127, 128, 133, 135, 137, 138

## **U**

Urbanização 34, 143, 159, 194, 217

# COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

## ENGENHARIA SANITÁRIA



[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)



[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)



[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



[facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

**Atena**  
Editora

Ano 2021

# COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

## ENGENHARIA SANITÁRIA



[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)



[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)



[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



[facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

**Atena**  
Editora

Ano 2021