

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. Eloi 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

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 OCACIONADOS PELA FALTA DE SANEAMENTO EM TRECHO ANTROPORIZADO DO RIO SALGADO

Nayanne 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

CAPÍTULO 1

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

Data de aceite: 23/06/2021

Data de submissão: 15/05/2021

Camila de Mello de Micheli

UCEFF Faculdades Ltda., Engenharia Química
Quilombo – Santa Catarina
<http://lattes.cnpq.br/3511746861638809>

Talia Rebelatto Dambros

UCEFF Faculdades Ltda., Engenharia Química
Quilombo – Santa Catarina
<http://lattes.cnpq.br/8280294648562727>

Fabiana Regina Grigolo Luczkiewicz

UCEFF Faculdades Ltda., Me. Química Aplicada
Chapecó – Santa Catarina
<http://lattes.cnpq.br/9764195286087686>

Valdir Eduardo Olivo

UCEFF Faculdades Ltda., Me. Ciências ambientais e Dr. Engenharia Civil e Ambiental
Chapecó – Santa Catarina
<http://lattes.cnpq.br/6202539530002324>

RESUMO: O avanço da medicina proporciona muitos benefícios a saúde humana e animal, aumentando expressivamente o consumo de medicamentos. Com isso há uma enorme preocupação em relação aos riscos que o descarte inadequado de medicamentos traz à saúde e ao meio ambiente. O objetivo deste trabalho foi analisar as características e consequências do descarte incorreto de medicamentos pela população na cidade de Quilombo, localizada no oeste de Santa Catarina. O método de pesquisa

foi indutivo com nível de pesquisa descritivo, utilizando um levantamento, com a realização de entrevistas. A população definiu-se como a cidade de Quilombo/SC, usando como amostra os munícipes e farmacêuticos atuantes nas farmácias da mesma, com abordagem quanti-qualitativa. Evidenciou-se, que a população ainda é escassa de conhecimento sobre as consequências do uso e descarte incorreto de medicamentos. Constatou-se que os medicamentos mais utilizados pela população são os antibióticos e medicamentos hormonais, e que a maior parte da descarta esses medicamentos no lixo comum ou vaso sanitário. E como Quilombo é uma região com manufatura voltada a avicultura, suinocultura e bovinocultura, esses compostos são constantemente liberados nos solos e nas águas, podendo causar a esterificação de espécies terrestres e aquáticas. Apenas 30% dos entrevistados tem conhecimento sobre a devida devolução dos medicamentos nos pontos de coleta, além de mais de 60% não ter conhecimento sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos ou gerenciamento de Resíduos de Serviço de Saúde (RSS). Ainda existem poucos estudos para desenvolvimento de tecnologias eficientes na remoção desses contaminantes nos corpos hídricos. É necessário despertar uma consciência ecológica e racional, iniciando por uma maior divulgação de informações à população, atentando às consequências tanto do uso inadequado quanto ao descarte irregular de medicamentos.

PALAVRAS-CHAVE: Medicamentos. Meio Ambiente. Resíduos. Contaminação. Descarte.

THE DELICATE AND PROBLEMATIC RELATIONSHIP BETWEEN THE USE AND IMPROPER DISPOSAL OF MEDICINES

ABSTRACT: The advancement of medicine provides many benefits to human and animal health, significantly increasing the consumption of medicines. Thereby, there is an enormous concern about the risks that the inappropriate medicines disposal brings to health and the environment. The objective of this work was to analyze the characteristics and consequences of the inappropriate medicines disposal by the population in the city of Quilombo, located in west Santa Catarina. The research method was inductive based on descriptive research, using a survey, with interviews. The population was defined as the city of Quilombo / SC. The samples were pharmacists and residents of the city, with a quantitative-qualitative research. It became evident, that the population remains scarce of knowledge about the consequences of the incorrect use and medicines disposal. It was noted that the medicines most used by the population are antibiotics and hormonal drugs and the most people dispose this drugs in the regular trash or toilet. And as Quilombo is a manufacturing-oriented region for poultry, pig and cattle farming, these medicines are constantly released in the soil and water, and can cause the esterification of terrestrial and aquatic species. Only 30% of the interviewees know about the proper return of the medicines at the collection points, in addition, 60% do not knowing about the Brazilian Policy of Solid Waste or the management of Health Service Waste (HSW). The consequences of discarding medicine residues in the environment range from soil and water body contamination to hormone development problems in aquatic species. There are few studies to develop efficient technologies to remove these contaminants from hydric bodies. The need to awaken an ecological and rational conscience becomes evident, starting with increased dissemination of information to the population, worrying about the consequences of the inadequate use and the incorrect disposal of medicines.

PALAVRAS-CHAVE: Medicines. Environment. Waste. Contaminants. Medicines Disposal.

1 | INTRODUÇÃO

O crescente avanço da tecnologia e da ciência aplicada à saúde propicia benefícios para a sociedade, como a descoberta, o controle e a cura de várias doenças. Os medicamentos são essenciais para a manutenção da saúde, pois visam minimizar a dor e sofrimento, melhorando a qualidade de vida dos indivíduos, e controlando os efeitos maléficos das doenças. Consequentemente, houve um aumento do consumo e da produção de medicamentos (JOÃO, 2011).

Entretanto os medicamentos possuem uma dualidade quanto ao uso. Eles podem prover a cura e, por sua utilização inadequada causar doenças iatrogênicas medicamentosas. Com isso, há uma crescente preocupação em relação aos problemas provenientes do uso inadequado, como a automedicação, a intoxicação, o desperdício e o descarte incorreto (ALVEZ, MATTOS e VIEIRA, 2012).

O Brasil está entre os países que mais fazem uso de fármacos, e a automedicação é muito comum entre as famílias, decorrendo no acúmulo de medicamentos obsoletos nas residências. Com isso, após o uso ou vencimento, os medicamentos e embalagens

geralmente são descartados de maneira inadequada junto com o lixo domiciliar ou esgoto sanitário, podendo acarretar efeitos adversos tanto para saúde humana, quanto animal e ambiental, visto que, a falta de informação ainda abrange grande parte da população (ALVARENGA e NICOLETTI, 2010; FERNANDES,2017).

Os resíduos de fármacos podem infiltrar-se no meio ambiente por diversas maneiras, dentre elas encontra-se o descarte inadequado de medicamentos através do lançamento direto nas pias e vasos sanitários. Além disso, mesmo quando os medicamentos são ingeridos e em seguida liberados no esgoto, o princípio ativo ainda estará presente, logo que o organismo acaba por digerir parcialmente esse ingrediente ativo, enquanto o restante é liberado pelas excreções, tanto de seres humanos, quando de animais. Na maioria das vezes, esses compostos acabam chegando até as Estações de Tratamentos de Efluentes (ETEs) sem sofrer as alterações necessária pelo metabolismo do indivíduo (DE CARVALHO, 2009).

Nas ETEs, os fármacos não são removidos de maneira eficiente, em decorrência de que as tecnologias convencionais de tratamento de efluentes ainda apresentam limitações na remoção dos mesmos, e, conseqüentemente, acabam sendo liberados nos corpos d'água, causando uma série de problemas à vida aquática (BILA e DEZOTTI, 2007).

A enorme presença de fármacos, nos recursos hídricos e no solo é preocupante e agrava-se cada vez mais pela crescente demanda e fabricação de medicamentos (JOÃO, 2011). O descarte de medicamentos vencidos no lixo comum é o procedimento realizado mais frequentemente pela população (ALVARENGA e NICOLETTI, 2010).

A população pouco sabe a respeito das conseqüências que os diversos tipos de fármacos trazem para o meio ambiente. Devido à falta de divulgação de informações referentes ao procedimento correto de descarte de medicamentos, e também em decorrência da escassez de estudos relacionados aos efeitos que os mesmos podem causar (ALVARENGA e NICOLETTI, 2010).

Logo, fica evidente a necessidade de estabelecer medidas que visem o correto descarte de medicamos, e que informem os resultados do descarte desses compostos junto ao lixo domiciliar ou esgoto sanitário (DE CARVALHO, 2009; ALVARENGA e NICOLETTI, 2010). Desta forma, indagou-se: quais as conseqüências do descarte inadequado de medicamentos no meio ambiente?

Para desenvolver a problemática supracitada, o objetivo geral foi: analisar as características e conseqüências do descarte incorreto de medicamentos na cidade de Quilombo, localizada no oeste de Santa Catarina, a fim de encontrar maneiras de evitar tal descarte, e conseqüentemente a contaminação do meio ambiente. Ainda nesta mesma discussão, considerou-se três objetivos específicos: a) Realizar entrevistas em farmácias, no posto de saúde municipal e com a população de Quilombo sobre o uso e descarte de medicamentos; b) Analisar quais as principais formas de contaminação do meio ambiente por medicamentos; e c) Buscar alternativas de diminuir e evitar o descarte incorreto de

medicamentos.

2 | METODOLOGIA

Para a obtenção de qualquer conhecimento científico, torna-se necessária a identificação das operações e técnicas que possibilitam a sua verificação (GIL, 2008). Com relação ao método de pesquisa, classificou-se como método indutivo. O Nível de pesquisa se relacionou de forma descritiva, abrangendo a pesquisa bibliográfica sobre o tema em estudo através de livros, monografias, teses, gravações de áudio e entre outros (MARCONI e LAKATOS, 2012).

O delineamento foi o levantamento (*survey*) que se caracterizou pela interrogação direta das pessoas verificação (GIL, 2008). O universo (população) da pesquisa, seguindo Marconi e Lakatos (2012), foram todos os habitantes que ingerem medicamentos na cidade de Quilombo, pertencente ao estado de Santa Catarina, com aproximadamente 10.044 habitantes até 2018 (PREFEITURA DE QUILOMBO, 2018). Porém, para avaliação efetiva, tornou-se inviável entrevistar todos os habitantes, portanto, selecionou-se uma parte (amostra) dessa população que representou da melhor forma possível o todo. Sendo assim, entre os dias 02 e 09 de março de 2018 foram realizadas entrevistas com 113 habitantes da cidade de Quilombo, Santa Catarina, com cinco farmacêuticos atuantes e quatro agentes de saúde que trabalham no posto municipal de Quilombo. As entrevistas foram realizadas a domicílio, nas farmácias e no posto municipal, e para preservar a identidade dos participantes, optou-se por uma pesquisa sem a necessidade do fornecimento de dados pessoais. Aderindo a uma abordagem quanti-qualitativa.

3 | RESULTADOS

3.1 Levantamento

Existem poucos estudos e conhecimento geral relacionados aos danos ambientais que os medicamentos acarretam nessa região. Logo que 60% de um total de 113 entrevistados não tem consciência sobre os danos ambientais que o descarte incorreto desses químicos pode trazer para o meio ambiente e saúde da população. Evidenciou-se o costume da população de descartar os medicamentos em vasos sanitários, pias, lixo comum, etc., e em atear fogo, especialmente ao lixo de banheiro, onde geralmente são descartados os medicamentos e embalagens.

Os medicamentos mais frequentemente utilizados pela população são os antibióticos (80%) e medicamentos hormonais (39%), conforme indica a figura 1, que está relacionada à porcentagem de utilização de cada medicamento ingerido pela população.

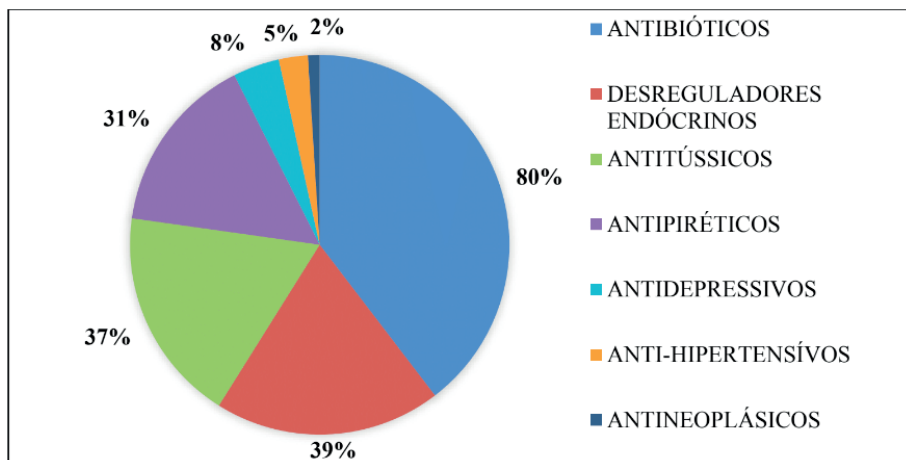


Figura 1: Medicamentos mais utilizados pela população de Quilombo, Santa Catarina.

Constatou-se que 70% dos entrevistados nunca foram informadas sobre o descarte correto de medicamentos. O que provou ser um dado alarmante, principalmente levando em conta que para os sistemas públicos, os agentes de saúde são os maiores responsáveis pela conscientização, logo, tem o dever de informar a população sobre os procedimentos de devolução dessas cartelas. Porém, o assunto não é mencionado.

A maioria dos habitantes acaba por jogar esses medicamentos no lixo ou na privada. Esses químicos descartados de maneira incorreta acabam por contaminar os lençóis freáticos, já que os sistemas de tratamento de água não eliminam completamente os resíduos químicos.

No Brasil, a Política Nacional de Resíduos sólidos, instituída pela Lei nº 12.305/2010, informa que os resíduos de serviços de saúde são pertencentes, quanto a origem, a classe g, que são todos os resíduos gerados de sistemas de saúde, centros de pesquisa e laboratórios, definidos de acordo com os órgãos Sisnama (Sistema Nacional de Meio Ambiente) e SNVS (Sistema Nacional de Vigilância Sanitária).

A administração dos resíduos provenientes de serviços de saúde é abordada pela Resolução de Diretoria Colegiada - RDC nº 306/2004 da ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), que expõe que a fiscalização, divulgação de informações e orientações competem à Vigilância Sanitária dos Estados, Municípios e Distrito Federal, juntos com os órgãos de fiscalização. A mesma resolução também informa que é responsabilidade de todo gerador de Resíduos de Serviço de Saúde (RSS) elaborar seu Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde (PGRSS), integrante a um processo de licenciamento ambiental, em que se descrevem as ações relativas ao manuseio de resíduos sólidos, bem como suas características e riscos.

Aliado a isso, segundo a Resolução nº 358/2005 do CONAMA (Conselho Nacional

do Meio Ambiente), cabe aos geradores de resíduos de todos os serviços relacionados a saúde humana e animal, o gerenciamento dos mesmos, desde a geração até a disposição final. Esses componentes devem ser acondicionados atendendo as exigências referente ao meio ambiente e saúde, de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). A Portaria CVS (Centro de Vigilância Sanitária) nº 21/2008 informa sobre as normas técnicas de gerenciamento dos RSS, a classificação dos mesmos, os métodos de armazenamento e coleta, bem como tratamento e disposição final, como os métodos de incineração para resíduos perigosos de classe I.

Dessa forma, torna-se evidente que a preocupação ambiental relacionada ao descarte de resíduos de serviços de saúde, em especial a medicamentos, é competência tanto dos órgãos municipais, quanto dos serviços privados, incluindo as farmácias e drogarias. E mesmo assim, mais de 60% dos entrevistados relataram não ter conhecimento, nem mesmo, sobre legislações e/ou as responsabilidades envolvidas com o manuseio e descarte inadequado de medicamentos.

Existem poucas campanhas para conscientizar a população relacionada à devolução desses medicamentos, em consequência disso, uma pequena porcentagem busca devolver (30%). Todas as farmácias visitadas, informam que o recolhimento dos resíduos dos medicamentos é feito pela mesma empresa chamada localizada em Xanxerê – SC, os medicamentos e equipamentos são organizados para recolhimento semanalmente. Essa pequena quantidade de resíduos coletada nas farmácias associadas, além dos medicamentos descartados no posto de saúde, é enviada para empresa para incineração.

A liberação de antibióticos no meio ambiente, principalmente na região de Quilombo é feita tanto pelo uso humano, como veterinário. Por tratar-se de uma região agrícola, os antibióticos têm ampla utilização na produção de gado e no meio avícola (BILA e DEZOTTI, 2003). Também são encontrados na produção de aditivos para peixes, através do cloranfenicol ou outros aditivos, para criação de porcos, entre outras. O grande problema do uso de antibiótico para o meio veterinário é que a contaminação afeta tanto o solo quanto os rios.

3.2 Consequências da Liberação Incorreta de Medicamentos

Um dos maiores problemas ambientais relacionados ao descarte incorreto de fármacos se encontra na capacidade que alguns microrganismos têm de adquirir resistência a esses fármacos. A primeira classe de medicamentos são os antibióticos. Esses medicamentos são os principais responsáveis pelo desenvolvimento anormal de bactérias (BILA e DEZOTTI, 2003).

Os antibióticos são os maiores responsáveis pelo desenvolvimento de bactérias mais resistentes ao meio, tanto pelo uso humano, como veterinário. Isso se justifica porque as bactérias têm características de frequentemente mudar seu material genético para adaptação (BILA e DEZOTTI, 2003).

Isso ocorre pela decorrência de diversos tipos de antibióticos serem produzidos por microrganismos naturais. Quando os antibióticos são liberados no ambiente, esses microrganismos adquirem esse mecanismo de proteção, e em alguns casos, os seus genes são comparados aos genes de resistência em patógenos humanos (MARTINS e ROSA, 2004).

Os problemas relacionados à contaminação por hormônios naturais ou sintéticos são diversos. Os processos de tratamento de água nas ETEs não são suficientes para remover esses medicamentos. Vários estudos provam que a contaminação em animais altera os seus sistemas reprodutivos (BILA e DEZOTTI, 2007).

Medicamentos hormonais, também chamados de desreguladores endócrinos, são frequentemente ingeridos por organismos aquáticos fêmeas, logo que o ciclo ocorre fora de seu corpo. Os químicos podem ser transferidos para os embriões, através da placenta, e a contaminação pelos hormônios pode impedir o desenvolvimento desses embriões. Igualmente, em algumas espécies fêmeas, têm-se o incorreto desenvolvimento dos órgãos reprodutores, em decorrência de esses medicamentos terem a capacidade de alterar o desenvolvimento do estrogênio natural e aumentar a produção de testosterona, provocando a esterilização da espécie (BILA e DEZOTTI, 2003).

Os efeitos da ingestão de medicamentos hormonais não são específicos para animais aquáticos, mas também em aves e anfíbios, principalmente relacionados à síntese da vitelogenina, durante a ovogênese. Os problemas encontrados nesses animais vão desde alterações no comportamento de acasalamento até anomalias e mortalidade de embriões (CUNHA 2014).

O tratamento para patologias como câncer vem crescendo muito, e os antineoplásicos e imunossupressores vem sendo uma das melhores alternativas para isso. Porém, esses químicos merecem atenção especial, em decorrência de serem potentes agentes mutagênicos (JOÃO, 2011). As duas principais formas de liberação desses medicamentos no ambiente são pelo descarte inadequado e pelas excreções dos pacientes (MOURA, 2016). E um dos grandes problemas encontrados atualmente é a falta de informações precisas sobre os danos que os antineoplásicos causam no ambiente.

Embora estudos realizados na China entre os anos de 2000 e 2005 provaram que essas substâncias podem permanecer na superfície aquática, onde podem ser bioacumuladas por microrganismos (MOURA, 2016). Outro fator preocupante é que estudos realizados em 1997, por Benedict e colaboradores, provam que a exposição a esses compostos pode trazer diversos danos aos cromossomos (BENEDICT,1997).

Um dos aspectos mais importante a serem considerados é a alta capacidade de mutação genética que os antineoplásicos podem trazer ao organismo, causando diversos danos à saúde (BENEDICT,1997). Notando que o mais frequente é o desenvolvimento de câncer na urina. A ciclofosfamida, por exemplo, é biologicamente inativa, mas quando entra em contato com agentes externos, adquire capacidade de mutação genética.

3.3 Problemas da Distribuição Excessiva de Medicamentos

É extremamente importante discutir sobre o descarte indevido de medicamentos, os problemas não serão resolvidos com a rotina. Existem vários fatores que precisam ser analisados, afinal, a sobra de medicamentos não é algo que devia ser tão comum. E dentre as causas, tem-se a distribuição de medicamentos em quantidades além da necessária, as amostras grátis que são distribuídas em laboratórios farmacêuticos para propaganda, e principalmente, o gerenciamento inadequado de medicamentos em farmácias e estabelecimentos de saúde (JOÃO, 2011).

Diante disso, fica claro que o problema ambiental não é algo privado, mas público. A preocupação ambiental se traduz em maior cooperação, levando em consideração objetivos comuns que consistem nas relações entre pessoas, recursos, meio ambiente e desenvolvimento (DA CUNHA e GUERRA, 2015).

Para as farmácias um dos grandes problemas a ser discutido é a administração incorreta do estoque de fármacos, considerando que na região analisada, várias farmácias relatam que frequentemente uma grande parcela de medicamentos é descartada por vencimento. A administração de estoque e gerenciamento de medicamentos está exposta no conceito de assistência farmacêutica, e conforme a Portaria CVS nº 21/2008, é responsabilidade, principalmente, do farmacêutico a garantia de que os medicamentos sejam corretamente devolvidos (JOÃO, 2011).

4 | ANÁLISE DOS RESULTADOS

Atualmente, uma das maiores metas da humanidade é a minimização do perigo provocado pelo avanço industrial, os riscos são minimizados pela rotina das atividades, onde geralmente nada acontece de muito grave em um curto prazo (DA CUNHA e GUERRA, 2015). Em regiões com pouca disseminação de informações, muitas vezes torna-se mais fácil liberar esses resíduos na privada, como provaram as entrevistas.

O grande problema do uso de antibiótico para o meio veterinário é que a contaminação afeta tanto o solo quanto os rios (BILA e DEZOTTI, 2003). E da mesma forma, os desreguladores endócrinos também apresentam valores elevados de utilização (39%). Dependendo da concentração e do tempo de exposição desses químicos, algumas espécies são seriamente afetadas, com problemas que vão desde alterações no desenvolvimento hormonal até a comprometimento do sistema imunológico.

Na região entrevistada, a quantidade de pessoas com algum tipo de doença oncológicas ainda é pequena, mas deve ser considerada, logo que esses medicamentos têm sua capacidade mutagênica e toxicológica.

As farmácias nem mesmo apresentam um local adequado para a devolutiva dos frascos e medicamentos vencidos, somente o posto de saúde está apto para o recolhimento

desses fármacos. E esses medicamentos são enviados para uma única empresa.

Conforme os farmacêuticos, muitas vezes, os resquícios desses medicamentos descartados para o sistema de esgoto acabam voltando para população. Isso porque, várias regiões, principalmente as mais pobres, nem mesmo apresentam sistema de encanamento de esgoto, assim, esses resíduos são liberados diretamente nas redes pluviais. Além disso, segundo os agentes de saúde, uma porcentagem desses fármacos e apetrechos contem resíduos de mercúrio, enxofre, metais pesados e etc., contaminando o meio ambiente em geral.

Uma parte significativa de resíduos de medicamentos ainda é encaminhada a aterros inadequados, expondo trabalhadores da limpeza urbana e catadores de materiais recicláveis ao contato direto com os agentes tóxicos que podem estar presentes. Em casos mais graves, os resíduos de serviço de saúde que apresentam medicamentos perigosos podem ser misturados aos resíduos infectantes, para serem encaminhados, em sua maioria, a tratamentos por aquecimentos, como o realizado pela empresa responsável pelo recolhimento na região de Quilombo, promovendo a liberação de diversos tipos de gases e vapores (CVS 21/2008).

Tornou-se evidente que a cooperação relacionada tanto ao uso correto quanto ao descarte de medicamentos precisa ser melhorada. E essa ampliação de conceito de uso correto de medicamentos inicia-se com o cumprimento e o desenvolvimento de políticas que busquem informar a população sobre as leis e recomendações necessárias. Embora seja um processo lento e gradual, a solução está na implementação de leis mais rigorosas, tanto relacionada à venda de medicamentos de forma organizada e consciente, quanto ao descarte dos mesmos, aliado a fiscalização adequada e aplicação de punições aos poluidores. Os postos de saúde e farmácias precisam trabalhar em conjunto, buscando a criação de um sistema unificado de gerenciamento de resíduos. Esse sistema deve conter profissionais aptos a trabalhar com tratamento correto de resíduos químicos, desenvolvendo de maneira sustentável o tratamento de efluentes.

Grandes barreiras ainda precisam ser ultrapassadas para que todos tenham conhecimento e pratiquem as formas corretas de descarte de medicamentos. O despertar da consciência ecológica é sustentada por uma razão crítica, que percebe as relações entre poder de caráter dominador e explorador (CUNHA 2014). Além da busca para amenizar os impactos ambientais, torna-se necessário à cooperação dos sistemas privados e públicos, para melhor administração de uma área extremamente importante: a saúde da população e do meio ambiente.

A geração exacerbada de resíduos de medicamentos, em sua maioria, poderia ser evitada através do gerenciamento correto de compras e dos estoques de medicamentos, tanto nos meios públicos, quanto privados. A padronização das prescrições é necessária, e juntamente com isso o controle dos sistemas de fornecimento de medicamentos (CVS 21/2008).

O gerenciamento dos resíduos de serviço de saúde, em especial os resíduos perigosos e infecciosos, deve ser prioridade em todos os empreendimentos e organizações que caminham com o desenvolvimento consciente. Os fármacos pertencem a áreas delicadas para estudo de avaliação de impacto ambiental e a saúde humana, isso porque cada tipo de medicamento pode gerar um tipo específico de impacto, logo, esses estudos precisam ir muito além de uma abordagem somente centrada nos aspectos terapêuticos dos medicamentos abrangendo, juntamente, todas as consequências que os mesmos podem causar ao ambiente e a saúde (CVS 21/2008).

Infelizmente, tornou-se evidente, que mesmo que a contaminação seja considerada um crime ambiental, não se tem fiscalização adequada e nem a aplicação de punição a todos os poluidores (JOÃO, 2011). Embora seja um processo lento e gradual, a solução está na implementação de leis mais rigorosas, tanto relacionada à venda de medicamentos de forma desregulada, quanto ao cumprimento das regulamentações relacionadas ao descarte dos mesmos. Aliando a isso, torna-se necessário o desenvolvimento de campanhas de conscientização, em que os próprios farmacêuticos devem informar os riscos tanto da automedicação, quanto dos danos que esses medicamentos causam ao ambiente.

Os postos de saúde e farmácias precisam trabalhar em conjunto, buscando a criação de um sistema unificado de gerenciamento de resíduos. Esse sistema deve conter profissionais aptos a trabalhar com tratamento correto de resíduos químicos, desenvolvendo de maneira sustentável o tratamento de efluentes.

5 | CONCLUSÕES

Constatou-se, que os medicamentos, ao serem utilizados e descartados indevidamente, principalmente no lixo comum e na privada, acabam por contaminar tanto o solo quanto a água, causando danos à saúde humana e animal. E aliado a isso, muito embora tenha-se o conhecimento sobre a presença desses compostos nos corpos d'água, os tratamentos de efluentes utilizados, na maioria das vezes, não conseguem eliminar totalmente esses resíduos.

Com as entrevistas, constatou-se que há um grande desfalque de divulgação de informações para a população referente a conscientização para um descarte correto. E ainda, 60% dos entrevistados não tinham ao menos conhecimento sobre os danos ambientais causados pelo descarte inadequado de medicamentos. Os programas de conscientização sobre essas consequências na região de Quilombo são poucos, e quando desenvolvidos, não são devidamente divulgados.

Os medicamentos mais utilizados são antibióticos (80%) e desreguladores endócrinos (39%), medicamentos esses que, quando descartados incorretamente, são responsáveis por aumentar a resistência de bactérias e em casos mais graves promover a esterilização de espécies de peixes e aves. E mesmo a porcentagem de utilização de

antineoplásicos ainda seja pequena (2%), esses medicamentos tornam-se cada vez mais utilizados, e quando descartados em leitos de água, podem causar diversos tipos de mutações genéticas.

Sobretudo, muitas barreiras ainda precisam ser ultrapassadas para que todos tenham conhecimento e pratiquem as formas corretas de descarte de medicamentos. Ainda é necessário discutir muito sobre o descarte incorreto de medicamentos, afinal, existem poucos estudos relacionados aos danos causados pela liberação desses compostos no meio ambiente, e menos ainda a disseminação de informação para a população, referente a devolução efetiva de medicamentos.

Nesse sentido, fica clara a necessidade de despertar uma consciência ecológica e racional, começando por uma maior divulgação de informações à população, sobre os riscos, legislações e descarte correto de medicamentos, além do desenvolvimento de campanhas que visam reforçar o cumprimento e o desenvolvimento de políticas mais específicas relacionado ao descarte de fármacos. Juntamente com isso, o incentivo público e privado para a criação de sistemas de coletas de medicamentos, os quais precisam estar presentes nas farmácias e redes de saúde, e devem ser destacados e recomendados pelos farmacêuticos e atuantes nessa área.

REFERÊNCIAS

ANVISA, Agência Nacional De Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 306, de 07 de dezembro de 2004.** Dispõe sobre o Regulamento Técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde. Brasília – DF.

ALVARENGA, L. S. V.; NICOLETTI, M. A. **Descarte doméstico de medicamentos e algumas considerações sobre o impacto ambiental decorrente.** Revista Saúde, v. 4, n. 3, p. 34-40, 2010.

ALVES, T. N; MATTOS, R. A., VIEIRA, R. C. P. A. **Medicamentos: conceitos, usos e problemas advindos do uso.** Convibra Saúde – Congresso Virtual Brasileiro de Educação, Gestão e Promoção de saúde, 2012.

BENEDICT, W. F. et al. **Mutagenicity of Cancer Chemotherapeutic Agents in the Salmonella/ Microsome Test.** Cancer Research, v. 28, n. 7, p. 2209-2213, 1997.

BILA, D.; DEZOTTI, M. **Fármacos no meio ambiente.** Quim. Nova, v. 26, n. 4, pg. 523-530, 2003.

BILA, D.; DEZOTTI, M. **Desreguladores endócrinos no meio ambiente: efeitos e consequências.** Química Nova, v. 30, n. 3, p. 651-666, 2007.

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.** Brasília – DF.

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n. 358, de 29 de abril de 2005.** Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências. Publicada no DOU nº 84, Brasília – DF.

CUNHA, D. L. **Avaliação do padrão de consumo do 17 α – etinilestradiol no município de Santa Maria Madalena – RJ.** Dissertação de mestrado. Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca - Fundação Oswaldo Cruz, 2014.

DA CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **A questão ambiental: diferentes abordagens.** 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil Ltda, 2015.

DE CARVALHO, E. V. et al. **Aspectos legais e toxicológicos do descarte de medicamentos.** Revista Brasileira de Toxicologia, v. 22, n. 1-2, pg. 01-08, 2009.

FERNANDES, M. C. A. et al. **O descarte incorreto de fármacos e seus impactos no meio ambiente e na saúde pública.** Revista de Pesquisa Interdisciplinar – UFCG, v. 2, 2017.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social.** São Paulo: Editora Atlas, ed. 6, 2008.

JOÃO, W. S. J. **Descarte de Medicamentos.** Pharmacia Brasileira, v. 82, n. 82, p. 14-16, 2011.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Técnicas de Pesquisa.** São Paulo: Editora Atlas, 7. ed., 2012.

MARTINS, I.; ROSA, H. V. D. **Considerações toxicológicas da exposição ocupacional aos fármacos antineoplásicos.** Revista Brasileira de Medicina do Trabalho, v. 2, n. 2, p. 118-125, 2004.

MOURA, L.; SILVA, R. F. **Medicamentos antineoplásicos no meio ambiente: a contribuição de um hospital universitário de alta complexidade.** Revista de Gestão e Sustentabilidade Ambiental, v. 5, n. 1, p. 313-333, 2016.

PREFEITURA DE QUILOMBO. **Sobre o município.** 2018. Disponível em: < www.quilombo.sc.gov.br>. Acesso em: 20 ago. 2018.

SECRETARIA DE ESTADO DA SAÚDE COORDENADORIA DE CONTROLE DE DOENÇAS. **Portaria CVS n. 21, de 10 de setembro de 2008.** Aprova a Norma Técnica sobre Gerenciamento de Resíduos Perigosos de Medicamentos em Serviços de Saúde. São Paulo, 2008.

CAPÍTULO 2

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

Data de aceite: 23/06/2021

Data de submissão: 15/05/2021

Eveline Galvan

UNITAU - Universidade de Taubaté
Taubaté – SP
lattes.cnpq.br/9859036570123871

Marcela Barbosa de Moraes

UNITAU - Universidade de Taubaté
Taubaté – SP
lattes.cnpq.br/7992917758604422

Márcio Augusto Sousa Silva

UNITAU - Universidade de Taubaté
Taubaté – SP
lattes.cnpq.br/9120142074673844

Raimundo Amorim Duarte Neto

UNITAU - Universidade de Taubaté
Taubaté – SP
lattes.cnpq.br/2833263007718802

Priscylla Lustosa Bezerra

UNIR - Universidade Federal de Rondônia.
Porto Velho - RO
lattes.cnpq.br/9785377026175072

Naraiel Pereira Ferrari

UFV - Universidade Federal de Viçosa
Porto Velho – RO
lattes.cnpq.br/3173041455022120

RESUMO: A geração dos resíduos de construção civil é evidenciada pelos processos de construção, reforma ou demolição de obras ocasionando

restos de fragmentos cimentícios, rochas, restos de tijolo, concreto, argamassas, telhas e demais materiais ocasionalmente conhecidos como entulhos. Estes resíduos possuem um potencial de agregar valor em produtos e subprodutos advindo do processamento de agregados reciclados, os quais são utilizados como areia reciclada, pedras de diversas granulometrias: brita, bica corrida, rachão, muito utilizados para regularização de terreno e topografia, realização de base e de sub-base de estradas e rodovias, artefatos cimentícios para construção de meio-fio, sarjetas, manilhas de tubulação e calçamento de bloquetes. Como alternativa de beneficiamento desses produtos a PRS Recicladora possui uma usina de britagem para realizar o aproveitamento deste material inerte e transformá-lo em subprodutos com resistência dentro das normativas estabelecidas e realizando descarte correto e certificado de resíduos de construção. A pesquisa exploratória e descritiva com base de dados cedidos pela empresa em arquivos documentais, planilhas, tabelas referenciais e a ampliação do tema pesquisado em artigos científicos. O embasamento técnico mediante legislações e normativas como a Resolução Conama n° 307/02 que estabelece a classificação dos resíduos e arcabouço legal do assunto. Os resultados mostram a crescente demanda de resíduos no mercado e a potencialidade da empresa no objetivo de negócio em ampliar a destinação dos resíduos recebidos. Deste modo em consonância com as questões ambientais de realizar o tratamento e disposição adequada dos resíduos possibilitando outros tipos de uso, e diminuindo o desperdício de matéria prima e de

utilização de recursos naturais, minimizando o consumo de energia e diminuindo os resíduos na fonte.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos. Construção Civil. Agregado Reciclado. Usina de Britagem. Disposição Adequada.

ABSTRACT: The generation of civil construction waste is evidenced by the construction, renovation or demolition processes of works causing the remains of cement fragments, rocks, remains of brick, concrete, mortars, tiles, and other materials occasionally known as debris. These residues have the potential to add value in products and by-products resulting from the processing of recycled aggregates, which are used as recycled sand, stones of different sizes: gravel, spout, crack, widely used for land and topography regularization, base and sub-base of roads and highways, cementitious artifacts for curb construction, gutters, pipe shackles and block paving. As an alternative for the processing of these products, PRS Recicladora has a crushing plant to make use of this inert material and transform it into by-products with resistance within the established regulations and carrying out correct and certified construction waste. Exploratory and descriptive research based on data provided by the company in documentary files, spreadsheets, reference tables and the expansion of the topic researched in scientific articles. The technical basis through laws and regulations such as Conama Resolution no. 307/02, which establishes the classification of waste and the legal framework of the subject. The results show the growing demand for waste in the market and the company's potential in the business objective of expanding the destination of the waste received. Therefore, in line with the environmental issues of carrying out the treatment and proper disposal of waste, enabling other types of use, and reducing the waste of raw materials and the use of natural resources, minimizing energy consumption, and reducing waste at the source.

KEYWORDS: Waste. Civil Construction. Recycled aggregate. Crushing Plant. Proper Arrangement.

1 | INTRODUÇÃO

A construção civil é uma das mais antigas atividades humanas e desde os primórdios da humanidade até os dias atuais grande parte da obra é executada de forma artesanal, gerando como subproduto grande quantidade de entulho. Desde a construção das cidades no período do Império Romano, tal fato já despertou atenção dos construtores, sendo desta época que datam os primeiros registros de reutilização de resíduos minerais da construção civil na produção de novas obras (LEVY, 1997).

Tendo em vista o aumento significativo do consumo de matéria prima para a produção industrial, atualmente notou-se a necessidade crescente da reutilização dos resíduos sólidos urbanos, pois esta oferece soluções para destinação correta dos resíduos bem como a limitação da extração da matéria prima (DE CONTI, 2014).

Nesse aspecto, o processo de reciclagem do material não oferece apenas uma alternativa à contenção da degradação ambiental como também pode ser fonte de matéria prima a diversos segmentos da atividade humana, sendo assim um novo setor de produção

(CZEDROWSKI; FAGGION, 2016).

A utilização dos resíduos da construção civil (RCC) como matéria-prima para produção de agregados reciclados reemprega componentes mineralógicos, auxilia no uso dos recursos naturais e provoca readaptação humana às necessidades de vivência na biota. As áreas destinadas à produção do agregado reciclado são identificadas como usinas de reciclagem de RCC e devem ser reconhecidas como mecanismos de redução do desperdício de matéria-prima mineral reempregável na construção civil (MELO, 2011).

Agregados para Construção Civil são materiais granulares, sem forma e volume definidos, de dimensões e propriedades estabelecidas para uso em obras de engenharia civil, tais como, a pedra britada, o cascalho e as areias naturais ou obtidas por moagem de rocha, além das argilas e dos substitutivos como resíduos inertes reciclados, escórias de aciaria, produtos industriais, entre outros. Os agregados são abundantes no Brasil e no mundo (DE LA SERNA; REZENDE, 2013).

A produção do agregado reciclado visando substituir os agregados naturais deve ter aplicação imediata, não oferecendo riscos e respeitando aspectos sociais de aceitação e conformidade à norma. As qualidades físicas necessárias ao agregado reciclado de concreto são resistência à compressão, durabilidade, absorção de água, trabalhabilidade e um bom controle de qualidade para redução da variabilidade (KIBERT, 1994; KASAI, 1994).

2 | OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é levantar informações sobre como está procedendo o aproveitamento dos resíduos de construção civil (RCC) beneficiados pela usina de britagem da empresa PRS Recicladora transformando os resíduos em agregados reciclados para utilização de base e sub-base em aterros de construções civis e utilização como subprodutos com valor agregado no município de Porto Velho – RO.

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização e localização da área de estudo

O presente estudo foi realizado na capital de Rondônia, Porto Velho, devido a facilidade em obtenção de dados técnicos disponibilizados pela empresa PRS Recicladora sendo a única em operação no município e apresentar um contexto socioeconômico satisfatório para a pesquisa. Os dados do Censo Demográfico de 2010, realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), apontam que se trata do município mais populoso de Rondônia com 428.527 habitantes.

Ao analisar o Produto Interno Bruto (PIB), Porto Velho apresenta o maior PIB do Estado com o valor de R\$ 14.741.744,12 em 2016 e um PIB per capita de R\$ 28.836,46 (IBGE, 2016). A composição econômica do município se dá por 83,8% do setor de serviços,

seguido de 10,9% do setor da indústria e 5,3% do setor agropecuário (IBGE, 2016).

3.2 Procedimentos metodológicos

A pesquisa é caracterizada como exploratória e o método utilizado para compor o trabalho, que segundo Zanella (2009, p. 79) visa “ampliar o conhecimento a respeito de um determinado fenômeno [...] explora a realidade buscando maior conhecimento, para depois planejar uma pesquisa descritiva”.

Quanto aos procedimentos técnicos a pesquisa foi elaborada baseada em diversas publicações como livros, artigos, revistas especializadas em consumo, em sites científicos na internet, relacionados ao beneficiamento dos resíduos de construção civil e a produção de materiais como agregados recicláveis.

A utilização de dados secundários emitidos mediante planilhas, gráficos e informativos cedidos pela PRS Recicladora foi o aporte inicial para quantificação dos resíduos RCC e observância dos subprodutos gerados como agregados reciclados no processo de beneficiamento.

4 | RESULTADOS OBTIDOS OU ESPERADOS

A geração de resíduos de construção civil também descritas como resíduos de construção e demolição são quantitativos expressivos e volumosos em virtude das tipologias de resíduos gerados em obras.

Com base na Resolução CONAMA nº 307/2002, o artigo 2º, inciso I, descreve:

Os resíduos da construção civil são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha;

Desta forma estes resíduos possuem uma classificação conforme o Artigo 3º, conforme apresentado no Quadro 1.

CLASSE	TIPOLOGIA DO RESÍDUO
A	Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados;
B	Resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso;
C	Resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação;
D	Resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

Quadro 1: Classificação dos Resíduos de Construção Civil.

Fonte: adaptado de Conama nº 307/02.

Entretanto observa-se que os resíduos da Classe A após processamento em um britador são transformados em agregados reciclados, proveniente da moagem e trituração dos resíduos de construção o qual passam pelo processamento de quebra ou esmagamento de tamanho de granulometria sendo transformados em areias e pedras de tamanhos diferenciados o qual mediante normativas como a NBR 7211 possuem outras classificações referente aos graúdos e miúdos.

Perante a Conama nº 307/02, Artigo 2º, inciso IV a definição de agregado reciclado é o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção que apresentem características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infraestrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia.

A norma NBR 7211 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) fixa as características exigíveis na recepção e produção de agregados, miúdos e graúdos, de origem natural, encontrados fragmentados ou resultantes da britagem de rochas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005).

Agregado graúdo como pedregulho ou brita proveniente de rochas estáveis, ou a mistura de ambos, cujos grãos passam por uma peneira de malha quadrada com abertura nominal de 152 mm e ficam retidos na peneira ABNT de 4,8 mm (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005).

A areia de brita ou areia artificial, é o material passível de ser obtido em pedreiras a partir de instalações de beneficiamento a úmido, apresentando uma granulometria entre 4,8 mm e 0,074 mm (CUCHIERATO, 2000).

A bica corrida é o conjunto de britas, pedrisco e pó de pedra, sem graduação definida, obtido diretamente do britador, sem separação granulométrica (ALBUQUERQUE, 1994).

Classificação de Granulometria	Tipos de Utilizações
Areia Artificial e Areia Natural	Assentamento de bloquetes, tubulações em geral, tanques, embolso, podendo entrar na composição de concreto e asfalto.
Pedrisco	Confecção de pavimentação asfáltica, lajotas, bloquetes, intertravados, lajes, jateamento de túneis e acabamentos em geral.
Brita 1	Intensivamente na fabricação de concreto, com inúmeras aplicações, como na construção de pontes, edificações e grandes lajes
Brita 2	Fabricação de concreto que exija maior resistência, principalmente em formas pesadas
Brita 3	Também denominada pedra de lastro utilizada nas ferrovias.
Brita 4	Produto destinado a obras de drenagem, como drenos sépticos e fossas.
Rachão, pedra de mão ou pedra marroada	Fabricação de gabiões, muros de contenção e bases.
Brita graduada	Em base e sub-base, pisos, pátios, galpões e estradas

Quadro 2: Classificação de agregados reciclados.

Fonte: adaptado de Kulaif (2001).

Segundo a Quadro 2, descreve-se a classificação da granulometria do agregado reciclado a ser utilizado na confecção de subprodutos ao passar pelo processo de britagem e separação e diversas peneiras. Os tipos de utilizações são diversos, porém, o agregado reciclado precisa ter resistência física em sua utilização. Os agregados reciclados conforme especificações técnicas podem ser utilizados a fins não estruturais.

A forma mais simples de reciclagem do entulho é a sua utilização em pavimentação (base, sub-base ou revestimento primário), na forma de brita corrida ou ainda em misturas do resíduo com solo (ZORDAN, 1997).

Após a análise do material evidenciado conforme classificações perante as normativas específicas, evidencia-se o quantitativo de resíduos recebidos e beneficiados em agregados reciclados e subprodutos.

	2016	2017	2018	2019	2020
Janeiro	0	368	624	560	400
Fevereiro	0	288	408	758	428
Março	0	608	500	716	304
Abril	0	696	600	808	432
Mai	0	804	776	988	232
Junho	74	745	592	996	364
Julho	265	900	636	976	620
Agosto	371	948	1084	1084	576
Setembro	505	880	624	624	472
Outubro	573	980	386	386	464
Novembro	377	620	415	632	400
Dezembro	544	1094	440	668	340
Total Anual (m³)	2709,1	8931	7085	9196	5032
Média Mensal (m³/mês)	387,0	744,3	590,4	766,3	419,3

Tabela 1: Quantitativo de Resíduos Recebido na Usina de Britagem.

Fonte: PRS Recicladora (2020).

A Tabela 1 identifica o quantitativo de resíduos recebidos na usina de britagem da PRS Recicladora, ao qual observa-se o início da planta de britagem em junho de 2016 e evidencia os dados mensais de recebimento de material de construção até o ano de 2020.

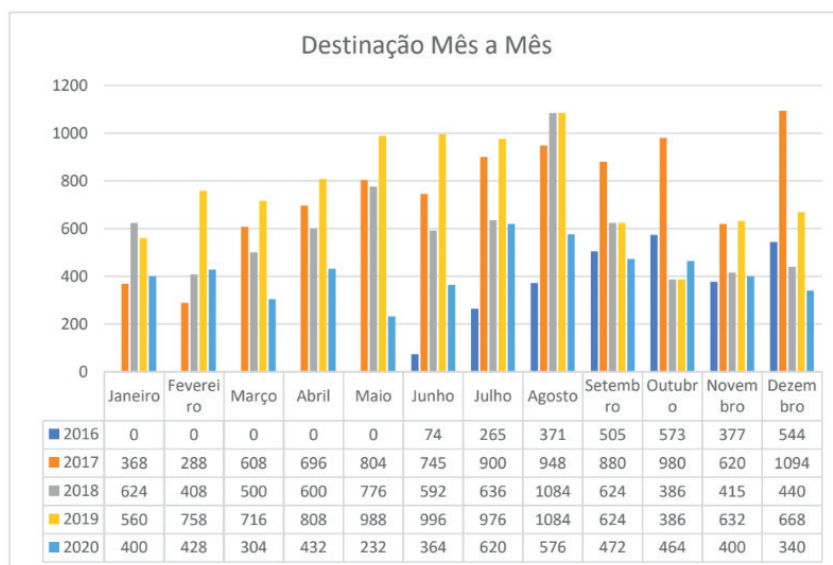


Gráfico 1: Destinação de Resíduos de Construção Civil Mensal.

Fonte: PRS Recicladora (2020).

O Gráfico 1 traz a representatividade do fluxo de resíduos de construção civil que foram destinados para a usina de triagem.

5 | ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após a classificação dos resíduos perante a Resolução CONAMA nº 307/02 e identificando a potencialidade dos resíduos de Classe A para serem transformados em agregados reciclados, a obtenção do volume de entrada na planta de britagem mais expressiva ocorre entre os meses de Abril a Agosto com maior expressividade dos anos 2017, 2018 e 2019 em virtude do período conhecido como verão amazônico, situação essa que propicia um aumento expressivo de obras em toda a região proporcionado pelo período de seca.

Destaca-se o mês de agosto entre os anos de 2017 a 2019 por ser mais promissor em relação a quantidade pluviométrica não existente no período de seca, ocasionalmente um contraponto à período de chuvas recorrente entre Setembro a Março o qual possui queda de recebimento de materiais e consequentemente de atividades de britagem na usina.

6 | CONCLUSÕES/ RECOMENDAÇÕES

A preocupação com as questões ambientais é universal, diante da ampla temática e dos impactos ambientais causados. O gerenciamento de resíduos construção civil vem passando por processos de melhorias e diante da expansão urbana, o crescimento das cidades, e consequentemente o aumento de obras, reformas e demolições o gerenciamento dos resíduos de construção civil se torna cada vez mais importante para a gestão dos resíduos urbanos, sendo ele um dos resíduos mais volumosos e que necessitam de empresas especializadas para a coleta, o transporte, o acondicionamento, o tratamento e a destinação final.

Quando avaliamos a situação atual de descarte de resíduo ocupando grandes áreas nas cidades e com isso perdendo espaço útil para demais utilizações, observa-se a extrema importância do descarte adequado dos resíduos inclusive das opções de tratamento e destinação final o beneficiamento desses resíduos sendo transformados em agregados reciclados trazendo valor agregado ao produto, possibilitando outros tipos de uso, e diminuindo o desperdício de matéria prima e de utilização de recursos naturais, minimizando o consumo de energia e diminuindo os resíduos na fonte.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A. S. "Agregados". In: BAUER, L.A.F. Materiais de construção. 4ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1994. v.1. p.63- 120.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. (2002) Resolução CONAMA nº. 307, de 5 de julho de 2002.

CUCHIERATO, G. Caracterização tecnológica de resíduos da mineração de agregados da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), visando seu aproveitamento econômico. São Paulo, 2000. 201 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

CZEDROWSKI, R. C., FAGGION, I. A. O Reaproveitamento de Resíduos Sólidos em eus Aspectos Econômicos e Ecológicos. XXIV Seminário de Iniciação Científica. Salão do Conhecimento. Uniju (RS). 2016.

DE CONTI, M. Resíduos da construção civil: impactos e benefícios gerados pelos RCC e sua reciclagem. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE DA AMBIENTAL, 9., Porto Alegre. Porto Alegre (RS): ABES, 2014.

DE LA SERNA, H. A; REZENDE, M. M. Agregados para a Construção Civil. Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM. Série estatística e economia mineral 2013. Disponível em <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/outras-publicacoes-1/8-1-2013-agregados-minerais>

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produto interno bruto a preços correntes, impostos, líquidos de subsídios, sobre produtos a preços correntes e valor adicionado bruto a preços correntes total e por atividade econômica, e respectivas participações - Referência 2016. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/resultados.html>> Acesso em: 04 jul. 2019.

KASAI, Y. Guidelines and the Present State of the Reuse of Demolished Concrete in Japan. In: INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM, 3., 1994. Proceedings... 1994.

KIBERT, C. J. Concrete/Masonry Recycling Progress in the USA. In: INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM, 3., Garston, 1994. Proceedings... Garston, 1994.

LEVY, S. M.; HELENE, P. R.L. (1995) Reciclagem de entulhos na construção civil a solução política e ecologicamente correta. in: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIAS DE ARGAMASSAS, 1º, Goiânia, Brasil. \$QDLV_ Goiânia, pp 315-325.

MELO, A. V. S. Diretrizes Para a Produção de Agregado Reciclado em Usinas de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil. 232 f. Salvador, 2011. Dissertação (Mestrado em engenharia Ambiental Urbana) - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

PRS RECICLADORA. Quantitativos de resíduos recebidos para britagem. Disponível em: <<http://www.prsrecicladora.com.br>> . Acesso em: 03 abril 2020.

ZANELLA, L. C. H. Metodologia de estudo e de pesquisa em administração. Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração / UFSC; [Brasília] : CAPES, UAB, 2009

ZORDAN, S.E. A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto. Campinas. 1997. 140p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP. Disponível em [http://www.reciclagem.pcc.usp.br/entulho_ind_ccivil.htm]. Acesso em: 27 jul. 2006.

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

Data de aceite: 23/06/2021

Data de submissão: 05/05/2021

Bruno da Silva Reis

Centro Universitário UNA – Belo Horizonte
Contagem – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/7311012212056470>

RESUMO: O crescimento populacional vem aumentando os problemas relacionados ao descarte incorreto dos resíduos sólidos urbanos, muitos dos danos ambientais causados pela má gestão dos resíduos trazem graves problemas a sociedade, como a contaminação dos lençóis freáticos prejudicando o uso de água e a transmissão de doenças relacionadas a falta de saneamento básico. Tendo em vista esses e outros problemas relacionados ao descarte incorreto dos resíduos sólidos urbanos, a utilização de aterros sanitários no Brasil, se impõe como uma das formas mais adequadas para a disposição final desses resíduos. Diante disso este trabalho teve como objetivo avaliar o aterro municipal de Contagem – MG, utilizando o índice de qualidade de aterro (IQR) desenvolvido pela Cetesb. Ao aplicar o questionário, o aterro obteve nota IQR= 9,7, o que indica que este está em condições operacionais adequadas. Importante ressaltar que mais análises são necessárias para obter melhores resultados.

PALAVRAS-CHAVE: Aterro sanitário, Resíduos sólidos, IQR, Saneamento básico.

EVALUATION OF THE FINAL DISPOSAL AREA OF URBAN SOLID WASTE IN CONTAGEM - MG BASED ON THE IQR INDEX

ABSTRACT: The population growth has been increasing the problems related to the incorrect disposal of urban solid waste, many of the environmental damages caused by poor waste management brings serious problems to community. Given that and other problems related to the incorrect disposal of urban solid waste, the use of sanitary landfills in Brazil is imposed as one of the most appropriate ways for the final disposal of this waste. Therefore, this study aimed to evaluate the municipal landfill of Contagem - MG, using the landfill quality index (IQR) developed by Cetesb. By applying the questionnaire, the landfill obtained an IQR score of 9.7, indicating that it is in adequate operational conditions. It is important to emphasize that further analysis is necessary to obtain better results.

KEYWORDS: Landfill, Urban waste, IQR, Basic sanitation.

1 | INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos urbanos passaram a ser um dos maiores problemas ambientais da atualidade, e um grande desafio tanto para os países desenvolvidos como para países em desenvolvimento, porque não atingem apenas os grandes centros urbanos, mas também cidades de médio e pequeno porte, que mesmo produzindo menos resíduos sofrem com a

degradação ambiental e social (ALBERTIN, R.M et al, 2010).

Por isso nos últimos anos vem aumentando a necessidade de construção de aterros sanitários como uma forma ambientalmente correta de disposição final dos resíduos sólidos urbanos. Contudo apenas a construção de aterros não significa que o gerenciamento dos resíduos é feita de forma eficaz, caso o mesmo não for operado de forma correta pode agravar os impactos ambientais e sociais decorrentes da geração de resíduos sólidos como contaminação dos lençóis freáticos, geração de gases poluentes na atmosfera e aumento de doenças relacionadas a vetores.

A avaliação dos aterros sanitários então se mostra como mecanismo de grande importância para redução dos impactos que podem ser causados em aterros mal operados e construídos, diante deste contexto o seguinte trabalho teve por objetivo avaliar o sistema de destinação final de resíduos urbanos que são gerados no Município de Contagem-MG, utilizando o Índice de Qualidade Aterro de Resíduos da CETESB.

Atualmente no Brasil grande parte dos resíduos sólidos gerados nos grandes centros urbanos e no interior são dispostos em aterros sanitários. Apesar desta forma ser a mais ambientalmente adequada em comparação com outras formas de disposição, muitos aterros não são operados de maneira correta por isso apresentam qualidade inferior do que se espera em um aterro sanitário com condições adequadas de estrutura e operação adequadas. Diante do problema apresentado fica evidente a necessidade de uma avaliação dos aterros sanitários em operação no país utilizando métodos que visem ajudar a verificar informações importantes sobre a qualidade dos aterros. A cidade de Contagem – MG conta atualmente com 659.070 habitantes (IBGE,2018) e diariamente são destinados ao aterro municipal em média 500 toneladas de resíduos urbanos (**Aterro Sanitário de Contagem: Relatório de Atividades,2017**). Frente aos dados expostos, a avaliação da qualidade do aterro municipal de Contagem mostra – se como instrumento eficaz para o controle dos potenciais impactos causados por essa atividade. O presente artigo tem como objetivo geral, avaliar o índice de qualidade de aterro (IQR) do aterro sanitário de Contagem-MG e os objetivos específicos são, avaliar a Operação e manutenção; o monitoramento ambiental e a infraestrutura instalada.

2 | REFERENCIAL TEÓRICO

De acordo com a Lei Federal 12.305/2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, os Resíduos Sólidos podem ser definidos como:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis

em face da melhor tecnologia disponível.

Estima-se que a população mundial, hoje de mais de 7,4 bilhões de habitantes, esteja gerando entre 2 e 3 bilhões de toneladas de lixo por ano (D'ALMEIDA, M. L.; VILHENA A 2018). No Brasil, desde a década de 50 a população vem aumentando vertiginosamente e se concentrando nos grandes centros metropolitanos, esse aumento da população urbana se correlaciona com a aumento da geração de resíduos e a necessidade de um gerenciamento eficaz do mesmo. No passado, resíduos perigosos, tóxicos e radioativos eram dispostos sem controle no subsolo. Áreas de baixo valor econômico, como cavas de mineração, brejos e voçorocas eram usados para disposição de resíduos sólidos. Até recentemente, 4 resíduos urbanos eram dispostos em vazadouros a céu aberto (lixões) ou aterros controlados, representando um grande risco de contaminação das águas subterrâneas (WENDLAND E MARIN, 2013). A disposição dos resíduos em aterros sanitários e controlados representa hoje no Brasil a principal forma de disposição final dos resíduos gerados pelas grandes cidades (70,7% segundo SNIS - 2018), o aterro controlado é uma forma de disposição onde a pilha de resíduos é coberta evitando propagação de doenças e mau cheiro, porém diferente do aterro sanitário, esse não apresenta sistemas de impermeabilização, drenagem e tratamento do chorume gerado e drenagem de águas pluviais. Contudo, muitos aterros sanitários não são operados corretamente e acabam por se tornar aterros controlados e em situações mais graves, vazadouros a céu aberto, por isso a avaliação de aterros em funcionamento se torna ferramenta imprescindível para identificar erros e promover melhorias em seu sistema operação e controle de resíduos. O índice de qualidade de aterros (IQR) elaborado pela CETESB, é um exemplo de ferramenta para avaliação da qualidade de aterros.

3 | ATERRO SANITÁRIO

Atualmente os aterros sanitários representam a forma mais adequada de disposição de resíduos sólidos urbanos no território brasileiro. Pode-se definir um aterro como sendo uma obra para: destinação final dos resíduos sólidos considerando um projeto de engenharia geotécnica, tem como objetivo acomodar no solo, no menor espaço possível, os resíduos sólidos urbanos, sem causar danos ao meio ambiente ou a saúde pública (LANZA E CARVALHO, 2006). Embora consistindo em uma técnica simples, os aterros sanitários exigem cuidados especiais, procedimentos específicos devem ser seguidos desde a escolha da área até a sua operação e monitoramento. Tem uma vida útil superior a 10 anos, e o seu monitoramento deve prolongar - se, no mínimo, por mais 10 anos após seu encerramento (LANZA E CARVALHO, 2006). A figura abaixo mostra um esquema simples de um aterro sanitário em três etapas, preparação da área que vai receber os resíduos, execução e a etapa de conclusão quando o aterro recebe o recobrimento final junto com

uma vegetação protetora de pequeno porte.

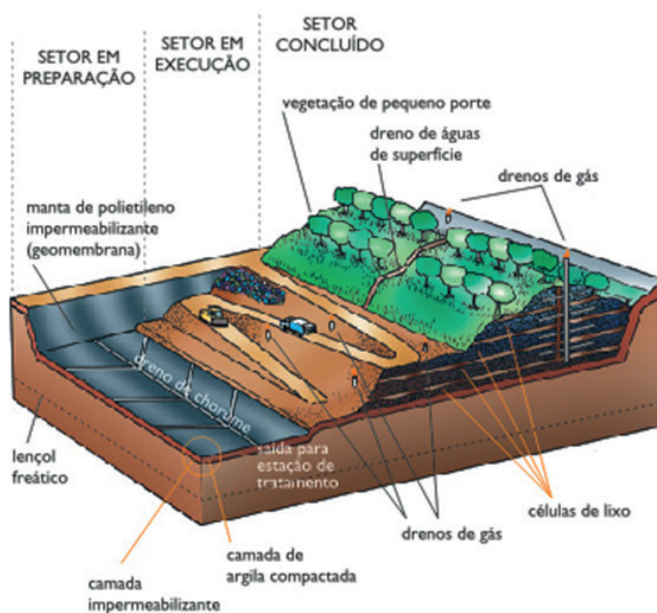


Figura 1-Aterro Sanitário.

Fonte: <meioambiente.culturamix.com.br> Acesso em 2019.

3.1 Sistema de drenagem superficial

De acordo com a NBR 8419/1992, que trata sobre as condições mínimas exigíveis para apresentação de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, deve ser previsto um sistema de drenagem de águas pluviais que tendam escoar para a área do aterro sanitário, bem como águas que se precipitam diretamente sobre essa área. A drenagem ineficiente das águas de chuva pode provocar maior infiltração no maciço do aterro, aumentando o volume de chorume gerado e contribuindo para a instabilidade do maciço (Lanza e Carvalho 2006). Nos aterros, em geral, o sistema de drenagem de águas pluviais é constituído por estruturas drenantes de meias canas de concreto (canaletas) associadas a escadas d'água e tubos de concreto. As águas precipitadas nas imediações dos aterros devem ser captadas e desviadas por canaletas escavadas no terreno original, acompanhando as cotas de forma a conferir declividade conveniente ao dreno. Dependendo do tamanho da área de contribuição, várias dessas canaletas devem ser escavadas e associadas a escadas d'água de forma a diminuir a vazão a ser conduzida (D'ALMEIDA, M. L.; VILHENA A. 2018).

3.2 Caracterização e drenagem do percolado

A precipitação que infiltra através do corpo de resíduos pode entrar em contato

com líquidos presentes no resíduo ou solubilizar componentes dos resíduos sólidos. O resultado dessa mistura é um líquido conhecido como chorume. O chorume pode escoar verticalmente, atingindo a superfície livre do aquífero e originando a contaminação das águas subterrâneas. O volume de chorume produzido por um aterro depende da quantidade de água que percola através do resíduo. Conseqüentemente, aterros localizados em regiões áridas produzem menos chorume que aqueles localizados em regiões úmidas. Os aterros devem ser projetados para minimizar a formação e vazamento de chorume. O chorume também deve ser coletado e tratado (WENDLAND E MARIN, 2013). O sistema de drenagem deve coletar e conduzir o líquido percolado, reduzindo as pressões destes sobre a massa de lixo e também minimizando o potência de migração para o subsolo. Outro motivo para se drenar o percolado é impedir que ele danifique as estruturas do aterro. Esse sistema poderá ser constituído de drenos de material filtrante com tubo perfurado direcionando os percolados para o tanque de acumulação de onde serão enviados a um tratamento adequado. É importante que os materiais utilizados não sejam danificados pelo percolado, nesse sentido, os seixos quartzosos de origem fluvial (homogêneos e estáveis) tendem a ser mais indicados que as britas (D'ALMEIDA, M. L.; VILHENA, A 2018). Segundo a NBR 8419/1992, deve ser previsto um sistema de tratamento para o líquido percolado coletado, quando solicitado pelo Órgão Seccional Estadual de Controle da Poluição e Proteção da Poluição e Proteção Ambiental - OECPA. Na operação do sistema de tratamento, é preciso efetuar de modo sistemático a medição da vazão de percolado e determinar sua composição antes e depois do tratamento. (LANZA E CARVALHO, 2006).

3.3 Sistema de drenagem dos gases

É feito através de uma rede de drenagem adequada, evitando que os gases escapem através dos meios porosos que constituem o subsolo e atinjam fossas, esgotos e até edificações. Os drenos são compostos, na maioria dos casos, por uma camada de brita ou rachão, que é fixada à coluna de tubos através de uma tela metálica (van Elk, 2007). Esses drenos atravessam todo o aterro no sentido vertical, desde o sistema de impermeabilização de base até acima do topo da camada de cobertura. Associados aos drenos verticais, projetam-se drenos horizontais e subverticais que facilitem a drenagem mais eficiente da massa de lixo. Esses drenos podem ser interligados ao sistema de drenagem de percolados, dependendo da alternativa de solução de tratamento adotada para o aterro sanitário (D'ALMEIDA, M. L.; VILHENA, A 2018).

3.4 Sistema de impermeabilização de fundo e laterais e sistema de recobrimento

De acordo com Van Elk a impermeabilização da fundação e das laterais do aterro tem a função de proteger e impedir a percolação do chorume para o subsolo e aquíferos existentes. No Brasil, a exigência mínima para contenção de lixiviados não perigosos é de que as camadas de fundo e laterais consistam de uma camada simples, podendo ser

argila compactada de permeabilidade inferior a 10⁻⁷ cm/s ou geomembranas de polietileno de alta densidade (PEAD) com espessura mínima de 1mm. A qualidade do material e os métodos de construção devem assegurar durabilidade e segurança, no sentido de diminuir os impactos ambientais. Os sistemas de recobrimento do resíduo tem como objetivos reduzir a exalação de odores, eliminar a proliferação de vetores, evitar a catação, permitir o tráfego de veículos e controlar os gases emitidos (D'ALMEIDA, M. L.; VILHENA, A 2018). A cobertura diária com objetivo de impedir o arraste de materiais pela ação do vento e evitar a disseminação de odores desagradáveis e a proliferação de vetores como moscas, ratos, baratas e aves, deve ser feita com uma camada de terra ou material inerte com espessura de 15 a 20 cm (LANZA E CARVALHO, 2006). Uma vez esgotada a capacidade da plataforma do aterro, procede-se a sua cobertura final com uma camada de argila compactada com cerca de 60cm de espessura (ou de acordo com a espessura definida no projeto técnico) sobre as superfícies que ficarão expostas permanentemente – bermas, taludes e platôs definitivos. Após o recobrimento, deve-se proceder o plantio de gramíneas nos taludes definitivos e platôs, de forma a protege-los da erosão (LANZA E CARVALHO 2006).

3.5 Sistema de monitoramento ambiental e geotécnico

É de extrema importância o monitoramento do aterro, tanto durante sua operação quanto após o encerramento das atividades, para garantir a preservação do meio ambiente, a salubridade da população do entorno, segurança da obra, bem como a estabilidade do maciço e a integridade dos sistemas de drenagem de lixiviados e gases (van Elk, 2007).

4 | METODOLOGIA E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO ATERRO

Para realização da avaliação do aterro, foi utilizado o índice de qualidade de aterro de resíduos (IQR), desenvolvido pela companhia ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Este método consiste em um questionário constituído por sete itens que avaliados: Estrutura de apoio, Frente de trabalho, taludes e bermas, superfície superior, estrutura de proteção ambiental, outras informações e características da área. Cada item avaliado pode comprometer a qualidade do aterro caso não estejam em condições adequadas, o índice vem sendo utilizado desde para avaliar anualmente desde 1997 a disposição de resíduos sólidos no estado de São Paulo. O Aterro de perobas se localiza na cidade de Contagem – MG no bairro perobas, avenida Helena Vasconcelos, nº221, possui uma área de 60 hectares dos quais 13 são destinados a área de preservação no entorno dos limites do empreendimento, situa-se na bacia hidrográfica do Rio São Francisco sub-bacia Rio das Velhas. Importante ressaltar que o aterro recebe apenas resíduos gerados em Contagem, cuja população estimada pelo IBGE para 2018 é de 659.070 habitantes, os resíduos recebidos são de classe II A provenientes de grandes geradores, indústria e comércio além de capim de poda e entulho, aproximadamente chegam 900 toneladas de resíduos por dia ao aterro de perobas. A figura abaixo mostra a localização do aterro

sanitário por imagem de satélite.



Figura 2 - Imagem de satélite com localização do aterro municipal de contagem.

Fonte: Relatório de Atividades – Prefeitura de Contagem-MG.

4.1 Método IQR

Para realização do trabalho foram coletadas informações sobre o tema em sites especializados, artigos, leis e normas vigentes posteriormente foi realizada visita ao aterro sanitário de contagem com acompanhamento do responsável pelo aterro e aplicado o questionário do método IQR, este método consiste em um questionário constituído por sete itens que avaliados sendo estes: Estrutura de apoio, Frente de trabalho, taludes e bermas, superfície superior, estrutura de proteção ambiental, outras informações e características da área. Os itens se dividem em 33 sub itens que são avaliados e recebem a classificação de adequados ou inadequados de acordo com a nota recebida, ao final da avaliação o aterro recebe uma nota de 0 a 10 sendo que de 0 a 7,0 e classificando como em condições inadequadas e de 7,1 a 10 o aterro se encontra em condições adequadas. Cada item se dividem-se em 3 subtotais que são utilizados nas equações abaixo:

$IQR=(\text{subtotais}1+2+3) /10 =10$. Sem recebimento de resíduos industriais
(Equação 1)

$IQR=(\text{subtotais}1+2+3) /11 =10$. Com recebimento de resíduos industriais
(Equação 2)

Posteriormente ao cálculo, as condições do aterro serão classificadas como: inadequadas caso o valor obtido estiver entre 0 e 7 e adequadas para valores entre 7,1 e 10. Como alguns sub itens não receberam avaliação a formula:

$IQR=(\text{subtotais}1+2+3) /10 =10$ (Equação 3)

Foi modificada retirando a pontuação total de 100 pontos para 91 pontos resultando

na seguinte equação: $IQR = (\text{subtotais } 1+2+3) / 9,1$ (Equação 4).

ÍNDICE DA QUALIDADE DE ATERROS DE RESÍDUOS - IQR					
MUNICÍPIO:			DATA:		
LOCAL:			AGÊNCIA:		
BACIA HIDROGRÁFICA:			UGRHI:		
LICENÇA: L.I.: <input type="checkbox"/> L.O.: <input type="checkbox"/>			TÉCNICO:		
ÍTEM	SUB-ÍTEM	AValiação	PESO	PONTOS	
ESTRUTURA APOIO	1. PORTARIA, BALANÇA E VIGILÂNCIA	SIM / SUFICIENTE NÃO / INSUFICIENTE	2 0		
	2. ISOLAMENTO FÍSICO	SIM / SUFICIENTE NÃO / INSUFICIENTE	2 0		
	3. ISOLAMENTO VISUAL	SIM / SUFICIENTE NÃO / INSUFICIENTE	2 0		
	4. ACESSO À FRENTE DE DESCARGAS	ADEQUADO INADEQUADO	3 0		
FRONTALTELO	5. DIMENSÕES DA FRENTE DE TRABALHO	ADEQUADAS INADEQUADAS	5 0		
	6. COMPACTAÇÃO DOS RESÍDUOS	ADEQUADA INADEQUADA	5 0		
	7. RECOBRIMENTO DOS RESÍDUOS	ADEQUADO INADEQUADO	5 0		
TALUDES	8. DIMENSÕES E INCLINAÇÕES	ADEQUADAS INADEQUADAS	4 0		
	9. COBERTURA DE TERRA	ADEQUADA INADEQUADA	4 0		
	10. PROTEÇÃO VEGETAL	ADEQUADA INADEQUADA	3 0		
	11. AFLORAMENTO DE CHORUME	NÃO / RAROS SIM / NUMEROSOS	4 0		
SUPERFÍCIE	12. NIVELAMENTO DA SUPERFÍCIE	ADEQUADO INADEQUADO	5 0		
	13. HOMOGENEIDADE DA COBERTURA	SIM NÃO	5 0		
ESTRUTURA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL	14. IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO	SIM/ADEQUADA (N PREENCHER ITEM 15) NÃO/INADEQUADA (PREENCHER ITEM 15)	10 0		
	15. PROF. LENÇOL FREÁTICO (P) X PERMEABILIDADE DO SOLO (K)	$P > 3m, k < 10^{-6} cm/s$ $1 \leq P \leq 3m, k < 10^{-6} cm/s$ CONDIÇÃO INADEQUADA.	4 2 0		
	16. DRENAGEM DE CHORUME	SIM / SUFICIENTE NÃO / INSUFICIENTE	4 0		
	17. TRATAMENTO DE CHORUME	SIM / ADEQUADO NÃO / INADEQUADO	4 0		
	18. DRENAGEM PROVISÓRIA DE ÁGUAS PLUVIAIS	SUFICIENTE / DESNECES. NÃO / INSUFICIENTE	3 0		
	19. DRENAGEM DEFINITIVA DE ÁGUAS PLUVIAIS	SUFICIENTE / DESNECES. NÃO / INSUFICIENTE	4 0		
	20. DRENAGEM DE GASES	SUFICIENTE / DESNECES. NÃO / INSUFICIENTE	4 0		
	21. MONITORAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	ADEQUADO INADEQUADO / INSUFIC. INEXISTENTE	4 1 0		
	22. MONITORAMENTO GEOTÉCNICO	ADEQUADO / DESNECES. INADEQUADO / INSUFICIENTE INEXISTENTE	4 1 0		
	SUBTOTAL 1			86	
ÍTEM	SUB-ÍTEM	AValiação	PESO	PONTOS	
OUTRAS INFORMACOES	23. PRESEÇA DE CATADORES	NÃO SIM	2 0		
	24. QUEIMA DE RESÍDUOS	NÃO SIM	2 0		
	25. OCORRÊNCIA DE MOSCAS E ODORES	NÃO SIM	2 0		
	26. PRESEÇA DE AVES E ANIMAIS	NÃO SIM	2 0		
	27. RECEBIMENTO DE RESÍDUOS NÃO AUTORIZADOS	NÃO SIM	2 0		
	28. RECEBIMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS	SIM (Preencher item 29) NÃO (ir p/ item 30)			-
	29. ESTRUTURAS E PROCEDIMENTOS	SUFICIENTE / ADEQUADO INSUFICIENTE / INADEQ.	10 0		
	SUBTOTAL 2.1			10	
	SUBTOTAL 2.2			20	
	CARACTERÍSTICA	30. PROXIMIDADES DE NÚCLEOS HABITACIONAIS	$\geq 500m$ $< 500m$	2 0	
31. PROXIMIDADES DE CORPOS DE ÁGUA		$\geq 200m$ $< 200m$	2 0		
32. VIDA ÚTIL DA ÁREA		≤ 2 ANOS $2 < x \leq 5$ ANOS > 5 ANOS	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		-
33. RESTRIÇÕES LEGAIS AO USO DO SOLO		SIM NÃO	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		-
SUBTOTAL 3			4		
TOTAL MÁXIMO (100)		TOTAL MÁXIMO (110)			
TOTAL MÁXIMO 2.1		TOTAL MÁXIMO 2.2			
sem recebimento de resíduos industriais		com recebimento de resíduos industriais			
<input type="text"/>		<input type="text"/>			
IQR-SOMA DOS PONTOS/10		IQR-SOMA DOS PONTOS/11			
sem recebimento de resíduos industriais		com recebimento de resíduos industriais			
<input type="text"/>		<input type="text"/>			
Cálculo do IQR					
(sem receb. resíduos industriais) $IQR = (\text{SUBTOTALS } 1+2.1+3)/10 = 10,0$					
(com receb. resíduos industriais) $IQR = (\text{SUBTOTALS } 1+2.2+3)/11 = 10,0$					
IQR		AValiação			
0,0 a 7,0		CONDIÇÕES INADEQUADAS			
7,1 a 10,0		CONDIÇÕES ADEQUADAS			

DISPÕEM EM:

Figura 3: Modelo IQR.

Fonte: Inventário de resíduos sólidos 2017 – CETESB.

5 | RESULTADOS

Após visita técnica ao aterro sanitário de Contagem e aplicação do questionário IQR foram obtidos os seguintes resultados em cada um dos sub itens:

Sub item 1 Portaria Balança e Vigilância: O Aterro apresenta guarita para controle de acesso com presença de seguranças durante 24 horas por dia, além de guarita para controle da balança. Por isso na avaliação este sub item foi considerado suficiente atribuindo o valor de nota 2.



Figura 4. Fonte: Arquivo aterro sanitário 2017.

Sub item 2 Isolamento Físico: A área do aterro encontra-se isolada por mourões de concreto, com fios de arame farpado além da cortina verde de tela em parte do perímetro do aterro atribuindo assim um valor de nota 2 suficiente neste sub item.

Sub item 3 Isolamento Visual: O aterro encontrasse circundado por uma área de APP DE 13 hectares, garantindo o isolamento visual do mesmo. Nota atribuída neste sub item = 2 Suficiente.

Sub item 4 Acesso à frente de trabalho: O acesso à frente de trabalho está em boas condições, para facilitar o acesso em dias chuvosos utiliza-se no aterro os resíduos inertes de construção civil para recobrir as estradas e garantir melhor aderência dos veículos. Este sub item quantificou 3 pontos.

Sub item 5 Dimensões da frente de trabalho: As frentes de trabalho estão em ótimas condições para a pratica de operações. Este sub item quantificou 5 pontos.

Sub item 6 Compactação dos Resíduos: Os resíduos são compactados por trator esteira com peso operacional mínimo de 15 toneladas a compactação é realizada com movimentos repetidos do equipamento de baixo para cima por seis vezes para que o material atinge o adensamento adequado de aproximadamente 700 kg/ m³. Este sub item quantificou 5 pontos.

Sub item 7 recobrimento dos resíduos: Para o recobrimento diário utiliza-se

material inerte proveniente de resíduos coletados em caçambas estacionárias (Ecopontos) e pontos de disposição inadequada na via pública, formando uma camada de 20cm. Este sub item quantificou 5 pontos.



Figura 6. Fonte: Arquivo aterro sanitário 2017.

Sub item 8 Dimensões e inclinações: Não foi possível obter informações a respeito das dimensões e inclinações de taludes e bermas. Este sub item não recebeu avaliação.

Sub item 9 Cobertura de terra: Para cobertura final utiliza-se solo argiloso compactado formando camada de recobrimento de 60cm de espessura. Esse sub item quantificou 4 pontos.

Sub item 10 Proteção vegetal: Após o recobrimento final com camada de argila procede-se o plantio de gramíneas nos taludes definitivos, para cobertura vegetal de resíduos nos taludes intermediários (locais que irão receber resíduos futuramente) é utilizado resíduos de capina provenientes dos serviços públicos de capina e roçada do município. Este sub item quantificou 3 pontos.

Sub item 11 Afloramento de chorume: Não foram encontrados afloramentos de chorume nas massas de resíduos aterradas. Este sub item quantificou 4 pontos.

Sub item 12 Nivelamento da superfície: O nivelamento da superfície do aterro encontra-se adequado. Este sub item quantificou 5 pontos.

Sub item 13: Homogeneidade da Cobertura: Não foram identificados resíduos acima dos locais que já receberam as camadas de terra garantindo assim a homogeneidade da superfície. Este sub item quantificou 5 pontos.

Sub item 14 Impermeabilização do solo: O sistema de impermeabilização de

base do aterro é constituído por uma camada entre 60 a 80 centímetros de espessura de argila compactada com coeficiente de permeabilidade $K = 1.10^{-6}$ cm/s seguido de uma camada de geomembrana de 2 mm de espessura, manta de bidim e por fim 40 cm de solo normal para proteção mecânica, nos taludes são utilizados geomembrana e manta de bidim de 2mm de espessura. Este sub item quantificou 10 pontos.

Sub item 15 Profundidade Lençol Freático (P) versus Permeabilidade do Solo (K): Como o aterro possui impermeabilização por geomembrana sintética, para este sub item não houve avaliação.

Sub item 16 Drenagem de chorume: O sistema de drenagem é composto por drenos primários instalados após a impermeabilização da base, em conformidade com projeto das redes tipo linha de peixe e drenos secundários com dimensões nas valas de drenagem de 40 x 40 cm preenchidas com pedra de mão e com declividade direcionada aos drenos verticais. Este sub item quantificou 4 pontos.

Sub item 17 Tratamento de chorume: Através de um contrato de cooperação técnica, todos os efluentes líquidos gerados no aterro sanitário são tratados na Estação de Tratamento de Esgoto - ETE Onça pertencente a COPASA, o aterro por sua vez se dispõe a receber o lodo gerado na ETE. Este sub item quantificou 4 pontos.

Sub item 18 Drenagem provisória de águas pluviais: O sistema é composto pela escavação de valetas de drenagem provisórias a montante da frente de operação. Este sub item quantificou 3 pontos.

Sub item 19 Drenagem definitiva de águas pluviais: O sistema é feito através de canaletas de concreto de diâmetro de 30 cm interligadas por escadas dissipadoras de energia hidráulica do tipo colchão de reno, o sistema se mostrou eficiente visto que não foram encontrados processos erosivos no aterro. Este sub item quantificou 4 pontos.

Sub item 20 Drenagem de gases: Os drenos são instalados na base do aterro e complementados conforme o preenchimento do maciço dos resíduos, são interligados aos drenos de percolado e compostos por tambores metálicos preenchidos com pedra de mão, na ponta dos drenos estão instalados queimadores com proteção do tipo chapéu chinês para impedir entrada de água da chuva. Este sub item quantificou 4 pontos.

Sub item 21 Monitoramento de águas subterrâneas: Para o monitoramento das águas subterrâneas é utilizado 7 poços de monitoramento sendo 4 a montante do aterro e três a jusante. Este sub item quantificou 4 pontos.

Sub item 22 Monitoramento geotécnico: O monitoramento é feito mensalmente avaliando os recalques do maciço com equipamento construídos com base em concreto armado e com um tubo de ferro fixado no centro, piezômetros para avaliar a pressão de líquidos e gases no interior do maciço e marcos superficiais que permitem monitorar o movimento dos taludes. Este sub item quantificou 1 ponto.

Sub item 23 Presença de catadores: Não foram encontradas evidências de catadores. Este sub item quantificou 2 pontos.

Sub item 24 Queima de resíduos: Não há queima de resíduos no aterro. Este sub item quantificou 2 pontos.

Sub item 25 Ocorrência de moscas e odores: Não foram evidenciados ocorrência de moscas e odores no aterro. Este sub item quantificou 2 pontos.

Sub item 26 Presença de aves e animais: Foram identificados presença de algumas aves no recebimento de resíduos. Este sub item quantificou 0 pontos.

Sub item 27 Recebimento de resíduos não autorizados: No aterro são recebidos apenas resíduos provenientes do serviço de coleta municipal. Este sub item quantificou 2 pontos.

Sub item 28 Recebimento de resíduos industriais: O aterro não recebe resíduos industriais.

Sub item 29 Estruturas e Procedimentos: Este sub item apenas deve ser preenchido caso o aterro receba resíduos indústrias.

Sub item 30 Proximidades de Núcleos Habitacionais: O aterro não se localiza há 500 metros de núcleos habitacionais. Esse sub item quantificou 0 pontos.

Sub item 31: Proximidades de Corpos de Água: O aterro encontra-se a mais de 200 metros do córrego São João, corpo d'água mais próximo. Este sub item quantificou 2 pontos.

Sub item 32: Vida útil da área: De acordo com o relatório de atividades do aterro é previsto que o volume total do maciço igual a 8.774.295,86m³ seja alcançado em 2027.

Sub item 33: Restrições legais ao uso do solo: Não há restrições legais quanto ao uso do solo.

6 | CONCLUSÕES

Após realização do trabalho, foi possível concluir que o aterro municipal do município de Contagem – MG, apresenta condições adequadas de acordo com sua nota obtida no índice de qualidade com resultado IQR=9,7.

Observou-se que o aterro está localizado em área apropriada para disposição de resíduos sólidos urbanos estando longe de corpos d'água evitando assim sua contaminação, o sistema de impermeabilização, monitoramento ambiental e geotécnico, e de drenagem de gases, água de chuva e percolado estão em perfeitas condições e estes foram fatores determinantes para a nota obtida pelo aterro. Constatou-se também que na área não ocorre presença de catadores, que o sistema de vigilância opera de forma eficiente além das perfeitas condições das máquinas e equipamentos usados para transporte compactação dos resíduos e monitoramento geotécnico da área. O uso de resíduos inertes da construção civil para recobrir as estradas trazendo maior aderência durante períodos chuvosos, demonstrou-se uma importante ferramenta para reutilização desse tipo de resíduo assim como a reutilização dos resíduos da capina e poda que são

utilizados para o recobrimento dos taludes. Deve-se observar que o aterro encontra-se próximo de alguns núcleos habitacionais, porém este fato deve-se principalmente à mal distribuição da urbanização da cidade devido ao seu crescimento, a presença de aves no aterro representa um inconveniente que deve ser controlado para evitar qualquer dano ao meio ambiente e a saúde humana. Por fim ressaltasse que o resultado obtido neste trabalho não pode ser considerado conclusivo tendo em vista que não foi possível ter acesso a todos os dados pertinentes no formulário IQR, e que é necessário mais estudos e análises para chegar a uma conclusão confiável a respeito das condições do aterro sanitário.

REFERÊNCIAS

ALBERTIN, R.M et al. **Avaliação e Diagnóstico do Gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos no Município de Cianorte**, Estado do Paraná, Brasil COSTA, E. R. H.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. NBR 8.419. Rio de Janeiro, 1992. 7 páginas.

BRASIL. . Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Política nacional dos resíduos sólidos**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 12 out. 2018

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Inventário estadual de resíduos sólidos urbanos 2017**. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/residuossolidos/residuos-solidos/residuos-urbanos-saude-construcao-civil/publicacoes-e-relatorios/>>. Acesso em: 03 nov. 2018.

CONTAGEM. **Aterro Sanitário de Contagem: Relatório de Atividades**, 2017. 128 p.

D'ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. (Coord.) **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado – 4ª ed.** São Paulo: IPT/CEMPRE, 2010.

Elk, Ana Ghislane Henriques Pereira van. **Mecanismos de desenvolvimento limpo aplicado a resíduos sólidos: redução de emissões na disposição final**. Brasil: Ministério do Meio Ambiente e Ministério das Cidades, 2007.

LANZA, Vera C. Vaz; CARVALHO, André L. de. **Orientações básicas para operação de aterro sanitário**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2006.

WEDLAND, Edson; MARIN, Ivan Silvestre Paganini. Contaminação de Águas Subterrâneas. In: CALIJURI, Maria do Carmo; CUNHA, Davi Gasparini Fernandes (Org.). **Engenharia Ambiental. Conceitos, Tecnologia e Gestão**. 1. ed. [S.l.]: ELSEVIER, 2013. cap. 12, p. 269-293.

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.

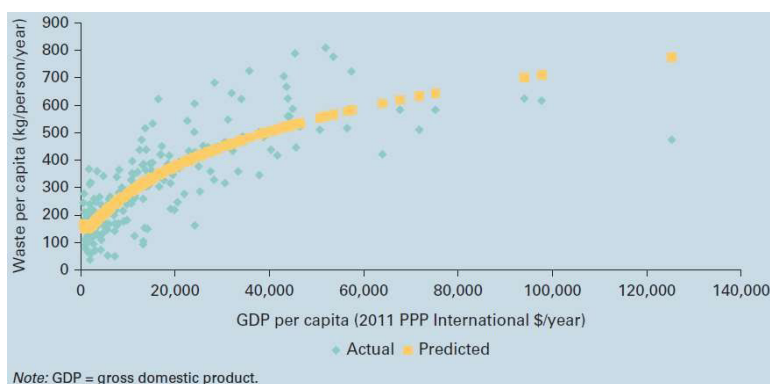


Figura 1. Relação entre PIB per capita e geração de resíduos per capita.

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.

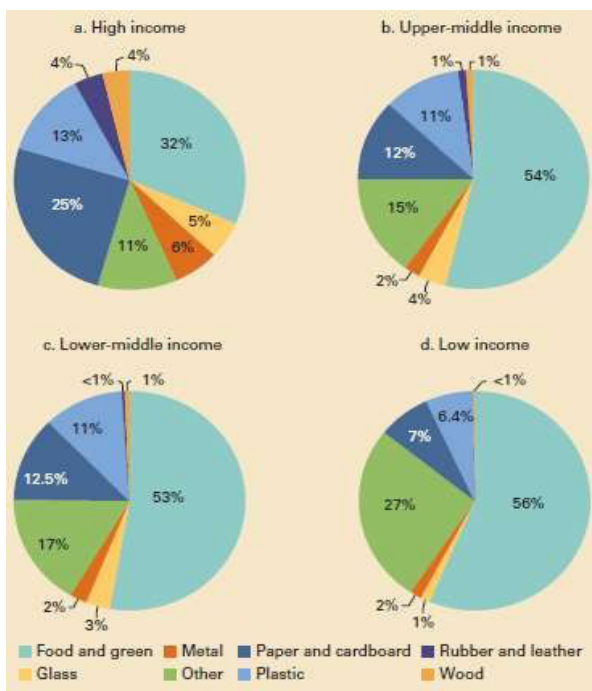


Figura 3. Composição dos RSU por nível de renda de países.

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).

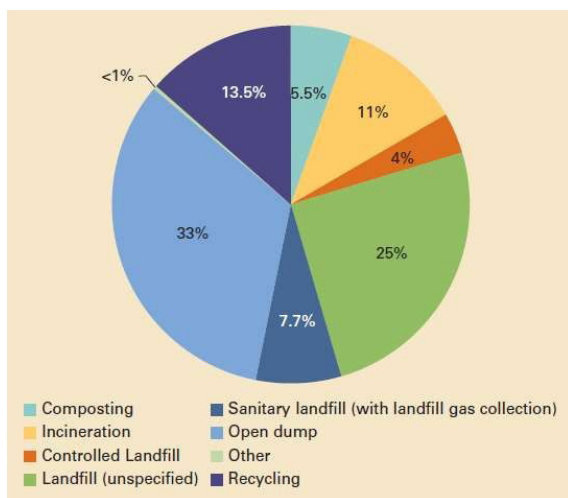


Figura 5. Formas de tratamento e disposição de resíduos no mundo.

Fonte: Banco Mundial (2018).

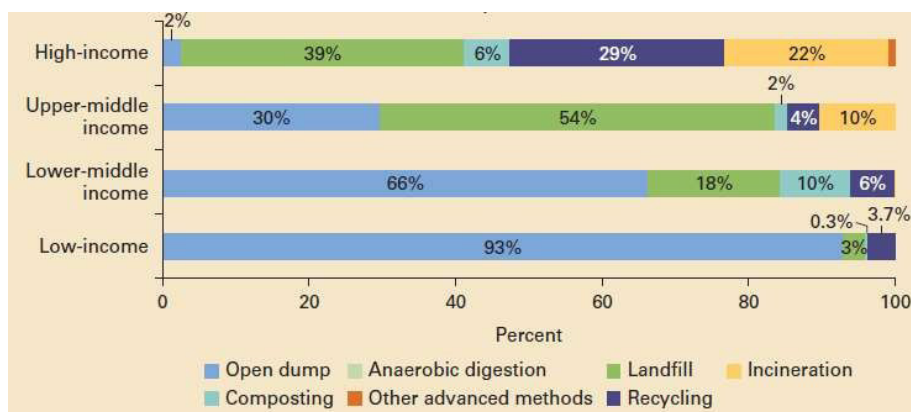


Figura 6. Métodos de tratamento e disposição por nível de renda de países.

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 O₂ inferior à quantidade estequiométrica da combustão completa (ou há ausência de O₂) 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 H₂ 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 O₂, gaseificação com vapor, hidrogênio e CO₂ (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 O₂ como agente gaseificador, as quantidades de H₂ e CO são incrementadas, o que provoca o aumento do PC do syngas (13.000 kJ/Nm³), 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_x, NO_x, 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 35m³, 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 CH₄ e 30-50% de CO₂) (PANIGRAHI; DUBEY, 2019). Um pós-tratamento do biogás, removendo elementos traços como oxigênio, nitrogênio, vapor de água e sulfeto de hidrogênio (H₂S), tóxico e responsável pela corrosão das estruturas metálicas de condução do gás, o transforma em biometano, com mais de 95% de CH₄ (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 CO₂, H₂O, 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⁻¹ (GUERRA et al., 2017) ou valores muito mais superiores (ordem de 30.000 mg.L⁻¹) 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 ³)	Calorífico (MJ/kg)	
RSU			5--10	Mukherjee (2019)
RDF			12--16	Mukherjee (2019); Evangelisti (2015)
Resíduo de poda			19.7	da Silva (2019)
Biogás	Digestão Anaeróbica Termofílica	8--14		Fan (2018)
	Digestão Anaeróbica Mesofílica	12--22		Fan (2018)
	Aterro Sanitário	18--19		Ofori-Boateng (2012)
Biometano	Digestão Anaeróbica	36--38		McManus (2019)
	Gaseificação por ar	4--6		Ofori-Boateng (2012)
	Gaseificação por O ₂	10--20		
Syngas	Gaseificação plasma por O ₂	13		Tavares (2019)
	Pirólise de RSU	5--15		Bosmans (2019)
	Pirólise de RDF	15--30		
Gás natural puro		38		Ofori-Boateng (2012)
Carvão			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 ³)	<0.00925	<0.0983	-	-			
Pegada de carbono (kg CO ₂ 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.

DIRETRIZES PARA OBTENÇÃO DE POTABILIDADE DIRETA ATRAVÉS DO REUSO DO ESGOTO

Data de aceite: 23/06/2021

Eduardo Antonio Maia Lins

Universidade Católica de Pernambuco
UNICAP
Instituto Federal de Pernambuco – IFPE
Campus Recife

Nayhara Araújo Augusto do Nascimento

Universidade Católica de Pernambuco

RESUMO: A escassez da água potável ou o seu encarecimento devido às dificuldades de obtenção em determinadas regiões colocou em pauta a discussão a respeito do reuso da água. As águas de qualidade inferior, tais como esgotos, devem, sempre que possível, serem consideradas como fontes alternativas para usos menos restritivos. O uso de tecnologias apropriadas para o desenvolvimento dessas fontes, se constitui hoje, em conjunção com a melhoria da eficiência do uso e o controle da demanda, na estratégia básica para a solução do problema da falta universal de água. Portanto, é de fundamental importância estudar o uso de tecnologias eficientes na produção de águas de reuso com elevado grau de pureza. Tomou-se como iniciativa os estudos no efluente tratado da unidade ETE Janga, para possíveis reusos diretos locais, bem como gerar alternativa paralela de abastecimento na localidade. Os parâmetros a serem analisados inicialmente para caracterização dos efluentes da ETE Janga e desenvolvimento de estudos para o reuso direto dos efluentes com intensões de abastecimento

serão a demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio, cloretos, coliformes termotolerantes, sólidos dissolvidos totais e sólidos suspensos totais. As análises realizadas para o período de 1 ano (agosto de 2017 a 2018) mostraram que a estação removeu valores máximos de 93,5% e mínimos de 81,7% para a DQO; máxima de 96,6% e mínima de 87,6% para DBO e 99,9% de coliformes termotolerantes em determinados meses, porém, em situação crítica, os padrões de lançamento superam casas de 106 UFC/mL, fato este que interfere no uso da água para reuso. O principal objetivo da desinfecção de esgotos é destruir os patogênicos entéricos, que podem estar presentes no efluente tratado, para tornar a água receptora segura para o uso posterior. Foi possível constatar que os métodos de desinfecção de lagoas de maturação, cloração, dióxido de cloro e ozonização apresentam empecilhos que os tornam obsoletos em relação a tecnologias mais recentes como a radiação UV.

PALAVRAS-CHAVE: Reuso, Esgoto, Eficiência.

ABSTRACT: The scarcity of drinking water or its increase due to the difficulties of obtaining it in certain regions brought up the discussion about the reuse of water. Lower quality waters, such as sewage, should, whenever possible, be considered as alternative sources for less restrictive uses. The use of appropriate technologies for the development of these sources, today constitutes, in conjunction with the improvement of the efficiency of the use and the control of the demand, in the basic strategy for the solution of the problem of the universal lack of water. Therefore, it is of fundamental importance

to study the use of efficient technologies in the production of reuse waters with a high degree of purity. It was taken as an initiative the studies in the treated effluent of the ETE Janga unit, for possible local direct reuse, as well as to generate a parallel alternative of supply in the locality. The parameters to be analyzed initially for the characterization of ETE Janga effluents and development of studies for the direct reuse of effluents with supply intensities will be the chemical oxygen demand, biochemical oxygen demand, chlorides, thermotolerant coliforms, total dissolved solids and suspended solids. totals. The analyzes carried out for the period of 1 year (August 2017 to 2018) showed that the station removed maximum values of 93.5% and minimum values of 81.7% for COD; maximum of 96.6% and minimum of 87.6% for BOD and 99.9% of thermotolerant coliforms in certain months; use of water for reuse. The main purpose of sewage disinfection is to destroy enteric pathogens, which may be present in the treated effluent, to make the receiving water safe for later use. It was possible to verify that the methods of disinfecting ponds of maturation, chlorination, chlorine dioxide and ozonation present obstacles that make them obsolete in relation to more recent technologies such as UV radiation.

KEYWORDS: Reuse, Sewage, Efficiency.

1 | INTRODUÇÃO

De acordo com Martins (2003) três quartos da superfície da Terra são cobertos por água, correspondendo a 354.200 Km do planeta, formados por oceanos, rios, lagos, pântanos, manguezais, geleiras e as calotas polares. Dos 1.386 milhões de Km³ de água apenas 2,5% desse total são de água doce, sendo que 68,9% estão na forma de geleira, significando que apenas 0,3% de toda água da Terra está acessível e pode ser consumida direto da natureza. A água, em estado líquido é componente essencial para os seres vivos, presente nos animais, nas plantas e no ser humano, como fluxos microscópicos. “A degradação da água tem efeitos dramáticos sobre a fauna, a flora e a saúde do homem. O desinteresse sobre a poluição da água favorece a contaminação alarmante dos lençóis subterrâneos, dos rios e das águas costeiras” (GEO MÚNDI, 2007).

A escassez da água potável ou o seu encarecimento devido às dificuldades de obtenção em determinadas regiões colocou em pauta a discussão a respeito do reuso da água. Ainda não existe uma legislação que regulamente os parâmetros para tratamento da água para reuso, onde o mercado adotou os critérios estabelecidos pela norma ABNT NBR 13.969 de setembro de 1997.

Sabendo que a água é um elemento imprescindível à vida, é necessário que se adotem medidas para garantir, tanto quanto possível, suas características químicas e biológicas, a fim de que seja própria para o consumo humano e animal. Esta água deve ser isenta de contaminantes, além de apresentar certos requisitos de ordem estética. Entre os contaminantes biológicos são citados os organismos patogênicos compreendendo bactérias, vírus, protozoários e helmintos, que veiculados pela água podem ser ingeridos e parasitar o organismo humano ou animal (BRANCO, 1974).

O conceito de “substituição de fontes” se mostra como a alternativa mais plausível para satisfazer a demandas menos restritivas, liberando as águas de melhor qualidade para usos mais nobres, como o abastecimento doméstico. Em 1985, o Conselho Econômico e Social das Nações Unidas, estabeleceu uma política de gestão para áreas carentes de recursos hídricos, que suporta este conceito: “a não ser que exista grande disponibilidade, nenhuma água de boa qualidade deve ser utilizada para usos que toleram águas de qualidade inferior”.

As águas de qualidade inferior, tais como esgotos, devem, sempre que possível, serem consideradas como fontes alternativas para usos menos restritivos. O uso de tecnologias apropriadas para o desenvolvimento dessas fontes, se constitui hoje, em conjunção com a melhoria da eficiência do uso e o controle da demanda, na estratégia básica para a solução do problema da falta universal de água.

Por exemplo, nas regiões áridas e semiáridas, a água se tornou um fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola, tendo em vista a ausência de chuvas e, portanto, a pouca disponibilidade de reservas de água doce. Planejadores e entidades gestoras de recursos hídricos, procuram, continuamente, novas fontes de recursos para complementar a pequena disponibilidade hídrica ainda disponível (HESPANHOL, 2002). Além disso, o esgotamento progressivo das reservas de água potável e/ou os altos custos de mobilização de novos mananciais, localizados a grandes distâncias dos centros consumidores, levou muitas empresas de saneamento básico a considerar tecnologias de filtração por membranas para reciclar águas residuárias (SCHNEIDER; TSUTIYA, 2001).

A qualidade da água utilizada e o objeto específico do reuso, estabelecerão os níveis de tratamento recomendados, os critérios de segurança a serem adotados e os custos de capital e de operação e manutenção associados. As possibilidades e formas potenciais de reuso dependem, evidentemente, de características, condições e fatores locais, tais como, disponibilidade técnica e fatores econômicos, sociais e culturais (HESPANHOL, 1990)

No que diz respeito ao reuso, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) considera que se constitui em prática de racionalização e de conservação de recursos hídricos, conforme princípios estabelecidos na Agenda 21, podendo tal prática ser utilizada como instrumento para regular a oferta e a demanda de recursos hídricos; além disso, reduz a descarga de poluentes em corpos receptores, conservando os recursos hídricos para o abastecimento público e outros usos mais exigentes quanto à qualidade, como também, diminui os custos associados à poluição, contribuindo para a proteção do meio ambiente e da saúde pública.

Portanto, é de fundamental importância estudar o uso de tecnologias eficientes na produção de águas de reuso com elevado grau de pureza. Este estudo tomou como iniciativa uma avaliação no efluente tratado da unidade ETE Janga, para possíveis reusos diretos locais, bem como gerar alternativa paralela de abastecimento na localidade.

2 | METODOLOGIA

2.1 Local de Estudo e Estrutura

A ETE Janga está situada na Avenida E, S/N Maranguape II – Paulista/PE, a margem do Rio Timbó, tendo sido construída no período de 1965 a 1967. A estação de tratamento recebe contribuições da bacia Janga, com uma área de 29m², abrangendo os seguintes bairros: Ouro Preto, Bairro Novo, Bom sucesso, Monte, Amaro Branco, Bultrins, Alto da Nação, Jd. Atlântico, Casa Caiada, Fragoso, Rio Doce, Jd. Maranguape, Maranguape I, Maranguape II, Alameda Paulista, Janga, Pau Amarelo, Engenho Maranguape, e Nossa Senhora da Conceição (Figura 1). Os esgotos são predominantemente de esgotos domésticos e sua população é de nível médio. Desta forma, a estação de tratamento recebe contribuição de vinte e três elevatórias de esgotos domésticos, situadas no município de Olinda e Paulista.

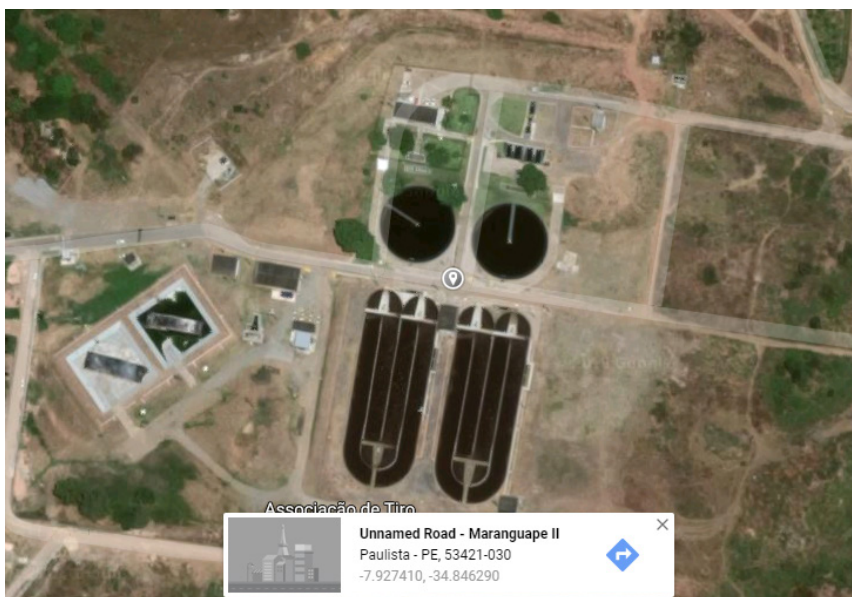


Figura 1: Estação de tratamento Janga.

Fonte: Google Maps (2020).

A estação de tratamento de Janga foi projetada para tratar 400l/s, com o atendimento de uma população de 160.000 habitantes, com contribuição orgânica de média 30,24g D.B.O./hab.dia, com carga orgânica total de 4838kg D.B.O./dia e 95% de eficiência na remoção de D.B.O na ETE.

O processo da estação de tratamento de Janga (Figura 2) é de lodo ativado por aeração prolongada, na qual são empregados tanques de aeração do tipo fluxo orbital (ou do

tipo carrossel), tratamento exclusivamente de natureza biológica, onde a matéria orgânica é depurada, por meio de colônias de microrganismos heterogêneos específicos, na presença de oxigênio (processo exclusivamente aeróbio). Essas colônias de microrganismos formam uma massa denominada de lodo (lodo ativo, ativado ou biológico).

As instalações encontradas na Estação de Tratamento de esgoto de Janga são compostas por:

- Calha parshall;
- Grades de barras;
- Caixa de areia;
- Caixa de distribuição dos valos de oxidação;
- Valos de oxidação;
- Decantadores secundários;
- Estação elétrica;
- Skids de lodo;
- Lagoas de desidratação;
- Elevatória do efluente líquido das lagoas de desidratação;
- Elevatória de recirculação de lodo.

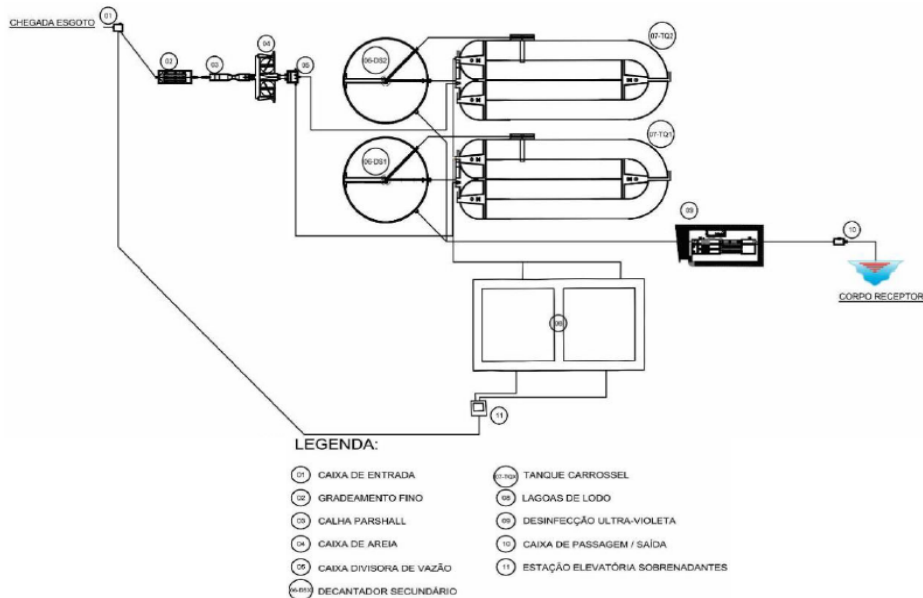


Figura 2: Fluxograma estação de tratamento Janga.

Fonte: BRK AMBIENTAL (2017).

O canal afluente com medidor de vazão tipo calha parshall está localizada no início, logo após a caixa de chegada das tubulações de recalque das elevatórias que contribuem para a estação de tratamento, a calha parshall tem como finalidade medir e indicar para o registrador as vazões instantâneas afluentes a ETE, bem como, indicar a totalização das vazões, sendo operada em queda livre, sem afogamento.

O sistema de gradeamento se compõe de 1 (uma) grade de barras, tendo como finalidade a remoção de sólidos grosseiros lançados indevidamente, nas instalações prediais e nos coletores de esgotos de rede pública, constituindo junto com as caixas de areia, as unidades do tratamento preliminar dos esgotos da estação de tratamento de esgoto de Janga.

As 2 (duas) caixas de areia ou desarenadores são iguais, tendo por finalidade reter e remover detritos minerais inertes e pesados, que se encontram nos esgotos (areia, entulhos, seixos, partículas de metal, etc.) de modo a evitar a abrasão nos equipamentos e nas tubulações, eliminando ou reduzindo a possibilidade de obstrução nas unidades de tratamento subsequentes, nos dispositivos de manobras, de transporte de esgotos e de lodo, bem como, evitar a deposição de areia em locais de baixa velocidade do fluxo.

Os 2 (dois) valos de oxidação são iguais, onde o esgoto é submetido a um processo de aeração onde ocorre a oxidação biológica promovendo o crescimento de flocos biológicos e conseqüentemente a redução da DBO (Demanda bioquímica de Oxigênio). O esgoto bruto é enviado ao tanque de aeração, contendo uma população microbiana, ao qual é fornecido um percentual de oxigênio, através de aeradores de fluxo orbital.

Os decantadores secundários são iguais, a biomassa floculada sedimenta deixando o líquido clarificado visualmente, livre de sólidos em suspensão, e subseqüentemente é descartado como esgoto tratado. Os novos microrganismos formados (lodo em excesso) que são produzidos no processo de lodos ativados podem ser removidos do compartimento de sedimentação de forma a manter a quantidade de lodo em um valor projetado. Esse lodo decantado pode ser descartado para um sistema de desaguamento ou retornado para os valos de oxidação, mantendo o nível de biomassa adequado para o processo, sendo fundamental para a tratabilidade do efluente.

As lagoas de desidratação de lodo, comportam 2 (dois) geobags, sistema de alta resistência para confinamento e desidratação de material com alto teor de umidade. Os geobags fazem parte de um processo de filtragem de lodo e separação dos resíduos sólidos, que depois de completamente drenados, ficam retidos e destinados para o aterro sanitário, com teor de sólidos de 30% a 35% de massa seca.

Além da desidratação de lodo nos geobags, a unidade possui dois SKIDS que fazem parte de um processo de centrifuga de lodo e separação dos resíduos sólidos, que auxiliam no volume de descarte diário da unidade.

2.2 Análises do efluente

Os esgotos domésticos contêm aproximadamente 99,9% de água. A fração restante inclui sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como microrganismos. Portanto, é devido a essa fração de 0,1% que há necessidade de se tratar os esgotos. A característica dos esgotos é em função dos usos à qual a água foi submetida. Esses usos, e a forma com que são exercidos, variam com o clima, situação social, econômica, e hábitos da população. No projeto de uma estação de tratamento, normalmente não se determina os diversos compostos dos quais a água residuária é constituída, pela dificuldade em se conhecer exatamente o efluente, já que este constante sofre alterações em função do que se deseja nele. Assim, é preferível a utilização de parâmetros indiretos que traduzam o caráter ou o potencial poluidor do despejo em questão. Tais parâmetros definem a qualidade do esgoto, podendo ser divididos em três categorias: parâmetros físicos, químicos e biológicos (VON SPERLING, 1995).

O tratamento dos esgotos sanitários antes de seu lançamento em qualquer corpo hídrico tem como objetivo: prevenir e reduzir a disseminação de doenças transmissíveis causadas pelos microrganismos patogênicos; conservar as fontes de abastecimento de água para uso doméstico, industrial e agrícola; manter as características da água necessária à piscicultura; fazer a manutenção das águas para banho e outros propósitos recreativos; preservar a fauna e a flora aquáticas.

Na unidade Janga (Figura 3), os seguintes parâmetros são fundamentais para a operação do processo de lodos ativados, e garantia de 90 a 95% de eficiência em remoção de carga orgânica.

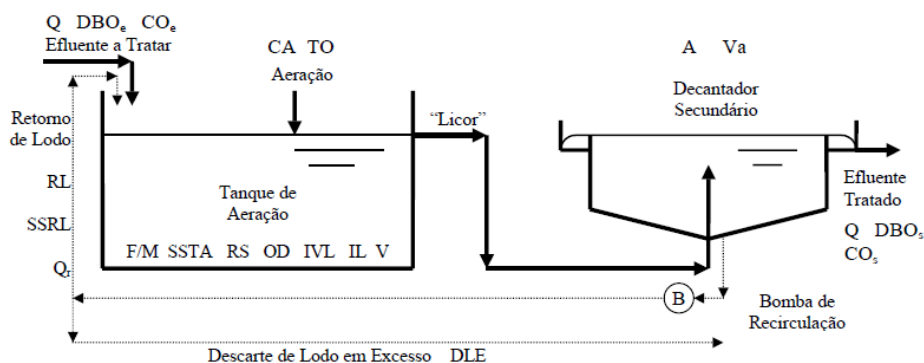


Figura 3 – Fluxograma do sistema de lodo ativado.

Fonte: Os autores.

Os parâmetros a serem analisados inicialmente para caracterização dos efluentes da ETE Janga e desenvolvimento de estudos para o reuso direto dos efluentes com intensões

de abastecimento serão a demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio, cloretos, coliformes termotolerantes, sólidos dissolvidos totais e sólidos suspensos totais.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Eficiência do Sistema de Tratamento de Esgoto

Para a implantação deste projeto, analisou-se os efluentes na entrada e saída da estação, pelo período de 1 (um) ano com coletas e análises mensais, constatando assim que o efluente da estação é ideal para essa atividade, pois necessitaria de pequenas adequações posteriores ao tratamento convencional para adequação a potabilidade esperada. As análises de entrada e saída da ETE Janga estão ilustradas nas Figuras 4 a 9.

As análises realizadas para o período de 1 ano (agosto de 2017 a 2018) mostraram que a estação removeu valores máximos de 93,5% e mínimos de 81,7% para a DQO (Figura 4); máxima de 96,6% e mínima de 87,6% para DBO (Figura 5) e 99,9% de coliformes termotolerantes em determinados meses, porém, em situação crítica, os padrões de lançamento superam casas de 106 UFC/mL (Figura 6), fato este que interfere no uso da água para reuso. O principal objetivo da desinfecção de esgotos é destruir os patogênicos entéricos, que podem estar presentes no efluente tratado, para tornar a água receptora segura para o uso posterior.

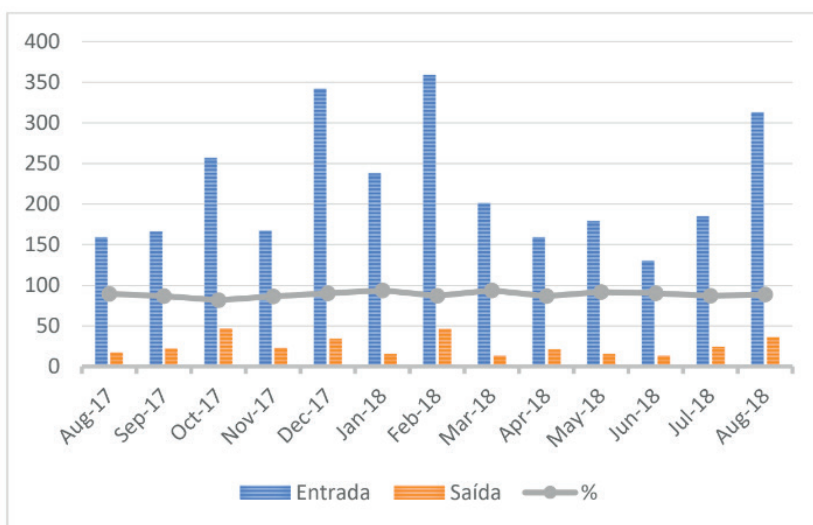


Figura 4: Análise da DQO na Entrada e Saída do Sistema.

Fonte: Os autores.

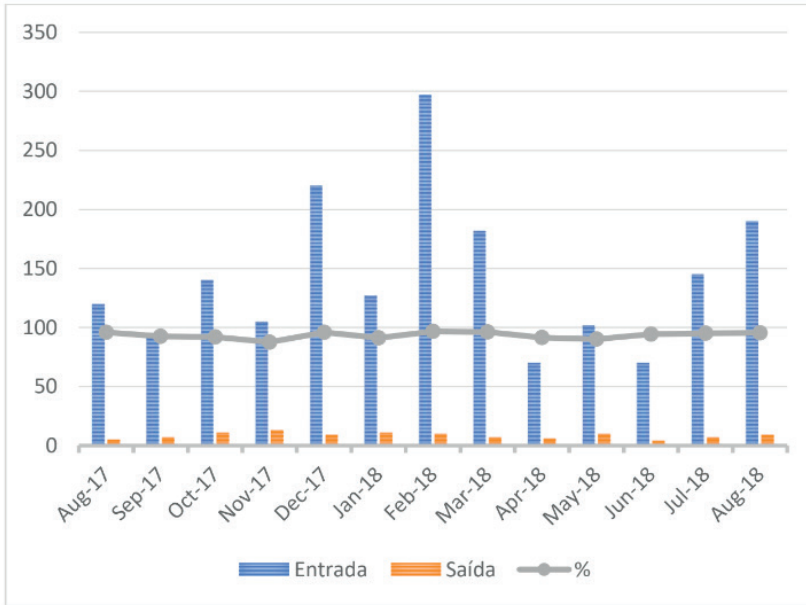


Figura 5: Análise da DBO na Entrada e Saída do Sistema.

Fonte: Os autores.

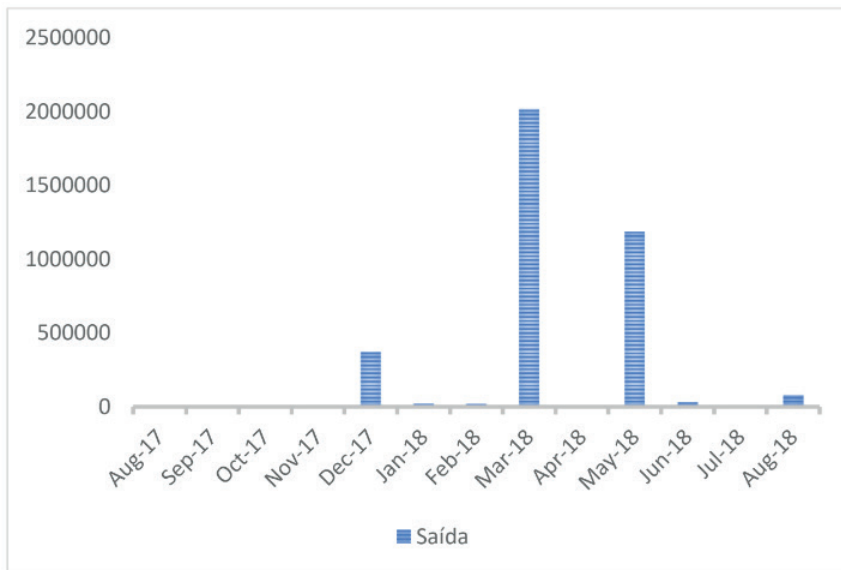


Figura 6: Análise dos Coliformes Termotolerantes na Saída do Sistema.

Fonte: Os autores.

As concentrações de sólidos em suspensão são medidas importantes no controle de decantadores e outras unidades de separação de sólidos. Constituem parâmetro utilizado em análises de balanço de massa. O excesso de sólidos dissolvidos pode levar a graves

problemas de salinização do solo. A presença de sólidos dissolvidos relaciona-se também com a condutividade elétrica da água.

Deve-se salientar que a determinação das frações de sólidos é muito mais recomendada para águas fortemente poluídas e esgotos do que para águas limpas. Pouco são usadas nas estações de tratamento de água para abastecimento público, exceto as mais modernas que recuperam águas de lavagem de filtros e tratam e destinam adequadamente os lodos separados nos decantadores.

De acordo com as Figuras 7 e 8, observa-se altos valores de sólidos dissolvidos e suspensos na entrada da estação tendo uma remoção bem eficiente em sua saída baseado em sistemas físicos de decantação. Porém, para alguns meses os sólidos dissolvidos encontram-se altos e acima dos padrões de entrada, fato este que pode ser justificado pela necessidade de manutenção de algumas etapas físicas e químicas.

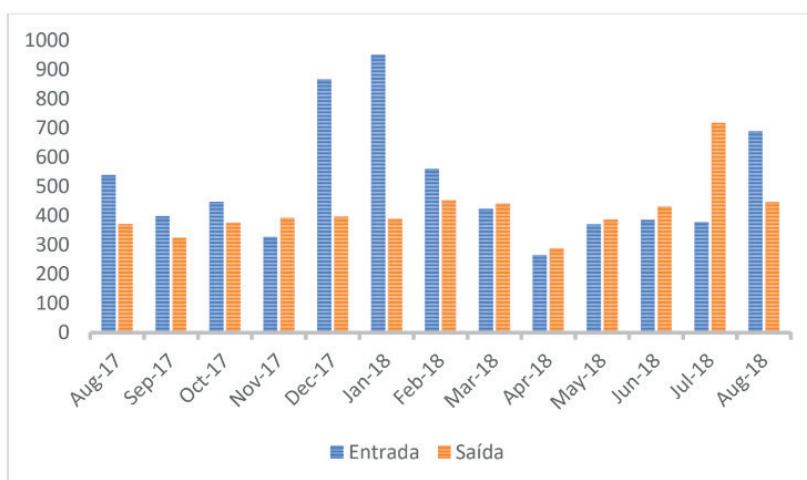


Figura 7: Análise dos Sólidos Dissolvidos Totais na Entrada e Saída do Sistema.

Fonte: Os autores.

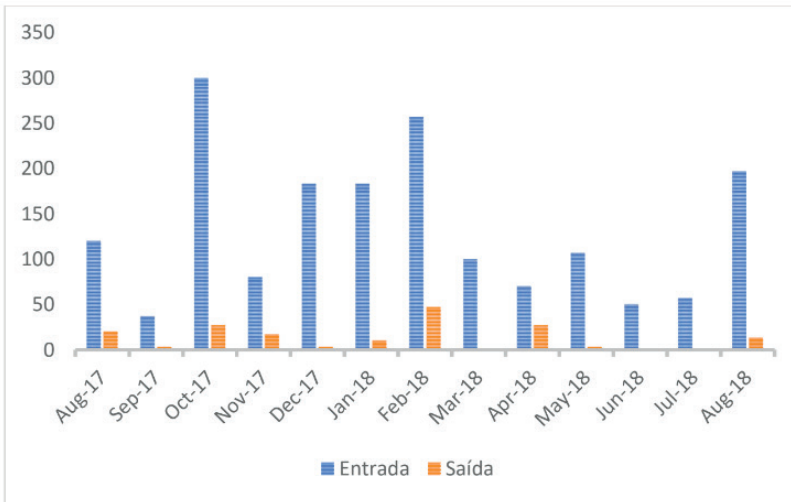


Figura 8: Análise dos Sólidos Suspensos Totais na Entrada e Saída do Sistema.

Fonte: Os autores.

Para as águas de abastecimento público, a concentração de cloreto constitui-se em padrão de potabilidade, segundo a Portaria 1.469 do Ministério da Saúde. O cloreto provoca sabor “salgado” na água, sendo o cloreto de sódio o mais restritivo por provocar sabor em concentrações da ordem de 250 mg/L, valor este que é tomado como padrão de potabilidade (CETESB, 2010). O cloreto apresenta também influência nas características dos ecossistemas aquáticos naturais, por provocarem alterações na pressão osmótica em células de microrganismos (SPERLING, 2005). A Figura 9 apresenta baixos valores de cloreto em sua saída, significando que o sistema é eficiente para este parâmetro. Observou-se na entrada da estação para os meses de dezembro e janeiro altos valores na entrada da estação.

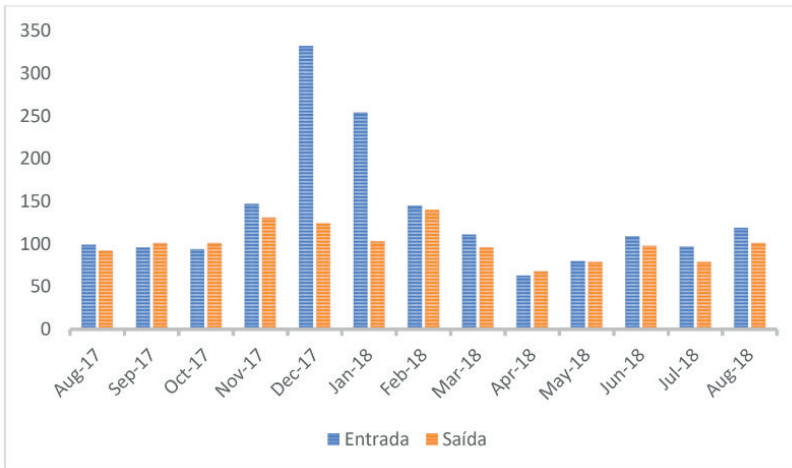


Figura 9: Análise do Cloreto na Entrada e Saída do Sistema.

Fonte: Os autores.

De um modo geral sabe-se que o risco de contaminação está relacionado ao fato de que os esgotos contêm uma série de organismos patogênicos que são excretados juntamente com as fezes de indivíduos infectados. Até mesmo os esgotos tratados em processos convencionais, como reatores anaeróbios, lodos ativados, filtros biológicos etc., podem contaminar fontes de água para abastecimento público, uso recreacional, irrigação de culturas, dessedentação de animais etc. Isso acontece porque os processos de tratamento de esgotos não são suficientemente eficientes na remoção de microrganismos patogênicos. Nesse sentido a desinfecção dos esgotos deve ser considerada quando se pretende reduzir os riscos de transmissão de doenças infecciosas, quando a probabilidade de ocorrer o contato humano, direto ou indireto, com as águas contaminadas (CHERNICHARO et al, 1999).

Os organismos patogênicos de maior preocupação, quando o homem é exposto a ambientes contaminados com esgotos são as bactérias e os vírus entéricos, além dos parasitas intestinais. Uma grande variedade destes organismos está sempre presente em todos os esgotos de origem doméstica, sendo que a sua transmissão para o homem pode ocorrer das seguintes formas:

- Ingestão direta de água não tratada.
- Ingestão direta de água tratada. Nesse caso, pressupõe-se alguma falha no sistema de tratamento ou de distribuição de água.
- Ingestão de alimentos infectados com patógenos presentes em águas contaminadas.
- Penetração resultante do contato da pele com a água contaminada.

3.2 Necessidade da Desinfecção dos Efluentes Tratados

Com o conhecimento adquirido das eficiências de tratamento da unidade ETE JANGA, bem como características de remoção de nutrientes e patógenos, faz-se necessário buscas por tecnologias adequadas que enquadrem o efluente final para torná-lo potável e garantir o abastecimento de forma segura. Sabendo que, o processo de desinfecção de esgotos é uma prática que busca inativar seletivamente espécies de organismos, principalmente aquelas que ameaçam a saúde humana, observando os padrões de qualidade estabelecidos para diferentes situações (GONÇALVES et al. 2003).

Gonçalves et al. (2003), afirma que a transmissão dos patógenos pode ser facilitada pelos seguintes fatores: alta carga excretada; baixa dose infectante; baixa imunidade; sobrevivência prolongada no meio ambiente; inexistência de período de latência no meio ambiente; existência de reservatório animal; inexistência de hospedeiros intermediários; resistência aos processos de tratamento de água e esgotos; múltiplos modos de transmissão.

A desinfecção refere-se a destruição seletiva desses organismos causadores de doenças, sem que seja necessária a eliminação de todos os organismos. É usualmente conseguida pelo uso de agentes químicos e físicos; meios mecânicos e radiação. Existem quatro mecanismos propostos para explicar a ação dos desinfetantes: danificação da parede celular; alteração da permeabilidade da célula; alteração da natureza coloidal do protoplasma e inibição da atividade enzimática. (METCALF & EDDY, 1991). Segundo METCALF & EDDY (1991), para se conseguir uma desinfecção efetiva, os seguintes fatores principais devem ser considerados: tempo de contato, concentração, tipo, intensidade e natureza dos agentes químico e físico, temperatura, número e tipo de microrganismos e natureza do líquido.

Há muitos fatores que influenciam na eficiência da desinfecção, destacando-se as características físicas, químicas e biológicas da água a ser desinfetada, o tipo e dosagem do desinfetante e o tempo de contato. Portanto para cada tipo de efluente há um agente que melhor se adapta para o seu tratamento.

A desinfecção de esgotos sanitários não visa à eliminação total de microrganismos (esterilização), conforme ocorre na medicina e na indústria de alimentos. Desinfetar esgotos é uma prática que busca inativar seletivamente espécies de organismos presentes no esgoto sanitário, em especial aquelas que ameaçam a saúde humana, em consonância com os padrões de qualidade estabelecidos para diferentes situações. Os mecanismos envolvidos na desinfecção dos organismos patogênicos podem ser reunidos em grupos (DANIEL, 2001):

- a) Destruição ou danificação da parede celular, do citoplasma ou do núcleo celular. O agente desinfetante atua sobre os componentes dessas estruturas celulares, impedindo que desenvolvam suas funções elementares adequadamente.
- b) Alteração de importantes compostos envolvidos no catabolismo, como enzimas e

seus substratos, alterando o balanço de energia na célula.

c) Alteração nos processos de síntese e crescimento celular, mediante alteração de funções como a síntese de proteínas, de ácidos nucléicos e coenzimas.

A desinfecção pode, segundo Gonçalves et al. (2003), ser realizada por meio de processos artificiais ou naturais, sendo que ambos utilizam, isoladamente ou de forma combinada, agentes físicos e químicos para inativar os organismos. Os processos artificiais envolvem a cloração e/ou descloração, ozonização, radiação ultravioleta (UV) e outros desinfetantes alternativos como o permanganato de potássio, as cloraminas, o ácido peracético etc. Já a desinfecção natural é realizada por meio de lagoas de estabilização ou disposição controlada no solo. Esses processos podem ser visualizados de forma simplificada com o esquema abaixo.

Ainda de acordo com Gonçalves et al. (2003), tanto os processos artificiais como os naturais utilizam, isoladamente ou de forma combinada, agentes físicos e químicos para inativar os organismos-alvo. No caso dos processos naturais, há, ainda, o concurso de agentes biológicos na inativação de patógenos.

Entre os agentes físicos pode-se citar a transferência de calor (aquecimento ou incineração), as radiações ionizantes, a radiação UV e a filtração em membranas. O aquecimento é uma técnica reconhecidamente eficiente na desinfecção de águas, mas não encontra aplicação prática no tratamento de esgotos, por ser extremamente antieconômica até mesmo em pequena escala.



Figura 10. Processos de desinfecção.

Fonte: Gonçalves et al. (2003).

As radiações ionizantes do tipo gama, também em função dos custos envolvidos, restringem-se a aplicações de pequena escala. No tocante à radiação ultravioleta, suas aplicações experimentam aceitação crescente, tanto pela técnica de solarização, que

utiliza a luz solar para a potabilização de águas em pequena escala, quanto por reatores que geram artificialmente a radiação ultravioleta.

A filtração em membranas já integra o fluxograma de algumas estações de tratamento de esgotos e experimenta crescente aplicação devido à redução de preço das membranas. A desinfecção química é realizada pela aplicação de compostos do grupo fenólico, álcoois, halogênios e metais pesados. Os agentes químicos mais utilizados na desinfecção de esgotos são cloro, dióxido de cloro e ozônio.

Nos processos naturais, além dos agentes químicos e físicos naturalmente presentes, a ação de predação ou competição de outros organismos resulta na inativação de patógenos. O desempenho de determinado processo de desinfecção depende diretamente da resistência específica dos diferentes organismos patogênicos ao agente desinfetante (cinética de decaimento), bem como da maneira pela qual ocorre o escoamento do líquido em seu interior (comportamento hidrodinâmico). No que se refere ao primeiro aspecto, sabe-se que os organismos presentes no esgoto possuem sensibilidades diferentes à qualidade (tipo) e à quantidade (dose) dos diversos agentes desinfetantes. Mesmo que determinado produto desinfetante seja fornecido em quantidade suficiente à inativação de determinada espécie de organismo, é fundamental que o contato entre o desinfetante e os organismos ocorra de forma adequada.

Como nível de qualidade para águas destinadas ao abastecimento, foram adotados os estipulados pela CONAMA nº 357 (2005) e MS 2914 (2011), referentes aos procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, bem como o índice de qualidade das águas (IQA). O IQA foi desenvolvido para avaliar a qualidade da água bruta visando seu uso para o abastecimento público, após tratamento. Os parâmetros utilizados no cálculo do IQA são em sua maioria indicadores de contaminação causada pelo lançamento de esgotos domésticos. Os parâmetros de maior relevância estão apresentados na tabela 1.

As águas doces de classe 1 observarão as seguintes condições e padrões	
Materiais flutuantes	Virtualmente ausentes
Óleos e graxas	Virtualmente ausentes
Substâncias que comuniquem gosto ou odor	Virtualmente ausentes
Corantes provenientes de fontes antrópicas	Virtualmente ausentes
Resíduos sólidos objetáveis	Virtualmente ausentes
Coliformes termotolerantes	200 NMP/100ml
Demanda bioquímica de oxigênio	3 mg/L O ₂ ;
Oxigênio dissolvido	Não inferior a 6 mg/L O ₂
Turbidez	40 UNT
pH	6,0 a 9,0

Tabela 1. Parâmetros para as águas de classe 1.

Fonte: Adaptado do CONAMA, 2005.

Para ser possível o reuso de efluentes sanitários estes devem se enquadrar aos padrões contidos na Tabela 1. Dessa forma, é necessário que os despejos de origem doméstica sejam encaminhados para estação de tratamento. A literatura mostra que o tratamento convencional é eficaz na remoção de sólidos grosseiros e areia, além do material flutuante. Quanto ao material orgânico, a Tabela 2 mostra o resultado esperado para o efluente tratado por um sistema de lodos ativados para alguns parâmetros regulados pela CONAMA, incluindo matéria orgânica (DBO₅).

Parâmetros	Efluente Bruto	Efluente Tratado	Níveis CONAMA n°357/05	Atende a norma?
DBO5	190 mg/L de O2	9 mg/L de O2	3,00 mg/L de O2	NÃO
OD	-	3,95 mg/L de O2	6 mg/L O2	SIM
Nitrogênio amoniacal total (para pH ≤ 7,5)	26,43 mg/L de N	2,63 mg/L de N	3,70 mg/L de N	SIM
Nitrato	1,0 mg/L de N	2,2 mg/L de N	10,0 mg/L de N	SIM
Fósforo total			0,02 mg/L de P	

Tabela 2. Valores do efluente sanitário tratado por sistema de lodos ativados operados em fluxo contínuos.

Fonte: BRK AMBIENTAL (2018).

A Tabela 3 compara o desempenho de remoção de microrganismos em sistemas de lodos ativados e biofiltros, compreendendo a etapa final do tratamento convencional. É possível observar que os desempenhos dos dois sistemas são virtualmente iguais.

Microorganismos Patogênicos	Lodos ativados	Biofiltros
Vírus	90-99	90-99
Bactérias	90-99	90-99
Cistos de Protozoários	50	50
Ovos de Helmintos	50-99	50-99

Tabela 3. Porcentagem de remoção de microrganismos patogênicos em efluente sanitário tratado por sistema de lodos ativados e biofiltros.

Fonte: Adaptado de Jordão & Pessoa, 2014.

Como pode ser observado nas Tabelas 2 e 3, o tratamento convencional remove grande parte do material orgânico, além de substâncias nutrientes como fósforo e nitrogênio presentes nos despejos de origem doméstica. Entretanto, alguns parâmetros não atingem os níveis determinados pelas normas vigentes para abastecimento, sendo os mais significativos os microbiológicos. Observa-se que cistos de protozoários e ovos de helmintos podem apresentar porcentagens de eliminação de apenas 50%, representando

risco a saúde aos usuários e consumidores da água. Assim, é comprovada a necessidade de tratamento adicional de desinfecção para adequação dos efluentes sanitários ao abastecimento público. Dentre os métodos de inativação de patógenos abordados neste trabalho estão descritos: os naturais (lagoas de maturação) e os artificiais (uso de cloro, dióxido de cloro, ozônio e radiação UV).

A viabilidade da utilização dos processos supracitados deve ser comprovada pelo atendimento aos requisitos listados a seguir:

- Não necessitar de grandes áreas para implementação do método, de forma que possa ser aplicado em estações de tratamento de diferentes tamanhos;
- Não ser tóxico ou potencialmente inflamável, evitando risco à saúde dos trabalhadores da estação de tratamento;
- Não ser quimicamente instável, garantindo períodos longos para decomposição;
- Não produzir subprodutos que apresentem toxicidade a saúde humana;
- Produzir residual não tóxico a saúde humana e de fácil detecção, permitindo a análise da concentração do composto no efluente após a saída da estação de tratamento;
- Possuir forte potencial oxidante, podendo ser utilizado na oxidação da matéria orgânica e inorgânica presente nos efluentes sanitários. Representando uma forma de redução na concentração de nutrientes, desejada nos efluentes destinados à irrigação agrícola;
- Possuir alta eficiência na eliminação de patógenos, reduzindo os níveis destes microrganismos aos recomendados pela norma;
- Não necessitar de longo tempo de contato para inativação de microrganismos patogênicos;
- Não ter seu poder desinfetante afetado por fatores como: variações climáticas, mudanças de pH e temperatura, além da concentração de sólidos dissolvidos totais ou turbidez no efluente a ser tratado;

Com base nas características citadas, é possível estabelecer vantagens e desvantagens para cada técnica de desinfecção.

3.3 Possível Desinfecção de Efluentes por Ultravioleta

A Estação de Tratamento de Esgotos Janga, é composta por um sistema de lodos ativados, do tipo aeração prolongada. O efluente tratado apresenta boas características físico-químicas para ser desinfetado pelo sistema de ultravioleta. O uso de água residuária doméstica após tratamento adequado constitui um potencial recurso de água que pode ser de grande interesse para diversos setores, tais como a agricultura, especialmente em países que sofrem devido à deficiência de recursos hídricos (OPPENHEIMER et al, 1993).

Os processos convencionais de tratamento de esgotos (pré-tratamento, tratamento primário e secundário) alcançam uma remoção satisfatória de carga orgânica (sólidos suspensos, DBO e DQO) mas mostram-se ineficientes na remoção de microrganismos patogênicos. A desinfecção por meio da radiação ultravioleta é bastante antiga, porém, somente a partir da década de quarenta é que se tem notícia de sua aplicação para desinfecção de águas destinadas ao consumo humano (DI BERNARDO, 1993).

De acordo com BLATCHLEY et al., (1996) é considerada uma alternativa viável comparando-a com a desinfecção química, porque é isenta de subprodutos tóxicos, os quais geralmente são produzidos durante a desinfecção química. Também é caracterizada pelo curto tempo de contato e uma melhor ação antiviral em relação a outros desinfetantes.

Vários fatores, tais como o revestimento e o envelhecimento da lâmpada, a turbidez da água, a concentração de sólidos suspensos e microrganismos, e a densidade do fluido afetam a eficiência da irradiação ultravioleta (GIESE e DARBY, 2000). Um dos principais e a turbidez, que é causada por material suspenso tal como partículas pequenas (por exemplo, de matéria orgânica), matéria fecal, ou coloides (partículas de argila). Estas podem refletir ou absorver a radiação (UV) ultravioleta, diminuindo a eficácia da desinfecção UV. Além disso, os coloides particularmente, servem como abrigo para microrganismos, protegendo os dos desinfetantes UV e químicos (BURCH, 1998).

Recomenda-se para que haja uma desinfecção eficiente, a qualidade físico-química da água deve permitir uma transmissão de no mínimo 50% da radiação UV. A eficiência também depende da dose de UV e do estado de agregação das bactérias.

A energia específica necessária para alcançar a destruição total ou parcial dos microrganismos varia de acordo com a qualidade físico-química da água a ser tratada e da sensibilidade dos organismos à radiação UV. A resistência dos microrganismos a radiação ultravioleta varia bastante. Os microrganismos têm sido classificados na seguinte ordem de crescente resistência a desinfecção: Bactéria < vírus < fungos < esporos < cistos. A razão da maior resistência dos cistos à desinfecção está no fato destes possuírem uma cápsula resistente, que serve de proteção contra agentes químicos ou físicos (BURCH, 1998). Sabe-se também que os vírus e os esporos de bactérias são muito mais resistentes aos efeitos da radiação UV do que as bactérias do grupo coliforme.

Craik et al, (2000), relataram que vírus, esporos bacterianos e cistos de ameba requerem doses UV de quatro, nove e quinze vezes maiores, respectivamente, para se conseguir o mesmo nível de inativação que *Escherichia coli*. Tem-se relatado que protozoários encistados também são insensíveis a UV. Embora o *Cryptosporidium* encistado tenha se mostrado sensível à radiação UV. Alguns autores apresentam que a principal desvantagem da desinfecção UV encontra-se na habilidade dos microrganismos tratados por uma dose UV sub-letal em reparar os danos causados a seu DNA (LINDENAUER & DARBY, 1998).

Um interessante fenômeno é a reversibilidade do dano causado ao DNA dos

microrganismos, principalmente nas bactérias. Dois mecanismos são conhecidos: a recuperação no escuro e por fotorreativação enzimática (RODRIGUEZ et al., 2014).

Reparo no escuro: Consiste na ação de uma enzima específica que possibilita a retirada dos dímeros formados pela radiação UV (SANZ et al., 2007; RODRIGUEZ et al., 2014). Porém, de acordo com Sinha et al. (2002), este método é lento em comparação a fotorreativação enzimática.

Fotorreativação Enzimática: A enzima fotoliase se liga ao dímero formado pela radiação UV. Com a presença de luz, a enzima absorve a energia necessária para desfazer a dimerização, gerando o monômero de piridina original e recuperando a fita de DNA (SOUZA, 2011), como ilustrado na figura abaixo:

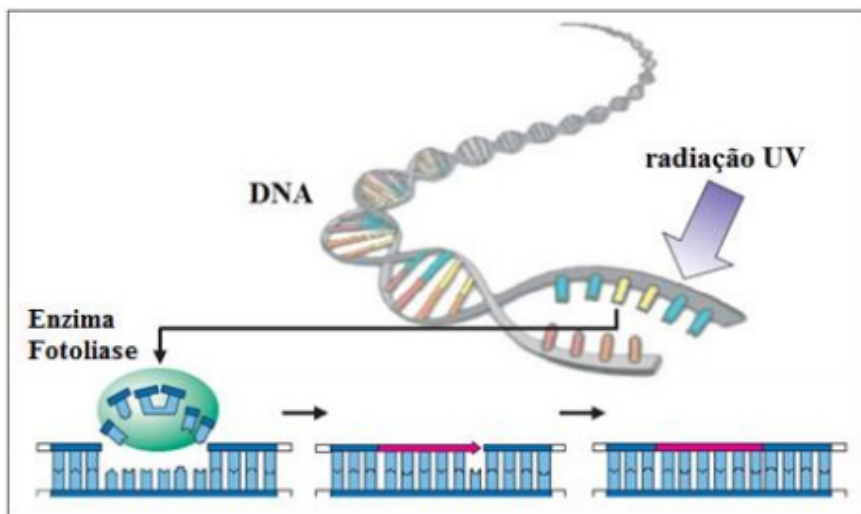


Figura 11. Mecanismo de fotorreparação de DNA.

Fonte: Adaptado de Watson (2008).

Vale ressaltar que tais processos constituem um obstáculo para o alcance de níveis de desinfecção aceitos (HALLMICH et al., 2010) e são considerados uma desvantagem da técnica de radiação UV (GUO et al., 2011). Dessa forma, a dose correta de energia emitida é uma variável importante para garantir a inativação permanente de patógenos. A figura a seguir apresenta doses de UV para 100% de inativação de diversos organismos patogênicos.

	Microorganismos	Dosagem ($\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$) para 100% de inativação
Bactérias	<i>Escherichia coli (E. coli)</i>	6600
	<i>Vibrio cholerae</i>	6500
	<i>Leptospira interrogans</i>	6000
Vírus	<i>Influenza</i>	6600
	<i>Rotavirus</i>	24000
	<i>Hepatitis vírus</i>	8000
Protozoários	<i>Giardia lamblia</i>	63000(**)
	<i>Nematode eggs</i>	92000
	<i>Chlorella vulgaris</i>	22000

(*) Inativação de 99,99%

(**) Inativação de 90,00%.

Figura 12. Dosagem da radiação UV necessária para eficiência de 100% de inativação de diferentes patógenos.

Fonte: Di Bernardo et al. (2005).

Mas, segundo estudos realizados por DANIEL (1993), a reparação dos microrganismos pela de fotorreativação, dificilmente ultrapassa uma casa logarítmica, enquanto a inativação pode atingir de três a quatro casas logarítmicas. Quanto aos mecanismos com que os microrganismos patogênicos são eliminados, SINTON et al. (1994) e SINHA et al. (2002) relataram que a radiação UV é majoritariamente absorvida pelos ácidos nucleicos, podendo levar ao rompimento de ligações não saturadas, como bases nitrogenadas pirimídicas. Assim, há interrupção de funções metabólicas essenciais, como a replicação do DNA, impossibilitando a reprodução e propagação dos patógenos (RODRIGUEZ et al., 2014).

Sabe-se que quanto maior o tempo de incidência da radiação UV na bactéria, maior será o volume de bases alteradas, (ZIOILLI et al., 2000) tal modificação ocorre pela absorção da radiação UV por bases nitrogenadas adjacentes, resultando na formação de dímeros como: citosina-citosina e timina-timina (TROPPEL, 2012). Os dímeros gerados não conseguem se acomodar a dupla hélice, prejudicando a replicação da fita de DNA e culminando na morte do microorganismo. Em resumo, na tabela estão representadas as principais vantagens e desvantagens do uso do UV.

Pelo exposto na Tabela 4, pode-se realizar uma comparação da eficiência da tecnologia através da relação entre potencial biocida associado a reduzido tempo de contato e a menor formação possível de subprodutos e/ou residuais tóxicos à saúde humana.

Uma comparação entre o uso de ozônio e a radiação UV evidencia a superioridade do último método. Apesar de a ozonização atender aos itens previamente estabelecidos para tornar eficiente uma tecnologia quanto ao enquadramento de efluentes sanitários às normas vigentes para abastecimento, a radiação UV apresenta vantagens adicionais que tornam esta tecnologia mais recomendada.

Radiação UV

Vantagens	Desvantagens
Não necessita de áreas grandes para implementação quando comparado aos processos de lagoas de maturação ou cloração	O potencial desinfetante deste processo é reduzido caso o efluente possua elevada concentração de sólidos dissolvidos totais e turbidez
Não faz uso de agentes químicos. Logo não há restrições em relação à toxicidade, instabilidade química, geração de subprodutos ou residuais tóxicos à saúde humana	A baixa dosagem pode não inativar efetivamente alguns microorganismos. Estes, através de mecanismos conhecidos como fotoreativação enzimática ou reparo no escuro, conseguem reverter à ação da radiação UV
Não necessita de transporte ou armazenamento de produtos tóxicos a saúde humana.	
Os fotorreatores são de fácil utilização para operadores	
Não gera residual ou subprodutos.	
Possui poder biocida superior ao do ozônio	
Necessita de pequenos tempos de contato em relação ao ozônio, na ordem de 20 a 30 segundos	

Tabela 4. Vantagens e desvantagens da radiação UV.

4 | CONCLUSÕES

Baseado nas informações apresentadas neste trabalho foi possível constatar que os métodos de desinfecção de lagoas de maturação, cloração, dióxido de cloro e ozonização apresentam empecilhos que os tornam obsoletos em relação a tecnologias mais recentes como a radiação UV.

Importante ressaltar que a radiação UV também possui aspectos desfavoráveis, apesar de menos relevantes para inviabilizar tal tecnologia. A ETE JANGA deverá possuir um sistema de controle que possibilite a aplicação de dosagem letal de radiação UV, a fim de evitar o fenômeno de auto reparação dos patógenos. Entretanto, o principal desafio para eficiência deste método é alteração do poder biocida pela presença de sólidos dissolvidos e turbidez no meio líquido, razão pela qual o controle no tratamento convencional deve permanecer apresentando resultados eficientes destes parâmetros.

Quanto às vantagens, a radiação UV possui elevado potencial de inativação dos principais patógenos encontrados nos efluentes sanitários. Ademais, não produz subprodutos e/ ou residuais, além de demandar tempos de contato mínimos (na ordem de segundos) quando comparados às tecnologias de lagoas de maturação, cloração, dióxido de cloro e ozonização. Dessa forma, desconsiderando o aspecto econômico não avaliado neste trabalho, podemos concluir a superioridade do método de radiação UV para o enquadramento dos esgotos domésticos às normas vigentes para o reuso e potabilidade.

REFERÊNCIAS

1. ALMEIDA, E. et al. Tratamento de efluentes industriais por processos oxidativos na presença de ozônio. **Química Nova**, São Paulo, v. 27, n. 5, set./out. 2004.
2. BASSANI, L.; et al. **Utilização de ozônio na desinfecção de efluentes sanitários**. In: **XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental**, 2002, Cancún. Anais do XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. v. 1.
3. BLATCHLEY III E.R. Numerical Modelling of uv intensity: application to colimated-beam reactos and continuous-flow systems. **Water Research**, v. 31, n. 9, p. 2205 – 2218, 1997.
4. BLATCHLEY III E.R. et al. Ultraviolet irradiation and chlorination/dechlorination for municipal wastewater disinfection: Assessment of performance limitations. **Water Environment Research**, v. 68, n. 2, p. 194-204, 1996.
5. BURCH J.; THOMAS, K. Water disinfection for developing countries and potential for solar thermal pasteurizarion. **Solar Energy**, v. 64, n. 1-3, p. 87-97, 1998.
6. CRAIK S. et al. Inactivation or giardia muris cysts using medium-pressure ultraviolet radiation in filtered drinking water. **Water Research**, v. 34, n. 18, p. 4325-4332, 2000.
7. CHERNICHARO, C. A. L. et al. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por sistemas de desinfecção**. In: **Pós-tratamento de efluentes anaeróbios**. Belo Horizonte: PROSAB/FINEP, 2001.
8. DANIEL, L. A. (Coord.). **Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável**. São Carlos: RiMa/ABES, 2001. p. 35.
9. DI BERNARDO, **Métodos e técnicas de tratamento de água**. Rio de Janeiro: ABES,1993. v. 2.
10. DI BERNARDO, L., DI BERNARDO, A.; **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2ª ed, São Carlos-SP , 2005. 792p
11. GIESE, N.; DARBY, J. Sensitivity of organisms to diferent wavelengths of uv light: Implications on modeling of medium pressure uv systems. **Water Research**, v. 34, n. 16, p. 4007-4013, 2000.
12. GONÇALVES, R. F. (Coord.) **Desinfecção de efluentes sanitários**. Rio de Janeiro: ABES/RiMa, 2003. 438 p.
13. GUO, M., HUANG, J.J., HU, H.Y., LIU, W.J.; Growth and Repair Potential of Three Species of Bacteria in Reclaimed Wastewater after UV Disinfection. **Biomedical and Environmental Sciences**, v. 24, I.4, 2011.
14. HALLMICH, C., GEHR, R.; Effect of pre- and post-UV disinfection conditions on photoreactivation of fecal coliforms in wastewater effluents. **Water Research**, v.44, I.9, 2010.
15. JORDÃO, E. P.; ALEM SOBRINHO, P. **Análise crítica**. In: GONÇALVES, R. F. (Coord.) **Desinfecção de efluentes sanitários**. Rio de Janeiro: ABES/RiMa, 2003. p. 409-422.

16. JORDÃO, E. P., PESSÔA, C. A.; **Tratamento de esgotos domésticos**. 7. ed. Rio de JaneiroRJ: ABES, 2014. 1087p.
17. LAPOLLI, F. R. et al. **Desinfecção de efluentes sanitários por meio da ozonização**. In: **GONÇALVES, R. F. (Coord.) Desinfecção de efluentes sanitários**. Rio de Janeiro: ABES/RiMa, 2003. p. 169-208.
18. LINDENAURE K.G.; DARBY J.L. Ultraviolet disinfection of marginal effluents: determining ultraviolet absorbance and subsequent estimation of ultraviolet intensity. **Water Environment Research**, v. 70, n. 2, p 214-223, 1998.
19. LUPPI, M. **Desinfecção da água**. São Paulo: BioProject, 2012.
20. METCALF L.; EDDY; H.; TCHOBANOGLOUS, G.; BURTON, F. L. Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse. 3rd.ed. New York: McGraw-Hill, 1991. 1334p.
21. RODRIGUEZ, R.A., BOUNTY, S., BECK, S., CHAN, C., MC GUIRE, C., LINDEN, K.G.; Photoreactivation of bacteriophages after UV disinfection: Role of genome structure and impacts of UV source. **Research Article: Water Research**, v.55, 2014
22. SANZ, N.E., DAVILA, I.S., BALAO, A.A., ALONSO, J.M.Q.; Modelling of reactivation after UV disinfection: Effect of UV-C dose on subsequent photoreactivation and dark repair. **Water Research**, v. 41, l. 14, 2007.
23. SINHA, R.P., HADER, D.P.; **UV-induced DNA damage and repair: a review**. Institut für Botanik und Pharmazeutische Biologie, Friedrich-Alexander-Universität, Staudtstr. Erlangen-GER, 2002.
24. SINTON, L.W., COLLEY, R.J.D., BELL, R.G.; Inactivation of enterococci and fecal coliforms from sewage and meat works effluents in seawater chambers. **Applied Environment**. Microbiology v.60, 1994
25. SOUZA, G.S.M.B.de.; **Desinfecção de efluentes sanitários por radiação UV e gama: Efeitos na inativação de ovos de *Ascaris spp***. Dissertação (Doutorado). Belo Horizonte – MG: Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.
26. TROPP, B.; **Molecular Biology: genes to proteins**. University of New York: Jones & Bartlett learning, 2012. 1098p.
27. VILLARINO A. et al. Cellular activities in ultra-violet killed *Escherichia coli*. **International Journal of Food Microbiology**, 55, p. 245 -247, 2000.
28. VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 2. ed. Minas Gerais. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 2005. v. 1, 243 p.
29. WATSON, J.D.; **Molecular Biology of the Gene**, Pearson/Benjamin Cummings, 2008. 841 p
30. ZIOLLI, R.L., RODRIGUES, C.P., GUIMARÃES, J.R., FIGUEIREDO, R.F.; **Descontaminação bacteriológica de água de abastecimento por meio de fotocatalise heterogênea utilizando luz solar**. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES. Campinas-SP, 2000.

CAPÍTULO 6

APLICAÇÃO DE ENZIMAS PEROXIDASES NO TRATAMENTO DE EFLUENTES CONTAMINADOS COM FENOL: UMA REVISÃO

Data de aceite: 23/06/2021

Data de submissão: 10/06/2021

Mariana Gomes Oliveira

Universidade do Estado de Santa Catarina
Lages- SC
<http://lattes.cnpq.br/9896135276604040>

Júlia Nercolini Göde

Universidade do Estado de Santa Catarina
Lages – SC
<http://lattes.cnpq.br/8172218911058696>

Taciana Furtado Ribeiro

Universidade do Estado de Santa Catarina
Lages – SC
<http://lattes.cnpq.br/1301820938866546>

Thaís Agda da Cruz Primo

Universidade do Estado de Santa Catarina
Lages – SC
<http://lattes.cnpq.br/7119661118914328>

Renata Bulling Magro

Universidade do Estado de Santa Catarina
Lages – SC
<http://lattes.cnpq.br/1483898750850497>

Lucas de Bona Sartor

Universidade do Estado de Santa Catarina
Lages – SC
<http://lattes.cnpq.br/5304312296556887>

Emili Louise Diconcilli Schutz

Universidade do Estado de Santa Catarina
Lages – SC
<http://lattes.cnpq.br/9885898209240091>

Alvaro João Zonta Neto

Universidade do Estado de Santa Catarina
Lages – SC
<http://lattes.cnpq.br/4033982375511502>

Cristiane Gracieli Kloth

Universidade do Estado de Santa Catarina
Lages – SC
<http://lattes.cnpq.br/0053347306618037>

Everton Skoronski

Universidade do Estado de Santa Catarina
Lages – SC
<http://lattes.cnpq.br/0183604664567378>

RESUMO: O setor industrial concentra as atividades que mais contribuem para a contaminação ambiental, com exemplo de seus efluentes. Compostos fenólicos são conhecidos como poluentes prioritários devido seu efeito mutagênico e sua toxicidade em baixas doses, se tornando um dos principais subprodutos industriais. Com esta preocupação, muitos métodos são estudados para remoção de fenóis em efluentes, neste cenário as enzimas oxidativas, como as peroxidases, apresentam-se como uma alternativa para a conversão de fenóis em estruturas químicas menos tóxicas, que possam ser dispostas no meio ambiente de forma segura. Peroxidases de diversas fontes vêm sendo extraídas e caracterizadas ao longo das últimas décadas e estudos são realizados com o intuito de possível aplicação dessas peroxidases na bioconversão de fenóis. Devido as vantagens da utilização enzimática como seu baixo custo e alta disponibilidade no ambiente

e considerando os estudos abordados neste trabalho, as enzimas mostram que são uma possibilidade para utilização em grande escala no tratamento de efluentes.

PALAVRAS-CHAVE: Peroxidase. Efluente. Compostos Fenólicos. Bioconversão

APPLICATION OF ENZYMES PEROXIDASES IN THE TREATMENT OF EFFLUENT CONTAMINATED WITH PHENOL: A REVIEW

ABSTRACT: The industries concentrate activities that most contribute to environmental contamination, with an example of its effluents. Phenolic compounds are known as priority pollutants due to their mutagenic effect and their toxicity at low doses, being one of the main industrial by-products. With this concern, many methods have been studied for the removal of phenols in effluents. In this scenario, oxidative enzymes, such as peroxidases, are presented as an alternative for the conversion of phenols into less toxic chemical structures that can be disposed in the environment. Peroxidases from different sources have been extracted and characterized over the last decades and studies have been conducted for possible application of these peroxidases in the bioconversion of phenols. Due to advantages of enzymatic use, such as low cost and high availability in the environment, and considering the studies covered in this work, enzymes show as a possibility for large-scale use in the treatment of effluents.

KEYWORDS: Peroxidase. Efluente. Phenolic Compounds. Bioconversion.

1 | INTRODUÇÃO

O setor industrial concentra as atividades que mais contribuem para a contaminação ambiental. O grande consumo de água leva à produção de vários rejeitos de produtos líquidos contendo substâncias tóxicas recalcitrantes, as quais acabam por ser despejadas em corpos hídricos de forma inadequada (SALLES, P. T. F. PELEGRINI, N. N. B. PELEGRINI, 2006).

Compostos fenólicos são conhecidos como poluentes prioritários devido seu efeito mutagênico e sua toxicidade em baixas doses (WANG et al., 2015). Sendo uma das principais classes de poluentes orgânicos, o fenol e alguns de seus derivados, podem ser encontrados na composição de pesticidas, plásticos, desinfetantes e anti-sépticos (DE ARAUJO et al., 2006). Esses compostos são poluentes que tendem a persistir e acumular-se no ambiente e na cadeia alimentar (VÍCTOR-ORTEGA; OCHANDO-PULIDO; MARTÍNEZ-FÉREZ, 2016)phenols removal from aqueous solution was evaluated by using Amberlyst A26, a strong-base anion exchange resin, and Amberlite IRA-67, a weak-base anion exchange resin. The influence of phenols concentration in the feedstream was investigated as well as the effect of recirculation time. Equilibrium data fitted to the Langmuir, Freundlich and Temkin isotherms revealed Langmuir isotherm provided the best correlation for both resins ($R^2 = 0.99$). Devido a isto, os fenóis são considerados um risco para a saúde pública e vêm sendo fortemente regulamentados (KARAM; NICELL, 1997). Com esta preocupação, muitos métodos vêm sendo estudados para remoção de fenóis em efluentes industriais, os quais incluem extração, adsorção, oxidação química ou

bacteriana, osmose, técnicas eletroquímicas, processos oxidativos avançados entre outros (BRATKOVSKAJA; VIDZIUNAITE; KULYS, 2004). Esses processos possuem grandes deficiências como custos elevados, formação de subprodutos perigosos e baixa eficiência (REGALADO; GARCÍA-ALMENDÁREZ; DUARTE-VÁZQUEZ, 2004).

Neste contexto, a degradação de substâncias tóxicas por enzimas tem diversas vantagens como alta especificidade de subprodutos, fácil controle operacional e a possibilidade de uso em uma variada gama de condições do ambiente (GIANFREDA; RAO, 2004). Assim, enzimas oxidativas, como as peroxidases, apresentam-se como uma alternativa para a conversão de fenóis em estruturas químicas menos tóxicas que possam ser dispostas no meio ambiente de forma mais segura.

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão bibliográfica sobre as aplicações de enzimas peroxidases no tratamento de efluentes contendo fenol.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização desta pesquisa, foram conduzidas buscas em produções científicas sobre o tema proposto. Para isso, foram utilizadas as bases de dados Science Direct e Google Scholar utilizando as palavras-chave: “peroxidase”, “enzyme”, “phenol”, “treatment”. Os artigos foram selecionados de acordo com uma maior abordagem sobre a aplicação de enzimas neste tipo de tratamento.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Peroxidases são heme proteínas que reduzem o peróxido de hidrogênio enquanto catalisam a oxidação de compostos orgânicos e inorgânicos (BILAL et al., 2016). O grupo prostético ferriprotoporfirina IX é uma característica comum de todas as peroxidases heme. Este grupo consiste de quatro anéis pirrólicos ligados por pontes de metileno com ferro (III), como átomo central (DUNFORD, H; STILLMAN, 1976). Estas enzimas são classificadas em duas famílias principais (vegetal e animal) e sua massa molecular pode que variar de 30 a 150 kDa (ELSAIED et al., 2018).

A enzima peroxidase que apresenta a utilização mais consolidada atualmente é a Horseradish Peroxidase (HRP), a qual é extraída da raiz forte. A HRP é a enzima mais estudada devido a sua disponibilidade, sua fácil extração e o aumento da sua aplicação potencial que vai da escala laboratorial até o nível industrial. Aplicações mais recentes da HRP incluem efluentes contendo compostos fenólicos, síntese orgânica, eliminação de compostos tóxicos da água, desintoxicação de efluentes industriais, finalidade analítica e tratamento de câncer (BILAL et al., 2016). No entanto, devido ao seu alto custo, torna-se inviável para aplicação no tratamento de efluentes em larga escala, por este motivo, peroxidases de outras fontes vêm sendo estudadas (DEVA et al., 2014). As peroxidases de plantas e microrganismos são mais baratas que a peroxidase da raiz forte, o que

torna sua aplicação promissora no tratamento de efluentes (MACIEL et al., 2007). Alguns exemplos de fontes de extração vegetal de peroxidases são: Folhas de Tamareira (*Phoenix dactylifera*) (SAUD AL-BAGMI et al., 2019), Folhas de Couve (*Brassica olearacea var. capitata*) (KHARATMOL; PANDIT, 2013), Bulbos de Jaca (*Artocarpus heterophyllus*) (TAO et al., 2018), Alface (*Lactuca sativa*) (ALTUNKAYA; GÖKMEN, 2011) entre outros.

Ao referir-se à poluentes orgânicos, o grupo dos fenóis e seus derivados são os principais subprodutos industriais (petróleo, químicos e plásticos) e agrícolas que podem ser encontrados em águas superficiais bem como em amostras alimentares e clínicas (ISPAS et al., 2010). Mono e Dicloro fenóis, os maiores grupo de fenóis, são utilizados na fabricação de pesticidas, fungicidas, desinfetante entre outros (CZAPLICKA, 2004). Estes compostos são citotóxicos, mutagênicos, e potencialmente carcinogênicos, portanto, representam riscos à saúde e aos organismos vivos, a USEPA inclui o fenol na lista dos 16 poluentes prioritários para gestão ambiental (MICHALOWICZ, J; DUDA, 2007). O fenol não é facilmente biodegradável, e ainda, é relatado tóxico e inibidor de crescimento para diversos microrganismos, mesmo para aqueles que a espécie tem a capacidade de metabolizar o fenol como substrato de crescimento (CARABAJAL et al., 2016). Ainda quando presentes em corpos hídricos, fenóis tem efeitos adversos especiais já que apenas 0,005mg/L de fenol já causa gosto e odores desagradáveis quando combinados com o cloro, formando clorofenóis (CAZA et al., 1999)chlorinated phenols, cresols, 2,4-dichlorophenol and 4,4'-isopropylidenediphenol (commonly known as bisphenol A.

Vários métodos são utilizados para remoção de compostos fenólicos como adsorção, processos eletroquímicos, ozonização, osmose e oxidação química e biológica (BRATKOVSKAJA; VIDZIUNAITE; KULYS, 2004). A degradação enzimática de fenóis em formas menos tóxicas tem sido sugerida como método de tratamento, diversas enzimas catalisam a oxidação de fenóis e têm sido utilizadas para este fim como a HRP, laccase, tirosinase e cloroperoxidase (ISPAS et al., 2010).

A utilização de enzimas para remover compostos fenólicos vem sendo estudada há anos e foi proposto pela primeira vez em 1981 e, desde então, seu uso é melhorado para aumento de eficiência, técnicas e viabilidade econômica, além de ser testado em efluentes de diversas origens e compostos (SOUZA, 2020). Há diversas vantagens em um tratamento baseado em enzimas sobre tratamento biológicos, químicos e físicos convencionais, na maioria dos casos, os processos de tratamento físico-químicos não são muito seletivos em número de poluentes removidos e podem se tornar caro para resíduos de alta resistência, portanto esses tratamentos são economicamente mais viáveis para águas residuais diluídas. As enzimas então são preferidas, uma vez que a enzima isolada atua com uma maior especificidade, o que permite que o tratamento seja direcionado ao poluente em específico. Além de que enzimas são mais fáceis de manusear e armazenar do que microrganismos. No tratamento enzimático, a enzima catalisa a oxidação de compostos aromáticos com o peróxido de hidrogênio, o qual gera radicais que se acoplam

para formar oligômeros maiores que são praticamente insolúveis em água e podem ser facilmente separados por filtração ou sedimentação, o qual torna esse tipo de tratamento o mais recomendado para remoção de fenol (CAZA et al., 1999; ISPAS et al., 2010) chlorinated phenols, cresols, 2,4-dichlorophenol and 4,4'-isopropylidenediphenol (commonly known as bisphenol A).

No caso da utilização da peroxidase de soja (*Glycine max*) para tratamento de efluente fenólico, foi constatado que o melhor pH para o tratamento foi 7,0 e que o excesso de peroxidase não tem influência negativa no processo, mas que sua limitação resulta em uma porcentagem menor de remoção. Assim, a peroxidase de soja foi considerada eficiente no tratamento contendo fenol (CAZA et al., 1999) chlorinated phenols, cresols, 2,4-dichlorophenol and 4,4'-isopropylidenediphenol (commonly known as bisphenol A. Já a peroxidase de algaroba (*Prosopis juliflora*) no pH de 2,0 a 9,0 e uma temperatura de até 80°C se mostrou muito eficiente na remoção de fenol e clorofenol e foi considerada um recurso sustentável na gestão ambiental de efluentes contaminados com fenol (SINGH et al., 2017).

A peroxidase extraída da raiz de nabo (*Brassica napus*), utilizada em um efluente sintético contaminado com fenol também demonstrou alta eficiência na remoção do contaminante e uma diminuição significativa de toxicidade do efluente (QUINTANILLA-GUERRERO et al., 2008). Analisando também o estudo da peroxidase extraída da polpa da batata (*Solanum tuberosum*), a mesma mostrou grande eficiência na remoção de fenol e 2,4 diclorofenol em larga escala de pH e temperatura, além da redução de toxicidade do efluente tratado (KURNIK et al., 2018).

4 | CONCLUSÃO

As enzimas peroxidases foram consideradas uma alternativa viável na aplicação de tratamento de efluentes contaminados com fenol. Devido a sua alta disponibilidade e baixo custo, essas enzimas podem apresentar vantagens em relação a outros métodos, dentre elas a alta eficiência que proporcionam ao tratamento. Assim, considerando os estudos abordados neste trabalho, as enzimas são uma possibilidade para utilização em escala comercial no tratamento de efluentes contendo fenol.

REFERÊNCIAS

ALTUNKAYA, A.; GÖKMEN, V. Purification and characterization of Polyphenol Oxidase, Peroxidase and Lipoxygenase from Freshly Cut Lettuce (*L. sativa*). **Food Technol. Biotechnol.**, p. 249–256, 2011.

BILAL, M. et al. Horseradish peroxidase-assisted approach to decolorize and detoxify dye pollutants in a packed bed bioreactor. **Journal of Environmental Management**, v. 183, p. 836–842, dez. 2016.

- BRATKOVSKAJA, I.; VIDZIUNAITE, R.; KULYS, J. Oxidation of Phenolic Compounds by Peroxidase in the Presence of Soluble Polymers. **Biochemistry (Moscow)**, v. 69, n. 9, p. 985–992, set. 2004.
- CARABAJAL, M. et al. Removal of Phenol by Immobilization of *Trametes versicolor* in Silica-Alginate-Fungus Biocomposites and Loofa Sponge. **CLEAN - Soil, Air, Water**, v. 44, n. 2, p. 180–188, fev. 2016.
- CAZA, N. et al. Removal of phenolic compounds from synthetic wastewater using soybean peroxidase. **Water Research**, v. 33, n. 13, p. 3012–3018, 1999.
- CZAPLICKA, M. Sources and transformations of chlorophenols in the natural environment. **Science of The Total Environment**, v. 322, n. 1–3, p. 21–39, abr. 2004.
- DE ARAUJO, B. S. et al. Uptake and transformation of phenol and chlorophenols by hairy root cultures of *Daucus carota*, *Ipomoea batatas* and *Solanum aviculare*. **Chemosphere**, v. 63, n. 4, p. 642–651, abr. 2006.
- DEVA, A. N. et al. Extraction of peroxidase from waste *Brassica oleracea* used for the treatment of aqueous phenol in synthetic waste water. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 2, n. 2, p. 1148–1154, 2014.
- DUNFORD, H.; STILLMAN, J. S. On the function and mechanism of action of peroxidases. **Coordination Chemistry Reviews**, v. 19, n. 3, p. 187–251, ago. 1976.
- ELSAYED, A. M. et al. Purification and biochemical characterization of peroxidase isoenzymes from *Ficus carica* latex. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 16, p. 1–9, out. 2018.
- GIANFREDA, L.; RAO, M. A. Potential of extra cellular enzymes in remediation of polluted soils: a review. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 35, n. 4, p. 339–354, set. 2004.
- ISPAS, C. R. et al. Multifunctional biomagnetic capsules for easy removal of phenol and bisphenol A. **Water Research**, v. 44, n. 6, p. 1961–1969, mar. 2010.
- KARAM, J.; NICELL, J. A. Potential Applications of Enzymes in Waste Treatment. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v. 69, n. 2, p. 141–153, jun. 1997.
- KHARATMOL, P.; PANDIT, A. Extraction, partial purification and characterization of acidic peroxidase from cabbage leaves (*Brassica oleracea* var. capitata). **J Biochem Tech**, 2013.
- KURNIK, K. et al. Potato Pulp as the Peroxidase Source for 2,4-Dichlorophenol Removal. **Waste and Biomass Valorization**, v. 9, n. 6, p. 1061–1071, 2018.
- MACIEL, H. P. F. et al. Extraction, purification and biochemical characterization of a peroxidase from *Copaifera langsdorffii* leaves. **Química Nova**, v. 30, n. 5, p. 1067–1071, out. 2007.
- MICHALOWICZ, J.; DUDA, W. Phenols-Source and Toxicity. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 16, p. 16, 2007.

QUINTANILLA-GUERRERO, F. et al. Chemical modification of turnip peroxidase with methoxypolyethylene glycol enhances activity and stability for phenol removal using the immobilized enzyme. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, n. 17, p. 8058–8065, 2008.

REGALADO, C.; GARCÍA-ALMENDÁREZ, B. E.; DUARTE-VÁZQUEZ, M. A. Biotechnological applications of peroxidases. **Phytochemistry Reviews**, v. 3, n. 1–2, p. 243–256, jan. 2004.

SALLES, P. T. F. PELEGRINI, N. N. B. PELEGRINI, R. T. Tratamento Eletroquímico de Efluente Industrial contendo corantes reativos. **Engenharia Ambiental**, v. 3, p. 15, 2006.

SAUD AL-BAGMI, M. et al. An efficient methodology for the purification of date palm peroxidase: Stability comparison with horseradish peroxidase (HRP). **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 26, n. 2, p. 301–307, fev. 2019.

SINGH, S. et al. Phenol remediation by peroxidase from an invasive mesquite: Turning an environmental wound into wisdom. **Journal of Hazardous Materials**, v. 334, p. 201–211, jul. 2017.

SOUZA, D. H. **EXTRAÇÃO, PURIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO BIOQUÍMICA DE PEROXIDASE DE *Smilax sonchifolius* E SUA APLICAÇÃO NA BIOCONVERSÃO DE 2,4 DICLOROFENOL**. [s.l.] UDESC, 2020.

TAO, Y.-M. et al. Peroxidase from jackfruit: Purification, characterization and thermal inactivation. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 114, n. 2, p. 898–905, jul. 2018.

VÍCTOR-ORTEGA, M. D.; OCHANDO-PULIDO, J. M.; MARTÍNEZ-FÉREZ, A. Phenols removal from industrial effluents through novel polymeric resins: Kinetics and equilibrium studies. **Separation and Purification Technology**, v. 160, p. 136–144, 2016.

WANG, Y. et al. Enhanced tolerance and remediation to mixed contaminants of PCBs and 2,4-DCP by transgenic alfalfa plants expressing the 2,3-dihydroxybiphenyl-1,2-dioxygenase. **Journal of Hazardous Materials**, v. 286, p. 269–275, abr. 2015.

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

Data de aceite: 23/06/2021

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Química
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro, Campus Uberlândia
Uberlândia – Minas Gerais – Brasil
<http://lattes.cnpq.br/12970002659897780>
<https://orcid.org/0000-0003-3587-486X>

Bruno Elias dos Santos Costa

Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Química
Uberlândia – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/9995122149910490>
<https://orcid.org/0000-0002-9306-0939>

Nivia Maria Melo Coelho

Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Química
Uberlândia – Minas Gerais - Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0055547328584046>
<https://orcid.org/0000-0003-3822-4205>

RESUMO: A banana é a segunda fruta mais produzida em área cultivada do Brasil, perdendo apenas para a laranja, sendo o Brasil o quinto maior produtor mundial. A banana é destinada exclusivamente para o consumo interno e é produzida, majoritariamente, pela agricultura familiar em todo o território nacional. Esta pseudofruta se constitui em uma fonte rica em potássio, sendo cultivado durante todo o ano e comercializada a um preço bastante acessível

a população. Diante disso, tornou-se bastante popular e consumida em todo o país, sendo que 97% de toda a produção é destinado ao consumo de forma *in natura*, apresentando pouco uso na indústria de alimentos. Em função de ser um pseudofruto, na qual não se consome a casca, esta biomassa se constitui em um resíduo a ser destinado aos aterros sanitários ou lixões no perímetro urbano. A casca de banana pode ser incorporada na alimentação de animais na área rural, se constituindo em um passivo ambiental. Por se tratar de uma constituição estrutural fibrosa, a biomassa oriunda da casca de banana apresenta potencial para ser utilizada como um bioadsorvente tanto na forma *in natura* quanto quimicamente modificada para a remoção de poluentes presentes nos diferentes compartimentos aquáticos. Há vários estudos que comprovam a potencialidade da casca de banana como um adsorvente alternativo. Neste cenário, abrem-se oportunidades para investimento do uso desta biomassa na pesquisa e no desenvolvimento de novos materiais alternativos, que possam ser empregados em substituição aos materiais de uso consolidado nos processos convencionais de tratamento de águas e efluentes. Desta forma, surgem possibilidades alternativas a estes processos que contribuirão para o aproveitamento desta biomassa e conseqüentemente na redução dos custos operacionais envolvidos nas etapas dos processos convencionais de tratamento.

PALAVRAS-CHAVE: Biomassa, íons metálicos, passivo ambiental, poluentes, processos convencionais de tratamento.

POTENTIAL OF BANANA PEEL AS A BIOABSORBENT OF CONTAMINANTS PRESENT IN AQUATIC MATRICES: PERSPECTIVES OF APPLICATION IN BRAZIL AND IN THE WORLD

ABSTRACT: Banana is the second most produced fruit in Brazil cultivated area, second only to orange, with Brazil being the fifth largest producer in the world. Bananas are intended exclusively for domestic consumption and are produced mainly by family farming throughout the national territory. This pseudofruit is a source rich in potassium, being cultivated throughout the year and marketed at a very affordable price to the population. Therefore, it has become quite popular and consumed throughout the country, and 97% of all production is destined for consumption *in natura* with little use in the food industry. Because it does not consume the shell, this biomass is a waste to be destined to landfills or dumps in the urban perimeter. Banana peel can be incorporated into the feeding of animals in the rural area, constituting an environmental liability. Because it is a fibrous structural constitution, biomass from banana peel has the potential to be used as a bioadsorbent both *in natura* and chemically modified form for the removal of pollutants present in the different aquatic compartments. There are several studies that prove the potentiality of banana peel as an alternative adsorbent. In this scenario, opportunities are opened up to invest in the use of this biomass in the research and development of new alternative materials that can be used in place of materials of consolidated use in conventional water and effluent treatment processes. In this way, alternative possibilities arise to these processes that will contribute to the use of this biomass and consequently in the reduction of operational costs involved in the stages of conventional treatment processes.

KEYWORDS: Biomass, metal ions, environmental liabilities, pollutants, conventional treatment processes.

1 | INTRODUÇÃO

A Banana foi uma das primeiras plantas frutíferas a serem domesticadas pelo homem (há cerca de 7000 anos) no sudeste da Ásia e no Pacífico Ocidental com as espécies *Musa acuminata* e a *Musa balbisiana*. Devido a combinação e mutações destas espécies, originou-se a atual diversidade de espécies que são identificadas como *Musa spp.* (ABRAFRUTAS, 2021; AKPOMIE; CONRADIE, 2020). Até os anos de 1950, a variedade que era mais cultivada e consumida no mundo era denominada de Gros Michel (Figura 1a) que possuía características físicas (frutos mais longos e delgados) e sensoriais (mais doce) bem diferente das atuais (ABRAFRUTAS, 2021).



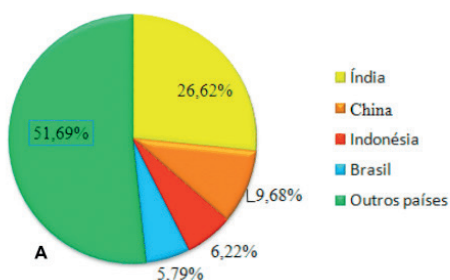
Figura 1: Banana da variedade (a) Gros Michel e (b) Cavendish.

Fonte: Abrafrutas (2021).

Entretanto, em meados de 1950 ocorreu a dizimação desta variedade, na América Central, em função de uma doença (Mal do Panamá) causada por um fungo que persiste até o momento. Com o intuito de se desenvolver uma variedade resistente a doença, iniciou-se o cultivo de uma variedade denominada Candevisch (Figura 1b). Esta variedade foi desenvolvida no palácio da Inglaterra e passou a ser cultivada em todo o mundo, representando 50% da produção mundial (ABRAFRUTAS, 2021).

No Brasil a Candevisch (Figura 1b) é popularmente conhecida como banana “nanica” ou “d’água”, coexistindo com dezenas de outras variedades tais como: “maçã”, “prata”, “da terra” entre outras (ABRAFRUTAS, 2021). O país é o quinto maior produtor do mundo (Figura 2a) e mais de 60% de toda a produção nacional se encontra nas regiões nordeste e sudeste (Figura 2b).

Produção de Banana no Mundo



Produção de Banana no Brasil

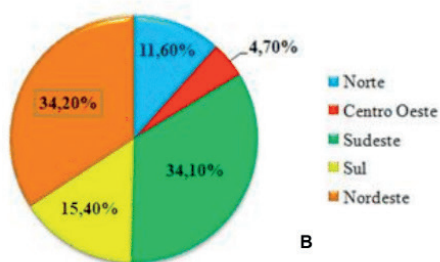


Figura 2: Produção de banana (a) mundo e (b) por região no Brasil.

Fonte: Os autores (2021).

Segundo um levantamento realizado pela EMBRAPA (Empresa de Pesquisa Agropecuária Brasileira) o brasileiro consome 25 kg/ano da fruta que representa 0,87% das despesas com alimentação, sendo bastante acessível a população (ABRAFRUTAS, 2021). Em 2020, o Brasil produziu 1,03 milhões de toneladas em uma área de 51,6 mil hectares,

sendo exportado 79,4 mil toneladas e gerando US\$ 1 bilhão em receitas (HFBRASIL, 2021).

Em função da produção da banana ocorrer em todos os estados do Brasil e o seu preço acessível, uma grande quantidade da casca da fruta é gerada e sua aplicação é insignificante em relação ao volume de biomassa gerado como resíduo (ARQUELAU et al., 2019). Neste sentido, inúmeras pesquisas vêm sendo desenvolvida no Brasil (LEANDRO-SILVA et al., 2020; PANIAGUA; COSTA; COELHO, 2021a,b) e no exterior (BAYOMIE et al., 2020; CHEN; ZHAO; HUANG, 2018) explorando a potencialidade desta biomassa (DIAS et al., 2019; LAPO et al., 2020; SOUZA; QUEIROZ; CARVALHO, 2020) como um adsorvente natural para a remoção de diversos tipos de contaminantes, em especial aos que são de Interesse Emergente (CIE), de diferentes classes: *(i)* fármacos (GURAV et al., 2020); *(ii)* corantes (MUNAGAPATI et al., 2018; TEMESGEN; GABBIYE; SAHU, 2018); *(iii)* metais pesados (MAHINDRAKAR; RATHOD, 2018; MARICHELVAM; AZHAGURAJAN, 2018) e *(iv)* BTX (SHEN et al., 2020), contribuindo para um desenvolvimento mais sustentável (BARNOSSI; MOUSSAID; HOUSSEINI, 2021).

Portanto, este trabalho tem por objetivos: *i)* explorar as propriedades estruturais e físico-químicas que contribuem para as características desejadas da biomassa de banana *ii)* apresentar estudos já realizados em todo o mundo que utilizaram a casca de banana como bioadsorvente aplicados na remoção de compostos orgânicos e inorgânicos; *iii)* estabelecer uma proporção de trabalhos que foram realizados em matrizes reais ou sintéticas e *iv)* apresentar e discutir os trabalhos realizados no Brasil, mostrando a escassez de pesquisas aplicadas em matrizes reais, que possam representar condições de contaminação próximas as que são encontradas nos diferentes compartimentos aquáticos do Brasil.

2 I PROPRIEDADES ESTRUTURAIS E FÍSICO-QUÍMICAS DA CASCA DE BANANA

As características estruturais da casca de banana, tais como a composição química, grupos funcionais e morfologia microscópica do arranjo interno, podem ser elucidadas a partir de um conjunto de respostas instrumentais, trazendo informações predominantemente qualitativas acerca das propriedades adsorptivas da biomassa. Dentro da diversidade de técnicas que podem ser empregadas para análise de caracterização estrutural, foram utilizadas as seguintes técnicas: *i)* Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV); *ii)* Espectrometria de vibração molecular no Infravermelho (FT-IR); *iii)* Análise Termogravimétrica (TGA) e a *iv)* Difratometria de Raios-X (DRX) como as mais usuais para descrever as propriedades de materiais adsorventes.

Neste trabalho são apresentados os resultados obtidos para cada uma dessas técnicas de caracterização, empregando como amostra a farinha da casca de banana *in-natura* (Figura 3).As cascas foram removidas dos frutos, lavadas em água corrente para remoção de impurezas na superfície, colocadas para secar ao ar livre por 48 h.

Posteriormente, foram trituradas em um liquidificador industrial e passadas em peneiras granulométricas de até 200 *mesh*, obtendo maior porção de partículas com diâmetro ≤ 80 μm . Parte do material finamente dividido foi lavado em água deionizada, filtrado e colocado em contato com solução de HCl 0,05 mol L⁻¹ durante 10 min, seguida de uma nova lavagem com água deionizada até a obtenção de pH entre 6-8. Após neutralização, o material finalmente foi levado à estufa a 40°C por 48 h e submetidas às análises de caracterização estrutural (PANIAGUA; COSTA; COELHO, 2021 a,b).

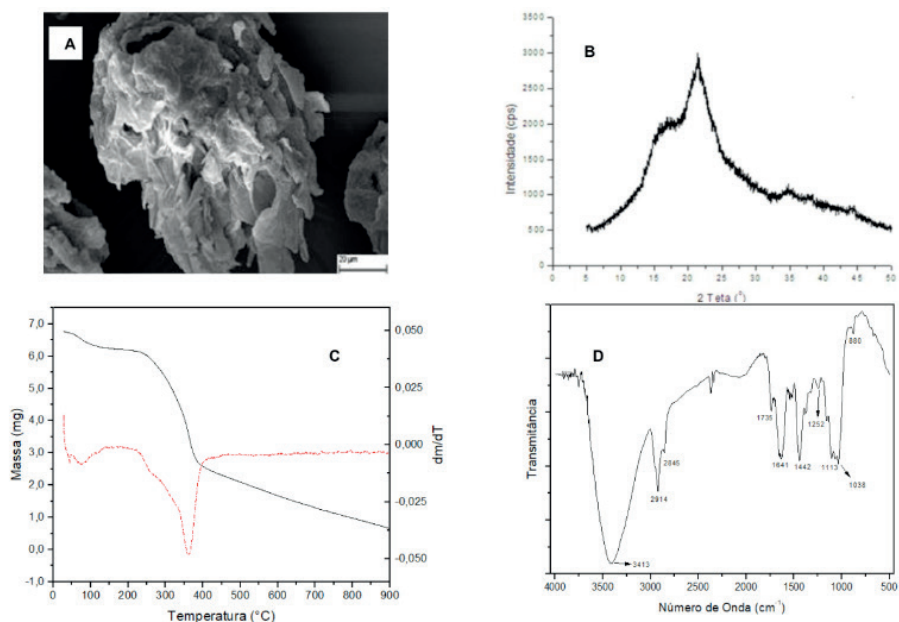


Figura 3:Respostas instrumentais das análises de caracterização estrutural da farinha da casca de banana *in-natura*: (a)MEV, (b) DRX, (c) TGA e (d)FT-IR.

Fonte: Os autores (2021).

A imagem de micrografia (MEV) mostra que a casca de banana apresenta uma estrutura porosa heterogênea. A morfologia do tecido vegetal representa um aspecto de múltiplas camadas irregulares sobrepostas, fazendo com que haja interstícios que refletem em uma área superficial favorável para adsorção dos analitos. Já o difratograma (DRX) apresenta um perfil característico de um material amorfo, com uma banda larga próximo a $2\theta = 20^\circ$. Essa banda é pouco definida e ruidosa em consequência do estado desorganizado dos constituintes fibrosos (macro)moleculares.

A farinha da casca de banana é composta principalmente por carboidratos (53,4%), proteínas (14,7%) e lipídios (13,2%). O teor remanescente é representado pela quantidade de cinzas (11,18%) e de umidade (7,47%) (JUNG et al., 2019). A análise termogravimétrica reforça a constituição fibrosa da casca de banana a partir dos constituintes celulósicos e

proteicos: Observa-se que as fibras presentes na casca de banana possuem estabilidade térmica até cerca de 239°C, quando se inicia o processo de decomposição térmica de polioses (hemicelulose), seguida da celulose. Abaixo de 100°C, a perda de massa é decorrente a perda da água que responde pela umidade das fibras, uma vez que estas são razoavelmente hidrofílicas. Acima de 400°C verifica-se um processo de decomposição térmicas mais lenta, envolvendo a quebra das ligações da lignina, progredindo até a decomposição completa em 950°C. Os eventos térmicos mais significativos passam a ser mais facilmente acompanhados pelos picos da curva diferencial em vermelho da Figura 3C, após derivação da curva termogravimétrica.

O espectro FT-IR mostra diversos grupos funcionais que sugerem a presença de celulose, lignina, ácidos graxos, ésteres e proteínas. A banda com máximo em 3413 cm^{-1} pode ser atribuída ao estiramento axial dos grupos O-H característicos da celulose e provenientes da água retida na superfície do adsorvente. O alargamento dessa banda compreendendo a região de 3750-3250 cm^{-1} pode também estar associado a um estiramento N-H de amins secundárias e amidas. Este último grupo pode ser confirmado pela presença de uma banda bem definida a 1641 cm^{-1} atribuída a deformação angular da ligação N-H. As bandas na região de 2914 a 2852 cm^{-1} podem ser atribuídas as ligações CH e CH_2 de grupos alifáticos. A banda em 1735 cm^{-1} pode ser atribuída a deformação axial de C=O, derivados de vários grupos carbonilados, como ocorre em ligações peptídicas de proteínas, carboxilatos e ésteres de ácidos graxos presentes na casca de banana. A banda em 880 cm^{-1} pode ser atribuída à deformação angular fora do plano da ligação C-H em aromáticos, bem como também a uma pequena porção de haletos alquílicos, como o cloreto (PANIAGUA; COSTA; COELHO 2021a,b).

Uma vez atestadas as condições estruturais favoráveis para adsorção, a casca de banana em sua forma adequada de pré-tratamento (lavagem, secagem, moagem, peneiramento e outras formas de beneficiamento que incluem modificação química do material) em contato com o analito a ser adsorvido (contaminante) passa por uma série de testes de otimização, que incluem variação da massa (dosagem do adsorvente), diâmetro de partícula (granulometria), tempo de contato (cinética de adsorção), pH da solução amostra, dentre outros parâmetros. Os dados analíticos originados são submetidos ao ajuste matemático com vários modelos teóricos particularmente úteis para trazer informações dos mecanismos físico-químicos a nível termodinâmico (isotermas de adsorção) e cinético (etapa determinante da velocidade de adsorção), que descrevem de forma específica as interações envolvidas. Existe uma grande quantidade de trabalhos disponíveis para maior e melhor entendimento, quanto a adequação de modelos teóricos de adsorção em materiais de constituição lignocelulósica (NASCIMENTO et al, 2014; PANIAGUA; COSTA; COELHO, 2021a,b).

3 | PERSPECTIVAS DE APLICAÇÃO DA CASCA DE BANANA EM PESQUISAS DE ÂMBITO NACIONAL E INTERNACIONAL

Foi realizado um levantamento bibliográfico entre 2010-2021, usando a plataforma de base de dados “*Web of Science*”, efetuando a busca do tópico “*banana peel and adsorption*”. A plataforma retornou um total de 323 publicações indexadas, sendo que 243 trabalhos são distribuídos identificando o país com o respectivo percentual e os demais se enquadram dentro de outros países não discriminados, conforme a Figura 4.

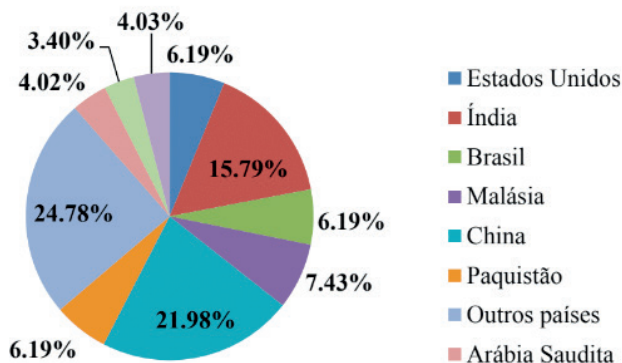


Figura 4: Percentual de trabalhos encontrados entre o período de 2010 a 2021, conforme a plataforma *Web of Science*.

Fonte: *Web of Science* (2021).

Nesse cenário, o Brasil representa apenas 6,2% do total de publicações reportadas. Dos 20 trabalhos brasileiros, 7 são dedicados a remediação de ambientes aquáticos contaminados com íons de metais pesados e elementos tóxicos como Pb^{2+} , Cu^{2+} , Cr^{3+} , Cr^{6+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} , As^{3+} dentre outros compostos inorgânicos. Em uma menor parcela, foi verificado que 5 trabalhos foram voltados para adsorção de contaminantes orgânicos, em suas mais diversas classificações, como corantes Azul de metileno (MB), Rodamina B e tartrazina; contaminantes emergentes como os hormônios estrona e 17- α -etinilestradiol; pesticidas como Artrazina e Ametrina. Além da adsorção, a casca de banana também demonstrou uma outra funcionalidade interessante, incluindo atuação conjunta com fotocatalisadores para degradação de fármacos, como os antibióticos Ampicilina (AMP), Sulfametoxazol (SMX) e o antimalárico Artemether (ART). A maior parcela conta com 8 trabalhos que se dedicaram além dos estudos de caracterização estrutural e exploração de modelos físico-químicos para finalidades de adsorção, bem como discutir propriedades nutricionais e clínicas dos constituintes da casca de banana. Alguns destes trabalhos estão sumarizados na relação constante na Tabela 1, incluindo ainda outros trabalhos importantes que viabilizam a aplicação da casca de banana como um bioadsorvente eficiente em mitigação ambiental,

em especial no que se refere aos recursos hídricos.

Classe de compostos	Contaminante (Analito)	Concentração	Capacidade máxima adsortiva ou % de eficiência	País	Referência
Fármacos e hormônios	Furazolidona	100 mg L ⁻¹	96,81%	República da Korea	[GURAV et al., 2020]
	Aflatoxinas: B1, B2, G1, G2	20 µg mL ⁻¹ em acetonitrila	8,4; 9,5; 0,4 e 1,1 ng mg ⁻¹	Paquistão	SHAR et al., 2016
	Ácido acetilsalicílico (AAS)	10 – 60 mg L ⁻¹	2,29 mg g ⁻¹	Brasil	RIBEIRO et al., 2016
	Estrona (E1)		2,08 mmol g ⁻¹		
	17- α -etinilestradiol (EE2)	500 µg L ⁻¹	1,18 mg g ⁻¹	Brasil	SOUSA et al., 2018
	Sulfametoxazol (SMX)		0,92 mg g ⁻¹		
	Ampicilina (AMP) Sulfametoxazol (SMX) Artemeter (ART)	50 mg L ⁻¹	>90% de fotodegradação em 30 min de exposição solar	Nigéria, África, Alemanha, Brasil e Reino Unido	ALFRED et al., 2020
Pesticidas	Artrazina		35,8 µg g ⁻¹	Brasil	SILVA et al., 2013
	Ametrina*	10 mg L ⁻¹	54,1 µg g ⁻¹		
Emissões de exaustão de veículos motorizados	Iodo como marcador	6 N H ₂ SO ₄ como ativador	617 mg g ⁻¹ de iodo	Indonésia	YULIUSMAN et al., 2018
Corantes	Vermelho Congo e Reativo Black 5	300 mg L ⁻¹	90%	República da Korea	[MUNAGAPATI et al., 2018]
	Rodamina	100 mg L ⁻¹	81,07%	Índia	[SINGH; PARVEEN; GUPTA, 2018]
	Tartrazina	35 mg L ⁻¹	2,357 mg g ⁻¹	Brasil	[VOLLBRECHT et al., 2020]
	Rodamina B*	20 – 100 mg L ⁻¹	9,52 mg g ⁻¹	Malásia	[OYEKANMI et al., 2019]
	Azul de bromofenol	100 mg L ⁻¹	81,07%	Nigéria	[AKPOMIE; CONRADIE, 2020]
	Azul de metileno	3,6 – 25 mg L ⁻¹	140 mg g ⁻¹	Egito	[BAYOMIE et al., 2020]
	Azul de metileno	25 mg L ⁻¹	232,5 mg g ⁻¹	Brasil	[MAIA et al., 2021]

Íons Metálicos	Cu ²⁺	6,4-572 mg L ⁻¹	15,1 mg g ⁻¹	Brasil	[LEANDRO-SILVA et al., 2020]
	As ³⁺	20 µg L ⁻¹	85%	Brasil	[PANIAGUA et al., 2021a]
	Se ⁴⁺	20 µg L ⁻¹	60%	Brasil	[PANIAGUA et al., 2021b]
	Sb ³⁺	20 µg L ⁻¹	66%	Brasil	[PANIAGUA et al., 2021b]
	Hg ²⁺	1,0 mg L ⁻¹	65%	Índia	[MARICHELVAM; AZHAGURAJAN, 2018]
	Sr ²⁺	50 mg L ⁻¹	66,7%	Índia	[MAHINDRAKAR; RATHOD, 2018]
	Cd ²⁺	300 mg L ⁻¹	98,4 mg g ⁻¹	China	[CHEN et al., 2018]
	Mn ²⁺	100 mg L ⁻¹	94%	Korea do Sul	[ALI, 2017]
	Cr ⁶⁺	100 mg L ⁻¹	96%	Paquistão	[ALI; SAEED; MABOOD, 2016]
	Cr ³⁺	50 mg L ⁻¹	60% de remoção	Brasil	[DIAS et al., 2019]
	Pb ²⁺	50 µg mL ⁻¹	2,18 mg g ⁻¹	Paquistão	[ANWAR et al., 2010]
	Ni ²⁺	100 mg L ⁻¹	1,47 mg g ⁻¹	Nigéria	[OLUFEMI; ENIODUNMO, 2018]
Compostos aromáticos	UO ₂ ²⁺	100 mg L ⁻¹	7,95 mg g ⁻¹	Brasil	BONIOLO; YAMAURA; MONTEIRO, 2010
	Benzeno	25.88 mmol L ⁻¹	73,80%	China	[SHEN et al., 2020]
	Tolueno	23.82 mmol L ⁻¹	73,34%		
	Ácido Benzóico	4,9 mmol g ⁻¹	6,62 mg g ⁻¹	India	[PATHAK; MANDAVGANE; KULKARNI, 2015]
	Ácido Salicílico	0,75 mmol g ⁻¹	9,80 mg g ⁻¹		
	Fenol	50 mg L ⁻¹ 500 mg L ⁻¹	6,98 mg g ⁻¹ 48,58 mg g ⁻¹	India	[INGOLE; LATAYE; DHORABE, 2016]

Tabela 1: Publicações nacionais e internacionais abordando a aplicação de casca de banana ou derivados como adsorventes naturais e procedimentos alternativos similares para a descontaminação de matrizes aquosas com diferentes classes de poluentes.

É importante salientar aqui, que a grande maioria dos trabalhos reportam resultados que estimam a capacidade máxima adsorptiva em uma ordem de mg g⁻¹, não sendo representativa de algumas classes de contaminantes, que normalmente estão presentes a níveis traço (µg L⁻¹) a ultra-traço (ng L⁻¹), como ocorre para os CIE como fármacos, drogas e hormônios. Esse parâmetro não deve ser levado em consideração apenas como um único critério da avaliação da eficiência de adsorção do material investigado, pois são decorrentes de formulações termodinâmicas estabelecidas a condições normais de

temperatura e pressão definidos. É necessário avaliar em conjunto outros parâmetros mais pontuais resultantes da otimização do processo, como a remoção relativa máxima (% de remoção), recuperação do analito e ciclos de regeneração após dessorção.

A partir do levantamento bibliográfico registrado neste trabalho, observa-se uma necessidade maior de exploração da farinha da casca de banana como potencial adsorvente em condições compatíveis com as concentrações esperadas dos compostos de interesse a ser retidos em territórios nacionais vulneráveis a contaminação com CIE. Nota-se que a grande maioria dos trabalhos é baseada somente para concentrações a níveis de mg L^{-1} , sendo raros os estudos compreendidos em concentrações próximas as que são encontradas nos ambientes aquáticos.

4 | CONCLUSÕES

A partir da revisão da literatura, este trabalho aponta para uma necessidade de incentivar novas abordagens para o uso da casca de banana na remediação dos recursos hídricos, bem como para o interesse industrial para o tratamento de seus efluentes gerados. O panorama nacional aponta para uma grande disponibilidade da casca de banana como insumo reciclável e que diante das limitações de financiamento para a infraestrutura de implementação de novas tecnologias de tratamento, a casca de banana se mostra uma alternativa viável economicamente para desenvolvimento de novos protocolos analíticos que sejam implementados, principalmente, para a remoção de contaminantes de interesse emergentes (fármacos, hormônios e pesticidas), que hoje são consideradas uma ameaça a saúde, mesmo em baixas concentrações no ambiente aquático.

REFERÊNCIAS

AKPOMIE, K. G.; CONRADIE, J. Efficient synthesis of magnetic nanoparticle- *Musa acuminata* peel composite for the adsorption of anionic dye. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 13, p. 7115-7131, 2020.

ALFRED, M. O. et al. Solar-active clay-TiO₂nanocomposites prepared via biomass assisted synthesis: Efficient removal of ampicillin, sulfamethoxazole and artemether from water. **Chemical Engineering Journal**, v. 398, p. 125544, 2020.

ALI, A. Removal of Mn (II) from water using chemically modified banana peels as efficient adsorbent. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management**, v. 7, p. 57-63, 2017.

ALI, A.; SAEED, K.; MABOOD, F. Removal of chromium (VI) from aqueous medium using chemically modified banana peels as efficient low-cost adsorbent. **Alexandria Engineering Journal**, v. 55, p. 2933-2942, 2016.

ANWAR, J. et al. Removal of Pb(II) and Cd(II) from water by adsorption on peels of banana. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 1752-1755, 2010.

ARQUELAU, P. B. F. et al. Characterization of edible coatings based on rípi "Prata" banana peel flour. **Food Hydrocolloids**, v. 89, p. 570-578, 2019.

BARNOSI, A. E.; MOUSSAID, F.; HOUSSEINI, A. I. Tangerine banana and pomegranate peels valorisation for sustentainable environmental: A review. **Biotechnology Reports**, v. 29, p. e00574, 2021.

BAYOMIE, O. S. et al. Novel approach for effective removal of methylene blue dye from water using fava bean peel waste. **Scientific Reports**, v. 10, n. 7824, 2020.

BONIOLO, M. R.; YAMAURA, M.; MONTEIRO, R. A. Biomassa residual para remoção de íons urânio. **Química Nova**, v. 33, n. 3, p. 547-551, 2010.

CHEN, Y.; ZHAO, H. W. W.; HUANG, S. Four different kinds of peels as adsorbents for the removal of Cd (II) from aqueous solution: Kinetics, isotherm and mechanism. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 88, p. 146-151, 2018.

DIAS, R. F. C. et al. Biosorption of Cr (III) from Aqueous Solution Using Banana Peel Powder. **Revista Processos Químicos**, v. 13, n. 6, p. 11-18, 2019.

GURAV, R. et al. Treatment of furozolidone contaminated water using banana pseudostem biochar engineered with facilitate synthesized magnetic nanocomposites. **Bioresource Technology**, v. 297, p. 122472, 2020.

INGOLE, R. S.; LATAYE, D. H.; DHORABE, P. T. Adsorption of Phenol onto Banana Peels Activated Carbon. **KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 21, n. 1, p. 100-110, 2017.

JUNG, E. P. et al. Farinha da Casca de Banana Madura: Uma Matéria prima para a Indústria Alimentícia. **Revista Virtual de Química**, v. 11, n.6, p. 1712-1724, 2019

LEANDRO-SILVA, E. et al. Application of Lagmur and Freudlich models in the study of banana peel as bioadsorbent of Cooper (II) in aqueous medium. **Revista Matéria**, v.25, n. 2, 2020.

MAIA, L. S. et al. Valuation of banana peel waste for producing activated carbon via NaOH and pyrolysis for methylene blue removal. **Carbon Letters**, *in press*, 2021.

MAHINDRAKAR, K. V.; RATHOD, V. K. Utilization of banana peels for removal of strontium (II) from water. **Environmental Technology & Innovation**, v. 11, p. 371-383, 2018.

MARICHELVAM, M. K.; AZHAGURAJAN, A. Removal of Mercury from effluent solution by using banana corn and neem leaves activated charcoal. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management**, v. 10, p. 360-365, 2018.

MUNAGAPATI, V. S. et al. Removal of anionic dyes (Reactive Black 5 and Congo Red) from aqueous solutions using Banana Peel Powder as na adsorbent. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 148, p. 601-607, 2018.

OLUFEMI, B.; ENIODUNMO, O. Adsorption of nickel (II) ions from aqueous solution using banana peel and coconut shell. **International Journal of Technology**, v. 3, p. 434-445, 2018.

OYEKANMI, A. A. et al. Adsorption of Rhodamine B dye from aqueous solution on to acid treated banana peel: Response surface methodology, kinetics and isotherm studies. **PlosOne**, v. 14, n. 5, p. 1-20, 2019.

PANIAGUA, C. E. S.; COSTA, B. E. S.; COELHO, N. M. M. Avaliação da Farinha da Casca de Banana *in natura* e Modificada com Tiosemicarbazida na adsorção de As (III) em diferentes matrizes aquosas. **Revista Virtual de Química**, v. 13, n. 2, p. 551-567, 2021a.

PANIAGUA, C. E. S.; COSTA, B. E. S.; COELHO, N. M. M. Investigação da potencialidade adsorptiva da farinha da casca de banana *in-natura* e modificada com tiosemicarbazida para remediação de Sb(III) e Se(IV) em águas naturais. **Brazilian Journal of Development**, v.7, n. 3, p. 24067-24087, 2021b.

PATHAK, P. D.; MANDAVGANE, S. A.; KULKARNI, B. D. Utilization of banana peel for the removal of benzoic and salicylic acid from aqueous solutions and its potential reuse. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, n. 27, p. 12717-12729, 2015.

RIBEIRO, A. V. F. N. et al. Banana Peel for Acetylsalicylic Acid Retention. **Journal of Environmental Protection**, v. 7, p. 1850-1859, 2016.

SHAR, Z. H. et al. Banana peel: an effective biosorbent for aflatoxins. **Food Additives & contaminants: Part A**, v. 33, n. 5, p. 849-860, 2016.

SHEN, X. et al. Recorded-high capture PF volatile benzene and toluene enabled by activator implant-optimized banana peel-derived engineering carbonaceous adsorbents. **Environmental International**, v. 141, p. 105774, 2020.

SILVA et al. Banana Peel as an Adsorbent for Removing Atrazine and Ametryne from Waters. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, n. 10, p. 2358-2363, 2013.

SINGH, S.; PARVEEN, N.; GUPTA, H. Adsorptive decontamination of rhodamine-B from water using banana peel powder: A biosorbent. **Environmental Technology & Innovation**, v. 12, p. 189-195, 2018.

SOUSA, P. A. R. et al. Evaluation of the Adsorption Capacity of Banana Peel in the Removal of Emerging Contaminants present in Aqueous Media — Study based on Factorial Design. **Brazilian Journal of Analytical Chemistry**, v. 6, n. 22, p. 14-28, 2018.

SOUZA, P. G.; QUEIROZ, T. M.; CARVALHO, J. W. P. Caracterização e Avaliação da Capacidade Adsorptiva de Carvões Elaborados com Bananas. **Revista Virtual de Química**, v. 12, n. 4, 2020.

TEMESGEN, F.; GABBIYE, N.; SAHU, O. Biosorption of reactive red dye (RRD) on activated surface of banana and Orange peels: Economical alternative for textile effluent. **Surfaces and Interfaces**, v. 12, p. 151-159, 2018.

VOLLBRECHT, C. P. et al. Polyurethane foams synthesis with addition of banana peel and application as adsorbent of tartrazine dye. **Revista de Química Industrial**, v. 24, n. 766, p. 47-55, 2020.

YULIUSMAN et al., Preparation of Activated Carbon from Banana Peel Waste as Adsorbent for Motor Vehicle Exhaust Emissions. **E3S Web of Conference**, v. 67, n. 03020, p. 1-6, 2018.

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

Data de aceite: 23/06/2021

Data de submissão: 28/04/2021

Ana Luiza Duarte de Abreu

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Goiás
Goiânia – Goiás
<https://orcid.org/0000-0002-1540-1582>

Rosana Gonçalves Barros

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Goiás
Goiânia – Goiás
<https://orcid.org/0000-0003-4007-3450>

Sandro Morais Pimenta

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Goiás
Goiânia – Goiás
<https://orcid.org/0000-0002-9566-9510>

RESUMO: A água residual advinda do processo de lavagem do material plástico possui alta carga poluidora, que se disposta no meio ambiente sem prévio tratamento, pode causar danos à saúde humana e aos sistemas naturais. Para a seleção do tratamento é preciso realizar uma série de estudos, para então, selecionar o tratamento adequado. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo propor uma alternativa de baixo custo de implantação e operação para tratamento de efluentes gerados nas lavagens de embalagens plásticas de diversas origens. A empresa de reciclagem selecionada, atua do segmento da reciclagem mecânica de plásticos

tipo Polipropileno (PP), Polietileno de Alta Densidade (PeAD) e Politereftalato de Etileno (Pet), matéria prima utilizada na fabricação de garrafas de refrigerante, embalagens de alimentos, produtos de limpeza e frascos de óleo lubrificante. Para a caracterização do efluente gerado e o monitoramento do tratamento instalado na empresa, foi realizada uma amostragem em três pontos distintos do processo de produção. O efluente apresentou altas concentrações de DBO, DQO, sólidos dissolvidos, sólidos totais, óleos e graxas, além da presença de coliformes fecais e *escherichia coli*. O sistema de tratamento proposto é composto por peneira, caixa separadora de água e óleo, dois tanques sépticos dispostos em série e dois sumidouros em paralelo. Para a análise da qualidade do tratamento proposto, comparou-se os resultados com os limites máximos regulamentados pela Resolução do CONAMA 430/2011, e pela empresa de saneamento do município. O sistema de tratamento proposto apresentou alta remoção na maioria dos parâmetros analisados, 84% de eficiência para DBO, 51% para DQO, 94,4% para sólidos suspensos e 97,8% para óleos e graxas. Dessa forma, verificou-se que o sistema de tratamento proposto mostrou ser uma ótima alternativa para o tratamento do efluente gerado na lavagem de material plástico da empresa de reciclagem em estudo.

PALAVRAS-CHAVE: Água residuária; polímero; estação de tratamento; efluente industrial; efluente doméstico.

PROPOSITION OF AN EFFLUENT TREATMENT SYSTEM IN A PLASTICS RECYCLING PLANT IN TRINDADE, GOIÁS

ABSTRACT: The residual water coming from the washing process of the plastic material has a high polluting load, which if disposed in the environment without previous treatment, can cause damages to human health and natural systems. For the selection of the treatment it is necessary to perform a series of studies, in order to then select the appropriate treatment. In view of this, the present work aimed to propose an alternative of low cost implantation and operation for the treatment of effluents generated in the washing of plastic packages of various origins. The selected recycling company operates in the segment of mechanical recycling of plastics such as Polypropylene (PP), High Density Polyethylene (HDPE) and Polyethylene Terephthalate (Pet), raw material used in the manufacture of soft drink bottles, food packaging, cleaning products and bottles of lubricating oil. For the characterization of the effluent generated and the monitoring of the treatment installed in the company, a sampling was performed in three different points of the production process. The effluent presented high concentrations of DBO, DQO, dissolved solids, total solids, oils and greases, besides the presence of fecal coliforms and escherichia coli. The proposed treatment system is composed of a sieve, a water and oil separator box, two septic tanks arranged in series and two sinks in parallel. For the analysis of the quality of the proposed treatment, the results were compared with the maximum limits regulated by the Resolution of CONAMA 430/2011, and by the sanitation company of the municipality. The proposed treatment system showed high removal in most parameters analyzed, 84% efficiency for DBO, 51% for DQO, 94.4% for suspended solids and 97.8% for oils and greases. This way, it was verified that the proposed treatment system proved to be a great alternative for the treatment of the effluent generated on the plastic material washing of the recycling company under study.

KEYWORDS: Residuary water; polymer; treatment station; industrial effluent, domestic effluent.

1 | INTRODUÇÃO

A demanda da sociedade por plástico vem crescendo a cada ano (ANDRADY, 2011). Em 2016, a produção atingiu 396 milhões de toneladas e as projeções indicam que se esse crescimento não for contido, em 2030 terá no mundo cerca de 550 milhões de toneladas do material (VASCONCELOS, 2019).

Associado à necessidade de recursos naturais não renováveis (petróleo) (REMÉDIO *et al.*, 1999; FREITAS *et al.*, 2020), recursos energéticos e a água para a produção dos polímeros, a busca por tecnologias renováveis de produção vêm crescendo rapidamente e as indústrias de transformação de plástico se destacam (BRAZ *et al.*, 2019; GU *et al.*, 2020). Para essas indústrias lavarem o material plástico durante o processo, requer grande demanda de água e no momento atual, a maioria das reciclagens utiliza água doce para esse fim, gerando assim, uma quantidade significativa de água residual (JABŁOŃSKA, 2018; SILVA e MELO, 2018).

A água residual advinda do processo de reciclagem possui alta carga poluidora,

pois as sujeiras que estão aderidas à superfície do material são removidas e transferidas para o efluente (REMÉDIO *et al.*, 1999; SANTOS *et al.*, 2005). Sua composição é diversa e heterogênea, variando inclusive dentro do mesmo local gerador, contendo os mais variados tipos de substâncias, das quais muitas podem contaminar sistemas naturais e causar danos à saúde humana, caso as mesmas atinjam recursos hídricos próximos (ANDRADE *et al.*, 2011; SILVA e MELO, 2018).

Nas empresas de reciclagens as etapas mais comuns do processo são: separação do resíduo polimérico, moagem, lavagem, secagem e reprocessamento, transformando-o assim, em produto acabado (FARIA *et al.*, 2011; BORDIN *et al.*, 2012). As etapas do processo podem ser reduzidas ou incrementadas de acordo com o material a ser reciclado (SANTOS *et al.*, 2005). O maior volume de água residual é gerado principalmente na etapa de lavagem.

O adequado tratamento dos efluentes e disposição final é de fundamental importância para a proteção da saúde pública e do meio ambiente. Em efluentes industriais, principalmente, a redução do potencial poluidor deve deixar de ser um procedimento opcional e ser considerado essencial (DINIZ *et al.*, 2017). O tratamento dessas águas residuárias visa remover possíveis contaminantes presentes nos efluentes para que os níveis aceitáveis de concentrações desses contaminantes sejam atingidos de acordo com a legislação ambiental local (BRAZ *et al.*, 2019). O grau de tratamento depende da necessidade específica de cada efluente (BORDIN *et al.*, 2012).

Von Sperling (2014) classifica o tratamento de esgoto por níveis, onde o tratamento preliminar objetiva a remoção de sólidos grosseiros; o tratamento primário, visa a remoção de sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica. No tratamento secundário, predominam mecanismos biológicos, com objetivo principal de remoção da matéria orgânica e ocasionalmente, nutrientes como nitrogênio e fósforo. O tratamento terciário objetiva a remoção de poluentes específicos e/ou a remoção complementar de poluentes que não foram removidos o suficiente nos tratamentos anteriores.

A seleção do tratamento de efluentes industriais é realizada por meio de uma série de estudos iniciais, tais como: o levantamento do processo industrial, a avaliação da carga poluidora por meio de amostragens do efluente, estudos de prevenção à poluição, análise das exigências legais a ser cumpridas e então, selecionar o tratamento.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi propor uma alternativa de baixo custo de implantação e operação para o tratamento de efluentes líquidos gerados em processos de lavagem de embalagens plásticas de diversas origens, utilizando dados obtidos em escala real de uma indústria recicladora de plásticos, localizada no município de Trindade, Goiás.

2 I METODOLOGIA

2.1 Caracterização do empreendimento

A empresa de reciclagem selecionada no presente estudo, está no mercado desde 2005, atuando no segmento da reciclagem mecânica de plásticos do tipo Polipropileno (PP), Polietileno de Alta Densidade (PeAD) e Polietereftalato de Etileno (Pet). Promove a separação, o processamento, a venda e distribuição de matéria prima para empresas do ramo têxtil, peças automotivas, fábricas de corda e utensílios domésticos.

Situada no município de Trindade, Goiás, entre as coordenadas geográficas de latitude 16°38'43" S e longitude 49°26'10" W, a empresa possui uma área construída de aproximadamente 1000 m², composta por dois galpões, dois banheiros, um vestiário e um escritório administrativo (Figura 1). A empresa opera em um regime diário de oito horas, cinco dias por semana, com um processamento mensal médio em torno de 13 toneladas. É importante mencionar que o bairro onde a empresa está sediada não possui rede coletora de esgoto ou corpo hídrico próximo para realizar o despejo dos efluentes gerados.

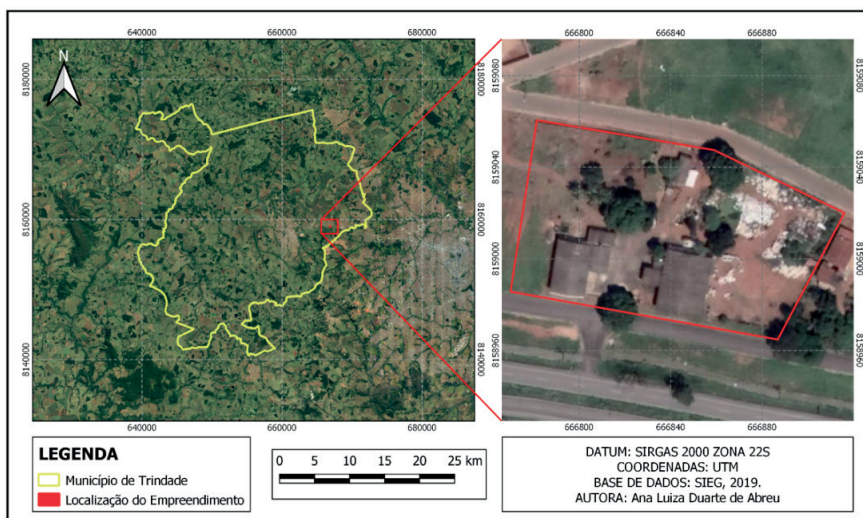


Figura 1: Mapa de localização do empreendimento.

Fonte: Adaptado Google Earth, 2019.

2.2 Processo Produtivo

Nesta etapa do estudo, realizou-se o levantamento dos processos produtivos, tipo de matéria prima utilizada e a identificação das unidades geradoras de efluentes líquidos. A empresa possui dois processos de produção: o primeiro utiliza como matéria prima o Polietereftalato de Etileno (Pet), utilizado na fabricação de garrafas de refrigerante, e o

Polipropileno (PP), material utilizado na composição das tampinhas das garrafas; o segundo processo utiliza o Polietileno de Alta Densidade (PeAD), frequentemente aplicado na fabricação de embalagens de alimentos, produtos de limpeza doméstica e frascos de óleo lubrificante e o Polipropileno (PP). O fluxograma apresentado na Figura 2, descreve os processos produtivos e indica as etapas de descarte do efluente líquido.

A água utilizada no processo é captada de dois poços artesianos através de bombas, com capacidade de recalque de 500 L/h, permanecendo ligada entre quatro a cinco horas por dia, bombeando assim, aproximadamente 2500 litros de água por dia a ser utilizados na produção e área comum do empreendimento.

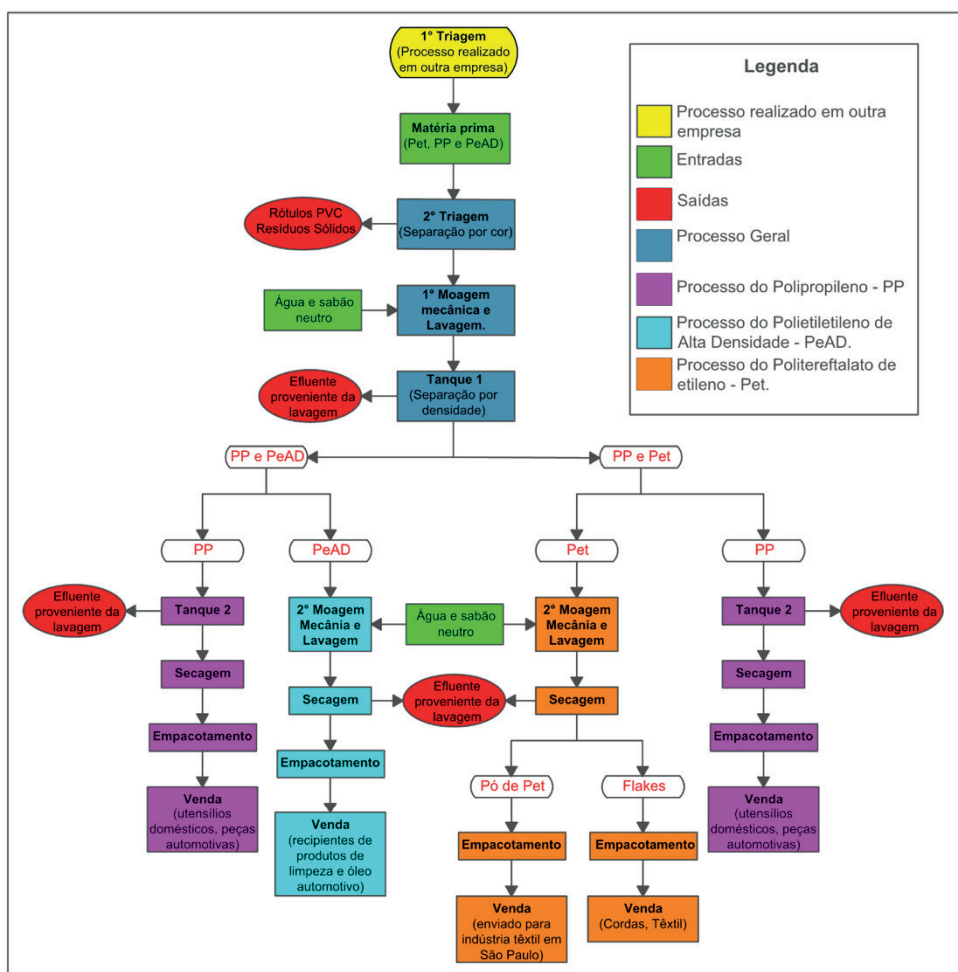


Figura 2: Fluxograma dos processos produtivos.

Fonte: Elaborado pelos autores.

2.3 Atual Sistema de Tratamento

A água utilizada na lavagem do material plástico recircula no processo cerca de dois dias, sem passar por um pré-tratamento para ser reutilizada, e então, é descarregada no sistema de tratamento de esgoto da empresa.

O efluente do processo produtivo é liberado do sistema por batelada, a cada dois dias. A água residual fica armazenada em dois tanques com volume de 2500 litros cada, ao ser liberada, segue para uma caixa de gordura, posteriormente para dois tanques sépticos dispostos em série e um sumidouro, e por conseguinte, infiltra no solo (Figura 3). Por não ter rede coletora de esgoto, o efluente da área comum da empresa não é despejado nesse mesmo tratamento, ele é descartado em fossa negra.

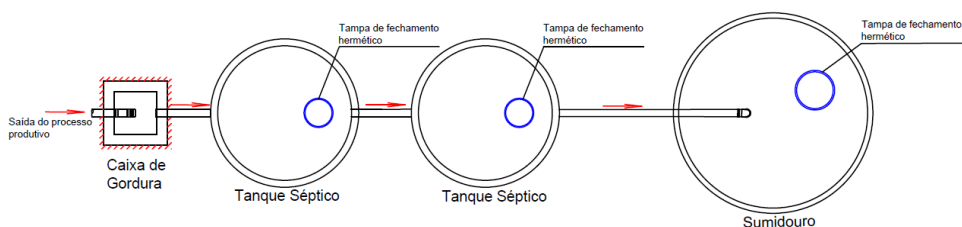


Figura 3: Fluxograma do atual sistema de tratamento de efluente.

Fonte: Elaborado pelos autores.

2.4 Estudos Laboratoriais Preliminares

Inicialmente, para a caracterização do efluente gerado e o monitoramento do atual tratamento, foi realizada uma amostragem no dia 01 de outubro de 2020, em três pontos distintos. No ponto 1 (P1) foi coletada uma alíquota do efluente no tanque de armazenamento; no ponto 2 (P2) uma alíquota da caixa de gordura e por fim, no ponto 3 (P3) uma amostra coletada no sumidouro (Figura 4). As amostras foram coletadas, armazenadas e preservadas de acordo com a NBR 9898:1987 e com o Guia nacional de coleta e preservação de amostras (2011), e posteriormente encaminhadas ao Laboratório de Efluentes da Companhia de Saneamento de Goiás - SANEAGO para serem analisadas.



Figura 4: Localização dos pontos de amostragem.

Fonte: Adaptado Google Earth, 2020.

Com base em estudos realizados na área e na legislação ambiental pertinente, foram selecionados os seguintes parâmetros para análise: oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), pH, sólidos dissolvidos, sólidos suspensos, sólidos totais, cloreto total coliformes totais, *Escherichia Coli* e óleos e graxas (OG). Todas as análises foram realizadas de acordo com os padrões APHA – *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater* (2017).

Após a análise e comparação dos resultados laboratoriais com os padrões de lançamento descritos na seção II da Resolução CONAMA n°430/2011, foi calculada a eficiência do sistema de tratamento de esgoto da empresa de reciclagem, assim como a escolha do sistema de tratamento mais adequado para o empreendimento.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização do efluente

De acordo com Santos *et al.* (2005), quando um processo de reciclagem envolve a limpeza dos resíduos plásticos, as avaliações das características do efluente lançado pelo processo, os requisitos para seu tratamento e seu impacto no meio ambiente, são cruciais para a preservação ambiental. Dessa forma, se liberado na natureza sem um

devido tratamento, poderá impactar o solo e os recursos hídricos devido ao seu potencial poluidor. O Quadro 1 apresenta os resultados obtidos na caracterização do efluente do tanque de armazenamento para recirculação (Ponto 1), do efluente bruto (Ponto 2), do efluente tratado (Ponto 3), além dos padrões de lançamento estabelecidos pela resolução.

Parâmetro	Ponto 1 – Tanque de armazenamento	Ponto 2 – Efluente Bruto	Ponto 3 – Efluente Tratado	Limites máximos da CONAMA nº 430/2011	Método
Oxigênio Dissolvido - OD	< 0,1 mg/L O ₂	< 0,1 mg/L O ₂	3,88 mg/L O ₂	-	SMEWW 4500 O C
Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO	1222,5 mg/L O ₂	2002,5 mg/L O ₂	274,5 mg/L O ₂	Remoção mínima de 60%	SMEWW 5210 B
Demanda Química de Oxigênio - DQO	3105,0 mg/L O ₂	6325 mg/L O ₂	3780,0 mg/L O ₂	-	SMEWW 5220 D
pH	6,85	6,29	6,52	5 a 9	SMEWW4500 H+B
Sólidos Dissolvidos	691 mg/L	4276 mg/L	2291,5 mg/L	-	SMEWW2540 C
Sólidos Suspensos	752 mg/L	1812 mg/L	3107,5 mg/L	-	SMEWW2540 D
Sólidos Totais	1444,0 mg/L	6088 mg/L	5399,0 mg/L	-	SMEWW 2130 B
Cloreto Total	260 mg/L	320 mg/L	45,0 mg/L	-	SMEWW 2120 C
Coliformes Totais	>24196 NMP/100mL	>24196 NMP/100mL	>24196 NMP/100mL	-	SMEWW 9223 B
<i>Escherichia Coli</i>	>24196 NMP/100mL	>24196 NMP/100mL	548 NMP/100mL	-	SMEWW 9223 B
Óleos e graxas - OG	389 mg/L OG	787 mg/L OG	495 mg/L OG	20 mg/L OG	SMEWW 5520 D+F

Quadro 1: Resultados da coleta de efluente realizada no dia 01 de outubro de 2020.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os pontos 1 e 2 apresentaram baixa concentração de oxigênio dissolvido (Quadro 1), devido o seu consumo na decomposição de matéria orgânica presente nestes dois locais. O OD auxilia na estimativa de eficiências necessárias na remoção de compostos orgânicos biodegradáveis pelas estações de tratamento de efluente a ser construídas, além de ser um dos principais parâmetros indicadores de qualidade da água.

Os parâmetros DQO e DBO são métodos indiretos para determinar a matéria orgânica presente na amostra através da medição do consumo de oxigênio, sendo um importante parâmetro para estimar a carga poluidora. No efluente em estudo, foram encontradas elevadas concentrações de DQO e DBO no efluente bruto (6325 mg/L O₂, e 2002,5 mg/L O₂, respectivamente) (Quadro 1). A alta carga orgânica da água residuária encontrada é devido, principalmente, à lavagem de embalagens contaminadas de alimentos. Silva e

Melo (2018) também observaram elevadas concentrações de DQO em coletas realizadas no sistema de tratamento de efluente de uma indústria de reciclagem de garrafas Pet, em Minas Gerais.

Verifica-se no Quadro 1, que o valor do pH em todos os pontos amostrados encontra-se levemente ácido, provável consequência da lavagem de embalagens de produtos de limpeza. Resultado semelhante foi encontrado por Braz *et al.* (2019), onde os mesmos obtiveram valores de pH em torno de 6,32 e 6,91 do efluente gerado no processo de lavagem de empresa recicladora de garrafas Pet localizada na cidade de Poços de Caldas, Minas Gerais.

Os sólidos suspensos representam a fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos que decantam ou sedimentam, dependendo de sua densidade, as partículas mais grosseiras são removidas por gradeamento ou peneiramento, e as menores por tanques de decantação. O efluente bruto (ponto 2) não apresentou valores altos de sólidos suspensos, entretanto, o efluente tratado (ponto 3) apresentou um aumento de sólidos suspensos, indicando o acúmulo desses sólidos durante as etapas do sistema de tratamento (Quadro 1).

No ponto 2 (efluente bruto), o valor de sólidos dissolvidos encontra-se elevado, 4276 mg/L especificamente, sugerindo que a maior parte dos sólidos (orgânicos e inorgânicos) presente na amostra está dissolvida. Resultados semelhantes foram relatados por Remédio *et al.* (1999) em amostragens de três procedimentos distintos de lavagens de filmes plásticos provenientes do rejeito do Parque de Reciclagem e de Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos de Araraquara, São Paulo.

Foram encontradas altas concentrações de OG nos três pontos amostrados (389 mg/L OG; 787 mg/L OG e 495 mg/L OG, respectivamente) (Quadro 1), sendo necessário um tratamento específico para a sua retirada. Os altos valores encontrados de OG são em decorrência da lavagem frequente de embalagens de óleos automotivos. Faria e Pacheco (2011) identificaram que o óleo residual presente nas embalagens de óleo lubrificante aumenta o índice de fluidez do plástico, afetando negativamente a qualidade dos produtos produzidos com o material reciclado, sendo imprescindível a realização do tratamento adequado desses compostos.

O cloreto relaciona-se diretamente com a dureza da água, sendo que altas concentrações podem causar corrosões no sistema de tratamento de esgoto. Os valores apresentados nos três pontos amostrados (Quadro 1) estão aceitáveis, não oferecendo riscos estruturais ao sistema de tratamento.

Verifica-se no Quadro 1 a presença de coliformes fecais e *escherichia coli* em todos os pontos amostrados do efluente em estudo. A presença dos mesmos foi provavelmente causada pelo contato com resíduos sanitários. Santos *et al.* (2005) ao realizarem análises das águas residuárias das etapas de pré-lavagem e de lavagem do Pet, também verificaram a contaminação por coliformes fecais (670 NPM/100mL na etapa de pré-lavagem e 48 NPM/100mL na lavagem) e *escherichia coli* (1381 NPM/ 100mL na pré-lavagem e 44

NPM/100mL na etapa de lavagem).

3.2 Proposta de Sistema de Tratamento de Esgoto

Para avaliação do impacto da poluição e da eficácia das medidas de controle e tratamento, foi quantificada a carga poluidora de DBO, através do produto da vazão pela concentração de DBO do efluente, que resultou no valor de 5,05 Kg/dia. A partir desse valor, foi calculado o equivalente populacional (E.P.), que expressa a equivalência entre o potencial poluidor de uma indústria (em termos de matéria orgânica) e uma determinada população a qual produz essa mesma carga poluidora. Para o cálculo, foi utilizada a Equação 1, sendo o valor de contribuição per capita de DBO de 54 g DBO/hab*dia, presente na NBR 12209/1992:

$$E. P. = \frac{\text{carga de DBO da indústria}}{\text{contribuição percapita de DBO}} \quad (1)$$

Desta forma, a indústria de reciclagem em estudo possui um equivalente populacional de 96 habitantes.

Por se tratar de uma empresa de pequeno porte, com recursos financeiros limitados, pouca infraestrutura e um quadro de funcionários reduzido, optou-se por um tratamento biológico, que possui baixo custo de manutenção se comparado com os processos mecânicos, que necessitam de mão de obra especializada para realizar a manutenção, além de gerar gastos com trocas de peças e operação simples, principalmente se contraposto com o tratamento químico, que deve ser monitorado constantemente a fim de garantir sua eficiência.

Devido à presença de pedaços de polímeros que acabam sendo arrastados com a água de lavagem, faz-se necessário um tratamento para remover esses sólidos. Para a retenção dessas partículas de plásticos, será utilizado uma peneira estática quadrada de aço inox e malha 8, que possui abertura de 2,36 mm (YANG, *et al.*, 2019) e eficiência de remoção em sólidos suspensos entre 60% e 89,4% (LUZ, *et al.*, 2004; RODRIGUES, *et al.*, 2015), logo na saída do efluente do processo. Nesta etapa, a limpeza da peneira terá que ser mais intensa, para que o efluente consiga passar e seguir o curso do tratamento. A limpeza será feita manualmente, considerando que o polímero retido poderá ser tratado e vendido posteriormente.

Logo após a peneira, a água residuária seguirá para uma caixa de passagem, que foi dimensionada utilizando as fórmulas de Von Sperling (2014) para dimensionamento do tanque de equalização, sem agitador. O cálculo do volume de equalização (V_{eq}), em metros cúbicos, foi realizado utilizando a Equação 2:

$$V_{eq} = (Q_e - Q_s) * t \quad (2)$$

Onde V_{eq} é o volume de equalização (m^3); o Q_e corresponde à vazão de entrada do efluente bruto (m^3/h); o Q_s é a vazão de saída do efluente bruto (m^3/h); t é o tempo de funcionamento (h).

Para o cálculo das dimensões da caixa de passagem foi adotada uma altura (H) de dois metros (Equação 3 e 4):

$$b = L \quad (3)$$

$$V_{eq} = b * L * H \quad (4)$$

Onde b é a base (m); L é o comprimento (m); H é a altura (m).

Por fim, calculou-se o volume total (Vt) da caixa de passagem através da Equação 5:

$$V_t = (V_{eq} + V_{min}) \quad (5)$$

Onde Vt é volume total (m³); Vmin é volume mínimo (m³).

A caixa de passagem antecede a caixa separadora de água e óleo, com o objetivo de impedir a quebra da emulsão água-óleo por centrifugação.

Para a retirada dos óleos e graxas presente no efluente, foi adotado uma caixa separadora de água e óleo pré-fabricada (Figura 5), atendendo às recomendações da NBR 14605:2020, modelo ARXO 1000, com capacidade de vazão máxima de 1000 L/h e eficiência em remoção de óleos e graxas entre 80% e 95%, de acordo com dados do fabricante. Esse modelo já possui o reservatório de óleo removível, a fim de facilitar o descarte do óleo e sua limpeza, além de apresentar um custo 67% menor que o sistema separador de água e óleo de alvenaria.

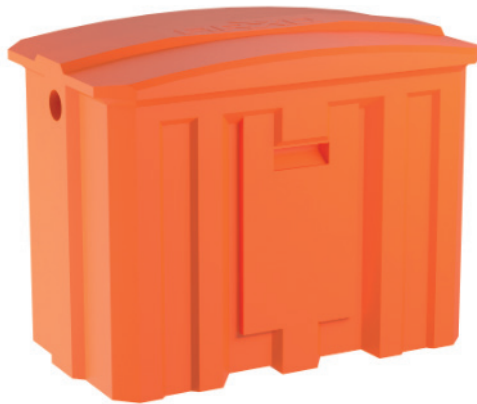


Figura 5: Caixa separadora de água e óleo Modelo ARXO 1000.

Fonte: Manual do produto ARXO (2020).

Após a caixa separadora de água e óleo, o efluente passará por dois tanques sépticos cilíndricos, dispostos em série. Para o dimensionamento dos tanques foram utilizados os dados da NBR 7229:1993, sendo o cálculo do volume útil total (V) do tanque séptico realizado pela Equação 6:

$$V = 1000 + N * (C * T + KLf) \quad (6)$$

Onde V é o volume útil (L); N é o número de pessoas contribuintes; C é a contribuição de despejos (L/pessoa x dia); K é a taxa de acumulação de lodo digerido (dia); Lf é a contribuição do lodo fresco (L/pessoa x dia).

Para uma contribuição diária de 2520 L/dia, utilizou-se a tabela da contribuição diária de esgoto (C) e de lodo fresco (Lf) por tipo de prédio e de ocupante presente na NBR 7229/93 (Figura 6).

Prédio	Unidade	Contribuição de esgotos (C) e lodo fresco (Lf)	
1. Ocupantes permanentes			
- residência			
padrão alto	pessoa	160	1
padrão médio	pessoa	130	1
padrão baixo	pessoa	100	1
- hotel (exceto lavanderia e cozinha)	pessoa	100	1
- alojamento provisório	pessoa	80	1
2. Ocupantes temporários			
- fábrica em geral	pessoa	70	0,30
- escritório	pessoa	50	0,20
- edifícios públicos ou comerciais	pessoa	50	0,20
- escolas (externatos) e locais de longa permanência	pessoa	50	0,20
- bares	pessoa	6	0,10
- restaurantes e similares	refeição	25	0,10
- cinemas, teatros e locais de curta permanência	lugar	2	0,02
- sanitários públicos ^(A)	bacia sanitária	480	4,0

^(A) Apenas de acesso aberto ao público (estação rodoviária, ferroviária, logradouro público, estádio esportivo, etc.).

Figura 6: Contribuição diária de esgoto (C) e de lodo fresco (Lf) por tipo de prédio e de ocupante.

Fonte: NBR 7229/93.

O tipo de prédio adotado para o dimensionamento está em ocupantes temporários, fábrica em geral. A contribuição de esgoto (C) para este tipo de edificação é de 70 L/pessoa*dia e contribuição de lodo fresco (Lf) de 0,30 (Figura 6) e o número de 36 contribuintes (Figura 6). O período de detenção dos despejos é determinado pela faixa de contribuição diária, apresentadas na NBR 7229/93 (Figura 7).

Contribuição diária (L)	Tempo de detenção	
	Dias	Horas
Até 1500	1,00	24
De 1501 a 3000	0,92	22
De 3001 a 4500	0,83	20
De 4501 a 6000	0,75	18
De 6001 a 7500	0,67	16
De 7501 a 9000	0,58	14
Mais que 9000	0,50	12

Figura 7: Período de detenção dos despejos, por faixa de contribuição diária.

Fonte: NBR 7229/93.

A contribuição diária de 2520 L/dia, tem-se o tempo de detenção (T) de 0,92 dias ou 22 horas e uma faixa de contribuição de 1501 a 3000 litros (Figura 7).

Por fim, determinou-se a taxa de acumulação total do lodo (K), em dias, por intervalo entre limpezas e temperatura do mês mais frio (Figura 8).

Intervalo entre limpezas (anos)	Valores de K por faixa de temperatura ambiente (t), em °C		
	$t \leq 10$	$10 \leq t \leq 20$	$t > 20$
1	94	65	57
2	134	105	97
3	174	145	137
4	214	185	177
5	254	225	217

Figura 8: Taxa de acumulação total de lodo (K), em dias, por intervalo entre limpezas e temperatura do mês mais frio.

Fonte: NBR 7229/93.

Para temperatura ambiente $t > 20$ °C e um intervalo de limpeza de um ano, tem-se uma taxa de acumulação total de lodo (K) de 57 (Figura 8).

A eficiência de remoção dos tanques sépticos para DQO é entre 30% e 40%, para DBO, com vazões em torno de 2000 L/dia, apresentando valores entre 35% a 61%, para OG entre 70% e 90% e sólidos suspensos entre 60% e 90% (VON SPERLING, 2014; SILVA, *et al.*, 2018). O primeiro tanque séptico fará o tratamento biológico do efluente, e o segundo fará o polimento da água residuária.

O efluente deverá passar por uma caixa de distribuição, para enfim, ser despejado em dois poços absorventes dispostos em paralelo, obedecendo à distância mínima entre as paredes dos poços múltiplos de 1,50 m, construídos de tijolos furado em crivo e dimensionados de acordo com a NBR 13969:97.

O cálculo da área total de infiltração para a contribuição diária da empresa é dado pela Equação 7. Os coeficientes utilizados para o dimensionamento foram: contribuição de despejos (C) de 70 L/ pessoa x dia (N); taxa de percolação (Ci) para solo composto de argila arenosa vermelha de 70 L/m² x dia; Contribuição diária (Cd) de 2520 L/dia; Tempo de detenção (T) de 0,92 dia ou 22 horas. Para o cálculo da área total de infiltração (Af):

$$A_f = \frac{Cd}{C_i} \quad (7)$$

Onde Af é área total de infiltração; Cd é a contribuição diária; Ci é a taxa de percolação do solo.

Considerando que os sumidouros terão infiltração nas paredes e no fundo e diâmetro (D) de dois metros, utilizou-se a Equação 8 para calcular a área total de cada poço absorvente:

$$A_T = (\pi * r^2) + (2 * r * h) \quad (8)$$

Onde At é a área total de cada sumidouro; r é o raio; h é a altura útil.

As dimensões e a eficiência média de projeto de cada etapa do sistema estão apresentadas no Quadro 3.

Dimensões do Sistema de Tratamento de Efluente Proposto					
	Peneira quadrada	Caixa de passagem	Caixa Separadora de água e óleo	Tanques sépticos cilíndrico	Sumidouros
Dimensões	Comprimento: 1 m Largura: 1 m Malha de aço inoxidável nº 8	Altura: 2 m Largura: 1 m Área Total: 2,0 m ² Volume Total: 2,65 m ³	Comprimento: 1,15 m Altura: 0,85 m Profundidade: 0,68 m	Diâmetro interno: 2 m Altura útil: 1,60 m Altura total: 2,0 m Volume útil: 5,1 m ³	Diâmetro interno: 2 m Diâmetro externo: 2,20 m Altura útil: 2,5 m Altura total: 3,0 m Área total de infiltração: 20,73 m ³
Eficiência Média (%)	Sólidos Suspensos: 65%	-	Óleos e graxas: 85%	DQO: 30% DBO: 60% Óleos e graxas: 70% Sólidos suspensos: 60%	-

Quadro 3: Dimensões e eficiência média de projeto do sistema de tratamento de efluente proposto.

Fonte: Luz (2004); Von Sperling (2014); Rodrigues (2015); Silva (2018); Manual do produto ARXO (2020).

Nos tanques de armazenamento será adicionado cloro para a desinfecção, além de prevenir a contaminação por coliformes fecais. A Figura 6 apresenta um fluxograma do sistema de tratamento de esgoto proposto.

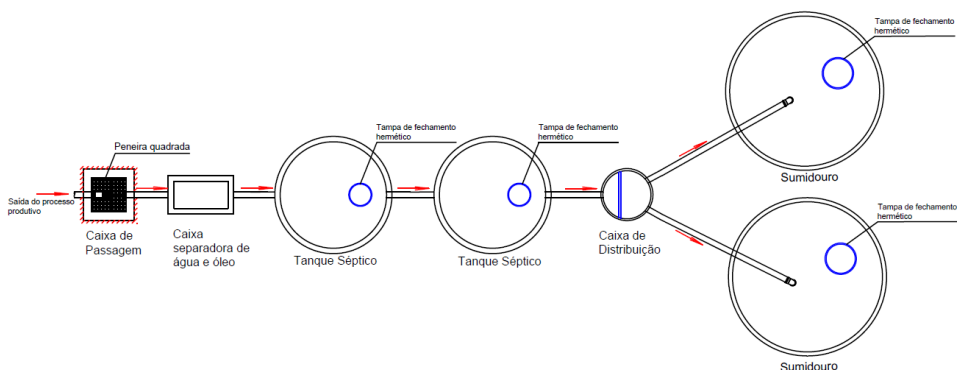


Figura 6: Fluxograma do sistema de tratamento de efluente proposto.

Fonte: Elaborado pelos autores.

3.3 Eficiência do Sistema de Tratamento de Esgoto Proposto

Para o cálculo da eficiência de projeto do tratamento de esgoto proposto no presente estudo, foi realizado o levantamento da eficiência de remoção em cada etapa do sistema, para os principais parâmetros regulamentados pela Resolução CONAMA nº430/2011 e pela empresa de saneamento responsável pela coleta e tratamento do esgoto no município onde se localiza a empresa, sendo eles: DBO, DQO, sólidos suspensos e OG (Quadro 4).

Eficiência do sistema de tratamento de esgoto proposto					
Parâmetro	Eficiência atual	Eficiência de projeto	Resultado do sistema proposto	CONAMA nº 430/2011	Empresa de saneamento
Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO	86%	84%	320,4mg/L O ₂	Remoção mínima de 60%	300 mg/L O ₂
Demanda Química de Oxigênio - DQO	40%	51%	3099,25mg/L O ₂	Não regulamentado	450 mg/L O ₂
Sólidos Suspensos	0	94,4%	101,47mg/L	Não regulamentado	Não regulamentado
Óleos e Graxas - OG	37%	97,8%	17,71mg/L OG	20 mg/L OG	100 mg/L OG

Quadro 4: Eficiência dos tratamentos dos principais parâmetros, resultados e limites máximos permitidos.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Verifica-se no Quadro 4, que o sistema de tratamento proposto apresentou eficiência aproximada ao tratamento da empresa no parâmetro DBO, porém, nos demais parâmetros, DQO, OG e sólidos suspensos, as eficiências do sistema proposto foram superiores aos do tratamento realizado na empresa.

O parâmetro DBO atendeu os padrões da resolução CONAMA n° 430, com eficiência de 84% e, considerando que a empresa de saneamento admite efluentes com valores de DBO ou DQO excedendo até 10% aos limites máximos, o valor de 320,4 mg/L O₂ para DBO está dentro dos parâmetros para lançamento na rede de esgoto.

O OG apresentou altos valores nos três pontos amostrados (Quadro 1) no sistema da empresa, e uma eficiência de 37% em sua remoção, não atendendo os padrões da resolução CONAMA n° 430/2011 e da empresa de saneamento. Já o tratamento proposto, apresentou uma eficiência de 97,8%, atendendo assim, à legislação pertinente.

Com base na análise dos dados de eficiência do tratamento realizado pela empresa e nos dados laboratoriais de caracterização do efluente (Quadros 1 e 4), é possível observar que os valores de sólidos suspensos foram maior no efluente tratado, isso se deve ao fato do sumidouro não estar infiltrando o efluente como deveria. É importante mencionar, que o poço absorvente instalado na área em estudo, não possui furos nas laterais para infiltração, ocorrendo à absorção apenas no fundo, causando assim, o acúmulo do efluente de várias lavagens e o aumento da carga poluidora.

4 | CONCLUSÃO

Embora a reciclagem de plástico seja de grande relevância no tratamento desses resíduos, pode trazer impactos negativos sobre o meio ambiente e à saúde pública. Logo, uma das premissas deste estudo se justifica ao explicitar a importância do tratamento adequado da água residuária advinda do processo de lavagem das embalagens plásticas.

O sistema de tratamento de efluente proposto se mostrou apto quanto às eficiências na remoção dos poluentes analisados. O emprego da caixa separadora de água e óleo apresentou ótimo desempenho na remoção de OG, alcançando uma eficiência de 97,8%. O parâmetro DBO atingiu eficiência de 84%, evidenciando a elevada remoção de matéria orgânica pelos tanques sépticos. Os sólidos suspensos com 94,4% de remoção, demonstrou a eficácia do emprego da peneira estática na remoção de sólidos suspensos grosseiros e dos tanques sépticos que fizeram a decomposição da fração orgânica presente nos sólidos, tanto suspensos quanto dissolvidos.

A simplicidade da manutenção e operação do sistema refletem diretamente no custo-benefício do mesmo. O custo de implantação do sistema de tratamento biológico é baixo, mesmo com os demais compartimentos, como a peneira e a caixa separadora de água e óleo. As despesas geradas pelo sistema são reduzidas, considerando que não é necessário a adição de produtos químicos e mão de obra especializada para realizar a

manutenção e operação.

Conclui-se ainda, que este sistema influencia diretamente na conservação do solo, água subterrânea e recursos hídricos com a minimização dos impactos provenientes da destinação incorreta destes efluentes. Portanto, o sistema de tratamento proposto mostrou ser uma ótima alternativa para o tratamento do efluente gerado na lavagem de material plástico da empresa de reciclagem.

REFERÊNCIAS

APHA. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 23 ed. Washington, DC. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12209: Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário.** Rio de Janeiro, p.12, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969: Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação.** Rio de Janeiro, p.60, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14605: Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis – Sistema de drenagem oleosa em posto revendedor de combustíveis automotivos.** Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9897: Planejamento e amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores.** Rio de Janeiro, p.14, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9898: Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores.** Rio de Janeiro, p.22, 1987.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA (Brasil); COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Guia nacional de coleta de preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos.** Brasília, DF: ANA; São Paulo: CETESB, 2011.

ANDRADE, H. H. B.; MARTINS, L. F. V.; BORBA, A. L.; KAICK, T. S. V.. Proposta de uma sistema de tratamento de efluentes de lavagem de veículos utilizando zona de raízes. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE SUBTERRÂNEO, 2. **Anais.** São Paulo: ABAS, 2011.

ANDRADY, A. L.. Microplastics in the marine environment. **Marine Pollution Bulletin**, vol. 62, p. 1596-1605, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>

BORDIN, A.; SILVEIRA, U. S.; FRANK, F.; BETTIOL, V. R.. Reciclagem de plástico e Tratamento de efluentes: uma possibilidade para reuso da água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 3. **Anais.** Goiânia: IBEAS, 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n° 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n° 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 2011.

BRAZ, L. M.; AGUIAR, A. B. S.; RODRIGUEZ, R.P. Potential for anaerobic treatment of wastewater from pet bottle washing in a fluidized bed reactor. **Journal of Water Process Engineering**, v.31, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100817>

CAMPOS, R. F. F.; BORGA, T.; VAZQUEZ, E. M.. Monitoreo de uma estação de tratamento de efluentes proveniente de uma empresa de reciclagem de plástico del município de Caçador, Santa Catarina, Brasil. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v.21, n.2, p.158-165, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5902/2236117028138>

FARIA, F. P.; PACHECO, E. B. A. V. A reciclagem de plástico a partir de conceitos de Produção Mais Limpa. **Revista Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Bauru, n.3, p.93-107, 2011.

FREITAS, D. J.; MELO, D. C. P.. Alternativa para redução do consumo de água potável no processo da indústria de transformação de plásticos. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.11, n.1, p.115-130, 2020. DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.001.0012>

GU, Y.; ZHOU, G.; WU, Y.; XU, M.; CHANG, T.; GONG, Y.; ZUO, T.. Environmental performance analysis on resource multiple-life-cycle recycling system: Evidence from waste pet bottles in China. **Resources, Conservation & Recycling**, v.158, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104821>

JABŁOŃSKA, B.. Water consumption management in polyethylene terephthalate (PET) bottles washing process via wastewater pretreatment and reuse. **Journal of Environmental Management**, v.224, p.215-224, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.07.054>

LUZ, A. B.; SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. L. M.. **Tratamento de minérios**. 4 ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004.

RODRIGUES, Q. S.; LIMA, C. A.; SANTOS, R. P.; SPELTA, A. C. F.; SILVA, I. J.. Influência da segregação de efluentes no desempenho do tratamento de águas residuárias de frigorífico. In: Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais, 4. **Anais**, Rio de Janeiro: SBERA, 2015.

REMÉDIO, M. V. P.; ZANIN, M.; TEIXEIRA, B. A. N.. Caracterização do Efluente de Lavagem de Filmes Plásticos Pós-Consumo e Determinação das Propriedades Reológicas do Material Reciclado. **Revista Polímeros**, São Carlos, v.9, n.4, p. 177-183, 1999.

SANTOS, A. S. F.; TEIXEIRA, B. A. N.; AGNELLI, J. A. M.; MANRICH, S.. Characterization of effluents through a typical plastic recycling process: An evaluation of cleaning performance and environmental pollution. **Resources Conservation & Recycling**, vol. 45, p. 159-171, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2005.01.011>

SILVA, V. F.; ALVES, A. A. A.; TONES, A. R. M.; SANTOS, B. L. B.; FERREIRA, J. V. T.. Avaliação da eficiência de tanque séptico no tratamento de esgoto sanitário e proposição de tecnologia complementar por meio de modelo de apoio multicritério à decisão. In: Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, 11. **Anais**. Porto Alegre: UFRGS, 2018.

SILVA, J. A.; MELO, C. M. T.. Estudo de caso: Eficiência de uma estação de tratamento de efluente de empresa de reciclagem de garrafas PET. **Revista Inova Ciência & Tecnologia**, Uberaba, v.4, n.2, p.18-23, 2018.

VASCONCELOS, Y.. Planeta Plástico. **Revista Pesquisa FAPESP**, v.281, p.19-24, 2019.

VON SPERLING, M.. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**.4 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014.

YANG, L.; LI, K.; CUI, S.; KANG, Y.; AN, L.; LEI, K.. Removal of microplastics in municipal sewage from China's largest water reclamation plant. **Water Research**, v. 155, p.175-181, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.046>

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

Data de aceite: 23/06/2021

Rodrigo Chimenti Cabral

Pós-graduado em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Presbiteriana Mackenzie. Pós-graduado em Gestão Ambiental e Negócios do Setor Energético pela Universidade de São Paulo (USP)
São Paulo – S.P

RESUMO: Uma das vertentes do saneamento básico brasileiro é a destinação final dos resíduos sólidos que apresenta um grande desafio, pois o país é o terceiro maior produtor de resíduos no mundo e ainda 40,5% destes são destinados de forma incorreta no meio ambiente. Para evitar a poluição ambiental, a técnica correta de destinação atualmente disponível são os aterros sanitários que estão alcançando o limite da capacidade para recebimento de resíduos. Diante destas problemáticas, desde 2010 foi criada a Política Nacional de Resíduos Sólidos a qual prevê a erradicação de lixões e aterros controlados, propõe como alternativas a disposição em aterro sanitário e destinações finais para recuperação e aproveitamento energético dos resíduos devendo obedecer a normas operacionais específicas para evitar danos ou riscos à segurança, saúde pública e minimizar impactos ambientais adversos. Uma forma para o aproveitamento energético proposto é o processo de tratamento térmico que reduz massa e volume dos resíduos possibilitando gerar energia durante sua combustão. Este trabalho apresenta a viabilidade técnica e

financeira baseada nas estimas da geração de energia elétrica e a redução de emissão de poluentes provida da combustão dos resíduos sólidos urbanos produzidos nos municípios os quais as outras duas vertentes do saneamento básico, água e esgoto, são operados pela diretoria metropolitana da companhia de Saneamento Básico do estado de São Paulo (SABESP).

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos Sólidos Urbanos, Tratamento Térmico, Geração de Energia.

ABSTRACT: Brazilian law 12,305 / 10 presents the definitions of reverse logistics, disposal and the final disposal of environmentally friendly solid waste. In addition to reuse, recycling and composting, this law indicates energy recovery and utilization as an correct form. In other countries, the heat treatment process is a form of final disposal of municipal solid waste that allows energy generation and the reduction of mass and volume. In Brazil, the generation of electric energy provided with this raw material is not yet observed in its energy matrix. With this proposed process in the metropolitan region of São Paulo, the electric energy produced would benefit the energy sustainability of the operations for the collection, treatment and distribution of water, collection and treatment of sewage and the generation of financial revenues from the commercialization of energy generation and with the obtaining certificates of emission reductions of greenhouse gases. The objectives of this work are to demonstrate the benefits of the process of thermal treatment of municipal

solid waste based on the estimates of electric energy production, the financial viability with the generation of financial revenues combined with obtaining carbon credits from the sale of energy and the possibility of energy sustainability of basic sanitation in the municipalities of the metropolitan region of São Paulo operated by the Basic Sanitation Company of the São Paulo State - SABESP.

KEYWORDS: Municipal Solid Waste, heat treatment, Waste to Energy.

1 | INTRODUÇÃO

No Brasil a lei federal 11.445/2007 estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico sendo um direito de todos e apresenta quatro vertentes abrangendo o abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo de águas pluviais e resíduos sólidos. Esta última vertente apresenta um grande desafio para a destinação final correta dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) produzidos diariamente pela população brasileira que gerou um montante de 79 milhões de toneladas no ano de 2018 estando entre os três maiores países geradores de resíduos no mundo conforme estimativa do Banco Mundial. De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, destes resíduos produzidos no país, 29,4 milhões de toneladas (40,5%) foram destinados de forma incorreta em lixões e aterros controlados gerando impactos sociais e ambientais negativos como a emissão dos gases de efeito estufa, contaminação de lençol freático e a proliferação de vetores endêmicos.

A lei federal 12.305/10 a qual estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) visa à erradicação de lixões e aterros controlados, apresenta no capítulo II as definições; no artigo 3 os entendimentos além da logística reversa demonstrada no parágrafo XII e da disposição final no parágrafo VIII, descreve no parágrafo VII a destinação final ambientalmente adequada dos resíduos devendo incluir a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético sendo observado as normas operacionais específicas para evitar danos ou riscos à saúde pública, à segurança e minimizar os impactos ambientais adversos. O processo de tratamento térmico é uma das formas de destinação final dos resíduos sólidos urbanos que possibilita o aproveitamento energético e a redução de massa e volume. As principais tecnologias para este processo é a incineração; pirólise; gaseificação; plasma e o coprocessamento.

O processo de tratamento térmico associado à recuperação energética que utiliza como matéria prima os resíduos sólidos urbanos é vastamente utilizado no mundo a mais de cinco décadas. No Brasil, apesar de serem apresentados alguns projetos de unidades que utilizam este processo, ainda não é observada na sua matriz energética a geração de energia elétrica provida desta matéria prima. A energia elétrica produzida com o tratamento térmico dos resíduos sólidos gerados nos municípios da região metropolitana de São Paulo, operados pela companhia de saneamento básico do estado de São Paulo (SABESP), poderia beneficiar a sustentabilidade energética da companhia em suas operações

de captação, tratamento e distribuição de água, coleta e tratamento do esgoto obtendo também receitas financeiras com a comercialização da energia excedente e créditos de carbono com a redução de emissão de gases de efeito estufa.

2 | OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho é apresentar a viabilidade técnica e financeira do Tratamento Térmico dos Resíduos Sólidos Urbanos nos municípios operados pela Diretoria Metropolitana da SABESP.

2.2 Objetivos Específicos

O objetivo específico deste trabalho é estimar a produção de energia elétrica e avaliar os custos e receitas financeiras geradas com a comercialização de energia e a obtenção de créditos de carbono com o processo de Tratamento Térmico dos Resíduos Sólidos Urbanos visando à sustentabilidade energética do saneamento básico dos municípios operados pela Diretoria Metropolitana da SABESP.

3 | METODOLOGIA

Este trabalho descreve pesquisas bibliográficas encontradas sobre as produções de resíduos sólidos urbanos, as quantidades e a composição média dos resíduos nos municípios operados pela diretoria metropolitana da SABESP; as tecnologias de aproveitamento energético com o tratamento térmico dos resíduos sólidos urbanos; o sistema elétrico brasileiro e o mercado de energia elétrica, e as emissões dos gases poluentes que colaboram com o efeito estufa.

Baseada nestas pesquisas foi possível realizar as estimativas de reduções de emissões dos poluentes e a geração de energia elétrica anual para cada município operado pela empresa de saneamento citada supondo que todo resíduo sólido produzido seja destinado para tratamento térmico com aproveitamento energético.

Com as estimativas mensuradas foi possível valorar as possíveis receitas financeiras anuais consultando as cotações unitárias disponíveis da Tonelada de Carbono Equivalente para comercializações de redução de emissões e do valor do Watt Hora contratado para comercialização de energia elétrica no saneamento.

4 | RESÍDUOS SÓLIDOS

De acordo com a norma ABNT NBR 10.004/2004 a qual trata sobre classificação de Resíduos Sólidos é apresentada sua definição sendo aqueles que se encontram no estado sólido e semissólido os quais são originados pelas atividades industriais; doméstica;

hospitalar; comercial; agrícola; de serviços e de varrição; tratamento de água; resíduos gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviáveis o seu lançamento na rede pública de esgoto ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia.

4.1 Classificação dos Resíduos Sólidos

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos que é apresentado na lei federal 12.305/10 a qual propõe o agrupamento dos resíduos sólidos considera para classificação a origem ou atividade em que a produção ocorre tais como: Resíduos da Construção Civil; Resíduos com Logística Reversa Obrigatória; Resíduos Industriais; Resíduos Sólidos do Transporte Aéreo e Aquaviário; Resíduos Sólidos do Transporte Rodoviário e Ferroviário; Resíduos de Serviços de Saúde; Resíduos Sólidos de Mineração; Resíduos Sólidos Agrossilvopastoris (orgânicos e inorgânicos) e os Resíduos Sólidos Urbanos os quais serão estudados neste trabalho sendo divididos em materiais recicláveis (metais, aço, papel, plástico, vidro, etc.) e matéria orgânica.

4.1.1 Produção de Resíduo Sólido Urbano no mundo

Segundo pesquisa do banco mundial, na última década foram produzidos anualmente mais de 1,3 Bilhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos no mundo e em 2025 deve ser produzido 2,2 Bilhões de toneladas por ano mundialmente. No mesmo período foi observado que o Brasil participou na pesquisa como o terceiro maior produtor de Resíduos Sólidos sendo estimado que seja o quarto maior produzindo 331 mil tonelada de resíduos por dia ficando atrás da Índia que deve produzir 377 mil toneladas , Estados Unidos 702 mil toneladas e China produzindo 1,4 milhões de toneladas diariamente em 2025.(WORLD BANK , 2012).

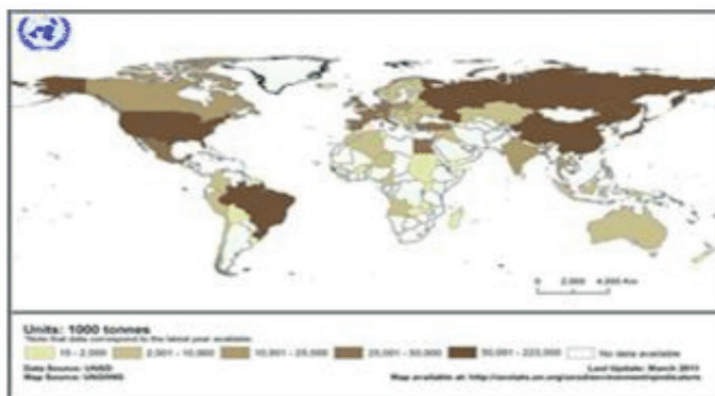


Figura 1 : Resíduo Sólido Municipal Coletado – UN, 2011.

A ilustração acima apresenta por faixas as quantidades de resíduos sólidos coletados por país no mundo (UN, 2011).

4.1.2 Destinações finais Resíduos Sólidos Urbanos produzidos no Brasil

Dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais em 2018 foram produzidos 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos, porém foram coletados 72,7 milhões de resíduos apresentando um déficit de 6,3 milhões que não foram coletados junto ao local de geração. Destes coletados 29,4 milhões (40,5%) foram destinados de forma inadequada, 16,7 milhões (23%) foram depositados em aterros controlados e 12,7 milhões (17,5%) foram depositados em lixões diariamente conforme ilustrado abaixo (ABRELPE, 2019).

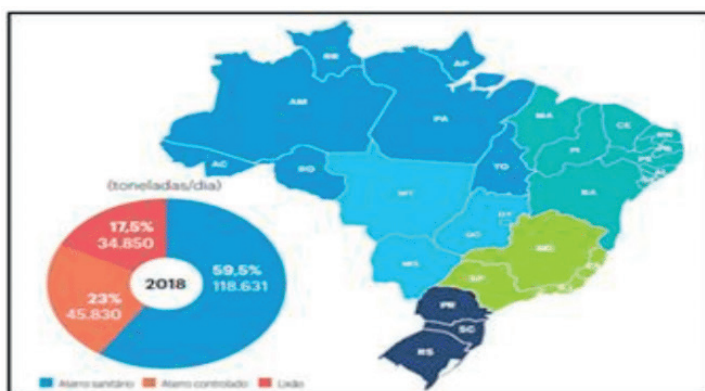


Figura 2 : Disposição Final dos Resíduos Sólidos no Brasil – ABRELPE, 2019.

Estes resíduos que são depositados em aterros controlados não são considerados como uma forma adequada de disposição porque os problemas ambientais de contaminação da água, do ar e do solo não são evitados, já que não são utilizados todos os recursos de engenharia e saneamento que evitariam a contaminação do ambiente. No entanto, esta forma de deposição, mesmo inadequada representa uma alternativa melhor do que os lixões, também uma forma inadequada, não apresenta nenhum recurso de engenharia, e se diferenciam destes por possuírem a cobertura diária dos resíduos com solo e o controle de entrada e saída de pessoas (MMA, 2020).

4.1.3 Destinações finais de Resíduo Sólidos Urbanos produzidos no Estado de São Paulo

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo informou no inventário estadual de resíduos sólidos que em 2018, foram produzidos 40.773 toneladas de resíduos sólidos urbanos diariamente pelos 645 municípios paulistas que é equivalente a 14,8 milhões

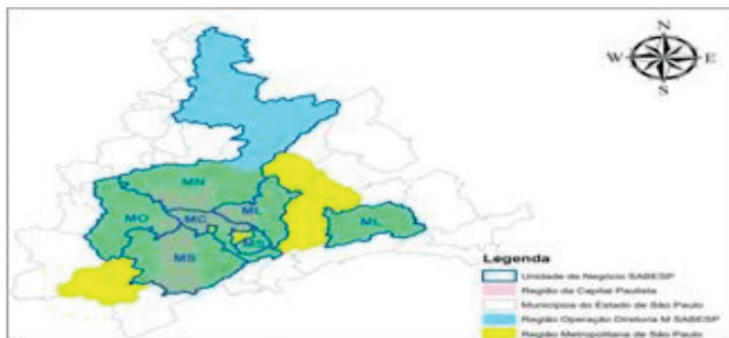


Figura 4: Municípios da região metropolitana do estado de São Paulo e os municípios operados pelas Unidades de Negócio da Diretoria Metropolitana da SABESP.

Nomeada como Diretoria Metropolitana da Sabesp (M), esta diretoria é dividida em 7 Unidades de Negócios: Unidade de Negócio Centro (MC) que atende 2 municípios da região metropolitana atendendo 1.005.147 imóveis para 3.765.847 habitantes; Unidade de Negócio Leste (ML) que atende 8 municípios da região metropolitana atendendo 992.252 imóveis para 3.739.053 habitantes; Unidade de negócio Norte (MN) que atende 15 municípios da região metropolitana atendendo 1.367.590 imóveis para 4.966.523 habitantes; Unidade de negócio Oeste (MO) que atende 11 municípios da região metropolitana atendendo 929.471 imóveis para 3.409.344 habitantes; Unidade de negócio Sul (MS) que atende 8 municípios da região metropolitana atendendo 1.246.829 imóveis para 4.788.734 habitantes; Unidade de Negócio de produção de Água (MA) e Tratamento de Esgoto (MT) para o atendimento de toda região operada pela diretoria metropolitana que totaliza 20.669.501 habitantes (EMPLASA & IBGE, 2020). Todas as cinco primeiras unidades de negócio citadas (MC, ML, MN, MO e MS) contemplam uma parte o município de São Paulo da Diretoria Metropolitana de São Paulo totalizando 5.541.289 imóveis. (SIGNOS, 2020).

Paralelamente ao atendimento de duas das vertentes do saneamento pela SABESP na região operada pela diretoria M, em 2018, foram produzidos e coletados 20.519 Toneladas de resíduos sólidos urbanos por dia sendo atendida a terceira vertente do saneamento básico por outras empresas do ramo de resíduos sólidos sendo responsáveis por 96,4% da produção de toda Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) conforme dados demonstrados no inventario estadual de resíduos sólidos urbanos, apresentado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2019). Esta quantidade foi consultada em tabela de produção de resíduos diária de cada município apresentado neste inventário. Baseada na consulta da produção diária municipal foi possível totalizar para cada unidade de negócio da SABESP a produções de resíduos correspondentes às regiões de atendimento, somando a produção diária proporcionalizada da capital com a quantidade de imóveis atendidos pela companhia conforme planilha demonstrada abaixo.

MN: Ton. RSU/dia (**)		MS: Ton. RSU/dia (**)		MC: Ton. RSU/dia (**)		ML: Ton. RSU/dia (**)		MO: Ton. RSU/dia (**)	
São Paulo (*)	2.736	São Paulo (*)	2.887	São Paulo (*)	3.091	São Paulo (*)	2.667	São Paulo (*)	960
Guarulhos	1.502	S. B. Camp	901	Sto André	788	Itaquaque.	330	Osasco	767
F. Morato	156	Diadema	379			Suzano	256	Carap	359
Brag. Paul.	145	Emb Artes	244			Ferr de V.	165	Tab. Serr	257
F. d Rocha	126	Itap Serra	155			Poá	103	Barueri	244
Caieiras	78	Rib.Pires	110			Arujá	68	Cotia	220
Mairiporã	69	Em-Guaç	54			Bir. Mir.	22	Itapevi	211
Cajamar	59	R G Serra	40			Salesóp.	8	San. Par.	123
Socorro	22							Jandira	111
Piracaia	22							V. G Paul.	41
Naz. Paul.	11							Pir. B Jes.	13
Joanópolis	9								
Pinhalzinho	5								
Vargem	4								
Pedra Bela	1								
Total	4.946	Total	4.770	Total	3.878	Total	3.619	Total	3.306
RSU PRODUZIDO NA REGIÃO DA DIRETORIA METROPOLITANA SABESP = 20.519 Ton./dia									
(*) Valores proporcionalizados pela quantidade de imóveis operados na capital pelas unidades de negócio									
(**) Valores extraídos do Inventário Estadual de Resíduos Sólidos de 2018 (CETESB, 2019)									

Tabela 1: Quantidades de resíduos produzidos nos municípios operados pelas unidades de negócio da Diretoria Metropolitana da SABESP.

De acordo com o Inventário Estadual de Resíduos sólidos apresentado pela CETESB a totalidade destes resíduos, quando não reutilizado ou reciclado, é destinada a aterros sanitários disponíveis na região. Segundo Lima Filho estes aterros sanitários estão esgotando a capacidade de recebimento de resíduos (JORNAL FOLHA DE SÃO PAULO, 2019).

4.2 Características dos Resíduos Sólidos

A caracterização de resíduos sólidos consiste na das características físico-química, qualitativa e quantitativa devendo ser seguidos os procedimentos de coleta, transporte e análises laboratoriais para que sejam feitos testes específicos. As análises são baseadas nas NBR 10.004, 10.005 e 10.006. Os resultados analíticos são utilizados para a classificação do resíduo e auxiliam na melhor destinação do mesmo. Segundo a ABNT NBR 10.004/2004 os resíduos sólidos podem ser classificados pela geração per capita; Peso específico; Teor de umidade e a Composição Gravimétrica. Esta última traduz o percentual de cada componente em relação ao peso total da amostra de lixo analisada. Os componentes mais utilizados na determinação da composição dos resíduos sólidos urbanos

são percentuais de papel/papelão; plásticos; vidros; metais; matéria orgânica e outros. Esse tipo de composição simplificada auxilia no dimensionamento do aproveitamento energético.

4.2.1 *Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos brasileiro*

De acordo com o Manual de Gerenciamento Integrado do Lixo Municipal apresentado pelo compromisso empresarial de reciclagem, o resíduo sólido brasileiro é composto por 51,4% de matéria orgânica; 13,5 % de plástico; 13,1% de papel e papelão; 2,4% de Vidro; 2,3 % de Aço; 0,6% Alumínio e 16,7% outros (CEMPRE, 2018).

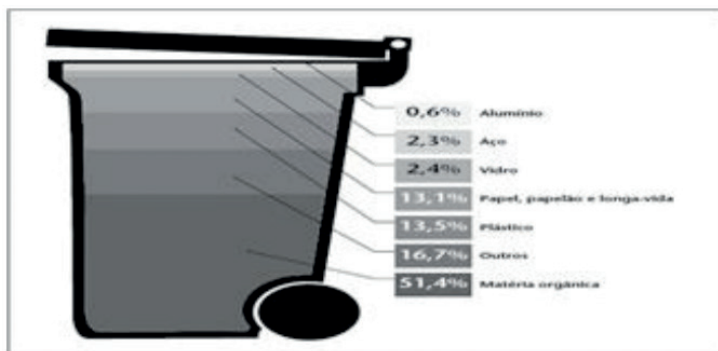


Figura 5: Composição Gravimétrica Média do Resíduo Sólido Brasileiro – CEMPRE, 2018.

4.2.2 *Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos da RMSP*

Para Região Metropolitana de São Paulo foi adotada a composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos do município de São Paulo demonstrada no Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo que apresentou 62,9 % de matéria orgânica; 1,7% de vidro; 10,6 % de papel/papelão; 1,2 % de madeira; 2,6% de borracha; 13,6 % de plástico; 1,8 % de metais; 1,50% de pedra e 4,10% outros (LEITE, 2016).

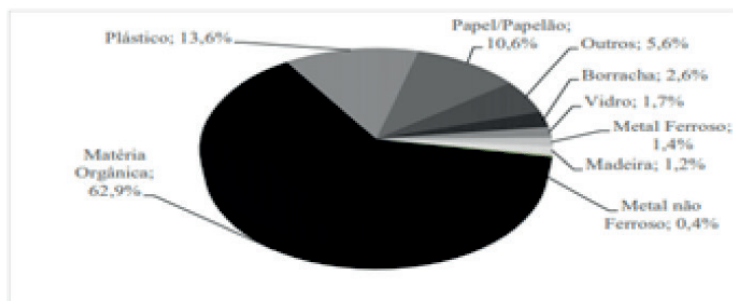


Figura 6: Composição Gravimétrica dos Resíduos no município de São Paulo– LEITE, 2016.

5 I TRATAMENTO TÉRMICO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Visto que a capacidade dos aterros sanitários na RMSP está se esgotando, outra alternativa para destinação final de resíduos urbanos que é apresentada pela lei federal 12.305/10 a qual estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) descrita no capítulo II, artigo 3 no parágrafo VII é o aproveitamento energético dos resíduos que deve ser ambientalmente adequado observando normas operacionais específicas para evitar danos ou riscos à saúde pública. Atualmente uma das formas para o aproveitamento energético é o processo de tratamento térmico que utilizam o calor como forma de recuperar, separar ou neutralizar determinadas substâncias presentes nos resíduos, reduzir massa e volume e produzir energia térmica, elétrica ou mecânica.

O processo de tratamento térmico pode ser aplicado a qualquer resíduo que tenha em sua composição química os elementos carbono e hidrogênio, podendo ser originários de atividades industriais, domésticas, comerciais e rurais. Em uma planta dedicada aos Resíduos Sólidos Urbanos qualquer resíduo compatível à composição química mencionada podendo ser tratado independente de sua origem, desde que sejam contemplados e aprovados no processo de regularização ambiental. Em relação aos diversos grupos de Resíduos de Serviço de Saúde, estes apresentam, além de seu potencial de patogenicidade, teores de elementos tóxicos, como cloro e metais pesados, exigindo cuidados adicionais nos sistemas de limpeza de gases (FEAM, 2012). Conforme a tabela abaixo apresentado por Santos são demonstrados os limites de emissões máximas dos elementos presentes nos gases de emissões para usinas de aproveitamento térmico comparando os limites dos Estados Unidos com referencia a Environ Protect Agency (EPA), da Europa (EU) e Brasileiras da Secretaria do Meio Ambiente (SMA) e do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (SANTOS, 2016).

Parâmetro	Unidade	EPA (i)	EU (ii)	SMA (iii)	CONAMA (iv)
M.P.	mg/Nm ³	20	10	10	70
Nox	mg/Nm ³	210	200	200	560
Sox	mg/Nm ³	90	50	50	280
HCL	mg/Nm ³	20	10	10	80
CO	mg/Nm ³	130	50	50	125
Hg	mg/Nm ³	0,05	0,05	0,05	-
Cd+Ti	mg/Nm ³	0,01	0,05	0,05	-
HF	mg/Nm ³	-	1	1	5
Dioxinas e Furanos	mg/Nm ³	0,26	0,1	0,1	0,5

(i) EPA 40 CFR Part 40; (ii) EU 2007/07/07/CE; (iii) SMA 079/2009; (iv) CONAMA 316/2002

Tabela 2 – Comparativo do limite das emissões de Plantas de Recuperação Energética – SANTOS, 2016.

O Japão foi o primeiro país a recuperar energia com o processo de tratamento térmico dos resíduos urbanos na década de 60. Atualmente no mundo mais de 130 milhões de toneladas são destinados para tratamento térmico anualmente em 35 países com capacidade instalada de 10 mil MW de energia elétrica ou térmica beneficiando a matriz energética nas regiões da União Europeia, Japão e Estados Unidos (LEITE, 2016). No Brasil, apesar de serem apresentados alguns projetos de unidades que utilizam processos de tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos, ainda não é observada na matriz energética a geração de energia elétrica provida deste processo no país.

5.1 Tecnologias de aproveitamento energético com tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos

Atualmente, as principais tecnologias de tratamento térmico de resíduos, com aproveitamento energético, são a incineração, a pirólise, a gaseificação, o plasma e o coprocessamento. As tecnologias de pirólise são aplicáveis para carbonização da madeira (fabricação de carvão) e o coprocessamento para utilização em forno de clínquer (Fabricação de Cimento). Já a tecnologia de plasma não é vastamente utilizada para produção de energia pois a energia dispendida para formação do plasma é muito alta resultando em oferta energética do processo quando comparada a incineração e gaseificação de Resíduos Sólidos Urbanos. Os processos de tratamento térmico a baixa temperatura, como fornos de micro-ondas e autoclaves, não possuem o objetivo de aproveitamento energético. Comumente esses processos destinam-se à desinfecção de resíduos de serviços de saúde antes de sua destinação a aterros sanitários (FEAM, 2012). Contudo, as tecnologias de aproveitamento energético com tratamento térmico de resíduos sólidos para geração de energia elétrica que serão apresentados serão a Incineração e a Gaseificação.

5.1.1 Incineração

A incineração é um processo de combustão controlada, que tem como princípio básico a reação do oxigênio com componentes combustíveis presentes no resíduo (como carbono, hidrogênio e enxofre), em temperatura superior a 800 °C, convertendo sua energia química em calor. Como uma combustão não é totalmente completa, realiza-se a elevadas temperaturas e os Resíduos Sólidos Urbanos têm composições diversas, são gerados como produtos da combustão, além de vapor d'água, CO₂ e SO_x, HCl, HF, CO, NO_x, material particulado (partículas finas quase sempre com sílica), metais em particular Cd, Hg, As, V, Cr, Co, Cu, Pb, Mn, Ni e Tl, entre outros e substâncias orgânicas (como dioxinas) na forma gasosa ou aderidas também ao material particulado. Também são gerados rejeitos (cinzas volantes e escórias) de materiais inorgânicos nos RSU que não participam das reações de combustão. Na combustão, a formação de dioxinas (substâncias comprovadamente cancerígenas) ocorre por mecanismos complexos, envolvendo matéria orgânica, oxigênio

e cloro. Estas são destruídas a temperaturas acima de 600 °C, mas sintetizadas novamente entre 500 °C e 250 °C na presença de cloro e carbono. A maior parte das dioxinas fica retida nas cinzas volantes (FEAM, 2012).

O processo de combustão ocorre em forno de incineração que é composto basicamente de câmara de combustão onde os resíduos são inseridos a uma taxa de alimentação pré-definida e ocorre o processo de queima controlada e câmara de pós-combustão onde se completa a queima controlada de CO e substâncias orgânicas contidas nos gases procedentes da câmara de combustão. (FEAM, 2012). Este forno de incineração podem ter diversas configurações como a combustão em leitos fluidizados tipos circulante ou borbulhante que são mais utilizados para lodo de esgoto onde os resíduos devem ser triturados e apresentar diâmetros igual ou inferior a 2,5 cm; Câmaras múltiplas que são adotadas geralmente para capacidades pequenas (0,2 a 200 t/dia); Forno rotativo que é o mais utilizado para resíduos industriais para quantidade de resíduos superior a 24 t/dia e em grelha que é a mais empregada para RSU no estado bruto (mass burn) conforme ilustrado abaixo:

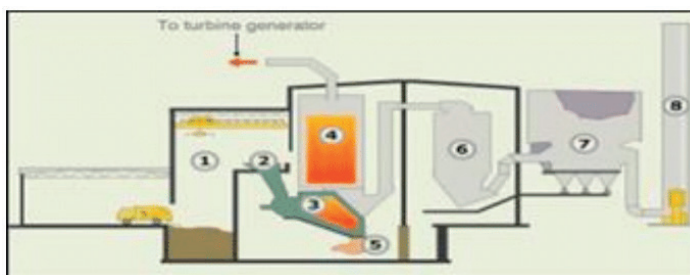


Figura 7: Diagrama de Fluxo do Processo de Incineração – FEAM, 2012.

Em plantas de incineração de RSU com geração de energia elétrica, por exemplo, do tipo combustão em grelha conforme ilustrado acima, o resíduo é descarregado no silo da usina (1) de onde é tomado por agarradores mecânicos e jogado em moegas (2). Das moegas o lixo é empurrado gradualmente para o interior do incinerador (3). O calor produzido pela queima do lixo é utilizado na caldeira (4) para aquecimento de água e o vapor gerado nesta é conduzido por tubulações para um sistema de turbina e gerador, para a produção de energia elétrica. Depois de o resíduo ser incinerado restam, sobre as grelhas, as escórias, que são drenadas para sistemas coletores situados abaixo das grelhas (5), resfriadas com água, passando posteriormente por separadores eletromagnéticos que promovem a extração de metais para reciclagem. Os gases de combustão são enviados para os sistemas de tratamento e remoção de poluentes (6) passam por filtros para retenção de partículas finas (poeiras) (7) e são lançados ao meio ambiente através da chaminé (8). Segue abaixo a ilustração de uma planta de incineração de resíduos sólidos urbanos em

Dublin, capital da Irlanda.



Figura 8: Unidade de Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos em Dublin – COVANTA, 2020.

De acordo com o Inventário Energético de Resíduos Sólidos Urbanos, apresentado pela Empresa de Pesquisa Energética, as principais tecnologias disponíveis com plantas em funcionamento sugerem a escala de 150 t/d e normalmente é esperado 25% da eficiência energética para geração de energia elétrica ofertando entre 350 e 600 KW por tonelada de resíduo sólido urbano reduzindo entre 85 e 95% do volume durante sua combustão. Se aplicado o Ciclo Combinado Otimizado (CCO) é possível aumentar a oferta de energia por tonelada de resíduo podendo chegar a 900 KW por tonelada incluindo no processo o abastecimento de gás natural ou biogás (EPE, 2014). Segundo a Covanta Environmental Solutions a planta de aproveitamento energético de Dublin, a usina de incineração ilustrada acima, recebe 1.644 Toneladas por dia, equivalente a 68,5 Ton/hora a capacidade de geração de 61 MWh, corroborando a estimativa da oferta de energia de 900 Kw/ Tonelada de resíduo como verificada na literatura da EPE (COVANTA, 2020). Segundo COVANTA, 2020, para implantação desta planta foram necessários € 600 milhões que seria equivalente a aproximadamente R\$ 4,2 bilhões representando custo estimado de R\$470,00 /Tonelada de resíduo durante 180 meses para amortização do investimento.

5.1.2 Gaseificação

A gaseificação é um processo termoquímico de decomposição da matéria orgânica, de fluxo contínuo ou batelada, sendo a técnica mais comum a oxidação parcial utilizando um agente de gaseificação (oxigênio, ar ou vapor quente) que em quantidades inferiores à estequiométrica (mínimo teórico para combustão) produz um gás de síntese conhecido como syngas. Os principais componentes deste gás são monóxido de carbono e hidrogênio contendo também dióxido de carbono e, dependendo das condições, metano, hidrocarbonetos leves, nitrogênio e vapor de água em diferentes proporções. Este gás produzido a partir da gaseificação de biomassa tem muitas aplicações práticas, tais como a geração de energia mecânica e elétrica, a geração direta de calor, ou como matéria-prima na obtenção de combustíveis líquidos como hidrocarbonetos combustíveis sintéticos (diesel e gasolina), metanol, etanol e outros produtos químicos através de processos de

síntese química catalítica. No processo de gaseificação ocorrem complexas reações ainda não bem conhecidas em sua totalidade. O atual estágio de seu desenvolvimento, porém, permite que ocorra a subdivisão destas reações em quatro etapas físico-químicas distintas, com temperaturas de reação diferentes: secagem, pirólise, redução e combustão (FEAM, 2012).

A composição dos gases e a produção concomitante de combustíveis sólidos (carvão) e líquidos condensáveis (pirolenhosos) dependem dos seguintes fatores: tipo de forno de gaseificação, forma de fornecimento de energia ao processo, introdução ou não de vapor de água junto com o comburente (ar, O₂), tempo de retenção da carga, sistema de retirada de gases e outros produtos, da matéria orgânica utilizada. A obtenção econômica de syngas de poder calorífico alto ou médio só é possível utilizando-se oxigênio puro, pois a eliminação do nitrogênio inerte do ar aumenta o poder calorífico, ou misturas de gases, oxigênio e vapor de água ou ar enriquecido com oxigênio e vapor de água. Os gaseificadores são recipientes revestidos com material refratário e o processo ocorre a temperaturas de aproximadamente 850 °C sob condições de pressão atmosférica ou sob elevada pressão. Estes gaseificadores para a produção de syngas têm maior custo, pois o gás deve ser mais limpo, com baixos teores de alcatrão e pirolenhosos, exigindo unidades especiais de limpeza. Os gaseificadores em comercialização ou em fase de desenvolvimento atualmente podem ser enquadrados segundo o tipo de leito utilizado sendo como leito fixo ou fluidizado conforme ilustrado abaixo. (FEAM, 2012)

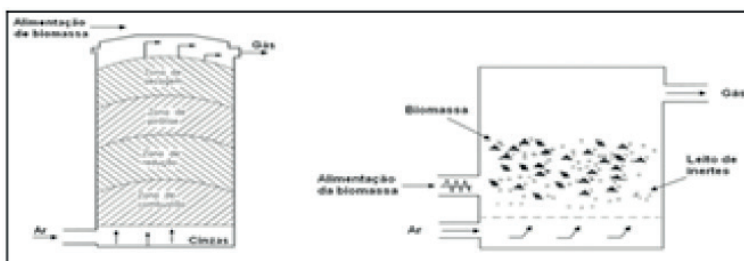


Figura 9: Desenhos esquemáticos dos gaseificadores - FEAM, 2012.

O tipo leito fixo podem ser de corrente paralela (onde o sólido e o gás se movem no mesmo sentido, normalmente descendente), ou contracorrente (se movem em sentido opostos) sendo a tecnologia mais difundida, conhecida e dominada operacionalmente, a qual vem sendo implementada principalmente em pequenas escalas (FEAM, 2012). A ilustração abaixo demonstra a proposta de uma planta de recuperação energética por tratamento térmico de Resíduos Sólidos Urbanos com a tecnologia de Gaseificação elaborada pela WEG S.A. (BRASIL ENERGIA, 2020).



Figura 10: Unidade de Gaseificação de Resíduos Sólidos Urbanos proposta – BRASIL ENERGIA, 2020.

Avaliando a apresentação da WEG, é proposto módulos de gaseificação com capacidade de 6 toneladas/ hora para recebimento de Resíduos Sólidos Urbanos (aproximadamente 150 Toneladas/ dia) com capacidade de ofertar 2,5 MW por módulo (cerca de 420 Kw/ Tonelada de resíduo). Um projeto no estado do Pará, Brasil, que deverá tratar 25 Toneladas de resíduos por dia foi orçado em R\$ 15 milhões representando custo estimado de R\$100,00 /Tonelada de resíduo durante 180 meses (BRASIL ENERGIA, 2020).

5.2 Geração de energia elétrica por tratamento térmico dos resíduos na região da diretoria M da SABESP

Para estimativa da energia que será produzida por tratamento térmico de resíduos sólidos, é necessário conhecer a composição gravimétrica e relacionar cada fração de cada material com seu poder calorífico inferior. A tabela abaixo apresenta a estimativa da Carga térmica do RSU gerado nos municípios da diretoria metropolitana M da SABESP para cada tonelada em base úmida multiplicando a fração da composição gravimétrica mencionada para a região com o poder calorífico inferior em base úmida de cada material (FEAM, 2012).

Material	PCI (*) Base Úmida sem cinzas (Kcal/Kg) (**)	Composição Gravimétrica R.M.S.P. (%)	Quantidade (Kg por Tonelada)	Carga Térmica (Kcal)	Carga Térmica (MW)
Fração Orgânica	712	62,00%	620	441.440	0,51
Papel	2.729	10,60%	106	289.274	0,33
Madeira	2.490	1,20%	12	29.880	0,03
Borracha	8.633	2,60%	26	224.458	0,26
Plástico	8.193	13,60%	136	1.114.248	1,29
Metal	-	1,80%	18	-	-
Vidro	-	1,70%	17	-	-
Pedra	-	1,50%	15	-	-
Outros	-	4,10%	41	-	-
Totais:		100%	1.000	2.099.300	2,40

(*) Poder Calorífico Inferior ; (**) FEAM, 2012

Tabela 3 – Carga Térmica dos Resíduos Sólidos Produzidos nos Municípios da Diretoria M da SABESP.

Avaliando a carga térmica unitária total demonstrada na tabela acima (2,4 MW) foi possível estimar a geração de energia elétrica por tonelada de RSU da RMSP considerando a eficiência de geração de energia elétrica por tratamento térmico em 25% conforme pesquisa apresentada resultando assim em valor de 600 KW ou 0,6 MW por tonelada de RSU. Este valor estimado para geração de energia elétrica por tonelada de RSU é aderente ao referencial bibliográfico pesquisado que varia entre 350 e 600 KW apresentado no inventário da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2014). Abaixo a tabela relaciona a quantidade de RSU gerada anualmente na região com a possível geração de energia por município, unidade de negócio e diretoria metropolitana da Sabesp. Para esta estimativa será adotada a carga térmica de 2,4 MW e 25 % de eficiência de aproveitamento energético do processo de tratamento térmico. Na mesma tabela estão sinalizados os municípios com capacidade inferior ao mínimo do processo necessitando agrupamento com outros municípios para alcançar o valor mínimo de 150 Ton/dia mencionado no mesmo inventário.

REGIÕES OPERADAS POR UNIDADES DA DIRETORIA M SABESP		Produção (Tonelada RSU/dia)	Produção (Tonelada RSU/h)	Carga Térmica (MW/ Ton RSU)	Eficiência Transform. (Elétrica / Elétrica)	Geração Energia Elétrica (MW/hora)	Produção de Energia Elétrica (GW/ano)
MN	São Paulo	2.736	113,99	2,4	25%	68,39	590,90
	Guarulhos	1.502	62,60	2,4	25%	37,56	324,54
	F. Morato	156	6,51	2,4	25%	3,91	33,76
	Brag.Paul.(*).	145	6,06	2,4	25%	3,64	31,43
	F.Rocha (*)	126	5,27	2,4	25%	3,16	27,30
	Caieiras (*)	78	3,26	2,4	25%	1,95	16,87
	Mairiporã (*)	69	2,87	2,4	25%	1,72	14,86
	Cajamar (*)	59	2,47	2,4	25%	1,48	12,81
	Socorro(*)	22	0,92	2,4	25%	0,55	4,78
	Piracaia(*)	22	0,90	2,4	25%	0,54	4,69
	Naz.Paul.(*).	11	0,45	2,4	25%	0,27	2,35
	Joanópolis(*)	9	0,38	2,4	25%	0,23	1,98
	Pinhalzinho(*)	5	0,22	2,4	25%	0,13	1,12
	Vargem(*)	4	0,15	2,4	25%	0,09	0,79
	Pedra Bela(*)	1	0,04	2,4	25%	0,03	0,23
Total MN	4.946	206,09	2,4	25%	123,66	1.068,39	

MS	São Paulo	2.887	120,27	2,4	25%	72,16	623,48
	S. B. Campo	901	37,55	2,4	25%	22,53	194,67
	Diadema	379	15,79	2,4	25%	9,47	81,83
	Emb Artes	244	10,16	2,4	25%	6,09	52,65
	Itap Serra	155	6,46	2,4	25%	3,88	33,48
	Rib.Pires(*)	110	4,60	2,4	25%	2,76	23,84
	Emb-Guaç(*)	54	2,23	2,4	25%	1,34	11,58
	R G Serra (*)	40	1,67	2,4	25%	1,00	8,68
	Total MS	4.770	198,73	2,4	25%	119,24	1.030,21
MC	São Paulo	3.091	128,77	2,4	25%	77,26	667,57
	Sto André	788	32,82	2,4	25%	19,69	170,15
	Total MC	3.878	161,60	2,4	25%	96,96	837,72
ML	São Paulo	2.667	111,12	2,4	25%	66,67	576,05
	Itaquaque.	330	13,74	2,4	25%	8,25	71,25
	Suzano	256	10,66	2,4	25%	6,40	55,26
	Ferraz V.	165	6,88	2,4	25%	4,13	35,65
	Poá (*)	103	4,30	2,4	25%	2,58	22,30
	Arujá (*)	68	2,83	2,4	25%	1,70	14,68
	Biritiba M (*)	22	0,92	2,4	25%	0,55	4,78
	Salesópolis(*)	8	0,32	2,4	25%	0,19	1,64
	Total ML	3.619	150,77	2,4	25%	90,46	781,60
MO	São Paulo	960	40,01	2,4	25%	24,01	207,44
	Osasco	767	31,94	2,4	25%	19,16	165,57
	Carapicuíba	359	14,95	2,4	25%	8,97	77,49
	Tab. da Serra	257	10,71	2,4	25%	6,43	55,51
	Barueri	244	10,17	2,4	25%	6,10	52,74
	Cotia	220	9,18	2,4	25%	5,51	47,57
	Itapevi	211	8,79	2,4	25%	5,27	45,56
	Sant. Parn. (*)	123	5,12	2,4	25%	3,07	26,54
	Jandira (*)	111	4,63	2,4	25%	2,78	24,00
	V. G Paul. (*)	41	1,72	2,4	25%	1,03	8,93
	Pir. B Jesus(*)	13	0,54	2,4	25%	0,33	2,81
	Total MO	3.306	137,76	2,4	25%	82,66	714,17
DIRETORIA M	20.519	854,96	2,4	25%	512,97	4.432,10	

(*) Municípios com menos da capacidade mínima para tratamento térmico de 150t/dia

Tabela 4 – Estimativa de produção de Energia Elétrica por Unidade de Negócio - Diretoria M SABESP.

O aproveitamento energético estimado com processo de tratamento térmico dos resíduos sólidos gerados em todos os municípios operados pela Diretoria da Região Metropolitana de São Paulo resultará em 513 MW/h ou 4.232 GW/h Ano desde que todo

resíduo sólido seja encaminhado constantemente a este processo como demonstrado em tabela acima. No ultimo ano, conforme discriminado no relatório do Sistema de Gestão de Energia Elétrica da Sabesp, todas as Unidades de negócio da diretoria metropolitana consumiu durante todo ano 1.743 GW/h/Ano resultando uma energia excedente de 2.689 GW/h (GEL, 2020).

UNIDADES NEGÓCIO DIRETORIA M SABESP	População (Habitantes)	Produção Resíduos (Toneladas / Ano)	Geração Eletr. RSU Estimada Região SABESP M (GWh/Ano)	Consumo SABESP Operação Água Esgoto (GWh/Ano)	Excedente = Geração Eletr. – Consumo (GWh/Ano)	Demanda Distribuição Total Região SABESP M (GWh/Ano)
MC	3.765.847	1.396.194	838	29	2.689	9.619
ML	3.739.053	1.302.675	782	43		8.655
MN	4.966.523	1.780.654	1.068	88		11.753
MO	3.409.344	1.190.287	714	47		8.280
MS	4.788.734	1.717.020	1.030	75		11.174
MA				1.222		
MT				239		
Total	20.669.501	7.386.829	4.432	1.743		

Tabela 5: Geração, Consumo e Excedente de Energia Elétrica por U.N. da Diretoria M SABESP.

Paralelamente a Energia elétrica consumida pela Sabesp as Distribuidoras de Energia Elétrica dos municípios demandaram, ao todo, 49.481 GW/h no ultimo ano para o suprimento energético elétrico total das atividades Industrial, domiciliar, comercial, utilidades públicas e outros. A representatividade do consumo de energia elétrica para o atendimento das duas vertentes (Captação, tratamento e distribuição de água e coleta e tratamento de esgoto) nos municípios operados pela diretoria da região metropolitana da SABESP chegou a 3,5%. Esta energia poderia ser produzida integralmente e excedente energético elétrico estimado em 2.689 GW se houvesse coleta dos resíduos sólidos com respectivo aproveitamento energético oriundo do tratamento térmico dos mesmos na região. A participação na matriz elétrica de toda produção da energia elétrica estimada (4.432 GW) oriunda do tratamento beneficiaria 9% de toda demanda necessária para o suprimento total da região (49.481 GW).

6 | SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO (SEB)

A energia elétrica é um insumo essencial à sociedade, indispensável ao desenvolvimento socioeconômico das nações. Segundo a Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) no Brasil a principal fonte de geração é a hidrelétrica (água corrente dos rios), que responde por 62% da capacidade instalada em operação no país, seguida das

termelétricas (gás natural, carvão mineral, combustíveis fósseis, biomassa e nuclear), com 28%. O restante é proveniente de usinas eólicas (energia dos ventos), painéis fotovoltaicos (energia solar) e importação da energia de outros países (ANEEL, 2020).

O sistema elétrico brasileiro (SEB) permite o intercâmbio da energia produzida em nos quatro subsistemas que abrange as regiões sul; sudeste – centro oeste; norte e nordeste, exceto nos sistemas isolados, localizados principalmente na região Norte. O trânsito da energia é possível graças ao Sistema Interligado Nacional (SIN), uma grande rede de transmissão com mais de 100 mil quilômetros (km) de extensão que é operado e controlado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). As localidades do sistema isolado vêm sendo gradativamente interligadas ao longo dos anos, hoje somente cerca de 2% do mercado nacional permanece no sistema isolado (ANEEL, 2020).



Figura 11: Integração Eletroenergética – BANCO DO NORDESTE, 2017.

No sistema apresentado acima a responsabilidade das geradoras é produzir a energia, das transmissoras é transportar do ponto de geração até os centros consumidores e das distribuidoras são de conduzir a energia dos centros até a casa dos cidadãos. Há ainda empresas autorizadas pela ANEEL, as comercializadoras, que compram e vendem energia para os consumidores. (ANEEL, 2020). No ultimo ano aproximadamente 600.000 GW/h/ano foram distribuídos nos 4 subsistemas (MME,2020). No mesmo período, o estado maior consumidor de energia elétrica do Brasil, São Paulo, consumiu para suprir toda sua demanda cerca de 130.000 GW/h (em média 10.800 GW/h/mês) de energia elétrica conforme dados apresentados pela Secretaria de Infra Estrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SIMA, 2020).

6.1 Comercializações de Energia Elétrica no Brasil

No Sistema Integrado Nacional ocorrem as negociações de compra e venda de energia permitindo que um agente de mercado (distribuidor, gerador, comercializador, consumidor livre ou especial) pode negociar energia com qualquer outro agente,

independentemente das restrições físicas de geração e transmissão. Cada subsistema corresponde a um submercado que concentra regiões onde a energia circula livremente. A linha que divide cada submercado é determinada por limites de intercâmbio presentes no sistema de transmissão, ou seja, restrições elétricas no fluxo de energia entre as diversas regiões do país. A estrutura brasileira de transmissão de energia possui linhas com tensão de 230 kV a 750 kV porém os agentes de transmissão não participam da comercialização da energia (CCEE, 2020).

Neste sistema a transmissão e distribuição constituem monopólios naturais, haja vista ser antieconômica a instalação de dois ou mais sistemas paralelos para atender o mesmo conjunto de consumidores. Por meio da rede básica de transmissão, a energia chega às redes de distribuição, operadas por uma ou mais empresas concessionárias ou permissionárias privadas ou estatais em cada estado. A remuneração do serviço de transmissão é realizada por meio da Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão – TUST, enquanto a remuneração do serviço de distribuição é efetuada mediante pagamento de Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição – TUSD, ambas reguladas pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Por outro lado, a geração ocorre em ambiente concorrencial, realizada por meio de leilões caracterizando como ambiente de contratação regulada ou de livre negociação caracterizando ambiente de contratação livre (BANCO DO NORDESTE, 2017).

6.1.1 Ambiente de Contratação Regulada (ACR)

Os participantes deste ambiente de contratação são as Geradoras, distribuidoras e comercializadoras que somente negociam energia existente. O preço é estabelecido em leilão e a contratação é realizada por meio de leilões de Energia promovida pela CCEE sob delegação da Aneel onde são comercializadas existente (A1); Energia disponível no segundo ano (A2); energia disponível no terceiro ano (A3) e assim sucessivamente. O tipo de contrato regulado pela Aneel é denominado de Contrato de Energia no Ambiente Regulado (CCEAR) seguindo características específicas por contratação entre os participantes.(CCEE, 2020).

O contrato de geração Distribuída é destinado para concessionários, permissionários ou autorizados conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do próprio comprador (Resolução 482 & 687 Aneel); Os Contratos Leilão Ajuste são realizados para complementar a carga do consumidor das distribuidoras, até 5% dessa carga, prazo de suprimento até dois anos; Os Contratos do Proinfa (Programa de Incentivo de Fontes Alternativas) que foram elaborados junto ao Ministério de Minas e Energia e é gerenciado pela Eletrobrás para diversificação da matriz energética como: (PCHs), usinas eólicas e usinas de biomassa apresentando garantia de contratação pela Eletrobrás por 20 anos; Os Contratos de Itaipu são estinados para (distribuidoras) para comercialização no âmbito

da CCEE pela Eletrobrás; O Contrato de Energia de Reserva (CER e Conuer) é realizado para contratação de Usinas Especiais para maior segurança do SIN sendo de curto prazo podendo ser comercializada tanto no ACR quanto no ACL; e o Contrato de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado (CCEAR) onde é acordado entre as geradoras os riscos hidrológicos sendo regulado ANEEL (CCEE, 2020).

Em 2018, 66 % de toda energia comercializada no Brasil foi realizada em ambiente de contratação regulada (ACR) que vem diminuindo a proporção em relação ao ambiente de contratação Livre. Em São Paulo dos 132.000 GW comercializados, aproximadamente 85.000 foram em ambiente regulado, representando 64% da comercialização estadual. (EPE, 2018).

6.1.2 Ambiente de Contratação Livre (ACL)

Os participantes deste ambiente de contratação são Geradoras, comercializadoras, consumidores livres e especiais. O preço da energia é acordado entre o comprador e vendedor. O tipo de contrato e a contratação é livre para negociações entre compradores e vendedores seguindo as seguintes características do consumidor. (CCEE, 2020)

O Consumidor Especial é aquele consumidor com demanda entre 500 kW e 3.000 kW, de fonte especial (PCH, CGH, solar, eólica ou biomassa) e também com comunhão de carga sendo um agrupamento de consumidores com mesma raiz de CNPJ ou área contígua (sem separação por vias públicas) possibilitando agregar suas cargas > 500 kW (tornando um consumidor especial). Já o Consumidor Livre é aquele consumidor com demanda acima de 3.000 kW, tem opção de comprar energia especial ou não especial. (CCEE, 2020)

Em 2018, 34 % de toda energia comercializada no Brasil foi realizada em ambiente de contratação regulada (ACL) que vem aumentando a proporção em relação ao ambiente de contratação Regulada. Em São Paulo 132.000 GW comercializados, aproximadamente 48.000 foram em ambiente livre, representando 36% da comercialização estadual (EPE, 2019).

6.1.3 Mercado de curto prazo

É um mercado destinado a equalização de diferenças entre Montante de geração contratado e consumo tanto no ACL quanto no ACR que são comercializadas somente em curto prazo e a contratação é multilateral seguindo as regras de comercialização vigente. O preço de liquidação das diferenças (PLD), apuradas tanto positivas quanto negativas é valorado e apresentado semanalmente pela CCEE (Também chamado de preço “Spot”).

6.2 Valores financeiros do mercado de Energia

No ano de 2018, a tarifa média de energia elétrica foi de R\$ 475,20/MWh. Na região sudeste a tarifa média foi de R\$456,47/MWh (EPE, 2019). Conforme apresentado pela Agencia Nacional de Energia Elétrica o valor total da tarifa de energia, como estes

valores médios apresentados, contem Tributos, Tarifas e encargos que incidem sobre valor comercializado da energia, seja no ambiente de contratação regulada, livre ou de curto prazo representando a 46,5% do valor total, ou mais quando incidido impostos como ICMS, PIS/COFINS, TUSD, TUST e encargos setoriais conforme apresentado em ilustração abaixo:

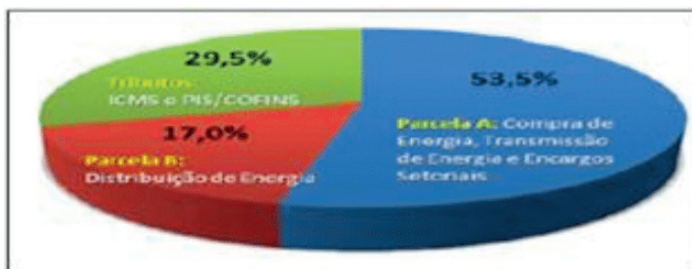


Figura 12: Valor Final da Energia Elétrica -ANEEL, 2020.

No caso da composição da tarifa dos consumidores caracterizados como especiais em ambiente livre a resolução 77/2004 da ANEEL assegura o direito a 100% (cem por cento) de redução, a ser aplicado às tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, incidindo na produção e no consumo da energia comercializada pelos empreendimentos, desde que atenda a uma das seguintes condições: aqueles que utilizem como insumo energético, no mínimo, 50% (cinquenta por cento) de biomassa composta de resíduos sólidos urbanos e/ou de biogás de aterro sanitário ou biodigestores de resíduos vegetais ou animais, assim como lodos de estações de tratamento de esgoto.

Os leilões praticados em 2018 o preço médio ao final das negociações de energia foi de R\$ 140,87 por MWh, com deságio de 46,89% em relação aos preços-tetos estabelecidos no início do leilão resultando para fontes como as hidrelétricas o valor de R\$ 151,68 por MWh; Pequenas Centrais hidrelétricas R\$ 193,99 por MWh ; Centrais Geradoras Hidrelétricas R\$ 195,00 por MWh; Eólica R\$ 90,45 por MWh; Térmica a Biomassa R\$ 175,59 por MWh e Térmica a Gás Natural R\$ 179,98 por MWh (ANEEL, 2020).

Durante o mesmo ano o Preço Líquido das Diferenças apresentou valor médio de R\$ 273,06 por MWh no Brasil na região Sudeste 289,74 por MW variando valores semanalmente em todas as regiões desde 40,16 a 505,18 por MWh tanto nos períodos que apresenta avit de potencia para suprimento considerado como leves quanto a médios a pesados quando a deficit de necessidade de suprimento (Normalmente em período de estiagem) CCEE, 2020.

6.2.1 Valores de energia elétrica comercializada para o saneamento básico pela SABESP

Conforme demonstrado no congresso brasileiro de eficiência energética a SABESP no ano de 2018 consumiu aproximadamente 283 MW h médios (2.479 GW h ano) os quais 129 foram comercializados em ambiente de contratação regulada (ACR), 129 comercializados em ambiente de contratação livre especial convencional (ACL - EC) e 25 comercializados em ambiente de contratação livre especial incentivado (ACL - EI). Estas comercializações resultaram em R\$ 577 milhões no ACR, R\$ 277 milhões no ACL EC e R\$ 90 milhões no ACL EI totalizando 944 milhões com gasto em energia elétrica da empresa sendo um dos principais custos operacionais de todas as diretorias da SABESP (COBEE, 2019).



Figura 13: Consumos e Gastos da SABESP com Energia por mercado em 2018 – COBEE, 2019.

De acordo com dados apresentados pela SABESP no ano de 2018 o preço específico negociado foi de R\$ 272 / MW h no ambiente de contratação livre (ACL) e R\$ 510 / MW h no ambiente de contratação regulada (ACR) revelando um custo 47% inferior em contratos ACL em relação ao ACR (COBEE, 2019).

7 | CREDITOS DE CARBONO OBTIDOS PELO TRATAMENTO TÉRMICO DE RSU

Atualmente os resíduos sólidos urbanos no Brasil quando não reutilizados ou reciclados são dispostos em aterros sanitários, aterros controlados ou mesmo lixão. Após dispostos em qualquer uma destas formas, os resíduos sólidos urbanos, que contém significativa parcela de matéria orgânica biodegradável, passam por um processo de digestão anaeróbia. O processo de digestão anaeróbia dos resíduos ocorre pela ação de micro – organismos que transformam a matéria orgânica em um gás conhecido no Brasil como Biogás . Este gás é composto basicamente pelos seguintes gases: metano (CH₄); Dióxido de Carbono (CO₂); Nitrogênio (N₂), Hidrogênio (H₂); Oxigênio (O₂) e gás sulfídrico (H₂S). Pela característica dos resíduos sólidos no Brasil, o biogás gerado pela decomposição apresenta elevada concentração de metano, acima de 55%, e de dióxido de carbono acima de 30%. O gás metano que é um potente gás de efeito estufa, apresenta potencial de aquecimento global 21 vezes superior ao CO₂ em um período de 100

anos conforme apresentado em tabela abaixo (FARIA, 2010).

Espécie	Fórmula Química	Tempo de Vida (Anos)	Potencial de aquecimento global		
			(horizontal de tempo)		
			20 anos	100 anos	500 anos
Dióxido de Carbono	CO₂	Variável	1	1	-
Metano	CH₄	12 +/-3	56	21	6,5
Óxido Nitroso	N₂O	120	280	310	170
Ozônio	O₃	0,1 -0,3	n.d.	n.d.	n.d.
HFC -23	CHF₃	264	9	11.700	9.800
Hexafluorido de Enxofre	SF₆	3.200	16.300	23.900	34.900
Perfluoroetano	C₂F₆	10.000	6.200	9.200	14.000

Tabela 6: Gases de Efeito Estufa e seu potencial de aquecimento global – FARIA, 2010.

A preocupação com o meio ambiente levou alguns países a assinarem um acordo que estipulasse controle sobre as intervenções humanas quanto as mudanças climáticas. Este acordo realizado em dezembro de 1997 denomina-se Protocolo de Quioto. Desta forma, o Protocolo de Quioto determina que países desenvolvidos signatários reduzam suas emissões de gases de efeito estufa (GEE). Para não comprometer as economias desses países, o protocolo estabeleceu que parte desta redução de GEE pode ser feita através de negociação com países não desenvolvidos através dos mecanismos de flexibilização. Um dos mecanismos de flexibilização é o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). O crédito de carbono do MDL é denominado Redução Certificada de Emissão (RCE) - ou em inglês, Certified Emission Reductions (CERs). Cada RCE corresponde a uma tonelada de Dióxido de carbono equivalente (CO₂). O CO₂ equivalente é o resultado da multiplicação das toneladas emitidas do GEE pelo seu potencial de aquecimento global em 100 anos. O potencial de aquecimento global do CO₂ foi estipulado como 1 e o gás metano 21. Quando queimado o gás metano (um gás inflamável) para produção de energia em aterro sanitário, como ilustrado abaixo, este é transformado em gás carbônico CO₂ reduzindo assim o potencial de aquecimento global em 21 vezes gerando Créditos de Carbonos. Os créditos de carbono gerados podem ser comercializados com empresas privadas ou através de bolsas de valores como a de São Paulo, Chicago e Europa. (FARIA, 2010).



Figura 14 – Como funciona a geração de créditos de carbono - FARIA, 2010.

Para cada tonelada de resíduo que é depositada em lixão, aterros controlados ou sanitário uma das estimativas da decomposição anaeróbica é a geração de 100 m³ de gás metano (CH₄) por tonelada de resíduo sólido ao longo do tempo quando depositado em locais com pluviometria superior a 25 polegadas (625 mm) conforme apresentado na modelagem de emissão de gases de aterro sanitário apresentadas pela agência de proteção do meio ambiente dos Estados Unidos (USEPA, 2005).

Como a produção de gás metano é inexistente com o tratamento térmico porque não há decomposição anaeróbica dos resíduos sólidos é possível prever o CH₄ que seria evitado com o processo de tratamento térmico se baseando nas estimativas de gás metano que seria gerado em lixões, aterros controlados ou sanitários. De acordo com Jauregui et alii, para cada tonelada de resíduo sólidos urbano é possível obter 1,3 Tonelada de CO₂ equivalente com o tratamento térmico (ENEGEP, 2017). Atualmente cada tonelada de CO₂ equivalente está cotada em € 19,49 no ultimo dia do mês de abril de 2020 para mercados futuros conforme consulta realizada pela Investing. (INVESTING, 2020). Contudo, cada Tonelada CO₂ equivalente foi cotada a € 19,49 e para cada Euro a moeda foi valorada R\$ 6,93 no mesmo período sendo possível obter receita de R\$ 135,06 para cada tonelada de CO₂ equivalente.

8 I VIABILIDADE ECONOMICA COM O TRATAMENTO DOS RESIDUOS NA REGIÃO SABESP M

Com base em valores do menor custo da energia comercializada pela SABESP de R\$ 272,00 / MW h, com menor investimento para implantação do sistema de tratamento R\$ 100,00 /Tonelada de resíduo sólido e com o valor mercado estimado em R\$135,06 obtidos pelos créditos de carbono para cada tonelada de CO₂ equivalentes demonstrados neste estudo, a tabela abaixo apresenta as receita financeiras para cada município e Unidades de Negócios operadas pela diretoria da região metropolitana da SABESP.

REGIÕES OPERADAS POR UNIDADES DA DIRETORIA M SABESP		Geração de Resíduo Sólido Urbano RSU (Toneladas RSU/ano)	Reduções de emissões = 1,3 Ton.CO2 /Ton. Ano RSU (TonCO ₂ equivalente)	Receita anual Geração dos Créditos de Carbono = R\$ 135,06 / Ton. CO2 (x 1.000 R\$)	Produção de Energia Elétrica Anual Tabela 4 (GW/ano)	Receita anual Geração Energia Elétrica = R\$ 272,00 / MWh (x 1000 R\$)	Custo anual p/ Implantação de Planta para Tratamento de RSU = R\$ 100 / Ton. ano RSU (x 1.000 R\$)
MN	São Paulo	984.900	1.280.370	172.928,74	590,9	160.724,80	98.490,00
	Guarulhos	540.879	703.143	94.967,53	324,54	88.274,88	54.087,90
	F. Morato	56.247	73.121	9.875,85	33,76	9.182,72	5.624,70
	Brag.Paul.	52.359	68.067	9.193,19	31,43	8.548,96	5.235,90
	F.Rocha	45.534	59.194	7.994,86	27,3	7.425,60	4.553,40
	Caieiras	28.167	36.617	4.945,56	16,87	4.588,64	2.816,70
	Mairiporã	24.797	32.236	4.353,86	14,86	4.041,92	2.479,70
	Cajamar	21.341	27.743	3.747,05	12,81	3.484,32	2.134,10
	Socorro	7.949	10.334	1.395,69	4,78	1.300,16	794,90
	Piracaia	7.776	10.109	1.365,31	4,69	1.275,68	777,60
	Naz.Paul.	3.888	5.054	682,66	2,35	639,2	388,80
	Joanópolis	3.283	4.268	576,43	1,98	538,56	328,30
	Pinhalzinho	1.900	2.470	333,6	1,12	304,64	190,00
	Vargem	1.296	1.685	227,55	0,79	214,88	129,60
	Pedra Bela	345	449	60,58	0,23	62,56	34,50
Total MN	1.780.654	2.314.850	312.647,15	1.068,39	290.602,08	178.065,40	
MS	São Paulo	1.039.218	1.350.983	182.465,90	623,48	169.586,56	103.921,80
	S.B. Campo	324.328	421.626	56.945,51	194,67	52.950,24	32.432,80
	Diadema	136.426	177.354	23.953,68	81,83	22.257,76	13.642,60
	Emb Artes	87.831	114.180	15.421,37	52,65	14.320,80	8.783,10
	Itap Serra	55.794	72.532	9.796,31	33,48	9.106,56	5.579,40
	Rib.Pires	39.596	51.475	6.952,27	23,84	6.484,48	3.959,60
	Emb-Guaç	19.438	25.269	3.412,92	11,58	3.149,76	1.943,80
	R G Serra	14.398	18.717	2.528,00	8,68	2.360,96	1.439,80
	Total MS	1.717.020	2.232.126	301.474,41	1.030,21	280.217,12	171.702,00
MC	São Paulo	1.112.619	1.446.405	195.353,64	667,57	181.579,04	111.261,90
	Sto André	283.576	368.649	49.790,27	170,15	46.280,80	28.357,60
	Total MC	1.396.194	1.815.052	245.143,67	837,72	227.859,84	139.619,40

ML	São Paulo	960.092	1.248.120	168.572,95	576,05	156.685,60	96.009,20
	Itaquaque.	118.715	154.330	20.843,98	71,25	19.380,00	11.871,50
	Suzano	92.103	119.734	16.171,44	55,26	15.030,72	9.210,30
	Ferraz V.	59.444	77.277	10.437,18	35,65	9.696,80	5.944,40
	Poá	37.152	48.298	6.523,15	22,3	6.065,60	3.715,20
	Arujá	24.451	31.786	4.293,11	14,68	3.992,96	2.445,10
	Biritiba M	7.948	10.332	1.395,51	4,78	1.300,16	794,80
	Salesópolis	2.764	3.593	485,3	1,64	446,08	276,40
Total ML	1.302.675	1.693.477	228.723,65	781,6	212.595,20	130.267,50	
MO	São Paulo	345.698	449.407	60.697,65	207,44	56.423,68	34.569,80
	Osasco	275.971	358.762	48.454,99	165,57	45.035,04	27.597,10
	Carapicuíba	129.172	167.924	22.680,02	77,49	21.077,28	12.917,20
	Tab. d Serra	92.537	120.298	16.247,65	55,51	15.098,72	9.253,70
	Barueri	87.871	114.232	15.428,39	52,74	14.345,28	8.787,10
	Cotia	79.318	103.113	13.926,65	47,57	12.939,04	7.931,80
	Itapevi	75.948	98.732	13.334,95	45,56	12.392,32	7.594,80
	Sant. Parn.	44.238	57.509	7.767,31	26,54	7.218,88	4.423,80
	Jandira	40.004	52.005	7.023,90	24	6.528,00	4.000,40
	V. G Paul.	14.861	19.319	2.609,29	8,93	2.428,96	1.486,10
	Pir. B Jesus	4.665	6.065	819,08	2,81	764,32	466,50
Total MO	1.190.287	1.547.373	208.990,58	714,17	194.254,24	119.028,70	
DIRETORIA M	7.386.829	9.602.878	1.296.979,47	4.432,10	1.205.528,48	738.682,90	

Tabela 7: Receitas e custos anuais no tratamento dos resíduos na região da diretoria M SABESP.

Analisando a tabela acima, é possível verificar que se todo resíduo sólido for destinado para o tratamento térmico com aproveitamento energético o custo estimado para implantação de sistemas de tratamento térmico seria de em R\$ 738,68 Milhões ao ano durante 15 anos na região operada pela Diretoria M da SABESP. A implantação deste sistema é possibilitaria obtenção de receita financeiras estimadas em R\$ 1,3 Bilhões com obtenção de créditos de carbono e mais R\$ 1,2 Bilhões com comercialização de energia elétrica, totalizando receita de R\$ 2,5 Bilhões anualmente.

9 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta do tratamento térmico como forma de destinação final dos resíduos sólidos urbanos gerados nas regiões operadas pela diretoria da região metropolitana da companhia de saneamento básico do estado de São Paulo (SABESP) beneficiaria a sustentabilidade energética do saneamento. Esta proposta para destinação final dos resíduos sólidos que é uma das vertentes do saneamento básico supriria todo consumo de

energia elétrica da companhia (1.743 GW h) necessária para suprir outras duas vertentes, água e esgoto. Além da sustentabilidade energética no saneamento, o estudo revela um excedente energético de 2.689 GW h anual que pode suprir outras demandas elétricas necessárias à sociedade. Também beneficiaria meio ambiente, pois além de reduzir 90% o volume de resíduo sólido, o que aumentaria dez vezes a vida útil dos aterros sanitários operantes atuais, haveria a redução de emissão de poluentes sendo estimada a obtenção de 9,6 milhões de toneladas de gás carbônico equivalente anualmente, evitando assim o agravamento do Efeito Estufa.

O processo de tratamento térmico dos resíduos sólidos urbanos produzidos na região estudada aliado a geração de energia elétrica e obtenção de créditos de carbono beneficiam receitas financeiras atuais estimadas em R\$ 2,5 Bilhões anualmente com custo estimado para implantação em 0,7 Bilhões ao ano durante 15 anos.

Para a força de trabalho este trabalho é uma forma de enriquecer o capital intelectual com a apresentação de tecnologia para destinação final dos resíduos sólidos urbanos, muitas vezes desconhecida entre os técnicos, tecnólogos e engenheiros que trabalham no saneamento. Também é possível incentivar maiores estudos na região avaliada e em outras regiões brasileiras sobre processo de tratamento térmico ainda não aplicado como destinação final dos resíduos sólidos urbanos aliando a produção de energia elétrica no Brasil em futuras concessões municipais relativas à vertente de resíduos sólidos do saneamento básico no país.

REFERÊNCIAS

1. ABNT NBR 10.004/2004, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Resíduos Sólidos – Classificação, Rio de Janeiro, 2004
2. ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2018/2019 - <<http://abrelpe.org.br/download-panorama-2018-2019/>> - Acesso em 10 mai. 2020.
3. ANEEL, 2018, Agência Nacional de Energia Elétrica, Leilão de Geração N° 03/2018, 31 ago. 2018 <https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/leilao-de-geracao-n-03-2018-tem-desagio-de-46-89-e-contrata-168-twh/656877?inheritRedirect=false> - Acesso em 10 mai. 2020.
4. ANEEL, 2020, Agência Nacional de Energia Elétrica, Saiba Mais Sobre o Setor Elétrico Brasileiro <https://www.aneel.gov.br/home?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_returnToFullPageURL=%2F&_101_assetEntryId=14476909&_101_type=content&_101_groupId=654800&_101_urlTitle=faq&inheritRedirect=true> Acesso em 10 mai. 2020.
5. BANCO DO NORDESTE, Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste, Potencialidades da Energia Eólica no Nordeste, Caderno Setorial ETENE, Ano 2, 5 de maio de 2017 <<https://www.bnb.gov.br/documents/80223/1910830/Eolica.pdf/9d7251e0-4c94-4570-b223-df7820b50d4d>> Acesso em 10 mai. 2020.

6. BRASIL ENERGIA, Novas soluções para recuperar a energia do lixo das cidades, Editora Brasil Energia, 16 de maio de 2020 - <<https://editorabrasilenergia.com.br/novas-solucoes-para-recuperar-a-energia-do-lixo-das-cidades/>> - Acesso em 18 mai. 2020.
7. CCEE, Câmara de Comercialização de Energia Elétrica, Comercialização, <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/comercializacao?_afLoop=106373489667282&_adf.ctrl-state=x511g26fu_99#!%40%40%3F_afLoop%3D106373489667282%26_adf.ctrl-state%3Dx511g26fu_103> - Consulta em 18 mai. 2020.
8. CEMPRE, Compromisso Empresarial de Reciclagem, Lixo Municipal – Manual de Gerenciamento Integrado 4ª edição – 2018 - <http://cempre.org.br/upload/Lixo_Municipal_2018.pdf> - Acesso em 10 mai. 2020.
9. CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos, 2018 - <<https://cetesb.sp.gov.br/residuossolidos/wp-content/uploads/sites/26/2019/06/Invent%C3%A1rio-Estadual-de-Res%C3%ADduos-S%C3%B3lidos-Urbanos-2018.pdf>> - Acesso em 10 mai. 2020.
10. COBEE, Congresso Brasileiro de Eficiência Energética, Gestão de Energia Elétrica na SABESP, Companhia de Saneamento Básico do estado de São Paulo, 2019, <http://www.cobee.com.br/wp-content/uploads/2019/08/Gisele_Abreu.pdf>- Acesso em 18 mai. 2020.
11. COVANTA, *Covanta Environmental Solutions, Homepage , Dublin Waste to Energy , Our Facilities, Dublin Waste to Energy – Dublin - Irlanda* <<https://www.covanta.com/Our-Facilities/Dublin-Waste-to-Energy>> - Acesso em 10 mai. 2020.
12. EMPLASA, Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S/A, Planejamento Regional, Região Metropolitana de São Paulo - <<https://emplasa.sp.gov.br/RMSP>> - Acesso em 10 mai.
13. ENEGEP, XXXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Análise da Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental da produção de energia elétrica a partir da incineração dos resíduos sólidos urbanos da cidade de São Paulo, 2017, <http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_246_424_34486.pdf> - Acesso em 10 mai. 2020.
14. EPE, 2014, Empresa de Pesquisa Energética, Economicidade e Competitividade do Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos, 2014,< <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-251/topico-311/DEA%2016%20-%20%20Economicidade%20e%20Competitividade%20do%20Aproveitamento%20Energetico%20d%5B1%5D.pdf>>-Acesso em 10 mai. 2020.
15. EPE, 2019, Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2019, ano base 2018 <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anu%C3%A1rio_2019_WEB_alterado.pdf> - Acesso em 10 mai. 2020.
16. FARIA, Mario - Biogás produzido em Aterros Sanitários, Aspectos Ambientais – Aspectos Ambientais e Aproveitamento do Potencial Energético, Universidade de São Paulo, 2010, <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/bibliotecaDigital/20926_arquivo.pdf> Acesso em 10 mai. 2010
17. FEAM, Fundação Estadual do Meio Ambiente - Sustentabilidade, Energia e Meio Ambiente – Publicações - 2014 - <<http://www.feam.br/component/content/article/995>> - Acesso em 10 mai. 2020.

18. GEL, Sistema de Gestão de Energia Elétrica da Sabesp, Companhia de Saneamento Básico do estado de São Paulo, - Consulta em 19 de abril de 2020.
19. IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, cidades e estados - <[https://www.ibge.gov.br / cidades-e-estados.html?view=municipio](https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados.html?view=municipio)> - Acesso em 10 mai.
20. ICLEI, Governos Locais pela Sustentabilidade – Resíduos Sólidos - <[http://www.iclei.org.br/residuos/site/ ?page_id=349](http://www.iclei.org.br/residuos/site/?page_id=349)> Acesso em 10 mai. 2020.
21. INVESTING, Portal financeiro Investing.com , Portfólio, Commodities, Créditos Carbono Futuros - <<https://br.investing.com/commodities/carbon-emissions>> - Consulta em 10 mai 2020.
22. JESCO, *Japan Environmental Sanitation Center – Solid Waste Management and Recycling Technology– Toward a Sustainable Society –Tokyo - Japão* - <<https://www.env.go.jp/en/recycle/smcs/attach/swmrt.pdf>> - Acesso em 10 mai. 2020.
23. JORNAL FOLHA DE SÃO PAULO, Caderno Cotidiano, Aterros no limite e baixa coleta de recicláveis desafiam limpeza de São Paulo, 23 abr. 2019, <<https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2019/04/aterros-no-limite-e-baixa-coleta-de-reciclaveis-desafiam-limpeza-de-sao-paulo.shtml>> - Acesso em 10 mai 2019
24. LEITE, Clauber Barão - Tratamento dos Resíduos Sólidos Urbanos com Aproveitamento Energético: Avaliação econômica entre as tecnologias de digestão anaeróbia e incineração, Instituto de Energia e Ambiente, Programa de Pós Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, 2016 <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106131/tde-28032017-134502/publico/Mestrado_Clauber_corrigida.pdf> - Acesso em 10 mai.
25. MMA, Ministério do Meio Ambiente – Informações institucionais – Acesso a informação – Diferença entre lixão e aterro sanitário - <<https://www.mma.gov.br/informma/item/15708-diferenca-C3%A7a-entre-lix%C3%A3o-e-aterro-sanit%C3%A1rio.html>> Acesso em 10 mai. 2020.
26. MME, Ministério de Minas e Energia, Boletim do Monitoramento do Sistema Elétrico, <<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/energia-eletrica/publicacoes/boletim-de-monitoramento-do-sistema-eletrico>> - Acesso em 10 mai.
27. SABESP, Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, Transparência, sobre a sabesp, Relação dos municípios atendidos, <[http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/asabesp_doctos/ municipios_atendidos_sabesp.pdf](http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/asabesp_doctos/municipios_atendidos_sabesp.pdf)> - Acesso em 10 mai. 2020.
28. SANTOS, Paulo Ernani Bergamo, *Legal Aspects of Introducing Waste-To-Energy (WTE) Technology in Sao Paulo State of Brazil: The case studies of URE Barueri and city of Sao Paulo Department of Earth and Environmental Engineering Fu Foundation School of Engineering & Applied Science - Columbia University, 2016* - <http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/Paulo%20thesis_NJT_June25.pdf> - Acesso em 10 mai. 2020.
29. SIGNOS, Sistema de Informação Geográfica no Saneamento, Companhia de Saneamento Básico do estado de São Paulo, - Consulta em 19 de Abril de 2020.
30. SIMA, Secretaria da Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo, Dados Energéticos, Energia Elétrica <<http://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/portalecv2/intranet/Eletricidade/index.html>> Consulta em 19 abr. 2020.

31. UN, *United Nations – Environmental Indicators Waste, 2011* <<https://unstats.un.org/unsd/environment/wastetreatment.htm>> Acesso em 10 mai. 2020.

32. USEPA – *United States Environ Protect Agency , Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02, User’s Guide, United States of America - California - 2005* <<https://www3.epa.gov/ttnecatc1/dir1/landgem-v302-guide.pdf>> - Acesso em 10 mai. 2020.

33. WORLD BANK, *The World Bank - What a Waste a Global Review of Solid Waste Management – Urban Development Series Knowledge papers – United States of America - Washington – 2012* <<http://documents.worldbank.org/curated/pt/302341468126264791/pdf/68135-REVISED-What-a-Waste-2012-Final-updated.pdf>> Acesso em 10 mai. 2020.

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

Data de aceite: 23/06/2021

Data de submissão: 06/04/2021

Luana dos Santos Pinheiro

Allonda Ambiental S. A., Engenheira Civil
Guaíba – Rio Grande do Sul

José Carlos Alves Barroso Júnior

Faculdade Dom Bosco de Porto Alegre,
Docente do Curso de Engenharia Ambiental e
Sanitária
Porto Alegre – Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/0457743925733472>

RESUMO: O crescimento populacional nas cidades e o conseqüente aumento das áreas urbanizadas que estão ocorrendo nos últimos anos, vem causando transtornos com as águas pluviais nas mais diversas regiões do mundo. Os alagamentos que ocorrem cada vez mais frequentes, causam diversos problemas sociais e de saúde pública, impactando a vida das pessoas nos grandes centros. Nesse sentido, uma revisão dos projetos dos sistemas de drenagem existentes nas grandes cidades, se torna inevitável frente ao aumento das massas populacionais e as modificações do nosso clima. Essa revisão é necessária para verificar se os atuais sistemas de drenagem executados nessas regiões estão atendendo as demandas ou se existe a possibilidade de redimensioná-los e minimizar os transtornos causados pelas águas da chuva. Assim sendo, o objetivo deste trabalho é verificar os atuais problemas causados pelas

águas pluviais no bairro Centro do município de São Leopoldo, dimensionar o sistema de microdrenagem do local e comparar com o atual sistema existente, propondo, por fim, possíveis alternativas frente as verificações e comparações efetuadas.

PALAVRAS-CHAVE: Microdrenagem, Alagamento, Pluvial, São Leopoldo.

CASE STUDY: SIZING MICRODRENING FOR A DOWNTOWN REGION OF A SÃO LEOPOLDO- RS MUNICIPALITY

ABSTRACT: The population growth in the cities and the consequent increase in urban areas and climate changes that are occurring in recent years, are causing disturbances to the rainwater in most regions of the world. The floodings which are occurring even more frequently, causing many social and public health issues, impacting the lives of people in big cities. In this regard, a reassess on the projects of existing drainage systems in big cities is inevitable in front of the increase in mass population and the changes in our climate. This revision is required to verify if the current drainage systems implemented in these regions are meeting the demands or if it is possible to resize them and diminish possible inconveniences caused by rainwater. Therefore, the objective of this study is to ascertain the current problems caused by rainwater in central district of São Leopoldo, design the micro drainage system and to compare with the current existing system, proposing, finally, possible alternatives in front of the verifications and comparisons conceived.

KEYWORDS: Microdrainage, Flooding, Stormwater, São Leopoldo.

1 | INTRODUÇÃO

O processo do crescimento populacional e da urbanização das cidades, aliados às elevadas precipitações e a falta de controle e planejamento da ocupação do solo e das áreas de risco, tem como consequência as inundações, um fator frequente e preocupante no Brasil e em outros países que afeta diretamente a população. Com a expansão da urbanização obtém-se também um acréscimo significativo de áreas impermeáveis que pode intensificar as chances de inundações, visto que isso exigirá uma capacidade maior de condução do escoamento superficial.

As inundações podem ser causadas devido a aspectos relevantes como a falta de manutenção da rede de drenagem, má administração de recursos públicos, além dos problemas de educação ambiental, um dos itens fundamentais para o bom funcionamento de todo o sistema, visto que os resíduos descartados de forma inadequada podem prejudicar a capacidade de vazão.

De acordo com Tucci, Porto e Barros (1995), as enchentes urbanas geram grandes impactos para a sociedade e com base nisso é necessário planejar a ocupação do espaço urbano com a infraestrutura e as condições que evitem impactos econômico-sociais. Ainda, segundo os autores, o critério para elaborar um projeto de uma rede de drenagem urbana é realizado com base na vazão máxima provocada por uma tormenta, no qual deve escoar pela rede à superfície livre, ou sob pressão, com uma carga pequena (TUCCI; PORTO; BARROS, 1995, p. 33).

A implantação e aplicação do Plano Diretor de drenagem urbana nas cidades é fundamental, pois ele deve “planejar a distribuição da água no tempo e no espaço com base na tendência de ocupação urbana, compatibilizando esse desenvolvimento e a infraestrutura para evitar prejuízos econômicos e ambientais”. Outro fator importante é o controle de ocupação do solo, limitando a ocupação de áreas de alto risco de inundações (TUCCI, 1995).

Atualmente, é possível acompanhar diversas fontes de notícias sobre chuvas fortes que resultam em alagamentos, inclusive com registro de mortes. No Rio Grande Do Sul também foram noticiados em diferentes municípios, inúmeros casos de alagamentos, o que evidencia a necessidade de rever os projetos existentes e investir em melhorias para solucionar as prováveis ineficiências do sistema de microdrenagem urbana, em virtude da idade do projeto existente.

A drenagem urbana pode ser dividida em microdrenagem e macrodrenagem. A microdrenagem é definida pelo sistema de condutos pluviais ou canais em um loteamento ou de rede primária urbana. Este tipo de sistema de drenagem é projetado para atender a drenagem de precipitações com risco moderado (PORTO ALEGRE, 2005).

Os elementos do sistema pluvial de microdrenagem, segundo Tucci, Porto e Barros (1995), são constituídos pelas galerias, poços de visita, bocas de lobo, tubos e caixas de

ligações e sarjetas, de acordo com a Figura 1 - Sistema de microdrenagem urbana.

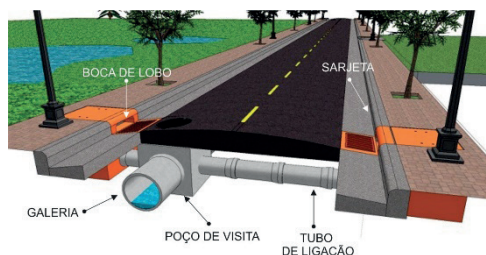


Figura 1 - Sistema de microdrenagem urbana.

Fonte: Adaptado de Moraes (2015, p. 04).

As galerias são canalizações, que tem por objetivo conduzir o escoamento superficial oriundo das bocas de lobo e sua seção deve atender a vazão de projeto. O diâmetro nominal (DN) das tubulações comerciais possui variações entre 300, 400, 500, 600, 800, 1000, 1200 ou 1500mm e a velocidade máxima de escoamento nos condutos será em função do material, em tubos de concreto a velocidade máxima é de 5,0 m/s e a mínima é de 0,60 m/s (TUCCI; PORTO; BARROS, 1995).

Para o dimensionamento das galerias é necessário calcular a vazão que depende da intensidade de chuva, área da bacia de drenagem e coeficiente de escoamento (*run off*), conforme a equação 1:

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot i \cdot A \quad (1)$$

Onde:

Q = vazão máxima (m³/s);

C = coeficiente de escoamento superficial;

i = intensidade de precipitação (mm/h);

A = área da bacia (km²).

Os projetos de drenagem superficial são executados para que atendam as capacidades de esgotamentos pluviais futuras, por este motivo é necessário conhecer a frequência dos eventos chuvosos. As informações de intensidade, duração e frequência (IDF) das chuvas são baseadas no histórico das mesmas, no qual observa-se a intensidade em um longo período, obtendo tais informações como probabilidade. Para cada localidade é possível obter intensidade, duração e frequência variadas, de acordo com o estudo do local e o acúmulo das variações pluviométricas (WILKEN, 1978), a intensidade de chuva sofre influência também do tempo de retorno.

De acordo com Departamento de Esgoto Pluvial de Porto Alegre (DEP, 2005), o tempo de retorno (Tr), também conhecido como tempo de recorrência é definido como o intervalo médio em anos para que a máxima demanda de precipitação ocorra com a mesma

intensidade ou que ela seja superada.

Em relação ao tempo de retorno (T_r), Tucci (1993), afirma que é o inverso da probabilidade (p) de uma precipitação ser igualada ou superada em um determinado ano, portando é possível concluir que essa escolha está relacionada com a eficiência do projeto e o grau de segurança proposto à população.

O escoamento superficial direto, também chamado de precipitação excedente, coeficiente de deflúvio ou *run-off*, é caracterizado como sendo a parcela de uma precipitação que fica acumulada sobre a superfície do solo, através da sua dificuldade de infiltração, interceptação ou retenção superficial. Essa parcela excedente é, na maioria das vezes, a responsável pelos alagamentos em bacias pequenas e urbanizadas e podem varia entre 0,05 a 1,0 (TUCCI; PORTO; BARROS, 1995).

Conhecer a Área da Bacia (A), também denominada de bacia de drenagem, significa conhecer o tamanho da área em que a precipitação incide e a potencial vazão de água que ela pode gerar em seu interior.

Geralmente os limites de uma bacia são os divisores de água contidos na planta planialtimétrica da área da bacia, entretanto, em regiões urbanas, a presença de galerias e as declividades no terreno são os fatores que acabam gerando os “divisores de água” na área de projeto (GRIBBIN, 2012). Costumeiramente a área da bacia é subdividida em áreas de contribuição formadas pela divisão dos lotes urbanos até a via pública.

No dimensionamento das tubulações, considera-se que o escoamento é livre, ou seja, é permanente e uniforme, pois possui vazão, velocidade e seção constantes ao longo dos trechos considerados. (TUCCI; PORTO; BARROS, 1995). De acordo com os autores, a vazão e a velocidade das galerias podem ser determinadas através da equação de Manning:

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4 \cdot n} \cdot \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} \cdot S^{1/2} \quad (2)$$

$$v = \frac{\left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} \cdot S^{1/2}}{n} \quad (3)$$

Onde:

Q = vazão à seção plena da tubulação (m^3/s);

D = diâmetro da tubulação (m);

n = coeficiente de rugosidade;

S = declividade longitudinal da rua (m/m);

v = velocidade de escoamento à seção plena da tubulação (m/s).

Ainda sobre o dimensionamento hidráulico das galerias circulares Azevedo Netto et al. (1998) recomenda velocidades mínimas de 0,75 e máximas de 5,0 m/s, e ocupação máxima da lâmina d'água de 95 % do diâmetro, evitando que a tubulação trabalhe pressurizada.

Neste trabalho foi avaliada a rede de drenagem na região do bairro centro de São

Leopoldo – RS, analisando as falhas do sistema de drenagem, eficiência da pluvial e possíveis melhorias.

2 | METODOLOGIA DE PESQUISA

A metodologia utilizada neste trabalho será realizada através das etapas apresentadas no fluxograma, conforme Figura 2.

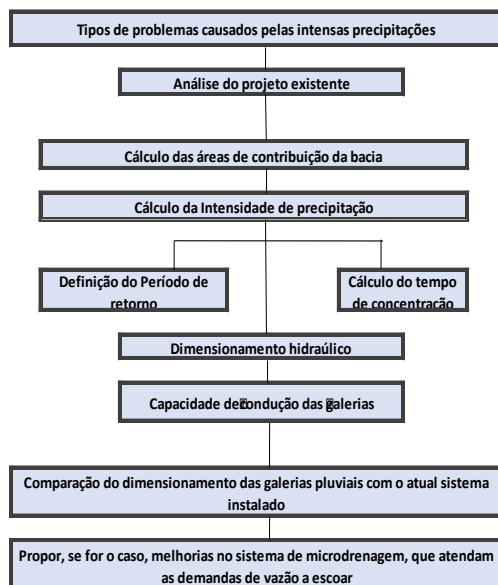


Figura 2 - Fluxograma de pesquisa.

Fonte: Elaborado pela autora.

O objetivo deste trabalho é o estudo do sistema de microdrenagem urbana da região do bairro Centro, do município de São Leopoldo, região metropolitana de Porto Alegre. A área de estudo foi delimitada conforme consta na Figura 3.

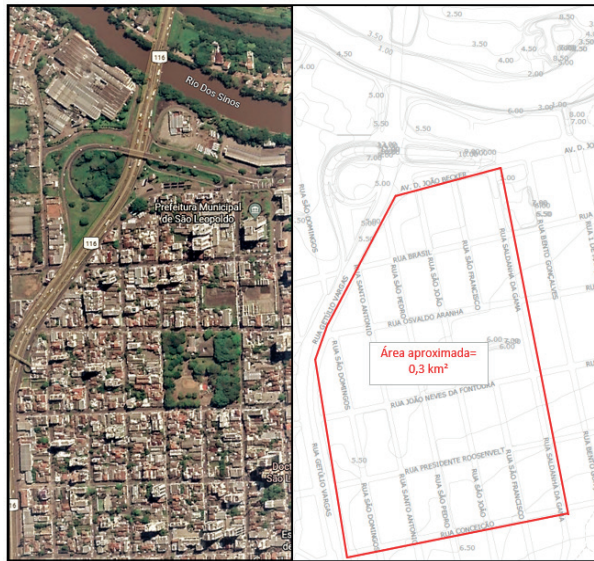


Figura 3 - Área de estudo.

Fonte: Adaptado de Google Earth (São Leopoldo, 2019).

O sistema de drenagem será redimensionado e verificado por completo, através da divisão das áreas de contribuição, determinação das vazões de escoamento e dimensionamento das galerias pluviais. Em virtude da inexistência da memória de cálculo do projeto existente, serão adotados parâmetros para o redimensionamento, com o intuito de verificar a necessidade de melhorias do sistema.

3 | DADOS CARTOGRÁFICOS

3.1 Traçado da rede de drenagem

O traçado da rede de microdrenagem do bairro Centro foi disponibilizado pela Secretaria Municipal de Obras Viárias (SEMOV) de São Leopoldo. O projeto é datado de 21 de fevereiro de 1974 e atualmente existe só em meio físico, conforme mostra a Figura 5 – Rede de microdrenagem do bairro Centro - SEMOV. (SÃO LEOPOLDO, 1974).

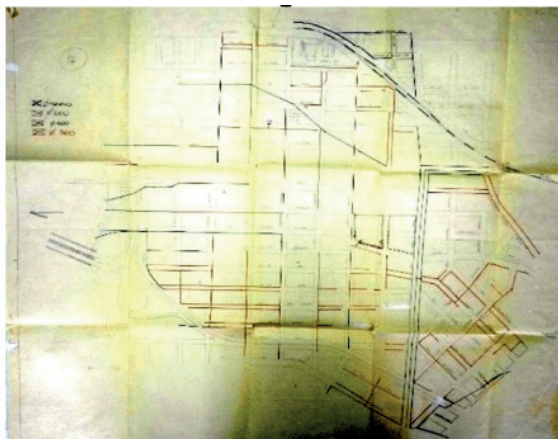


Figura 4- Rede de microdrenagem do bairro Centro - SEMOV.

Fonte: Registrada pela autora.

O detalhamento do projeto apresenta apenas os trechos das tubulações e seus respectivos diâmetros. Não consta a localização das bocas de lobo, assim como os poços de visita ou caixas de ligação. A rede de drenagem do bairro Centro é conduzida até duas casas de bombas, denominadas de Casa de Bomba Rodoviária e Casa de Bomba Ginásio, as quais bombeiam o esgoto pluvial para o Rio dos Sinos.

De maneira a conhecer as cotas altimétricas de todas as esquinas das quadras do bairro Centro, foi disponibilizado pelo Serviço Municipal de Água e Esgotos (SEMAE) de São Leopoldo, quatro pranchas de levantamento aerofotogramétrico.

A inserção dos poços de visita, foi realizada nos pontos da rede onde houve mudança de direção e diâmetro, admitindo sempre que possível, a distância máxima entre PV, de acordo com a Tabela 2 -Espaçamento entre os poços de visita. Para as bocas de lobo foram inseridas pelo critério de recomendação, com espaçamento máximo de 60 metros.

3.2 Área da Bacia

Para a verificação da área de contribuição e delimitação da área do projeto, primeiramente foi analisado o traçado da rede de drenagem, juntamente com as informações de declividade do terreno, através das pranchas aerofotogramétricas fornecidas pelo SEMAE.

Foram analisadas as cotas altimétricas de cada quarteirão e definida a inclinação longitudinal de cada rua, obtendo assim, a direção de cada escoamento da água da chuva. Considerando a existência de bocas de lobo em todos os quarteirões e antes de cada esquina, foi possível determinar as áreas de drenagem incidentes sobre elas, e conseqüentemente, os trechos correspondentes das tubulações as quais formam os sistemas de galerias.

Diante do exposto, foi observado que dentro do bairro Centro existem três sistemas de galerias, sendo eles delimitados pelas áreas de drenagem contidos entre a BR-116 (Av. Getúlio Vargas) / rua Saldanha da Gama e rua Saldanha da Gama / rua Independência, e por último, a área delimitada entre a rua Independência / avenida Mauá, conforme mostra a Figura 6 do bairro Centro. Os 03 (três) sistemas desembocam no Rio dos Sinos, passando previamente por casas e bombas.

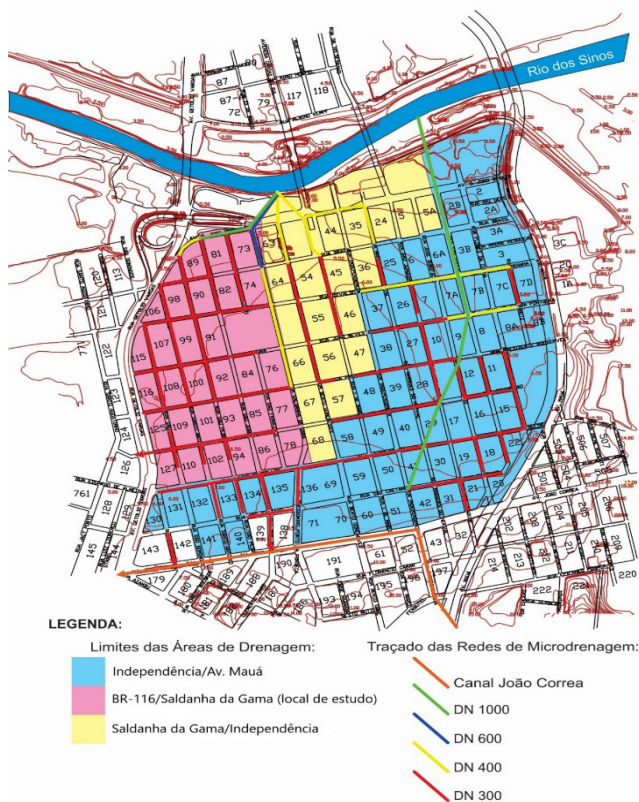


Figura 6 - Áreas de Drenagem - Centro de São Leopoldo.

Fonte: Elaborado pela autora.

O trecho compreendido neste estudo está localizado na BR-116 (Av. Getúlio Vargas) / rua Saldanha da Gama, no qual foi realizada as verificações e delimitações das áreas que contribuem com o escoamento das águas para a rede de drenagem instalada. A área de estudo foi subdividida em lotes delimitado através da divisão da bissetriz dos quarteirões e por fim, foi determinada a área de cada subdivisão.

4 I INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO

Para a definição da intensidade de precipitação foram utilizados os dados pluviométricos de Porto Alegre. Para a cidade de São Leopoldo não está disponível a curva IDF, assim, será adotada a Equação 4, elaborada pelo Eng. Otto Pfafstetter, conforme segue:

$$i = \frac{P}{t} \quad (4);$$

4.1 Período de Retorno

O tempo de retorno adotado foi T_r igual a 10 anos, considerando que se trata de uma região comercial e por conta disso será considerado o pior caso entre os valores recomendados, sendo que quanto maior o período de retorno, maior será a intensidade de precipitação, no qual se estima a pior situação de chuva.

4.2 Duração da Chuva e Tempo de Concentração

A duração da chuva será adotada igual ao tempo de concentração da bacia de drenagem, a qual será definida pela Equação 5 em concordância com a Equação 8, que corresponde ao t_c acumulado no trecho anterior à montante, acrescentado do t_c do trecho em estudo. Nas áreas de contribuição iniciais, que são aquelas que não apresentam galerias, será adotado o t_i igual a 10 minutos.

$$t_c = t_i + t_t \quad (5);$$

$$t_c = t_c (\text{trecho anterior}) + t_c (\text{trecho considerado}) \quad (6);$$

5 I DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

5.1 Galerias

A capacidade de condução hidráulica das galerias existentes no sistema de microdrenagem obedecerá a Equação 7 e será utilizado o coeficiente de rugosidade de Manning correspondente a 0,013, já que se trata de tubulações de concreto liso.

Nas galerias será assegurada as velocidades mínimas e máximas permitidas, correspondentes a 0,75 e 5,00 m/s, respectivamente, bem como será assegurada a vazão máxima correspondente a 95% da seção plena do tubo. Foi adotado um recobrimento mínimo de 60 cm acima do tubo, já que o bairro Centro é uma região predominantemente plana, podendo as tubulações atingirem em certos pontos grandes profundidades, se diferenciando, assim, das recomendações de profundidade máxima de 3,50 m. Nos poços de visita onde houver mudança de DN entre as galerias, os tubos serão alinhados, sempre que possível, pela geratriz superior.

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4 \cdot n} \cdot \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} \cdot S^{1/2} \quad (7);$$

6 | RESULTADOS

Além da pesquisa de notícias, fotos e vídeos, foi realizado o levantamento in loco no dia 27 de outubro de 2019, no qual foi possível registrar alguns problemas relacionados às águas da chuva e os respectivos locais em que eles ocorreram, conforme mostra a figura a seguir.



Figura 7 - Rua João Neves Da Fontoura x Santo Antônio.

Fonte: Registrado pela autora.

Foi realizada uma análise geral do local, no qual foram identificados diversos fatores que podem contribuir para a ocorrência de alagamentos. Foi possível verificar que há uma elevada densidade urbana da área de estudo e o predomínio da impermeabilização dos solos, com elevados índices de pavimentação asfáltica e poucas áreas de vegetação. Isto contribui para o elevado coeficiente de escoamento superficial, no qual justifica-se a importância deste estudo. Outro problema verificado no local foi o péssimo estado das sarjetas e bocas de lobo. Em alguns pontos das ruas o meio fio não possui 15 cm de altura, fazendo com que inexista a sarjeta, contribuindo, assim, para o avanço das águas sobre o passeio.

Além disso, é perceptível a desconformidade da pavimentação em alguns trechos, já que as declividades longitudinais e transversais se apresentam de forma irregular. É possível verificar também que em alguns locais foi executada uma camada de pavimento após a instalação das bocas de lobo, no qual acaba impactando na capacidade de engolimento das mesmas, o que dificulta o escoamento total das águas pluviais.

Em relação as bocas de lobo, é possível identificar que em alguns locais há o entupimento dos dispositivos conforme Figura 8 e em outros não há a presença da

instalação de bocas de lobo nas esquinas ou em ambos os lados. Desta forma as galerias não captam parte de água acumulada superficialmente acarretando no acúmulo de água nas sarjetas, o que resulta na redução da eficiência de todo o sistema de microdrenagem.

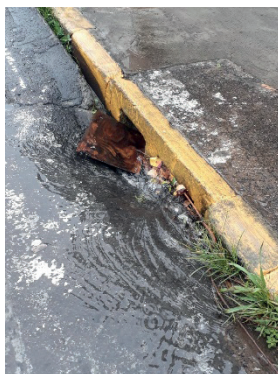


Figura 8 - Rua São Francisco.

Fonte: Registrado pela autora.

6.1 Dimensionamento hidráulico das galerias

Para a verificação foram adotados os diâmetros existentes no local de estudo, sendo os mesmos insuficientes e readequados conforme parâmetros necessários. Em relação a área de contribuição incidente sobre cada trecho, foi considerada conforme Figura 6.

O dimensionamento hidráulico foi realizado considerando a intensidade de precipitação proposta para o projeto, apresentado no Quadro 1 - Planilha de Cálculo 01 – Dimensionamento Hidráulico das Galerias. É possível verificar que os diâmetros disponíveis não atendem à demanda de vazão das águas pluviais no traçado da rede, conforme representado na Figura 6 - Áreas de Drenagem - Centro de São Leopoldo.

A tabela a seguir demonstra o principal trecho da área da bacia que apresentam tubulações com diâmetros insuficientes.

Local	DN Existente (mm)	DN Necessário (mm)
Presidente Roosevelt (PV 1 ao PV 6)	300 (PV 1 ao PV 6)	1000 (PV 1 ao PV 6)
Saldanha da Gama (PV 7 ao PV 26)	400 (PV 7 ao PV 20) 600 (PV 21 ao PV 26)	1500 (PV 7 ao PV 26)

Tabela 13 - Principal trecho em que as tubulações apresentam DN insuficientes.

Fonte: Elaborado pela autora.

Trecho	DN (m) - Tubulação existente		DN (m) - Tubulação dimensionada	L - Trecho (m)	Cota Terreno (m)		Declividade do Trecho (‰/m)	Declividade Máxima (‰/m)	Declividade Mínima (‰/m)	Declividade Abitada (‰/m)	Área Contribuição A (Km²)	Run Off - C	Área Equivalente		Tempo Concentração (min)		Intensidade de Precipitação - I (mm/h)	Vazão - Q (m³/s)		Velocidade - v (m/s)		Vh/VO (%)	Qh/VO (%)	Profundidade Coletor (m)		Cota de Fundo do Coletor (m)		h/D	Transte Líquido (m)		Cota NA (m)		Resultado	
	M	J			M	J							CXA	Acum.	M	Trascho		J	Seção Ponta	Seção Final	M			J	M	J	M		J	M	J			
Presidente Roosevelt	1	2	0,3	1,00	83,00	5,26	5,52	0,0041	0,0006	0,0268	0,0014	0,004001	0,80	0,003201	0,003201	10,00	1,39	11,39	115,92	0,1031	0,8971	1,14	0,75	66	11,50	1,60	1,95	3,66	3,57	22	0,22	3,88	3,79	-
Presidente Roosevelt	2	3	0,3	1,00	82,00	5,52	5,73	0,0026	0,0006	0,0268	0,0006	0,012263	0,80	0,009811	0,013011	11,39	1,71	13,10	110,51	0,3957	0,5873	0,75	0,80	107	68,07	2,33	2,59	3,19	3,14	60	0,60	3,79	3,74	0,00
Presidente Roosevelt	3	4	0,3	1,00	78,00	5,73	5,90	0,0022	0,0006	0,0268	0,0009	0,011693	0,80	0,009354	0,022365	13,10	1,27	14,37	104,84	0,6519	0,1793	0,92	1,03	112	90,63	2,74	2,98	2,99	2,92	75	0,75	3,74	3,67	0,00
Presidente Roosevelt	4	5	0,3	1,00	80,00	5,90	6,10	0,0025	0,0006	0,0268	0,0016	0,011811	0,80	0,009449	0,031814	14,37	0,97	15,33	101,93	0,9015	0,9590	1,22	1,38	113	94,01	3,01	3,34	2,89	2,76	78	0,78	3,67	3,54	0,00
Presidente Roosevelt	5	6	0,3	1,00	79,00	6,10	6,30	0,0025	0,0006	0,0268	0,0026	0,011835	0,80	0,009468	0,041282	15,33	0,75	16,08	99,99	1,1475	1,2225	1,56	1,76	113	93,86	3,34	3,75	2,76	2,55	76	0,76	3,52	3,31	-0,02
Presidente Roosevelt	6	7	0,3	1,00	83,00	6,30	6,45	0,0018	0,0006	0,0268	0,0037	0,012151	0,80	0,009721	0,051003	16,08	0,66	16,74	97,68	1,3850	1,4584	1,86	2,10	113	94,97	3,77	4,23	2,53	2,22	78	0,78	3,31	3,00	0,00
Saldanha Da Gama	7	8	0,4	1,50	145,00	6,45	6,66	0,0054	0,0004	0,0156	0,0006	0,012414	0,80	0,009931	0,060934	16,74	2,18	18,93	95,57	1,6189	1,7315	0,98	1,11	113	93,50	4,73	4,03	1,72	1,63	76	1,14	2,86	2,77	-0,14
Saldanha Da Gama	8	20	0,4	1,50	159,00	6,66	6,50	0,0010	0,0004	0,0156	0,0007	0,012301	0,80	0,009841	0,070775	18,93	2,22	21,14	89,71	1,7650	1,8702	1,06	1,20	113	94,37	4,06	4,01	1,60	1,49	78	1,17	2,77	2,66	0,00
Saldanha Da Gama	20	21	0,4	1,50	141,00	6,50	6,37	0,0009	0,0004	0,0156	0,0009	0,015364	0,80	0,012291	0,083066	21,14	1,73	22,87	84,81	1,9585	2,1207	1,20	1,36	113	92,35	4,01	4,01	1,49	1,36	76	1,14	2,63	2,50	-0,03
Saldanha Da Gama	21	26	0,6	1,50	145,00	6,37	6,87	0,0034	0,0004	0,0156	0,0011	0,015012	0,80	0,012010	0,095076	22,87	1,63	24,50	81,20	2,1463	2,3445	1,33	1,49	112	91,55	4,01	3,67	1,36	1,20	75	1,13	2,49	2,33	-0,02
Saldanha Da Gama	26	C.B	0,6	1,50	128,00	6,87	5,30	0,0034	0,0004	0,0156	0,0068	0,010386	0,80	0,008309	0,252885	24,50	0,57	25,07	78,52	5,5204	5,8291	3,30	3,73	113	94,70	4,82	6,12	0,05	-0,82	78	1,17	1,22	0,35	0,00
João Neves Da Fontoura	14	13	0,3	0,60	89,00	5,19	5,41	0,0032	0,0020	0,0151	0,0027	0,003982	0,80	0,003185	0,003185	10,00	1,18	11,18	115,92	0,1027	0,1082	0,86	0,97	113	94,86	1,00	1,41	4,19	4,00	78	0,31	4,50	4,32	-
São Domingos	13	15	0,3	0,60	170,00	5,41	5,20	0,0012	0,0012	0,0530	0,0027	0,012140	0,80	0,009712	0,009712	11,18	2,22	13,40	111,53	0,3011	0,3190	1,13	1,28	113	94,39	1,61	1,86	3,80	3,34	78	0,47	4,27	3,81	-0,04
Oswaldo Aranha	15	16	0,3	1,00	77,00	5,20	5,35	0,0019	0,0006	0,0268	0,0008	0,014850	0,80	0,011880	0,021592	13,40	1,33	14,73	103,61	0,6220	0,6781	0,86	0,97	112	91,72	2,26	2,47	2,94	2,88	75	0,75	3,69	3,63	-0,12
Santo Antônio	12	16	0,3	0,60	167,00	5,47	5,35	0,0007	0,0012	0,0530	0,0026	0,011431	0,80	0,009144	0,010029	10,00	2,22	12,22	115,92	0,2947	0,3131	1,11	1,25	113	94,12	1,20	1,51	4,27	3,84	78	0,47	4,74	4,30	-
Oswaldo Aranha	16	17	0,3	1,00	79,00	5,35	5,36	0,0001	0,0006	0,0268	0,0034	0,020225	0,80	0,016180	0,046917	14,73	0,65	15,39	100,60	1,3121	1,3980	1,78	2,01	113	93,86	2,48	2,76	2,87	2,60	76	0,76	3,63	3,36	0,00
João Neves Da Fontoura	9	10	0,3	0,60	80,00	5,63	5,59	0,0005	0,0012	0,0530	0,0037	0,013735	0,80	0,010988	0,010988	10,00	0,89	10,89	115,92	0,3541	0,3735	1,32	1,49	113	94,81	1,20	1,46	4,43	4,13	78	0,47	4,90	4,60	-
João Neves Da Fontoura	10	11	0,3	1,00	80,00	5,59	5,57	0,0002	0,0006	0,0268	0,0009	0,012903	0,80	0,010322	0,021310	10,89	1,30	12,19	111,26	0,6591	0,7193	0,92	1,03	112	91,64	1,86	1,91	3,73	3,66	75	0,75	4,48	4,41	-0,12
São Pedro	11	17	0,3	1,00	165,00	5,57	5,36	0,0013	0,0006	0,0268	0,0013	0,009629	0,80	0,005543	0,026854	12,19	2,21	14,40	108,73	0,8117	0,8645	1,10	1,24	113	93,90	1,92	1,92	3,65	3,44	76	0,76	4,41	4,20	0,00
São Pedro	17	24	0,3	1,20	132,00	5,36	5,37	0,0001	0,0005	0,0211	0,0047	0,021205	0,80	0,016964	0,090734	15,39	0,82	16,21	99,81	2,5177	2,6728	2,96	2,67	113	94,20	2,96	3,59	2,40	1,78	78	0,94	3,34	2,72	-0,02
São Pedro	24	29	0,3	1,20	93,60	5,37	5,56	0,0020	0,0005	0,0211	0,0051	0,007730	0,80	0,006184	0,096918	16,21	0,56	16,77	97,27	2,6208	2,7843	2,46	2,78	113	94,13	3,59	4,25	1,78	1,31	78	0,94	2,72	2,24	0,00
Av. D. João Becker	29	28	0,4	1,20	68,30	5,56	5,10	0,0067	0,0005	0,0211	0,0049	0,000000	0,80	0,000000	0,096918	16,77	0,42	17,19	95,49	2,5727	2,7291	2,41	2,73	113	94,27	4,25	4,13	1,31	0,97	78	0,94	2,24	1,91	0,00
São João	18	23	0,3	0,60	135,00	5,39	5,33	0,0004	0,0012	0,0530	0,0055	0,016666	0,80	0,013333	0,013333	10,00	1,24	11,24	115,92	0,4296	0,4554	1,61	1,82	113	94,35	1,20	1,88	4,19	3,45	78	0,47	4,66	3,92	-
São João	23	28	0,3	1,00	141,00	5,33	5,10	0,0016	0,0006	0,0268	0,0012	0,014142	0,80	0,011314	0,024646	11,24	1,98	13,22	111,27	0,7624	0,8305	1,06	1,18	112	91,79	2,28	2,22	3,05	2,88	75	0,75	3,80	3,63	-0,12
Av. D. João Becker	28	27	1,0	1,50	79,00	5,10	4,31	0,0100	0,0004	0,0156	0,0032	0,010161	0,80	0,008129	0,129693	13,22	0,51	13,74	104,35	3,7624	3,9988	2,26	2,56	113	94,09	4,43	3,89	0,67	0,42	78	1,17	1,84	1,59	-0,07
São Francisco	19	22	0,3	0,60	138,00	5,43	5,44	0,0001	0,0012	0,0530	0,0035	0,013199	0,80	0,010559	0,010559	10,00	1,58	11,58	115,92	0,3403	0,3633	1,28	1,45	113	93,68	1,20	1,69	4,23	3,75	76	0,46	4,69	4,20	-
São Francisco	22	27	0,3	0,60	142,00	5,44	4,91	0,0037	0,0012	0,0530	0,0031	0,000000	0,80	0,000000	0,010559	11,58	1,73	13,32	109,61	0,3218	0,3419	1,21	1,37	113	94,12	1,71	1,62	3,73	3,29	78	0,47	4,20	3,76	0,00
Av. D. João Becker	27	26	1,0	1,50	83,00	4,31	4,87	0,0067	0,0004	0,0156	0,0041	0,011559	0,80	0,009247	0,149500	13,74	0,48	14,21	102,31	4,2522	4,5263	2,56	2,89	113	93,94	3,89	4,79	0,42	0,08	76	1,14	1,56	1,22	-0,03

Quadro 1 - Planilha de Cálculo 1 – Dimensionamento Hidráulico das Galerias.

Fonte: Elaborado pela autora.

Outra constatação importante é que a principal galeria da bacia de contribuição, que tem origem no PV1, passa pelo PV7 e segue até o PV 26, possui elevado diâmetro. Sendo necessário empregar um DN 1500 do PV7 até o PV 26, localizada no fim do trecho que possui uma vazão de 5,52 m³/s. Além do mais, os resultados do Quadro 1 - Planilha de Cálculo 1 – Dimensionamento Hidráulico das Galerias, estimam profundidades elevadas no fim deste trecho, com valores próximos a 6,0 m, influenciado pela elevada distância desse trecho.

Trecho			R	Tr (anos)	α	β	P (mm)	a	b	c	t (h)
Rua	Montante	Jusante									
Presidente Roosevelt	1	2	1,37244	10	0,12	0,04	19,32	0	22	20	0,2
Presidente Roosevelt	2	3	1,39353	10	0,12	0,05	20,98	0	22	20	0,2
Presidente Roosevelt	3	4	1,41821	10	0,12	0,06	22,89	0	22	20	0,2
Presidente Roosevelt	4	5	1,44665	10	0,12	0,07	24,41	0	22	20	0,2
Presidente Roosevelt	5	6	1,46888	10	0,12	0,08	25,56	0	22	20	0,3
Presidente Roosevelt	6	7	1,47227	10	0,12	0,08	26,18	0	22	20	0,3
Saldanha Da Gama	7	8	1,47227	10	0,12	0,08	26,67	0	22	20	0,3
Saldanha Da Gama	8	20	1,47907	10	0,13	0,08	28,29	0	22	20	0,3
Saldanha Da Gama	20	21	1,48932	10	0,13	0,08	29,88	0	22	20	0,4
Saldanha Da Gama	21	26	1,49275	10	0,13	0,08	30,96	0	22	20	0,4
Saldanha Da Gama	26	C.B	1,5031	10	0,13	0,08	32,06	0	22	20	0,4
João Neves Da Fontoura	14	13	1,37244	10	0,12	0,04	19,32	0	22	20	0,2
São Domingos	13	15	1,39353	10	0,12	0,05	20,79	0	22	20	0,2
Oswaldo Aranha	15	16	1,41821	10	0,12	0,06	23,15	0	22	20	0,2
Santo Antônio	12	16	1,37244	10	0,12	0,04	19,32	0	22	20	0,2
Oswaldo Aranha	16	17	1,44665	10	0,12	0,07	24,70	0	22	20	0,2
João Neves Da Fontoura	9	10	1,37244	10	0,12	0,04	19,32	0	22	20	0,2
João Neves Da Fontoura	10	11	1,37244	10	0,12	0,04	20,20	0	22	20	0,2
São Pedro	11	17	1,41821	10	0,12	0,06	22,10	0	22	20	0,2
São Pedro	17	24	1,46888	10	0,12	0,08	25,59	0	22	20	0,3
São Pedro	24	29	1,47227	10	0,12	0,08	26,28	0	22	20	0,3
Av. D. João Becker	29	28	1,47227	10	0,12	0,08	26,69	0	22	20	0,3
São João	18	23	1,37244	10	0,12	0,04	19,32	0	22	20	0,2
São João	23	28	1,39353	10	0,12	0,05	20,84	0	22	20	0,2
Av. D. João Becker	28	27	1,41821	10	0,12	0,06	22,99	0	22	20	0,2
São Francisco	19	22	1,37244	10	0,12	0,04	19,32	0	22	20	0,2
São Francisco	22	27	1,39353	10	0,12	0,05	21,16	0	22	20	0,2
Av. D. João Becker	27	26	1,41821	10	0,12	0,06	23,42	0	22	20	0,2

Quadro 2 - Planilha de Cálculo 2 – Cálculo da Intensidade de Precipitação.

Fonte: Elaborado pela autora.

71 CONCLUSÕES

Após analisar o sistema de microdrenagem urbana de uma região Centro de São Leopoldo, através dos problemas causados pelas fortes precipitações e do redimensionamento das redes de galerias pluviais, foi verificado que o atual sistema não atende à demanda de vazões provocadas pelas águas das chuvas.

As considerações feitas a respeito da intensidade de precipitação e os coeficientes

utilizados para o projeto, vão de encontro à realidade das características do local e puderam contribuir com a verificação do dimensionamento e a reavaliação do sistema de microdrenagem.

Apesar do dimensionamento das galerias mostrar a utilização de diâmetros maiores em comparação à tubulação existente, foi verificada na análise dos resultados que grande parte dos transtornos causados pelos alagamentos, não se deve só ao fato do subdimensionamento da rede, mas sim da qualidade dos dispositivos hidráulicos superficiais.

A maioria das ruas do bairro Centro teve a aplicação de um revestimento asfáltico sobre a pavimentação original, muitas sarjetas e bocas de lobo foram danificadas, bem como as declividades longitudinais e transversais alteradas, dificultando o escoamento superficial das águas em alguns pontos e ocasionando os alagamentos.

Frente aos problemas apresentados e de maneira a solucioná-los, é necessária a instalação correta e em quantidade suficiente de bocas de lobo, bem como a regularização e o aumento da altura das sarjetas em diversas ruas. Uma força tarefa para a desobstrução de bocas de lobo na área central, também surtiria efeitos positivos no escoamento das águas superficiais.

Em relação à comparação do diâmetro da galeria existente com a galeria necessária, toda a rede existente se mostrou insuficiente para a vazão demandada.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO NETTO, J. M. D. et. al. **Manual de Hidráulica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

DEPARTAMENTO DE ESGOTO PLUVIAL DE PORTO ALEGRE (**DEP**). Caderno de Encargos. Porto Alegre. 2005.

GOOGLE EARTH. **São Leopoldo**. [S.l.]. 2019. Disponível em: < <https://earth.google.com/web/@-29.76362649,-51.14695728,11.53179919a,1518.97753521d,35y,11.79017345h,3.40300416t,0r/data=ChMaEQoJL20vMDRidjRrGAEgASgC> >. Acesso em: 20 set. 2019

GRIBBIN, J. E. **Introdução à Hidráulica, Hidrologia e Gestão de Águas Pluviais**. São Paulo: Cenege Learning, 2012.

MORAES, A. P. **Procedimentos Técnicos de Dimensionamento da Microdrenagem do Município de Santo André**. 2015. 15f. Artigo (Exposição de Experiências Municipais em Saneamento) - Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento, Poços De Caldas, Minas Gerais, 2015.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. Departamento de Esgotos Pluviais. **Plano Diretor de Drenagem Urbana**. Porto Alegre, 2005. Disponível em: http://proweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dep/usu_doc/manual_de_drenagem_ultima_versao.pdf> Acesso em: 30 mar. 2019.

SÃO LEOPOLDO. Secretaria Municipal de Obras Viárias. **Planta Planialtimétrica**, São Leopoldo, 2011. Arquivo digital.dwg.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA (**SEMA**). Bacias Hidrográficas do Rio Grande Do Sul. Porto Alegre, 2019.

SECRETARIA DO PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO. Manual de Drenagem Urbana. Paraná, 2017.

SERVIÇO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTOS (**SEMAE**). São Leopoldo, 1990.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 1993.

TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.L.; BARROS, M.T.D. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 1995.

TUCCI, C.E.M. **Gestão de Águas Pluviais**. Brasília: Ministério das Cidades, 2005.

WILKEN, P. S. **Engenharia de Drenagem Superficial**. São Paulo: CETESB, 1978.

SANEAMENTO RURAL NO ESTADO DO PARÁ: PANORAMA, GESTÃO E TECNOLOGIAS ALTERNATIVAS PARA MUNICÍPIOS COSTEIRO

Data de aceite: 23/06/2021

Data de submissão: 29/04/2021

Hyago Elias Nascimento Souza

Engenheiro Ambiental. Doutorando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais

Eduardo Ribeiro Marinho

Licenciatura em Ciências Naturais – Química. Doutorando em Química pela Universidade Federal de Uberlândia

Carlos José Capela Bispo

Engenheiro Agrônomo, Mestre em Ciências Ambientais. Docente da Universidade do Estado do Pará

Elzelis Muller da Silva

Engenheira Civil, Doutora em Engenharia de Recursos Naturais. Docente da Universidade do Estado do Pará

Antônio Pereira Júnior

Licenciatura Plena em Ciências Biológicas, Mestre em Ciências Ambientais. Docente da Universidade do Estado do Pará

Aline Souza Sardinha

Engenheira Sanitarista, Mestre em Geologia. Docente da Universidade do Estado do Pará

RESUMO: No Estado do Pará mais de 86% dos municípios não apresentam situação satisfatória quanto ao seu nível de desenvolvimento rural,

com a região costeira apresentando-se menos satisfatória frente os serviços de saneamento básico. Diante disso, este trabalho apresenta um panorama da situação de saneamento rural do município de Salinópolis no litoral do Estado do Pará e propõem alternativas tecnológicas e de gestão baseadas no Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR). Foi utilizada a base metodológica para definição do rural do IBGE descrito no PNSR. Para construção do panorama de saneamento rural foram utilizados dados extraídos da plataforma Infosambas, veículos oficiais de imprensa e literatura científica. Na definição do modelo de gestão e tecnologias alternativas consideraram-se as diretrizes do PNSR. A rede geral abastece a maior parte dos domicílios rurais (57%) principalmente localizados nos setores próximos a área urbana. A coleta de esgoto doméstico ainda é inexistente e 42% utilizam fossa rudimentar como alternativa de esgotamento sanitário. A maior parte dos domicílios rurais possui coleta dos resíduos pelo serviço de limpeza (53%), porém o município ainda possui vazadouro a céu aberto (lixão). O modelo de gestão multiescalar incluiu ações intersetoriais estruturais e estruturantes e envolveu todos os componentes do saneamento básico e as diferentes escalas de gestão. As alternativas tecnológicas propostas foram sistema de captação de água da chuva, banheiro ecológico ribeirinho (BER), compostagem de resíduos orgânicos em áreas rurais costeiras e técnica de descidas d água.

PALAVRAS-CHAVE: PNSR, Gestão Multiescalar, Nordeste Paraense, Salinópolis, Amazônia.

RURAL SANITATION IN THE STATE OF PARÁ: OVERVIEW, MANAGEMENT AND ALTERNATIVE TECHNOLOGIES FOR COASTAL MUNICIPALITIES

ABSTRACT: In the State of Pará, more than 86% of the municipalities do not have a satisfactory situation regarding their level of rural development, with the coastal region presenting itself less satisfactory in relation to basic sanitation services. Therefore, this work presents an overview of the rural sanitation situation in the municipality of Salinópolis on the coast of the State of Pará and proposes technological and management alternatives based on the National Rural Sanitation Program (NRSP). The methodological basis was used to define the IBGE rural described in the NRSP. To construct the panorama of rural sanitation, data extracted from the Infosambas platform, official print media and scientific literature were used. In defining the management model and alternative technologies, the NRSP guidelines were considered. The general network supplies the majority of rural households (57%) mainly located in sectors close to the urban area. Domestic sewage collection is still non-existent and 42% use rudimentary cesspool as an alternative for sanitary sewage. Most rural households have waste collection through the cleaning service (53%), but the municipality still has an open pit (dump). The multiscale management model included structural and structural intersectoral actions and involved all components of basic sanitation and the different management scales. The technological alternatives proposed were a rainwater catchment system, a riverside ecological bathroom (BER), organic waste composting in rural coastal areas and water descent technique.

KEYWORDS: NRSP, Multiscale management, Northeast Paraense, Salinópolis, Amazon.

1 | INTRODUÇÃO

O conceito de saneamento rural engloba as ações de abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos e de águas pluviais e tem por objetivo proteger e melhorar as condições de vida das populações rurais, além de promover a salubridade ambiental. Uma estimativa publicada pelo Ministério da Saúde afirma que a cada 1 real investido em saneamento economiza-se 4 reais na área da medicina curativa (CRUZ et al., 2020; FUNASA, 2016).

Ainda assim, especialmente nos municípios do norte do Brasil, os índices e a qualidade dos serviços prestados em termos de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgotos e destinação correta de resíduos sólidos demonstram a necessidade de avançar na garantia do saneamento básico para toda população (BRASIL, 2019).

O Estado do Pará é o segundo maior em extensão entre as 27 unidades da federação do Brasil, contando com uma área total de 1.245.870,798 km². Está situado na região que compreende a Amazônia brasileira. Possui 144 municípios, divididos em seis mesorregiões, e uma população estimada de 8.690.745 habitantes para 2020 segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2020).

De acordo com o Censo 2010 (IBGE, 2010), 31,36% da população do Estado do Pará vive na área rural, assumindo a terceira posição nacional no ranking, em termos

relativos, ficando atrás somente do estado do Maranhão e Piauí que ocupam o primeiro e o segundo lugar, respectivamente.

Oliveira et al. (2020) constataram que pelo menos 86,03% dos municípios paraenses não apresentam situação satisfatória quanto ao seu nível de desenvolvimento rural, considerando dentre os indicadores, os domicílios rurais com esgotamento sanitário, água da rede geral e coleta de resíduos sólidos. Nesse sentido, a Tabela 1 apresenta o Índice de Desenvolvimento Rural (IDR) para cada mesorregião do Estado do Pará considerando 136 municípios.

Mesorregião	Total de municípios	Índice de Desenvolvimento Rural (%)			
		Alto	Médio-Alto	Médio-Baixo	Baixo
Metropolitana de Belém	8	12,5	37,5	25	25
Sudeste Paraense	36	2,7	19,4	47,2	30,5
Nordeste Paraense	49	0	4	32,6	63,2
Marajó	15	0	0	6,6	93,3
Sudoeste Paraense	14	0	21,4	28,5	50
Baixo Amazonas	14	7,1	7,1	42,8	42,8
Total	136	2,21	11,76	33,82	52,21

Tabela 1. Percentual de municípios pertencente aos grupos de classificação do Índice Desenvolvimento Rural (%) por mesorregião do Estado do Pará.

Fonte: Oliveira et al. (2020) adaptado.

Diante deste cenário, o Nordeste Paraense, onde se localiza a maior parte dos municípios costeiros do Estado, configura-se como a mesorregião menos satisfatória em relação a situação dos serviços de saneamento básico.

Para Almeida, Jardim (2018) a ausência de serviços públicos como o saneamento básico, principalmente no litoral e em comunidades rurais pesqueiras do nordeste paraense é consequência do processo de ocupação e formação socioespacial desenvolvida pelo poder público.

As comunidades rurais por não estarem preparadas para receber os efeitos dos investimentos em infraestrutura rodoviária, urbanização e turismo balnear em municípios do litoral, sofreram mudanças em seus aspectos socioambientais motivando abertura de poços e o uso excessivo de água do subsolo e subterrânea, reduzindo a disponibilidade de água doce para o consumo humano e aumentando a intrusão salina nos aquíferos (MENDES et al., 2013).

Além disso, a ausência de um sistema de coleta e tratamento de esgoto tem contribuído para contaminação do lençol freático e aumento de doenças de vinculação hídrica. As falhas no sistema de coleta de resíduos sólidos têm gerado seu acúmulo em área de preservação permanente, corpos d'água e no mar (ALMEIDA, 2017; SOUZA

FILHO, 2013).

O recente estudo de Souza et al. (2021) explica que as pressões antrópicas no litoral paraense associado a falta de planejamento para o desenvolvimento socioeconômico resulta na ausência de saneamento básico, especialmente na área rural, com elevado descarte de resíduos sólidos e esgoto doméstico em praias e estuários. A falta de saneamento básico desencadeia um acúmulo significativo de resíduos sólidos sobre praias sem coleta regular, e um excesso na descarga de esgoto principalmente em áreas de orla.

Sousa et al. (2017) ressaltam que a poluição das praias através da emissão de esgoto doméstico é um dos principais problema socioambientais das praias paraense, onde a maioria delas ficam situadas em área rurais dos municípios. Esta situação tem impacto direto na qualidade da água das praias, principalmente durante o período de alta temporada de visitação.

Dentre os municípios do litoral paraense, o município de Salinópolis é considerado um dos mais importantes para o turismo balnear, sendo suas praias as mais procuradas durante a alta temporada (ALMEIDA, JARDIM, 2018). Diante disso, este capítulo apresenta um panorama da situação de saneamento rural do município de Salinópolis no litoral do Estado do Pará, devida sua importância turística e socioambiental, e propõem alternativas tecnológicas e de gestão baseadas no Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR).

2 | MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área rural de Salinópolis

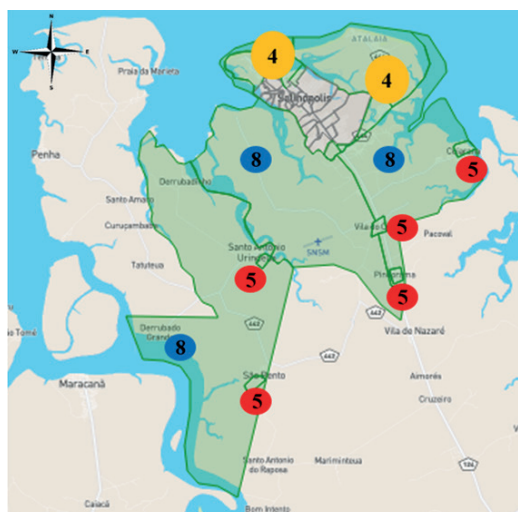
O município de Salinópolis pertence à mesorregião nordeste paraense e à microrregião Salgado, localizado nas coordenadas geográficas: 0°63'13.4" S e 47°34'61.3" W, a aproximadamente 227 km da capital do Estado (SILVA et al., 2018). Segundo dados do IBGE (2010), a população estimada para 2020 é de 40.922 habitantes, onde aproximadamente 22,5 % desta população reside na área rural do município.

Para caracterização da área rural foi utilizada a base metodológica para definição do rural do IBGE descrito no Programa Nacional de Saneamento Rural (BRASIL, 2019). Para construção do panorama de saneamento rural foram utilizados dados extraídos da plataforma Infosambas (<https://infosambas.org.br>), veículos oficiais de imprensa e literatura científica atual.

O Quadro 1 apresenta todos os setores censitários da área rural de Salinópolis, incluindo o nomes das principais comunidades rurais e a população aproximada. A Figura 1 demonstra um esquema espacial da localização de cada tipo de área rural segundo a classificação dos setores censitários do IBGE.

Setores Censitários		Comunidade Rural	População
Número	Classificação		
150620305000005	Aglomerado rural de extensão urbana	Corvinas	1499
150620305000006	Aglomerado rural de extensão urbana	Maçarico	92
150620305000007	Aglomerado rural de extensão urbana	Maçarico	256
150620305000008	Aglomerado rural de extensão urbana	Maçarico	144
150620305000025	Aglomerado rural de extensão urbana	Atalaia/Farol Velho	576
150620305000030	Aglomerado rural isolado - povoado	Cuiarana	594
150620305000031	Aglomerado rural isolado - povoado	Pindorama	653
150620305000032	Aglomerado rural isolado - povoado	Vila do Corema	209
150620305000033	Zona rural, exclusive aglomerado rural	Macapazinho	729
150620305000034	Aglomerado rural isolado - povoado	St. Antônio Urindeua	503
150620305000035	Aglomerado rural isolado - povoado	São Bento	524
150620305000036	Zona rural, exclusive aglomerado rural	Derrubadinho	576
150620305000039	Aglomerado rural de extensão urbana	América	460
150620305000040	Aglomerado rural de extensão urbana	Liberdade	192
150620305000041	Zona rural, exclusive aglomerado rural	N. S. do Livramento	1698

Quadro 1. Descrição das áreas rurais de Salinópolis segundo setores censitários do IBGE.



Setores censitários Código rural

4. Aglomerado rural de extensão urbana

5. Aglomerado rural isolado – povoado

6. Aglomerado rural isolado – núcleo

7. Aglomerado rural isolado – outros

8. Zona rural, exclusive aglomerado rural

*Sobreposição em verde representa a área rural de Salinópolis - PA

Figura 1. Desenho esquemático da localização espacial das áreas rurais em Salinópolis segundo setores censitários do IBGE.

Fonte: Infosnbas; PNSR.

3 | PANORAMA DO SANEAMENTO RURAL DE SALINÓPOLIS

3.1 Abastecimento de água e esgotamento sanitário

A Companhia de Saneamento Básico do Pará (COSANPA) é a principal concessionária que presta serviços de água e esgoto para os municípios paraenses com responsabilidade exclusiva ou compartilhada com prefeituras e secretarias municipais. Tal companhia foi criada em 1970 pelo Governador Alcaide da Silva Nunes pela Lei Estadual de nº 4.336. Em Salinópolis essa responsabilidade é compartilhada, onde uma parte da área rural (aglomerados rurais de expansão urbana) tem acesso a rede geral da COSANPA e outra parcela rural utiliza diferentes alternativas individuais e/ou coletivas para o abastecimento dos domicílios (SILVA et al., 2020).

O plano municipal de saneamento básico de Salinópolis está em fase de elaboração, onde em dezembro de 2020 foi apresentada a população, através de audiência pública, a versão do documento contendo os prognósticos, programas, projetos e ações do plano (PREFEITURA DE SALINÓPOLIS, 2020).

A Figura 2 apresenta as alternativas de abastecimento de água e esgotamento sanitário de acordo com o Censo do IBGE (2010) e a porcentagem representando 100% dos domicílios rurais que utilizam essas alternativas.

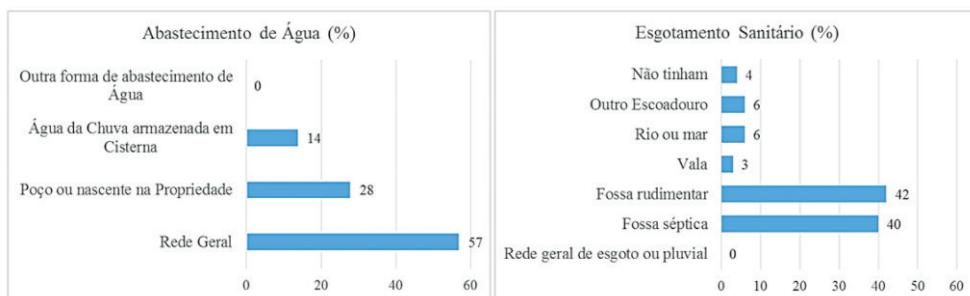


Figura 2. Representação do abastecimento de água e esgotamento sanitário em 100% dos domicílios rurais de Salinópolis – PA.

Fonte: Censo – IBGE/Rural – PNSR.

O uso de poços para captação de água subterrânea representa 28% do abastecimento domiciliar principalmente em comunidades rurais mais afastadas da área urbana (aglomerados rurais isolados – povoados) com abastecimento coletivo distribuído e gerenciado pela Prefeitura.

A rede geral abastece a maior parte dos domicílios rurais (57%) principalmente localizados nos setores próximos a área urbana (aglomerados rurais de extensão urbana). A água da chuva também é uma alternativa utilizada pela população, principalmente em residências próximas a praias onde a qualidade da água subterrânea não é adequada

para uso.

A coleta de esgoto doméstico ainda é inexistente na área rural de Salinópolis. De acordo com o Censo do IBGE (2010), a maior parte dos domicílios rurais do município (42%) utilizam fossa rudimentar como alternativa de esgotamento sanitário. Outra alternativa preocupante é o descarte do esgoto diretamente em rios ou no mar, contribuindo para a poluição costeira e marinha da região.

A Figura 3 demonstra o uso de fossas sépticas como alternativa observada principalmente em setores próximos as praias turísticas e área urbana, contudo algumas dessas fossas não possuem dimensionamento adequado e permitem o vazamento do esgoto em períodos de maré cheia necessitando de investimentos em tecnologias mais eficientes (SOUZA, 2021).

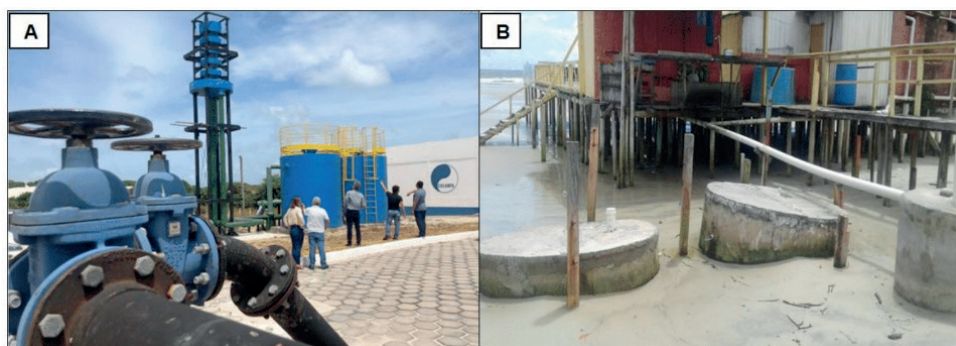


Figura 3. Construção da Estação de Tratamento de Água (A) e fossas sépticas utilizadas como alternativa de esgotamento sanitário em domicílios e estabelecimentos comercial (B) na comunidade Atalaia/Farol Velho (Aglomerado rural de extensão urbana).

Fonte: Agência Pará (2020).

Dentre os investimentos no abastecimento de água, Salinópolis terá uma nova Estação de Tratamento de Água (Figura 3) para atender a população e estabelecimentos que funcionam na comunidade Atalaia/Farol Velho (Aglomerado rural de extensão urbana), onde fica localizado uma das mais frequentadas praias da costa atlântica paraense (Agência Pará, 2020).

As obras já iniciaram e estão sendo executadas pela Secretaria de Estado de Desenvolvimento e Obras Públicas. Todos os estabelecimentos turísticos receberão água tratada e terão hidrômetros para medição do consumo. A Estação de Tratamento de Água, com três quilômetros de rede de distribuição, terá capacidade para fornecer 70 m³ por hora.

3.2 Manejo de resíduos sólidos e águas pluviais

O manejo dos resíduos sólidos urbanos de Salinópolis é de responsabilidade do município. De acordo com Silva et al. (2018), Salinópolis ainda possui vazadouro a céu

aberto (lixão) localizado na comunidade de Cuiarana (aglomerado rural isolado – povoado) situada a cerca de 7 km do centro urbano do município, no ramal conhecido como São Sebastião.

A Figura 4 apresenta a destinação dos resíduos sólidos segundo dados do Censo do IBGE (2010). A maior parte dos domicílios rurais possui coleta dos resíduos pelo serviço de limpeza do município (53%). Contudo, uma parcela significativa de domicílios (41%) ainda queima seus resíduos na propriedade, reflexo ao déficit na coleta que não atende toda a área rural de Salinópolis.

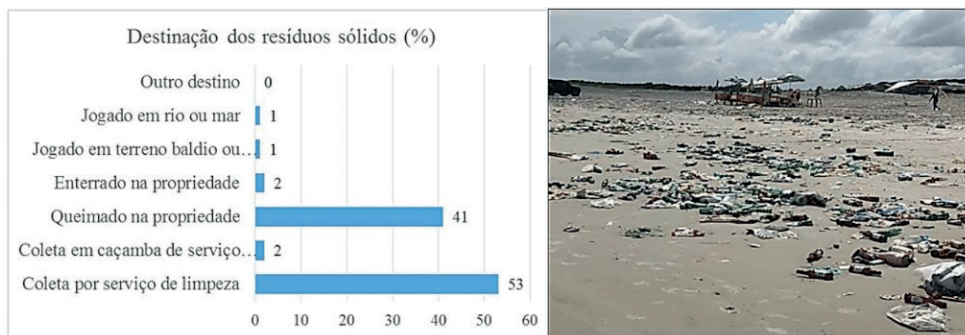


Figura 4. Representação da destinação de resíduos sólidos em 100% dos domicílios rurais de Salinópolis – PA e descarte de resíduos sólidos na praia do Atalaia, comunidade Atalaia/Farol Velho.

Fonte: Censo – IBGE/Rural – PNSR; G1 Pará.

A prática de descarte de resíduos no mar, em terrenos baldios ou enterrados foi observada, provavelmente em domicílios mais isolados e sem serviços de saneamento. Ademais, o fluxo de turistas nas praias localizadas na área rural de Salinópolis proporciona um aumento expressivo na geração de resíduos sólidos. Este aumento contribui significativamente para o descarte de resíduos no mar, praias, manguezais e terrenos baldios nestas áreas (Figura 4).

Por fim, a rede de drenagem pluvial na área rural de Salinópolis se concentra nas principais rodovias que ligam o centro urbano as comunidades e praias do município. De acordo com Souza (2021) e Silva et al. (2018), a elevada taxa de precipitação pluviométrica associada a dinâmica costeira e erosão dificulta a instalação e manutenção de redes de drenagem nas áreas rurais do litoral paraense.

4 | AVALIAÇÃO DOS SERVIÇOS DE SANEAMENTO RURAL

4.1 Definição e estrutura da Gestão Multiescalar

O PNSR destaca que a maioria dos modelos de prestação de serviços de saneamento

básico tem atuação apenas nas sedes municipais. Nas áreas rurais, muitas vezes, as ações de saneamento são assumidas pela própria comunidade ou pelos indivíduos, que atuam como planejadores e executores das ações, configurando um cenário de autogestão, como ocorre na maior parte da área rural de Salinópolis.

A autogestão não deve ser entendida como alternativa de gestão em áreas rurais, inclusive para soluções individuais. Deve-se, pois, reconhecer a relevância da participação da população no exercício de práticas rotineiras fundamentais à viabilidade das ações, seja no papel de usuários sensíveis aos seus deveres, seja no papel de operadores domiciliares cientes de suas obrigações, para juntamente com os demais agentes, colaborarem para o funcionamento adequado das soluções de saneamento.

Os atores da escala domiciliar e local constituem a primeira base das medidas estruturais, por sua integração e interação com a tecnologia introduzida, aspectos determinantes para o êxito dos serviços. A escala municipal é a segunda base, com a atribuição de organizar e/ou prestar os serviços públicos de saneamento básico, tendo como responsabilidade indelegável, a etapa de planejamento. Por fim, as escalas regional, estadual e federal configuram-se, principalmente, como coordenadoras e promotoras das ações de saneamento básico, de forma articulada e pautada no comprometimento e compartilhamento de responsabilidades de todas as partes envolvidas de forma cooperativa.

Nesse sentido, foi proposto para o saneamento rural de Salinópolis um modelo no âmbito da gestão multiescalar, que inclui ações intersetoriais estruturais e estruturantes, envolvendo todos os componentes do saneamento básico e as diferentes escalas de gestão (Quadro 3).

Funções de Gestão	Responsável e Previsão Legal (Lei 11.445/2007 e PNSR)	Componentes dos Serviços de Saneamento			
		Manejo de Resíduos Sólidos	Abastecimento de Água	Esgotamento Sanitário	Drenagem Pluvial
Planejamento	Titular, INDELEGÁVEL. Passível de execução por titulares consorciados. Art. 9º. O titular dos serviços formulará a respectiva política pública de saneamento básico, devendo, para tanto: I – elaborar os planos de saneamento básico, nos termos desta Lei.	Escala Municipal: Prefeitura Municipal de Salinópolis. Secretarias Municipais de Meio Ambiente, Obras, Limpeza Urbana. Escala Local/Municipal/Federal: Comissão Técnica Rural em Saneamento; FUNASA.			
Regulação e Fiscalização	Titular, que também PODE DELEGAR a: 1. Conselho Municipal; 2. Ente ou órgão regulador municipal ou estadual; 3. Consórcio.	Escala Estadual: Companhia de Saneamento do Pará – COSANPA.			

Prestação de Serviços	Órgão ou entidade do titular, a quem se tenha atribuído por lei a competência de prestar o serviço público. Lei Estadual nº 4336/1970	Escala Local: Operador Local. Escala Domiciliar: População capacitada. Escala Estadual: Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA); Secretaria de Estado de Obras Públicas (SEDOP).	Escala Domiciliar: População com responsabilidade compartilhada de resíduos Escala Municipal: Prefeitura municipal; Secretaria municipal de Obras; Secretaria Municipal de Limpeza Urbana. Escala Estadual: Secretaria de Estado de Obras Públicas (SEDOP).
Controle Social	Art. 47. O controle social dos serviços públicos de saneamento básico poderá incluir a participação de órgãos colegiados de caráter consultivo	Escala Local: Comissão Rural em Saneamento Escala Federal: Universidade Federal Rural da Amazônia	

Quadro 3. Síntese do Modelo de Gestão Multiescalar para o saneamento rural do município de Salinópolis com base no PNSR.

4.2 Alternativas Tecnológicas

Diante do panorama apresentado e considerando as condicionantes ambientais, demográficas, culturais e socioeconômicas de Salinópolis, foram priorizados alternativas tecnológicas que pudessem atender a população rural de acordo com suas características locais, dando ênfase aos locais identificados com maior déficit de saneamento e geração de impacto ecológico negativo.

O método para escolha das alternativas foi baseado no PNSR, levantamento bibliográfico e pesquisas científicas realizadas no município no âmbito do saneamento básico. Também levou-se em consideração a disponibilidade de recursos financeiros do município de Salinópolis para implantação e gestão dessas tecnologias na perspectiva do modelo de gestão multiescalar. O Quadro 4 apresenta diretrizes para os quatro componentes do saneamento básico com suas respectivas estratégias dando suporte a proposição das alternativas tecnológicas.

Componente	Diretriz	Estratégias	Alternativas Tecnológicas
Abastecimento de Água	Priorizar a implantação de serviços públicos de abastecimento de água d maior aceitabilidade, de fácil manejo e disponibilidade	Dar preferência à tecnologia já utilizada e, quando necessário, promover sua adequação ou melhoria, ou, ainda, indicar serviços públicos de abastecimento de água capazes de atender às demandas locais e que considerem as diversidades sociais, culturais, étnicas.	Alternativa: A implementação do sistema de captação de água da chuva. Ferreira et al. (2015).
		Garantir que os sistemas de aproveitamento de água de chuva contenham barreiras sanitárias múltiplas e tratamento da água para consumo humano.	
Esgotamento Sanitário	Priorizar a implantação de serviços públicos de esgotamento sanitário de maior aceitabilidade e de fácil manejo pela população local.	Implantar ao menos um banheiro dotado de sanitário nos domicílio mais isolados, com tratamento adequado do esgoto gerado.	Alternativa: Banheiro Ecológico Ribeirinho (BER). Neu et al. (2016),
		Assegurar que banheiros estejam disponíveis com facilidade de acesso e segurança relativa aos riscos de acidente e à violência física, nas imediações das residências.	
		Implantar alternativas de esgotamento sanitário em domicílios e estabelecimentos em praias, estuários e manguezais	
Manejo de Resíduos Sólidos	Promover o aproveitamento dos resíduos sólidos orgânicos e a coleta domiciliar dos resíduos Sólidos e limpeza em áreas sensíveis.	Identificar e estimular práticas locais que promovam a não geração, a redução e a reutilização dos resíduos sólidos.	Alternativa: Compostagem de resíduos orgânicos em áreas rurais costeiras. Furtado et al. (2017).
		Fomentar a realização da compostagem dos resíduos orgânicos gerados nas áreas rurais utilizando insumos locais.	
Drenagem Pluvial	Estimular a adoção de sistemas de drenagem e manejo de águas pluviais que promovam a segurança e qualidade das vias e rodovias	Ampliar a rede de drenagem das vias e rodovias da área rural a fim de promover a drenagem adequada de águas pluviais e de enchentes ocasionadas pela maré alta	Alternativa: Técnica de Descidas d água. Fonte: http://www1.dnit.gov.br/

Quadro 4. Diretrizes, Estratégias e Alternativas Tecnológicas para os quatro componentes do saneamento.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do Programa Nacional de Saneamento Rural foi possível definir um modelo de gestão multiescalar e indicar algumas alternativas tecnológicas viáveis para o desenvolvimento rural do município de Salinópolis. Esses eixos do Programa, associados também a educação e participação social contribuem de forma significativa para a

proposição de um Programa de Saneamento Rural municipal ou até mesmo regional.

As alternativas foram apresentadas de forma resumida e sintetizada a fim de demonstrar um direcionamento para a elaboração de programas de saneamento rural. Todas as etapas são descritas no PNSR que deve ser utilizado como instrumento de referência metodológica para construção dos programas de saneamento rural no Brasil.

O uso da base de dados do Censo de 2010 do IBGE, colabora na construção do panorama atual, contudo é necessário uma busca de dados mais atualizado a partir da coleta *in loco* ou pelo próximo Censo. O PNSR constitui atualmente a principal ferramenta de gestão ao saneamento básico nas áreas rurais do Brasil e deve ser utilizado pelos gestores públicos em prol do desenvolvimento sustentável local.

REFERÊNCIAS

AGENCIA PARÁ. **Cosanpa inspeciona obras do novo sistema de abastecimento de água em Salinópolis**. Acesso em: 18 de fev. 2020. Disponível em: <https://agenciapara.com.br/noticia/23267/>

ALMEIDA, A. F. **Uso e ocupação do litoral amazônico: os efeitos socioeconômicos e ambientais**. In: Vasconcelos, S. S.; Ruivo, M. L. P.; Lima, A. M. M. (Org.). *Amazônia em tempo: impactos do uso da terra em diferentes escalas*. Belém: UFPA, MPEG, EMBRAPA, 167-183, 2017

ALMEIDA, A. F., JARDIM, M. A. G. **Mudanças socioeconômicas e ambientais resultantes das políticas públicas de desenvolvimento socioeconômico no litoral do Nordeste do Pará, Brasil**. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 49, 2018.

BRASIL.. Fundação Nacional de Saúde. **Programa Nacional de Saneamento Rural**. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde – Brasília: Funasa, 2019, 260 p.

BRASIL. Lei n.11.445, de 5 de janeiro de 2007. **Lei Nacional de Saneamento Básico**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Seção 1, p.3. 2007.

CRUZ, I. S., SILVA, A., REIS, E. O., DA SILVA SANTOS, D., & GARCIA, E. O. **Estudo comparativo das condições de saneamento rural em municípios do norte e nordeste brasileiro**. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 8, p. 54988-55006, 2020.

DE SOUZA FRANÇA, D. L. **Turismo e dinâmica demográfica: reflexos da atividade turística no comportamento reprodutivo da mulher no município de Salinópolis, Pa**.

FUNASA. **Manual de saneamento**. 4 ed. Brasília: Funasa, 2016. 645p

FURTADO, G. D., FERREIRA, E. G., DE ARAÚJO, N. H., DE ARAÚJO COSTA, D., DA SILVA, F. D. A. **Experiência com a prática de compostagem em comunidade pesqueira da praia da Penha-PB**. *Revista de Ciências da Saúde Nova Esperança*, v. 15, n. 2, p. 21-26, 2017.

G1 PARÁ. **Praia de Salinas amanhece tomada por lixo no primeiro dia de 2020**. Acesso em: 18 de fev. 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/pa/para/noticia/2021/01/01/praiade-salinas-amanhece-tomada-por-lixo-no-primeiro-dia-de-2021.ghtml>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo demográfico: Pará: Salinópolis. 2010.** Acesso em: 18 de fev. 2020. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopseporsetores/?nivel=st>

MENDES, A. C.; SILVA, M. S.; SANTOS, V. F. **Análise do meio físico para gestão ambiental das ilhas de Algodal e Atalaia (NE do Pará).** In: Prost, M. T. R. C.; Mendes, A. Ecossistemas costeiros: impactos e gestão ambiental. Belém: MPEG, p. 103-111, 2013.

NEU, V., DOS SANTOS, M. A. S., & MEYER, L. F. F. **Banheiro ecológico ribeirinho: saneamento descentralizado para comunidades de várzea na Amazônia.** Revista Em Extensão, v. 15, n. 1, p. 28-44, 2016.

OLIVEIRA, E. S., DOS SANTOS, M. A. S., REBELLO, F. K., MARTINS, C. M., BEZERRA, A. S., LOPES, M. L. B., & COSTA, F. S. **Fatores determinantes do desenvolvimento rural nos municípios do estado do Pará, Amazônia Brasileira.** Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 5, p. 23186-23207, 2020.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SALINÓPOLIS. **Convite audiência pública.** Acesso em: 18 de fev. 2020. Disponível em: <https://www.salinopolis.pa.gov.br/index.php/2-noticias/3299-convite-audiencia-publica>

SILVA, D. F., DA COSTA, G. G. G., FURTADO, L. G., LOPES, D. F., & LOPES, M. D. S. B. **Transparência e universalização dos índices de Água e Esgoto no Estado do Pará, Brasil.** Research, Society and Development, v. 9, n. 8, e898986341-e898986341, 2020.

SILVA, R. S. B., SOUSA, A. M. L., SODRÉ, S. S. V., VITORINO, M. I. **Avaliação sazonal da qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área de influência do Lixão de Salinópolis, PA.** Revista Ambiente & Água, v. 13, n. 2, e2072, 2018. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2072>

SOUSA, R. C., PEREIRA, L. C. C., DA COSTA; R. M., JIMÉNEZ, J. A. **Management of estuarine beaches on the Amazon coast through the application of recreational carrying capacity indices.** Tourism Management, v. 59, p. 216-225, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2016.07.006>

SOUZA FILHO, P. W. M. **Dinâmica natural e impactos antrópicos no uso das áreas costeiras da planície bragantina, nordeste do Pará, Brasil.** In: Prost, M. T. R. C.; Mendes, A. Ecossistemas costeiros: impactos e gestão ambiental. Belém: MPEG, p. 131-144, 2013.

SOUZA, H. E. N. **Desenvolvimento costeiro na Amazônia: Problemas socioambientais do litoral paraense, Brasil.** Natural Resources, v. 11, n. 1, 2021.

CAPÍTULO 12

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

Data de aceite: 23/06/2021

Data de submissão: 22/06/2021

Nayanne Maria Gonçalves Leite

Universidade Federal de Campina Grande
UFCG
Sumé – PB
<http://lattes.cnpq.br/2597915404633264>

Maria Isabel Ferreira dos Santos

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia da Paraíba – IFPB
Cajazeiras – PB
<http://lattes.cnpq.br/6867692939572766>

Layane Moura Rodrigues

Universidade Federal de Campina Grande
UFCG
Sumé – PB
<http://lattes.cnpq.br/0132902550115785>

Guilherme Rodrigues Gomes

Universidade Federal de Campina Grande
UFCG
Cajazeiras – PB
<http://lattes.cnpq.br/5947603144458637>

Rafael Roberto da Silva

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia da Paraíba – IFPB
Cajazeiras – PB
<http://lattes.cnpq.br/8113311848090924>

Antonio Rondinely da Silva Pinheiro

Universidade Federal de Campina Grande
UFCG
Sumé – PB
<http://lattes.cnpq.br/0912277878714162>

Luan Alves Furtado

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia da Paraíba – IFPB
Cajazeiras – PB
<http://lattes.cnpq.br/1858768026411007>

Jully Samara Ferreira de Carvalho

Universidade Federal de Campina Grande
UFCG
Sumé – PB
<http://lattes.cnpq.br/3396642575550105>

Maíra da Mota Gomes

Faculdade Santa Maria – FSM
Cajazeiras – PB
<http://lattes.cnpq.br/4717012752669511>

Edilaine Araújo de Moraes

Universidade Federal de Campina Grande
UFCG
Sumé – PB
<http://lattes.cnpq.br/2320806065056403>

George do Nascimento Ribeiro

Universidade Federal de Campina Grande
UFCG
Sumé – PB
<http://lattes.cnpq.br/4583024225973273>

RESUMO: O Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) é exigido desde 2013, mas muitas cidades brasileiras ainda não apresentam instrumentos básicos norteadores para o seu desenvolvimento, tais como Código de Obras e Plano Diretor. Diante disso, tornou-se comum a ocupação de Áreas de Preservação Permanente (APPs). Nesta perspectiva, o presente trabalho

visa identificar os impactos da falta de saneamento em áreas de preservação permanente na cidade de Aurora – CE. Foi elaborado um estudo de caso que abrange o crescimento urbano da cidade. Com base nos dados obtidos constatou-se que 20 famílias vivem na área, sem coleta e tratamento de esgotamento sanitário e sem coleta de resíduos sólidos. Observou-se que as edificações se situam a menos de 10 metros do leito do rio e o município não apresenta Plano de Diretor, Código de obras e nem legislação que regulamente o crescimento urbano municipal.

PALAVRAS-CHAVE: Áreas de Preservação Permanente, Legislação, Saneamento básico.

ANALYSIS OF THE IMPACTS CAUSED BY THE LACK OF SANITATION IN AN ANTHROPPED STRETCH OF RIO SALGADO

ABSTRACT: The Municipal Basic Sanitation Plan has been required since 2013, but many Brazilian cities still do not have basic guiding instruments for its development, such as the Work Code and Master Plan. Therefore, the occupation of Permanent Preservation Areas became common. In this perspective, this work aims to identify the impacts of lack of sanitation in areas of permanent preservation in the city of Aurora - CE. A case study covering the urban growth of the city was prepared. Based on the data obtained, it was found that 20 families live in the area, without collection and treatment of sanitary sewage and without collection of solid waste. It was observed that the buildings are located less than 10 meters from the river bed and the municipality does not have a Master Plan, Construction Code or legislation that regulates municipal urban growth.

KEYWORDS: Permanent Preservation Areas, Legislation, Basic Sanitation.

1 | INTRODUÇÃO

Em 1561, especificamente no atual estado do Rio de Janeiro se inicia a história de saneamento no Brasil ao se cavar o primeiro poço a mando de Estácio de Sá, entretanto apenas em 1620 se iniciam as primeiras obras de saneamento básico. A partir daí este setor foi se desenvolvendo, surgindo legislações, autarquias e mecanismos de financiamento para o abastecimento de água. Sendo o PLANSAB (Plano Nacional de Saneamento Básico), o atual instrumento que norteia a condução das políticas públicas, metas e estratégias para o setor de saneamento (BARROS, 2019).

De acordo com a AEGEA (s/d), o saneamento básico constitui-se na coleta e tratamento de esgoto, limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos e controle de pragas, objetivando a saúde das comunidades, portanto o seu uso é de suma importância para a vida humana e sua falta pode gerar inúmeros problemas de saúde.

A Constituição Federal (1988) e a Lei 11445/2007 assegura o direito a saneamento básico a todos os brasileiros. Porém, segundo dados da ANA (Agência Nacional de Águas), apenas 39% da carga orgânica é removida das mais de nove mil toneladas de esgotos gerados diariamente no Brasil, índice muito abaixo dos 60% de remoção mínima fixados pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Desde 2013 é exigido dos municípios o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), tal plano tem por objetivo levantar um diagnóstico do município, verificando as deficiências e necessidades ligadas ao saneamento básico. Mesmo com essas ferramentas estratégicas de gestão para as prefeituras, que se faz de extrema importância para os municípios, muitas cidades brasileiras ainda não apresentam instrumentos básicos norteadores para o seu desenvolvimento, tais como Código de Obras e Plano Diretor. Diante disso, tornou-se comum a ocupação de áreas de preservação permanente (APPs). Nesta perspectiva, o presente trabalho visa identificar os impactos da falta de Saneamento em áreas de preservação permanente na cidade de Aurora-CE.

2 | METODOLOGIA

O presente trabalho trata-se de um estudo de caso e abrange o crescimento urbano da cidade de Aurora, na qual está situada na mesorregião do Sul Cearense, microrregião de Barro, região político-administrativo do Cariri Cearense. Também é enfatizado a importância do saneamento básico e a dificuldade de sua implantação em algumas áreas.



Figura 01 - Localização do município de Aurora-CE.

Fonte: ABREU, 2006.



Figura 02 - Área em estudo.

Fonte: Google Earth, 2019.

Inicialmente foi averiguada a existência de legislação que regulamenta o uso e ocupação do solo, tais como código de obras e Plano Diretor do município, e o PMSB. Foi analisado o trecho da cidade localizado às margens do Rio Salgado, observando aspectos regulamentados nas leis existentes. Foi verificada se há saneamento básico, se a ocupação da área respeita as normas existentes e o conhecimento da população sobre o assunto.

A pesquisa é de natureza qualitativa, com coleta de dados realizada no ambiente em estudo, este trata-se de uma área totalmente residencial, composta por duas ruas. Foi utilizada a observação direta intensiva e realizada uma entrevista com 90% dos moradores da área para abordagem da problemática.

Na entrevista os moradores foram questionados sobre seus conhecimentos acerca de áreas de preservação permanente (APP), se eles sabiam que aquele local está situado em APP. Questionou-se sobre o acesso a serviços de saneamento básico, como coleta de lixo e esgotamento sanitário, e se a comunidade e/ou o próprio morador já solicitou esses benefícios junto a Administração Pública Municipal.

3 | REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Áreas de Preservação Permanente

De acordo com a Lei 12651/2012, define-se como área de preservação permanente:

“Área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.”

Ainda de acordo com a Lei 4771/1965, as florestas existentes no território nacional e as demais formas de vegetação, reconhecidas de utilidade às terras que revestem,

são bens de interesse comum a todos os habitantes do País, exercendo-se os direitos de propriedade, com as limitações que a legislação em geral e especialmente esta Lei estabelecem. Logo, as Áreas de Preservação Permanente.

3.1.1 As Funções Ambientais de Área de Preservação Permanente

As APPs, juntamente com as Reservas Legais, com a sua cobertura vegetal protegida exercem um efeito tampão reduzindo a drenagem e carreamento de substâncias e elementos para os corpos d'água, com isto ajuda na preservação de recursos hídricos. A proteção das áreas de preservação permanente também garante harmonia e equilíbrio à paisagem, preservação e a integridade dos processos ecológicos. A proteção das APPs destinadas a proteger a estabilidade geológica e o solo também previne o assoreamento dos corpos d'água e a ocorrência de enxurradas e deslizamentos de terra, contribuindo para a garantia da segurança das populações residentes (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2011).

3.2 Saneamento

3.2.1 Conceitos

3.2.1.1 Saneamento Ambiental

Trata-se de uma união de ações socioeconômicas que juntas, tem o objetivo alcançar um conjunto de requisitos adequados à saúde pública, por meio de abastecimento de água potável, coleta e disposição sanitária de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, promoção da disciplina sanitária de uso do solo, drenagem urbana, controle de doenças transmissíveis e demais serviços e obras especializadas, com a finalidade de proteger e melhorar as condições de vida urbana e rural (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2004).

3.2.1.2 Saneamento Básico

Segundo a Lei nº. 11.445/2007, saneamento básico é definido como o conjunto dos serviços, infraestrutura e Instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejos de resíduos sólidos, drenagem e manejo das águas pluviais.

3.2.1.3 Esgotamento Sanitário

Esgotamento sanitário é o conjunto de condutos, instalações e equipamentos destinados a coletar, transportar, condicionar e encaminhar, somente esgoto sanitário, a uma disposição final conveniente, de modo contínuo e higienicamente seguro (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1986).

O esgotamento sanitário é um dos serviços de saneamento que mais necessitam de análises e propostas para o encaminhamento de soluções, principalmente quando é voltado para a gestão hídrica. A deficiência da coleta e tratamento de esgotos nas cidades brasileiras tem resultado em uma parcela significativa de carga poluidora chegando aos corpos d'água, causando implicações negativas aos usos múltiplos dos recursos hídricos (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2017).

3.2.1.4 Abastecimento de Água

Um Sistema de Abastecimento de Água de maneira geral é projetado para atender a população por meio de suas instalações. É caracterizada pela retirada da água na natureza, adequando sua qualidade e transporte, gerando seu fornecimento, através de um conjunto de obras e serviços (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2004).

3.3 Legislações

Com o objetivo de diminuir os problemas voltados as questões de saneamento básico no Brasil que surgiam ao longo dos anos, foi instituído o Plano Nacional de Saneamento (PLANASA) em 1971 (BARROS, 2019).

Em 05 de janeiro de 2007, foi sancionada a Lei Federal nº 11.445, chamada de Lei Nacional do Saneamento Básico – LNSB. A referida lei incorpora uma série de diretrizes essenciais para essa integração, como a adoção da bacia hidrográfica como unidade de referência para o planejamento das ações e a necessidade de compatibilização dos planos de saneamento com os planos de bacia (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2017).

A lei do saneamento inclusive definiu as competências quanto à coordenação e atuação dos diversos agentes envolvidos no planejamento e execução da política federal de saneamento básico no País. Também foi atribuído ao Governo Federal, sob a coordenação do Ministério das Cidades, a responsabilidade pela elaboração do Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab) (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2011).

A construção do Plansab envolve um contexto social, político e econômico, dentre outros aspectos. A sua abertura para o social, ao buscar suporte conceitual em princípios fundamentais, possibilita explicitar distintas leituras e enfoques sobre a sociedade. Nesse sentido, a elaboração do Plano foi sustentada em princípios da política de saneamento básico, a maior parte deles presente na Lei nº 11.445/2007 (PLANO NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO, 2013).

Atualmente existem órgãos que são responsáveis pelo monitoramento de leis e diretrizes voltadas ao saneamento, como a ANA (Agência Nacional de Águas) que se faz o órgão responsável pelo gerenciamento de recursos hídricos e o SNIS (Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento) (BARROS, 2019).

Aliado ao Plano Nacional, o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB)

possui um conjunto de diretrizes, estudos, programas, projetos, prioridades, metas, atos normativos e procedimentos no qual avaliam o estado de salubridade ambiental, inclusive da prestação dos serviços públicos (FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE, 2016).

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A entrevista realizada com moradores gerou informações para um diagnóstico básico das principais características da área estudada e do conhecimento da comunidade quanto à área de preservação permanente.



Figura 03 - Comunidade analisada.

Fonte: Acervo próprio, 2019.

Com base nos dados obtidos constatou-se que 20 famílias vivem na área, sem coleta e tratamento de esgotamento sanitário e sem coleta de resíduos sólidos. Com a entrevista, verificou-se que nenhum morador tem conhecimento a respeito de área de preservação permanente e nenhum solicitou os serviços de saneamento básico junto a administração pública e demais órgãos competentes. Isso mostra que mesmo não tendo conhecimento sobre APPs, a comunidade tem consciência que aquela região é inadequada para construções.



Figura 04 - Rio Salgado.

Fonte: Acervo próprio, 2019.

Os moradores afirmaram que as residências possuem fossa, porém as águas cinzas são lançadas diretamente no Rio Salgado. Observou-se que, apesar do curso do rio ter entre cinquenta e cem metros de largura e a Lei 12651/2012 estabelecer uma área de preservação *desde a borda da calha do leito regular* em largura mínima de 100 metros, as edificações situam-se a menos de 10 metros do leito do rio.



Figura 05 - Margem do Rio Salgado.

Fonte: Acervo próprio, 2019.

A Lei nº 10.257/2001, conhecida como Estatuto das Cidades, art. 41 estabelece a obrigatoriedade do Plano Diretor em cidades com mais de vinte mil habitantes. No entanto, verificou – se que o município não apresenta Plano de Diretor, Código de obras e nem legislação que regulamente o crescimento urbano municipal.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Segundo a ANA (2017), o lançamento de esgotos nos corpos hídricos sem o tratamento adequado compromete a qualidade da água, principalmente próximo às áreas urbanas, e pode até inviabilizar o atendimento aos usos dos recursos hídricos, sobretudo o abastecimento humano, além de impactar a saúde da população.

O presente estudo realizado, mostrou que a ocupação da área de preservação permanente analisada, gera não só impactos ambientais ao Rio Salgado, uma vez que a ausência de saneamento básico contribui para a proliferação de insetos e afeta diretamente a saúde dos moradores.

As edificações da área estudada são sujeitas a inundações, visto que estas se situam muito próximas ao leito do rio. No entanto, os moradores têm consciência da ilegalidade do uso da área e aproveitam-se da ausência de fiscalização do Poder Público.

Diante de todas as questões citadas, é notória a necessidade intensificar a fiscalização de lançamentos de lixos e dejetos no Rio Salgado, a implantação de leis mais rígidas que regulamentem o uso e ocupação do solo e garantam o acesso aos direitos dos cidadãos, tais como o saneamento básico e também se faz necessário o envolvimento político, juntamente com a comunidade local com trabalhos e projetos que mude a consciência e atitudes da população para a importância da conservação e manutenção do meio ambiente, gerando aprendizagem capaz de contribuir para o desenvolvimento e melhoria do Rio.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - Profª Água, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

REFERÊNCIAS

ABREU, R L. **Mapa do Estado do Ceará**. 2006. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ceara_MesoMicroMunicip.svg?uselang=pt-br. Acesso em: 17 set. 2019.

AEGEA. **O que é saneamento básico?**.s/d. Disponível em: <http://www.aegea.com.br/portfolios/o-que-e-saneamento-basico/>. Acesso em: 11 maio 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas de Esgoto – Despoluição de Bacias Hidrográficas**. Brasília, 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas de Esgoto – Resumo Executivo**. Brasília, 2017.
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9648: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário – Procedimento**. Rio de Janeiro, 1986.

BRASIL. **Constituição (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: 1988.

BRASIL. **Lei nº 10257, de 10 de julho de 2001**. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília, 2001.

BRASIL. **Lei nº 11445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Brasília, 2007.

BRASIL. **Lei nº 12651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, 2012.

EOSCONSULTORES. **História do saneamento básico**.s/d. Disponível em: <https://www.eosconsultores.com.br/historia-saneamento-basico-e-tratamento-de-agua-e-esgoto/>. Acesso em: 16 setembro 2019.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Planos Municipais de Saneamento Básico**. Brasília, 2016.

GOOGLE. **Google Earth website**. Disponível em: <https://earth.google.com/web/@-6.94697731,-38.96466027,262.41132746a,625.00816415d,35y,-2.01331895h,17.07435153t,0r/data=ChQaEgoKL20vMDIlyd2dmcxgBIAEoAg>. Acesso em: 17 set. 2019.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Manual de Saneamento**. Brasília, 2004.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Área de Preservação Permanente e Unidades de Conservação x Área de Risco**. Brasília, 2011.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano Nacional de Saneamento Básico**. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/informma/item/651-plano-nacional-de-saneamento-b%C3%A1sico>. Acesso em: 17 set. 2019.

PLANO NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO. **Mais Saúde com Qualidade de Vida e Cidadania**. Brasília, 2013.

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

Data de aceite: 23/06/2021

Data de submissão: 30/03/2021

José Luis Montesillo-Cedillo

Universidad Autónoma del Estado de México,
Centro de Investigación Multidisciplinario en
Educación
Toluca, Estado de México, México
<http://orcid.org/0000-0001-9605-8001>

Miguel Angel Cruz-Vicente

Universidad Autónoma de Guerrero, Facultad
de Turismo
Acapulco, Guerrero, México
<https://orcid.org/0000-0001-8401-0406>

RESUMO: O objetivo deste artigo foi analisar a relação dos recursos hídricos renováveis totais e da oferta de água potável de fontes melhoradas na América Latina e no Caribe com as variáveis que compõem o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), por meio do coeficiente de correlação de Pearson. Para tanto, foi aplicada a metodologia padrão na estimativa do referido coeficiente estatístico; além de propor a gestão regional da água para os possíveis efeitos negativos das mudanças climáticas, uma vez que o ciclo da água não reconhece fronteiras políticas. Concluiu-se que o total de água renovável não tem relação com o índice de desenvolvimento humano (IDH), renda per capita ou expectativa de vida ao nascer ou anos de escolaridade; mas beber água de fontes melhoradas está positivamente relacionada a

essas variáveis. Finalmente, argumenta-se a favor da gestão regional da água com base em sua situação anterior e atual semelhante, e nos tratados transfronteiriços existentes entre os países da América Latina e o Caribe.

PALAVRAS-CHAVE: Recursos hídricos renováveis, gestão integrada da água, escassez, América Latina e Caribe.

HUMAN DEVELOPMENT AND WATER IN LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN: TOWARDS REGIONAL WATER MANAGEMENT

ABSTRACT: The objective of this article was to analyze the relationship of total renewable water resources and the supply of drinking water from improved sources in Latin America and the Caribbean with the variables that make up the Human Development Index (HDI), through the Pearson's correlation coefficient. For this, the standard methodology was applied in the estimation of said statistical coefficient; as well as proposing regional water management to the possible negative effects of climate change, since the water cycle does not recognize political boundaries. It was concluded that total renewable water is not related to the human development index (HDI) or per capita income or life expectancy at birth or years of schooling; but drinking water from improved sources it is positively related to these variables. Finally, it is argued in favor of regional water management based on its similar past and current situation, and on existing transboundary water treaties between the Latin American countries and the Caribbean.

KEYWORDS: Renewable water resources,

integrated water management, scarcity, Latin America and the Caribbean.

1 | INTRODUCCIÓN

América Latina y el Caribe están conformadas por 33 países; su población conjunta asciende a 640,227,860 de acuerdo con datos de 2017; su densidad población media es de 138 habitantes por kilómetro cuadrado; su tasa media de urbanización es de 55.44%; su promedio de esperanza de vida al nacer es de 74.6 años, y su media de Ingreso Nacional Bruto (INB) *per cápita* en unidades de paridad de poder de compra en 2017 alcanzó los 13,280.54 dólares americanos a precios de 2011, tal y como se puede observar en la Tabla 1. A pesar de lo anterior, es preciso tener presente que la región bajo estudio alberga grandes contrastes (deseables e indeseables), tanto de biodiversidad como económicos y sociales.

País	Población total (1000 hab), 2017+	Densidad de población (hab/km ²), 2017+	Recursos hídricos renovables totales (10 ⁹ m ³ /año), 2017+	Población con acceso al agua potable saludable (%), 2015+	Índice de Desarrollo Humano (IDH), 2017++	Esperanza de vida al nacer, 2017++	Años promedio de escolaridad, 2017++	Ingreso nacional bruto (INB) per cápita. PPA en \$ de 2011, 2017++
Belice**	374.7	16.31	21.73	99.5	0.708	70.6	10.5	7,166
Guatemala***	16,914	155.3	127.9	92.8	0.650	73.7	6.5	7,278
Honduras***	9,265	82.36	92.16	91.2	0.617	73.8	6.5	4,215
Haití	10,981	395.7	14.03	57.7	0.498	63.6	5.3	1,665
República Dominicana**	10,767	221.2	23.5	84.7	0.736	74	7.8	13,921
Antigua y Barbuda	102	231.8	0.052	97.9	0.780	76.5	9.2	20,764
Bahamas*	395.4	28.49	0.7	98.4	0.807	75.8	11.1	26,681
Barbados*	285.7	664.4	0.08	99.7	0.800	76.1	10.6	15,843
Granada	107.8	317.1	0.2	96.6	0.772	73.8	8.7	12,864
Saint Kitts y Nevis	55.34	212.8	0.024	98.3	0.778	74.4	8.2	23,978
San Vicente y las Granadinas	109.9	281.8	0.1	95.1	0.723	73.3	8.6	10,499
Trinidad y Tobago	1,369	266.9	3.84	95.1	0.784	70.8	10.9	28,622
Guyana***	777.9	3.619	271	98.3	0.654	66.8	8.4	7,447
Surinam	563.4	3.439	99	94.8	0.720	71.5	8.5	13,306
Chile*	18,055	23.86	923.1	99	0.843	79.7	10.3	21,910
Paraguay**	6,811	16.74	387.8	98	0.702	73.2	8.4	8,380
Argentina*	44,271	15.92	876.2	99.1	0.875	76.7	9.9	18,461
Bolivia***	11,052	10.06	574	90	0.693	69.5	8.9	6,714

Brasil**	209,288	24.58	8,647	98.1	0.759	75.7	7.8	13,755
Colombia**	49,066	42.97	2,360	91.4	0.747	74.6	8.3	12,938
Costa Rica**	4906	96.01	113	97.8	0.794	80	8.7	14,636
Cuba**	11,485	104.5	38.12	94.9	0.777	79.9	11.8	7,524
Dominica**	73.92	98.56	0.2		0.715	78	7.8	8,344
Ecuador**	16,625	64.85	442.4	86.9	0.752	76.6	8.7	10,347
El Salvador***	6,378	303.1	26.27	93.8	0.674	73.8	6.9	17,789
Jamaica	2,890	263	10.82	93.8	0.732	76.1	9.8	7,846
México**	129,163	65.75	461.9	96.1	0.774	77.3	8.6	16,944
Nicaragua***	6,218	47.7	164.5	87	0.658	75.7	6.7	5,157
Panamá**	4,099	54.35	139.3	94.7	0.790	78.2	10.2	19,178
Perú**	32,165	25.03	1880	86.7	0.750	75.2	9.2	11,789
Santa Lucía	178.8	288.4	0.3	96.3	0.747	75.7	8.9	11,695
Uruguay*	3,457	19.62	172.2	99.7	0.804	77.6	15.9	19,930
Venezuela**	31,977	35.06	1325	93.1	0.761	74.7	10.3	10,672
Total	640,226.86	4481.278	19196.426	2996.5	24.374	2462.9	297.9	438,258
Media	19,400.81	135.80	581.71	90.80	0.740	74.63	9.03	13,280.55

Nota: * indica índice de desarrollo humano muy alto; ** alto; *** medio y, el del resto de los países es bajo.

+ Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (2018). Índices e indicadores de desarrollo humano. Actualización estadística de 2018.

Tabla 1. Población, densidad poblacional, recursos hídricos renovables totales e IDH en América Latina y el Caribe.

Fuente: + FAO (2019). Base de Datos Principal AQUASTAT. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

El objetivo del presente artículo es analizar la relación de los recursos hídricos renovables totales y el suministro de agua potable proveniente de fuentes mejoradas en América Latina y el Caribe con las variables que conforman el Índice de Desarrollo Humano (IDH), por medio del coeficiente de correlación simple de *Pearson*; al igual que proponer una gestión regional del agua ante los posibles efectos negativos del cambio climático, toda vez que el ciclo hídrico no reconoce fronteras políticas.

2 I AGUA Y DESARROLLO HUMANO EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

De acuerdo con Pochat, V., Donoso, M & Saldarriaga, J (2018, 4), “La población está heterogéneamente distribuida, con zonas escasamente pobladas –en extensas áreas de selvas tropicales (Amazonia), en el desierto de Atacama y en porciones glaciales de la Patagonia– y regiones de alta densidad poblacional, como las regiones metropolitanas de San Pablo, Río de Janeiro y Buenos Aires, superando cada una los 10 millones de

habitantes”, Santiago de Chile y Ciudad de México, entre otras.

América Latina y el Caribe cuentan con alrededor del 32% de los recursos hídricos renovables del planeta –porque se renuevan año con año por medio del ciclo hídrico (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], Sistema Nacional de Información del Agua)–, y de acuerdo con el tamaño de su población total, registran una disponibilidad de 3,100 m³ por persona/año, monto que representa lo doble de la disponibilidad en el resto del mundo, y se posiciona como la región con la disponibilidad *per cápita* de agua renovable más alta del mundo, tal y como se puede observar en la Figura 1. No obstante, debemos tener presente que organismos internacionales como el Banco Mundial (BM, 2019), la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, (FAO, por sus siglas en inglés, 2020), entre otros, proyectan o estiman una creciente escasez atribuible al cambio climático, al crecimiento poblacional y al cambio en los patrones de consumo.

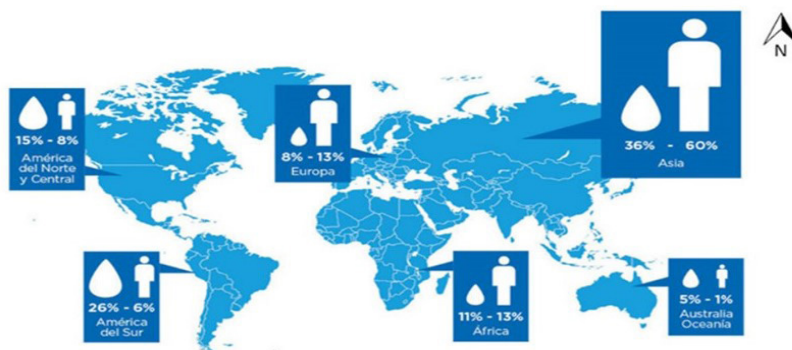


Figura 1: Relación entre disponibilidad de agua y población por continente.

Fuente: tomado de aquabook.

De acuerdo con la información disponible respecto de la riqueza mundial por país en 2017, América Latina y el Caribe, en términos generales, estaban igual que África o Asia, Figura 2. En consecuencia, ya se puede inferir que la disponibilidad de agua renovable no está relacionada con la riqueza económica, medida en términos monetarios.



Figura 2. La riqueza mundial por país en 2017.

Fuente: Bankinter. Blog de referencia financiera.

El coeficiente de correlación simple de *Pearson* se presenta en la Tabla 2; con base en los resultados obtenidos se puede decir que los recursos hídricos renovables totales y el IDH no tienen relación alguna, al igual que con la esperanza de vida al nacer, años de escolaridad e ingreso *per cápita*, porque dicho coeficiente tiende a cero y el nivel de significancia es superior a 0.05. En suma, los recursos hídricos renovables, desde la perspectiva estadística, no tiene ninguna relación con el desarrollo humano. Lo cual fue constado para el Estado de México, México, por Montesillo-Cedillo (2011).

Variabes	Recursos hídricos renovables totales	Población con acceso al agua potable saludable
Recursos hídricos renovables	1.0000	0.074067 (0.6870) *
IDH	0.110843 (0.5459) *	0.701678 (0.0000) *
Esperanza de vida al nacer	0.095388 (0.6035) *	0.520568 (0.0023) *
Años de escolaridad	-0.101773 (0.5794) *	0.515999 (0.0025) *
Ingreso <i>per cápita</i>	-0.004549 (0.9803) *	0.482725 (0.0051) *

Nota: * nivel de significancia del coeficiente de correlación simple de *Pearson*.

Tabla 2. Correlación de *Pearson* de los recursos hídricos renovables con la población con acceso al agua potable saludable, el IDH, la esperanza de vida al nacer, años de escolaridad e ingreso *per cápita* en unidades de poder de compra en dólares de 2011 en América Latina y el Caribe.

Fuente: elaboración propia con base en los datos de la tabla 1. La estimación del coeficiente de correlación simple de *Pearson* se realizó con el paquete econométrico *Eviews 11*.

Por su parte, dicho coeficiente de correlación entre la población con acceso al agua

potable saludable y los recursos hídricos renovables totales señala que no tienen relación alguna. Sin embargo, no debemos pasar por alto que invariablemente será más probable contar agua potable si se tienen fuentes de donde obtenerla.

La relación entre la población con acceso al agua potable saludable y el IDH, la esperanza de vida al nacer, años de escolaridad e ingreso *per cápita* sí tienen relación positiva, porque dicho coeficiente tiende a uno y el nivel de significancia es inferior a 0.05. En consecuencia, se puede decir que el acceso al agua potable saludable potencia el desarrollo humano, y que una manera de aumentarlo en América Latina y el Caribe sería mediante el incremento de la cobertura de dicho servicio. Aunque debemos tener presente que “el problema es que algunas personas, en particular los pobres, quedan sistemáticamente excluidas del acceso al agua a causa de la pobreza, de los limitados derechos que les reconoce la ley o de políticas públicas que restringen su acceso a las infraestructuras de abastecimiento de agua para la vida y el sustento”. (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2011, p.15)

3 | HACIA UNA GESTIÓN REGIONAL DEL AGUA EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

En términos generales, América Latina y el Caribe no padecen estrés hídrico; la población con acceso a fuentes mejoradas de agua potable es superior al 80%; al igual que el acceso a servicios de saneamiento mejorados, tal y como se puede observar en las Figuras 3, 4 y 5.

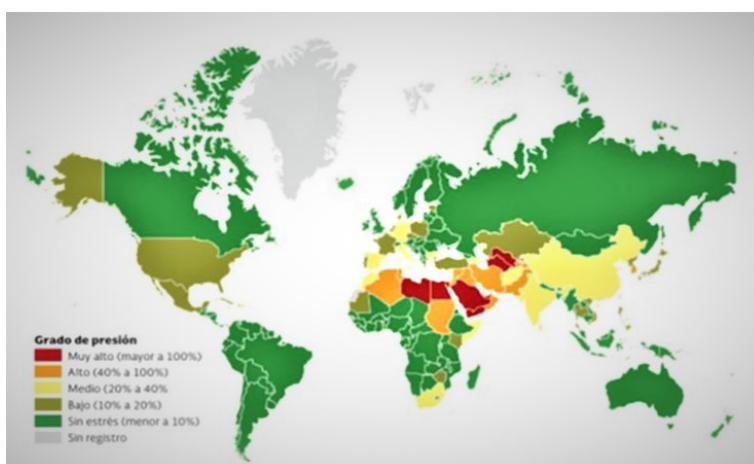


Figura 3. Grado de presión sobre los recursos hídricos.

Fuente: Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2018). Estadísticas del agua en México, p. 220.



Figura 4. Acceso a fuentes mejoradas de agua potable.

Fuente: CONAGUA. (2018). Estadísticas del agua en México, p. 221.

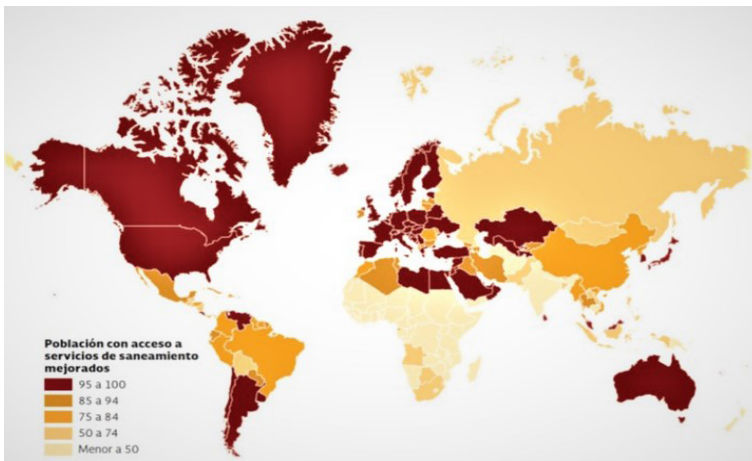


Figura 5. Acceso a servicios de saneamiento mejorados.

Fuente: CONAGUA. (2018). Estadísticas del agua en México, p. 223.

No obstante, el nivel de cobertura, el acceso a fuentes mejoradas de agua y al servicio de saneamiento mejorados, se debe tener presente que:

Aún son muchas las personas sin acceso a suministros de agua e instalaciones de saneamiento gestionados de manera segura. La escasez de agua, las inundaciones y la falta de gestión adecuada de las aguas residuales menoscaban el desarrollo social y económico. Es crucial un aumento del uso eficiente de los recursos hídricos y la mejora de su gestión para equilibrar las crecientes y concurrentes demandas de agua de numerosos sectores y usuarios. (UN [Naciones Unidas], 2018, 7)

De acuerdo con el Índice de Pobreza Hídrica (IPH), en cuya elaboración se incluyen factores físicos y socioeconómicos relacionados con su disponibilidad, porque resulta de

la suma de cinco componentes clave: recursos hídricos, acceso al agua, uso del agua, capacidad y ambiente, en una escala de evaluación de 0 a 100; constituye una herramienta de diagnóstico de la oferta y de la demanda hídrica fundamentalmente para la planificación de tierras secas y degradadas (Sullivan, *et al.*, 2003; de Salles & Paes, 2016). Con base en dicho índice, se puede decir que América Latina y el Caribe se encuentran en un nivel medio en cuanto a pobreza hídrica, tal y como se puede observar en la Figura 6.

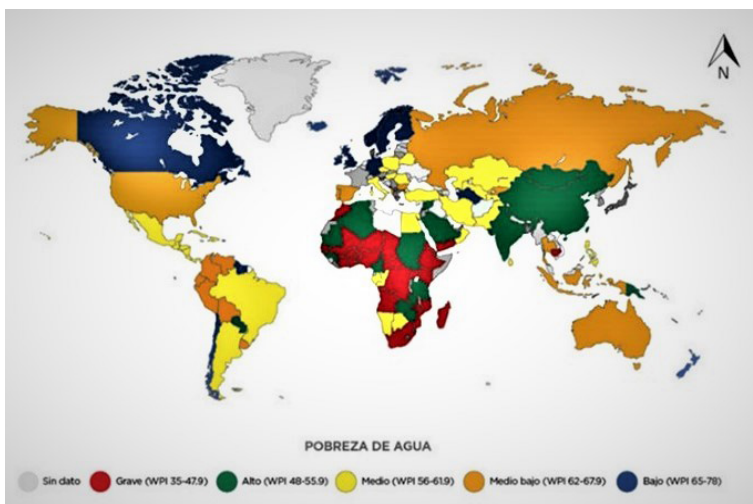


Figura 6. Índice de Pobreza Hídrica ([IPH] [WPI, por sus siglas en inglés]) en escala mundial.

Fuente: tomado de aquabook.

Si bien América Latina y el Caribe no padecen estrés ni pobreza hídrica en términos generales, y en los últimos años la cobertura del servicio de agua potable ha aumentado, aunque en saneamiento lo ha hecho a una tasa menor, y al nivel “rural las coberturas son menores en toda la subregión, con relación a aquellas de las zonas urbanas, excluyendo las periferias” (Pochat, *et al.*, 2018, p.6). Estos rezagos “no sólo afectan negativamente la salud y dignidad de las personas, sino además dificultan la lucha contra la pobreza e indigencia, limitan oportunidades de desarrollo socioeconómico y causan daño al medio ambiente” (PNUD, 2018, p.7), aparte de la amenaza que representa para la humanidad el cambio climático, y con él la posible disminución masiva de la biodiversidad, el agotamiento de los recursos de la tierra y el agua dulce” (PNUD, 2018, p.iii). Además, como es sabido por todos, la carencia de agua reduce el bienestar, la riqueza de la población y su desarrollo; al igual que su abundancia (inundaciones y fenómenos hidrometeorológicos).

Para poder hacer frente a los posibles riesgos que trae consigo el cambio climático, es preciso reconocer que el ciclo del agua no reconoce fronteras políticas, culturales, económicas, etc., al igual que no reconoce la manera segmentada, compartimentalizada

por especialización de acuerdo con la formación profesional universitaria para su estudio y gestión, lo cual dificulta la comprensión de su evolución y comportamiento bio-físico-antropo-político-económico-social porque “existe una falta de adecuación cada vez más amplia, profunda y grave entre nuestros saberes disociados, parcelados, compartimentados entre disciplinas, y por otra parte, realidades o problemas cada vez más pluridisciplinarios, transversales, multidimensionales, transnacionales, globales, planetarios” (Morin, 2012, p.13).

Ante la globalización-mundialización y el cambio climático del planeta; la gradual eliminación de las fronteras al comercio mundial; resulta pertinente la gestión del agua, en un primer momento, por región, hasta llegar a su gestión mundial. Lo cual, para América Latina y el Caribe, puede ser facilitado por el origen y evolución comunes de la región –pasado, idioma, mitos, leyendas, religión, ciencia y tecnología–, además de que todos los países que la conforman “coinciden en la adopción de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) como el modelo prevalente para llevar a cabo la compleja tarea de gestión de los recursos hídricos” (Pochat, *et al.*, 2018, p.17). También, en el 8° Foro Mundial de Agua –realizado en marzo de 2018 en Brasil– los representantes de los países que conforman la región coincidieron en seguir avanzando en la gestión compartida y participativa de los recursos transfronterizos.

Lo cual concuerda con los postulados de la ONU (2020) ya que “aboga por una gestión mejorada del agua, respaldada por una gobernanza eficaz e instituciones sólidas que garanticen los derechos de todos al preciado líquido.”

Finalmente, si se avanza en la gestión conjunta del agua en América Latina y el Caribe se potenciará el desarrollo humano de la región.

4 | CONCLUSIONES

América Latina y el Caribe cuentan con la disponibilidad *per cápita* de agua renovable total más alta del mundo. Sin embargo, de acuerdo con los resultados del coeficiente de correlación simple de *Pearson* entre dicha disponibilidad y el índice de desarrollo humano no existe relación alguna, al igual que con los componentes –esperanza de vida al nacer, ingreso per cápita y años promedio de escolaridad– de dicho índice.

Con base en el coeficiente de correlación simple de *Pearson*, en América Latina y el Caribe el agua renovable anual no tiene relación con los niveles de cobertura de agua potable proveniente de fuentes mejoradas.

La cobertura del servicio de agua potable proveniente de fuentes mejoradas potencia el desarrollo humano en América Latina y el Caribe, porque el coeficiente de correlación simple de *Pearson* entre dicha cobertura y el IDH, al igual que con sus componentes, tiende a uno y es significativo.

Finalmente, América Latina y el Caribe no padecen pobreza ni estrés hídrico. Sin

embargo, debido a los posibles efectos negativos del cambio climático, se precisa de una gestión regional del recurso. Lo cual puede ser facilitado por el pasado y situación similares de la región.

REFERENCIAS

Bankinter. **Blog de referencia financiera**. Recuperado de <https://blog.bankinter.com/economia/-/noticia/2018/1/9/riqueza-mundo-informe-credit-suisse-2017.aspx>

BM. (2019). **Agua. Panorama general**. Recuperado de <https://www.bancomundial.org/es/topic/water/overview>

Caroline A Sullivan and Hatem Jemmali. (2014). **"Toward understanding water conflicts in Mena region: a comparative analysis using water poverty index"**. Working Paper 859. Economic Research Forum. November 2014. Recuperado de <https://erf.org.eg/wp-content/uploads/2015/12/859.pdf>

CONAGUA. (2018). **"Estadísticas del Agua en México, edición 2018"**. Recuperado de www.gob.mx/conagua

CONAGUA. **"Sistema Nacional de Información del Agua"**. Recuperado de <http://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php?p=2>

de Salles Freitas dos Santos, R. & Paes Ferreira, M. I. (2016). **Índice de Pobreza Hídrica e sua adaptação às condições da comunidade de Gargaú, São Francisco do Itabapoana/RJ. Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, Campos dos Goytacazes/RJ**, 10(2), 191-206. DOI: 10.19180/2177-4560.v10n22016p191-206

FAO. (2020). **The State of Food and Agriculture 2020. Overcoming water challenges in agriculture**. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb1447>

FAO. (2019). **Base de Datos Principal AQUASTAT**. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Recuperado de <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=es>

Montesillo-Cedillo, J.L. (2011). **Water and human development in the State of Mexico**. *Economía, Sociedad y Territorio*, xi (37), 759-786. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-84212011000300009

Morin, E. (2012). **"La cabeza bien puesta. Repensar la reforma. Reformar el pensamiento"**, 1ª edición 5ª reimpresión, Buenos Aires, nueva visión, pp. 1-96.

UN. (2018). **"Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2018"**, New York, 2018, pp. 1-40.

OMS. (2017). **OMS-Unicef: 3 de 10 personas en el mundo carecen de acceso a agua potable en el hogar**. Recuperado de <http://www.ipsuss.cl/ipsuss/actualidad/oms-unicef-3-de-10-personas-en-el-mundo-carecen-de-acceso-a-agua/2017-07-18/162709.html>

ONU. (2011). Derechos Humanos. **El derecho al agua**. Recuperado de <https://www.ohchr.org/documents/publications/factsheet35sp.pdf>

ONU. (2020). **El agua, un recurso que se agota por el crecimiento de la población y el cambio climático**. Recuperado de <https://news.un.org/es/story/2020/11/1484732>

Pochat, V. Donoso, M & Saldarriaga, J. (2018). “**Proceso regional de las Américas. Foro Mundial de Agua 2018. Informe Subregional**”. Banco Interamericano de Desarrollo-CEPAL, Universidad de los Andes. Recuperado de <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Montevideo/images/Informesubregionalsudamerica.pdf>

PNUD. (2018). “**Índices e indicadores de desarrollo humano**. Actualización estadística de 2018”. Recuperado de http://hdr.undp.org/sites/default/files/2018_human_development_statistical_update_es.pdf

Sullivan, C. A. (2002). “**Calculating a water poverty index**”. *World Development*, 30(7), 1195-1210. Recuperado de <https://www.ircwash.org/sites/default/files/Sullivan-2002-Water.pdf>

CAPÍTULO 14

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

Data de aceite: 23/06/2021

Maria Teresa Chenaud Sá de Oliveira

Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A.
Salvador-Bahia

Luiz Roberto Santos Moraes

Universidade Federal da Bahia, Departamento
de Engenharia Ambiental
Salvador-Bahia

RESUMO: As Redes Condominiais de Esgotos Sanitários (RCE), como parte integrante do Sistema Condominial de Esgotos, vêm sendo adotadas em várias cidades brasileiras, como uma alternativa técnica para coleta de esgotos sanitários de domicílios situados em diferentes contextos urbanos. A experiência disponível na literatura vem propiciando uma melhor compreensão dos aspectos que influenciam positiva ou negativamente na sua adoção, que devem ser conhecidos para serem otimizados. Dentre esses aspectos, fruto de sua concepção e da tecnologia adotada, ressalta-se à necessidade de utilização de espaços privados, dos lotes dos usuários, durante a instalação e manutenção das RCE. A implantação das RCE em áreas privadas, no entanto, poderá gerar conflitos, dos mais diversos, entre os agentes públicos, responsáveis pela implantação e manutenção desta infraestrutura; as construtoras responsáveis pela execução das obras e os proprietários dos lotes que formam os condomínios. Nesse contexto, o capítulo tem como objetivo apresentar uma discussão conceitual sobre a

utilização de espaços público e privado, quando da instalação de RCE, tomando como referência preceitos da Constituição Federal de 1988, da Lei n. 10.257/2001 e do Código Civil Brasileiro. O estudo fornece indicativos para reflexão e discussão sobre os limites e possibilidades de utilização de espaços privados para instalação e manutenção de RCE, concluindo que a questão poderá ser discutida tanto como um fenômeno de ordem jurídica, quanto um novo conceito de política pública de saneamento básico, baseado em mecanismos de persuasão em sua ação, comunicação, compensação e diálogo entre Estado e sociedade.

PALAVRAS-CHAVE: Redes Condominiais de Esgotos Sanitários; Espaços Público e Privado; Instalação e Manutenção de Redes Condominiais de Esgotos.

INSTALLATION AND MAINTENANCE OF CONDOMINIAL NETWORKS OF SEWERAGE: A CONCEPTUAL DISCUSSION ON THE USE OF PUBLIC AND PRIVATE SPACES

ABSTRACT: The condominium network of sewerage (RCE) as part of the Condominial Sewerage System, have been adopted in several Brazilian cities, including Salvador, as a viable alternative for collecting sewage from households located in different urban contexts. The experience is available in the literature providing a better understanding of factors that influence positively or negatively in its adoption, which must be known to be optimized. Among these aspects, the result of its design and the technology adopted, it emphasizes the need

to use private spaces, lots of users during the installation and maintenance of RCE. The construction of RCE in private areas, however, may lead to conflict, the most diverse among the public officials responsible for the implementation and maintenance of this infrastructure, the construction companies responsible for the works and the owners of the lots making up the condos. In this context, this chapter aims to propose a conceptual discussion on the use of public and private spaces when installing RCE, with reference to provisions of the Federal Constitution of 1988, Law N. 10257/2001 and the Brazilian Civil Code. The study provides indicative for reflection and discussion about the limits and possibilities of using private spaces for installation and maintenance of RCEs, concluding that the issue can be discussed both as a legal phenomenon, as a new concept of public policy for basic sanitation, based on mechanisms of action in his persuasion, communication, compensation and dialogue between State and society.

KEYWORDS: Condominium networks of sewerage; Public and Private Spaces; Installation and maintenance of condominium networks sewerage.

INTRODUÇÃO

As Redes Condominiais de Esgotos Sanitários (RCE), como parte integrante do Sistema Condominial de Esgotos (SCE), têm como ideia central de sua implementação a formação de condomínios, com grupos de usuários/domicílios, em nível de quadra urbana e não de lotes individuais e como unidade de esgotamento (NAZARETH,1997).

Os condomínios, como nova unidade de coleta, são formados por meio de “pacto” firmado entre vizinhos e, entre estes e as instituições ou empresas envolvidas com a implementação. A participação conjunta desses diferentes participantes é que possibilita o assentamento das RCE em lotes particulares. Observa-se que, durante o processo de implementação das RCE, existem diferentes fatores, sob diversas ordens, que exercem influências no seu desenvolvimento. Um, em especial, merece destaque, que é o referente à necessidade de utilização de espaços privados dos lotes durante a implantação das obras e manutenção das RCE. Com efeito, a implantação das RCE em áreas privadas poderá gerar conflitos dos mais diversos, entre os agentes públicos responsáveis pela implantação da infraestrutura de esgotamento sanitário, as construtoras responsáveis pela execução das obras e os proprietários dos lotes que formam os condomínios.

Esses conflitos podem ainda, em alguns casos, inviabilizar o próprio traçado previsto em projeto para a quadra condominial, já que este obedece à topografia existente.

Para obedecer a esse critério, percorrendo os menores trajetos, as redes condominiais necessariamente situam-se dentro dos lotes privados. Em especial, tem-se o modelo representado por “fundo de lote” que, por exemplo, adota uma disposição das redes totalmente dentro dos espaços privados dos respectivos lotes. Em áreas informais de baixa renda, esses lotes, na maior parte, são pequenos e densamente ocupados, com pouco recuo frontal e de fundos, típico dos bairros populares sem nenhum ordenamento, o que condiciona a própria construção, deixando pouca disposição para espaços livres,

tanto dentro dos lotes (quase inexistentes) como nas vias de acesso e circulação geral. Os espaços livres dos lotes e quadras são, portanto, reduzidos e muito fragmentados, sendo utilizados para atividades muito próximas dos moradores, como o lavar e secar roupas, ou o lazer de crianças. Essa disposição das redes em áreas privadas também faz surgir uma série de situações derivadas, entre elas o fato do morador ficar impossibilitado de ampliar a qualquer tempo seu imóvel, caso deseje; de ocorrer extravasamento na caixa de inspeção¹, expondo os moradores a riscos pelo contato direto com os esgotos; ou ainda, mesmo que por tempo limitado, conviver com funcionários da empreiteira que vão trabalhar no interior do espaço privado, de forma muito próxima aos que ali vivem.

Frente a esses inconvenientes é possível que existam resistências, por parte de moradores, à implantação de RCE. Dessa forma, a proibição do acesso dos executores ao lote privado, para instalação da rede condominial, caso ocorra, por parte de alguns proprietários, apresenta-se, portanto, como fator de relevância a ser considerado.

Nesse contexto, o capítulo tem como objetivo apresentar uma discussão conceitual sobre a utilização de espaços público e privado, quando da instalação de RCE em áreas de ocupação informal, tomando como referência preceitos da Constituição Federal de 1988 (CF/88), da Lei Federal n. 10.257/2001 (Estatuto da Cidade), além de conceitos do Código Civil Brasileiro (CCB).

Assim, a ideia é trazer à reflexão um recorte específico dessa questão, pouco considerada em estudos publicados sobre SCE, embora de grande interesse prático. Ademais, o estudo se justifica na medida em que alguns conceitos importantes têm sido pouco aplicados no cotidiano dos projetos de RCE, e têm sido, também, pouco estudados de maneira a avaliar as suas diferentes possibilidades de aplicação e implicações, cujo desconhecimento, tanto por parte do implementador público e executor privado, quanto pelos usuários, poderá acarretar consequências diversas, gerando conflitos com reflexos sociais. Como destaca Ennes (1989, p. 13), em qualquer área científica, a definição clara de termos, conceitos e seus significados se revestem de importância para que se possa “[...] classificar processos ou conceituar métodos de ação no campo do saneamento”.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O capítulo foi desenvolvido a partir dos seguintes procedimentos metodológicos: pesquisa bibliográfica; revisão de literatura sobre o SCE; e análise sistemática dos dados pesquisados; visando selecionar alguns conceitos pertinentes a serem utilizados quando da implantação de projetos de RCE em áreas privadas, com destaque para àquelas de ocupação informal, dando início a discussão sobre essa questão, ainda pouco explorada na bibliografia sobre o tema.

Da pesquisa realizada, selecionou-se conceitos como: espaço público; espaço

¹ Naqueles casos em que a caixa de inspeção situa-se no fundo do lote.

privado; espaço comum (no sentido de condomínio); para em seguida realizar uma discussão sobre os limites e possibilidades dos agentes públicos ou seus representados intervirem em áreas privadas para implantação e manutenção de RCE (OLIVEIRA, 2004).

A seleção de dados de pesquisas, sobre intervenções empíricas já realizadas no estado da Bahia, permitiu iniciar uma reflexão sobre as principais características das áreas, onde as RCE foram implantadas e os limites impostos aos moradores, agentes públicos e executores de obras, quando da instalação das RCE. Assim, algumas variáveis mostravam-se importantes para considerar: formação das áreas informais, ocupadas por populações de baixa renda; ocupação desordenada do espaço; ocupação irregular dos lotes; dificuldade dos poderes públicos de implantação de infraestrutura urbana, por falta de espaços livres em razão da consolidação da ocupação; dentre outras.

Para Maricato (2001), com o acelerado e desordenado processo de urbanização nas cidades brasileiras, houve um crescimento populacional incompatível com a oferta de moradias, infraestrutura e serviços urbanos, com impactos diversos para as populações das cidades, principalmente, aquelas menos favorecidas. Segundo Ferraz (1991, p.52 *apud* MARICATO, 2001), nada foi poupado nesse processo incontido. Até mesmo as ribanceiras, sendo invadidos os leitos dos córregos e as baixadas inundáveis. Tudo isso, segundo o autor, “[...] é também poluição e séria”.

Assim, partes das cidades se formaram sem qualquer disciplina e na mais incontrolável desordem. Ainda segundo Ferraz (1991, p. 52 *apud* MARICATO, 2001), “[...] o planejamento pouco sequer foi obedecido. Fiscalização, apenas nominal, insuficiente, inoperante, inexistente mesmo. Depara-se com uma sucessão de casos irregulares consumados. Quanto à ação do Poder Público, quando houve, se fez sentir sempre a *posteriori*, sempre depois do fato consumado”. Cidades do estado da Bahia e, sua capital Salvador em especial, não fogem a essa regra.

Segundo Gordilho Souza (2000), as primeiras ocupações coletivas em Salvador se deram em terrenos de propriedade alheia ou duvidosa, sem a devida autorização ou posse legal, passando a ser denominadas invasões. Esse tipo de ocupação foi se tornando comum para uma grande parcela da população pauperizada que, na impossibilidade de adotar outra opção, encontrou uma possibilidade de moradia ou espaço para ficar e se abrigar, por meio da ocupação coletiva ou individual de terrenos ociosos, de propriedade alheia, pública ou privada, ou em terras devolutas. Essas ocupações terminam compondo espaços construídos diferenciados, localizados em áreas específicas no processo de expansão da Cidade.

Por sua vez, as habitações nessas áreas são, em grande parte, produzidas por meio de sistemas de auto-ajuda, pelas próprias famílias, porque a maior parte da população de baixa renda não pode financiar sua própria unidade habitacional, devido à situação social e econômica, com baixo nível de renda. Além disso, as áreas localizam-se em locais da mais baixa qualidade ambiental, e as construções são feitas com materiais e serviços

muitas vezes inadequados. Porém, esse espaço conquistado foi o possível e, assim sendo, essas populações o valorizam e o tem com grande significado. Mas, na realidade, as áreas invadidas, em termos legais, terminaram por comprometer o direito de propriedade do morador, em nome do qual toda sorte de violência poderia ser cometida pelos proprietários contra essas populações.

Nesse contexto, cabe indagar: o que é considerado público; o que é considerado privado; e o que é considerado comum nessas áreas? Comum, no sentido de “condomínio”, constituído para implantação de RCE. O fato de um condomínio ser informal, como é o caso quando da formação de grupos de usuários para coleta de esgoto sanitário, implica na existência de área comuns? O que é comum nessas áreas densamente ocupadas? O que a legislação apresenta nesses casos? Qual a definição de domicílio segundo o texto constitucional? Como a Administração Pública poderá contornar o problema de acesso ao lote privado para instalação das RCE? Poder de polícia, poder de força, cabem nesses casos? É factível acionar a Justiça? Ou seja, essas questões remeteram à necessidade de algumas definições básicas de espaço público, espaço privado, espaço comum, domicílio etc., o que será apresentado na próxima seção. Esses conceitos, entretanto, têm sido pouco aplicados no cotidiano dos projetos de RCE e tem sido, também, pouco estudados de maneira a avaliar as suas diferentes possibilidades de aplicações e implicações.

UMA DISCUSSÃO CONCEITUAL

Após estudo, revisão e seleção de conceitos relacionados diretamente com o tema, considerou-se que espaços públicos podem ser definidos como “[...] os que constituem o patrimônio da União, dos Estados ou Municípios, como objeto de direito pessoal ou real de cada uma dessas entidades” (Art.66, III do Código Civil). Dentre os espaços públicos tem-se àqueles de acesso restrito e os de acesso comum. Já o Espaço privado “[...] é todo aquele cujo domínio é de uma entidade privada ou pessoa física” (PEREIRA, 2003). Espaço comum, para Di Pietro (2001, p. 34) “[...] é todo aquele cuja utilização é exercida sem o caráter de exclusividade que caracteriza o uso do espaço privado”. Para essa autora, esse tipo de espaço está sujeito a determinadas regras: generalidade (porque pode ser usado por todos); liberdade (porque dispensa autorização); igualdade (porque deve ser garantido a todos em igualdade de condições). A autora adverte, contudo, que cada uma dessas regras comporta exceções, subordinadas a regimes diversos, cada uma dessas exceções corresponde a uma modalidade de uso comum (DI PIETRO, 2001). Os Condomínios formais, em edifícios de apartamentos, por exemplo, possuem em suas convenções registradas, as regras de utilização dos espaços comuns nos edifícios.

Já o domicílio, de acordo com o texto constitucional, “[...] é asilo inviolável do indivíduo, ninguém nele podendo penetrar sem consentimento do morador, salvo em caso de flagrante delito ou desastre, ou para prestar socorro, ou, durante o dia, por determinação

judicial” (CF, 1988, Art.5º, XI). As definições apresentadas visam explicar e definir as diferentes necessidades sociais de uso de tais espaços de modo a procurar compreender como a construção das redes condominiais pode se inserir e interferir nesses diferentes conceitos de espaços.

Assim, no caso da constituição de um condomínio para fins de implementação de RCE poderia ser considerado espaço comum todo àquele que, embora inserido nos lotes privados, não fosse ocupado por nenhum tipo de edificação, ou seja, seriam aqueles espaços que poderiam ser utilizados por diferentes proprietários, pertencendo a todos e não a um individualmente. No entanto, isso por si só já causa uma certa dificuldade, uma vez que, no mais das vezes, pouco espaço existe para *ser comum* entre os lotes dos quais está-se falando.

Já o *espaço público* é onde estará instalada a rede básica ou rede pública situada fora dos lotes particulares, não havendo, portanto, maiores problemas, a não ser os relativos à própria circulação dos moradores da área, cujo maior impacto ocorreria apenas durante a execução das obras, propriamente ditas, das RCE. O *espaço privado*, por sua vez, é todo aquele cuja área está dentro do lote do morador.

Ocorre que, como se viu, essas áreas muitas vezes foram invadidas, não possuindo, seus moradores, qualquer tipo de registro que caracterize o seu domínio². O morador possui de fato a posse³, mas sem qualquer documentação que o habilite como proprietário no sentido jurídico do termo.

Essa problemática, todavia, parece estar sendo resolvida por meio da Lei n. 10.257, de 10 de julho de 2001, denominada de Estatuto da Cidade⁴. A Lei estrutura-se em cinco capítulos, que tratam, respectivamente, de: diretrizes gerais; instrumentos de política urbana; plano diretor; gestão democrática da cidade e disposições gerais (BRASIL, 2001).

Porém, como ainda considera Pereira (2003, p.13) “[...] a Lei n. 10.257/2001 não é autoaplicável, somente irá vigor na sua plenitude a partir da inclusão, no Plano Diretor, dos novos instrumentos que a Lei contemplou”.

A matéria tratada pelo Estatuto da Cidade, que aqui interessa, refere-se ao Art.9º da Seção V, que diz respeito ao usucapião especial do imóvel urbano, ou seja “Aquele que possuir como área ou edificação urbana de até duzentos e cinquenta metros quadrados, por cinco ou mais anos, ininterruptamente e sem oposição, utilizando-a para moradia ou de sua família, adquirir-lhe-á o domínio, desde que não seja proprietário de outro imóvel urbano ou rural” (BRASIL, 2001, p.3). Para Pereira (2003) o primeiro requisito para que o possuidor possa ter legitimidade de propor a ação de usucapião urbano, é que este utilize o imóvel, tanto área quanto edificação, como moradia sua e de sua família.

2 O art. 524 do Código Civil Brasileiro (CCB) estabelece “[...] os poderes inerentes ao domínio constituem-se em usar, gozar e dispor de seus bens e de reavê-los do poder de quem quer que injustamente os possua”.

3 De acordo com o art. 493 do CCB adquire-se a posse “pela apreensão da coisa, ou pelo exercício de direito; pelo fato de se dispor da coisa, ou do direito; por qualquer dos modos de aquisição em geral”.

4 De acordo com Pereira (2003), a Lei n. 10.257/2001 veio regulamentar os artigos 182 e 183 da Constituição Federal (CF) de 1988.

Nesse sentido, a questão da propriedade poderá ser resolvida perante esses instrumentos previstos em lei, mas quando adotado no Plano Diretor Urbano das cidades.

Porém, ainda segundo Pereira (2003), a preocupação do Estatuto da Cidade com a regularização de terras particulares invadidas, não se restringe ao usucapião. Existem outros instrumentos nessa Lei, também importantes e relativos ao tema, tais como: o direito de superfície e a desapropriação. Esse último, diz respeito à intervenção pelo Poder Público na propriedade particular de forma a tornar possível ações em prol da coletividade (PEREIRA, 2003), o que pode ajustar-se à implantação de redes coletoras de esgotos sanitários. Com efeito, sendo proprietário do lote de fato e de direito, não haverá, a princípio, qualquer possível intervenção no mesmo, sem que esta ocorra de acordo com sua permissão e vontade. Poderá, contudo, haver uma desapropriação da área por interesse público.

Por outro lado, tudo que se relatou diz respeito às coisas privadas. E quanto ao Poder Público? Para o que aqui interessa recorre-se ao conceito de obra pública, ou seja, a ação que dá sentido a essa discussão.

É outro jurista que define obra pública:

Obra Pública é toda construção, reforma ou ampliação em imóvel, destinada a fins públicos, realizada diretamente pela Administração, ou indiretamente por seus delegados ou contratantes. O que caracteriza a obra pública é a sua destinação ao público ou ao serviço público, sendo indiferente o modo de sua execução, a pessoa que a executa e o local de sua realização. A obra pública é a realização material que a administração comumente executa sobre um bem público como equipamento ou estrutura para um serviço público a ser oferecido à comunidade; em outros casos é a própria obra que serve diretamente ao público. Pode ainda a obra ser implantada em terrenos particulares, mas com a finalidade pública. Em todas essas hipóteses será obra pública, desde que destinada ao público ou ao serviço público, variando apenas o seu modo de utilização, que pode ser comum do povo (equipamentos comunitários), ou especial de um serviço destinado ao público, ou mesmo de um serviço técnico ou administrativo reservado a seus servidores e usuários específicos (MEIRELLES, 1989, p 98).

Assim, para o autor o interesse privado-particular deverá se render ao interesse coletivo para viabilização de obra pública.

O que Di Pietro (2002) considera, nesse caso, é que deve haver um equilíbrio entre as prerrogativas públicas e os direitos individuais, assim como entre autoridade e liberdade.

Onde quer que exista o exercício dos direitos individuais, para Di Pietro (2002), existe o poder de polícia do estado para estabelecer normas, regulamentar, limitar, aplicar sanções. Não existe para essa autora, incompatibilidade entre os direitos individuais e os limites a eles postos pelo poder de polícia do Estado, pois “[...] a ideia de limite surge do próprio conceito de Direito Subjetivo: tudo aquilo que é juridicamente garantido é também juridicamente limitado” (DI PIETRO, 2002, p. 48).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na pesquisa realizada, observou-se a quase inexistência de abordagens teóricas e conceituais sobre a utilização de espaço privado para instalação de RCE, principalmente, nos diferentes estudos aqui pesquisados sobre SCE. Assim, dois estudos, por exemplo, dão uma sinalização vaga sobre o assunto. O primeiro, de autoria de Azevedo Netto (1992, p. 48) levanta essa questão preliminarmente quando enumera as vantagens e desvantagens da solução condominial, ao afirmar que: “[...] os problemas legais referentes a ocupação da propriedade privada podem resolver-se”. O outro, da autora Kligerman (1994, p. 61) também se refere a essa questão ao citar como uma das desvantagens do modelo condominial, em suas palavras os “[...] problemas de posse de terras, falta de legislação”.

Nesse sentido, esta pesquisa contribui com o tema ao propor alguns conceitos que poderão ser considerados quando da instalação das RCE em espaços privados de condomínios informais.

Como observado, quanto ao meio de ação, o Poder Público, mesmo diante de várias alternativas, pode sofrer limitações frente aos direitos individuais, assegurados pela Constituição Brasileira (CF/88), que não deve ir além do necessário para a satisfação do interesse público que visa proteger.

Como ainda afirma Di Pietro (2002, p. 48) “[...] a sua finalidade não é privar o Poder Público mas, reduzi-lo quando em conflito com interesse maior da coletividade”.

O problema dos limites das ações dos agentes públicos, especialmente quanto à possibilidade de penetrar em residências, estabelecimentos ou em qualquer espaço privado, para instalar as RCE, praticando uma ação visando à proteção sanitária da população, não poderá desconsiderar direitos como o da inviolabilidade dos domicílios, o da privacidade e outros que são invocados como limites à ação dos agentes públicos, o que às vezes, pode representar um sério embaraço e mesmo favorecer a ampliação de riscos para a saúde pública (OLIVEIRA, 2004).

O que se pode depreender dessa apresentação de conceitos e leis? Primeiro, que o Poder Público pode intervir por meio de obra pública em espaços privados, por meio de diferentes instrumentos que lhe cabe, para atender ao interesse da coletividade. Essa intervenção, no entanto, seria realizada, segundo a legislação, por meio da ação de desapropriação com a devida indenização da parte afetada. No caso das RCE, entretanto, o que tem ocorrido na prática é o Poder Público apenas indenizar áreas construídas⁵.

Ou seja, o espaço privado *sem edificação* não sofre desapropriação. A legalidade ou ilegalidade dessa posição não poderá ser aqui discutida, em razão da imposição de conhecimentos jurídicos apropriados, que vão além dos aqui apresentados. Segundo, que a execução de RCE gera conflitos entre interesses individuais, coletivos e públicos. Por um

⁵ Esse fato foi confirmado por depoimentos de diferentes entrevistados durante realização da pesquisas empíricas em diferentes áreas da cidade do Salvador. Ou seja, em áreas informais de baixa renda, na cidade do Salvador, os poderes públicos municipal e estadual não têm considerado a *terra nua* para título de indenização.

lado há os direitos individuais garantidos pela Constituição Federal que protege o cidadão no caso de sua recusa, e por outro lado o interesse público que inclui o direito de outros moradores vizinhos terem uma rede de esgotos sanitários tipo condominial.

Acredita-se ainda que não existe, a priori, a possibilidade do estabelecimento prévio de “limites precisos” e “bem definidos” para as possíveis situações que podem vir surgir quando da implantação dessas redes condominiais em espaços privados dos lotes, ou, menos ainda, a possibilidade de especificação de situações concretas, em que podem ocorrer conflitos, dando resposta antecipada às dúvidas que possam surgir em tais situações. Cada caso parece ser e, provavelmente, será um caso específico para se buscar solução. No entanto, supõe-se que será possível o Poder Público ou seus representados agirem com o objetivo de realizar a execução das redes condominiais em espaços privados, com harmonia, com diálogo e com respeito aos direitos de cada proprietário (OLIVEIRA, 2004).

Parece ser óbvia a constatação quanto à inadequação e pouca utilidade do uso do poder de polícia por meio de ação do tipo *forçada*, num contexto de programas de esgotamento sanitário, em larga escala, como o que ocorreu, por exemplo, em áreas de ocupação informal na cidade do Salvador, envolvendo milhares de imóveis. Esse procedimento seria no mínimo caro, além de congestionar o judiciário. Como afirma ainda Di Pietro (2002, p. 75) “[...] é uma impropriedade agir utilizando a violência como instrumento de universalização de programas públicos”.

Dessa forma, acredita-se que, em caso de resistência à implementação das ações previstas em projeto, deverão ser observadas todas as outras possibilidades possíveis de traçado da rede, procurando respeitar e preservar, o quanto possível, todos os direitos por ventura, ameaçados ou atingidos. Caso o lote esteja situado em posição estratégica, como aquela em que a rede terá seu ponto final de esgotamento naquele domicílio, e que o acesso seja negado, sugere-se que o funcionário público leve o problema para resolução de órgãos competentes, solicitando as providências necessárias para obter a autorização judicial, fornecendo para tanto todos os dados referentes ao local da intervenção, os objetivos propostos, as razões pelas quais se solicita a autorização, além dos resultados que se pretende atingir com a ação. Tal medida, acredita-se, estaria protegendo todos os direitos que devem ser respeitados.

No regime constitucional de hoje, a primeira impressão é que o ingresso forçado de autoridades públicas em ambiente privado só seria viável por determinação judicial. Sequer a Lei poderia obrigar o indivíduo a suportar o ingresso sem tal determinação (DI PIETRO, 2002).

A idealização de quadras urbanas, como princípio da concepção de projetos de SCE, não pode deixar de considerar que as mesmas, principalmente aquelas cujos domicílios enquadram-se na situação de informalidade, são formadas por grupos de residências onde flui a vida humana e cujos espaços, comuns ou privados, devem ser tratados com base

nesse entendimento do que realmente são, e não como espaços residuais (OLIVEIRA, 2004).

CONCLUSÃO

Com base com o apresentado no capítulo, conclui-se que o problema colocado, embora não resolvido, remete à necessidade de observar diferentes intervenções e suas influências no espaço privado, permitindo avançar em pesquisas futuras.

As questões apresentadas e os conceitos selecionados são apenas para reflexão e discussão que poderão fornecer indicativos para outras proposições de estudo, onde serão abertas novas discussões, permitindo assim contribuir e avançar na busca de solução para tão importante questão.

Finalmente, realizando uma síntese, conclui-se que a necessidade das RCE serem implantadas em áreas comuns e privadas pode ser discutida em dois níveis: 1) como um fenômeno de ordem jurídica, aberto à avaliação e crítica; e 2) como um conceito guia de política pública, que emerge, baseado em mecanismos de persuasão em sua ação, comunicação, compensação e diálogo entre Estado e sociedade.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO NETTO, José M. **Tecnologias inovadoras y de bajo costo utilizados em los sistemas de alcantarillado**. Washigton, D.C.: [s.n.], jul.1992.

BRASIL. Lei n. 10. 257 de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes para a política urbana e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 11 jul. 2001.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição Federativa do Brasil**. Brasília: Senado Federal, 1988.

BRASIL. **Código Civil Brasileiro**. In: Constituição Federal 1988.

DI PIETRO, Maria Sylvia Z. **Direito administrativo**. 13. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

ENNES, Ysnard Machado. O saneamento no Brasil, repassado à luz da tecnologia apropriada. **Revista Mineira de Engenharia**, Belo Horizonte, v.3, n.6, p.13-16, 1989.

GORDILHO SOUZA, Ângela M. **Limites do habitar**: Segregação e exclusão na configuração urbana contemporânea de Salvador e perspectivas no final do século XX. Salvador: EdUFBA, 2000.

KLIGERMAN, Débora Cynamon. Esgotamento Sanitário: de Alternativa Tecnológica a Tecnologias Apropriadas – Uma Análise Técnica, Econômica e Social. In: CONGRESSO LUSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 6., 1994, Florianópolis. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 1994. p. 35-58.

MARICATO, Ermínia. **Brasil, cidades**: alternativas para a crise urbana. 2. ed. Petrópolis: Vozes, 2001.

MEIRELLES, Hely L. **Direito Administrativo Brasileiro**. 14. ed. São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, 1989. 701p.

NAZARETH, Pery L. M. **Sistemas condominiais de esgotos**. [Brasília: s.n.], jul.1997. 12p.

OLIVEIRA, Maria Teresa Chenaud Sá de. **Implementação de Tecnologia de Redes Condominiais de Esgotamento Sanitário e Participação do Usuário**: um estudo na Cidade do Salvador, 2000-2003. 2004. 125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

PEREIRA, Luís Portella. **A Função social da propriedade urbana e o Estatuto da Cidade**. Porto Alegre: Síntese, 2003.

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

Data de aceite: 23/06/2021

Vanessa Silva Santos

Graduanda de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Feira de Santana

Bruna Katarina Pereira de Azevedo

Graduanda de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Feira de Santana

Anderson de S. M. Gadéa

Professor Titular da UEFS, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Engenharia Ambiental

Eduardo Cohim

Professor Titular da UEFS, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Engenharia Ambiental

RESUMO: Um modelo preditivo de demanda de água residencial foi desenvolvido a partir de uma abordagem estocástica ao consumo de cinco aparelhos sanitários em uma residência com o passo de 1s, o que se traduz na soma de todas as micro contribuições do sistema, a fim de obter o total instantâneo demanda da unidade familiar. O modelo foi calibrado por meio de uma revisão bibliográfica dos dados estatísticos dos usuários e usos finais de uma residência individual, como padrão comportamental do residente, ocorrência de eventos de demanda e especificações dos dispositivos sanitários. A demanda instantânea é alcançada sobrepondo pulsos de intensidade constante e tempos de chegada e duração variáveis. Como primeiro resultado, temos a

caracterização do consumo das famílias, total e por dispositivo hidráulico, em pequenas e grandes populações e, como segundo resultado, temos a concatenação do consumo total e setorizado de água com uso racional. O uso eficiente da bacia sanitária, torneira e chuveiro resultaram numa economia da ordem dos 40%. O modelo pode ser aplicado como cenários de estudo para o design de redes de suprimentos, além de permitir a análise da influência de medidas de gerenciamento de demanda, por meio de simulações.

PALAVRAS-CHAVE: Usos finais; gerenciamento da demanda de água; consumo; modelagem.

ABSTRACT: A predictive model of residential water demand was developed from a stochastic approach to the consumption of five sanitary appliances in a residence in the magnitude of 1s, which translates into the sum of all the micro contributions of the system, in order to obtain the total instant demand of the family unit. The model was calibrated through a bibliographic review of users' statistical data and end uses of an individual dwelling, such as the resident's behavioural pattern, occurrence of demand events and specifications of the sanitary devices. Instant demand is achieved by superimposing pulses of constant intensity and varying arrival times and duration. As a first result, we have the characterization of household consumption, total and by hydraulic device, in the short and large population and as a second result we have the concatenation of total and sectorized water consumption with rational use, in different periods and when applying more efficient fixtures. The

efficient use of wc, toilet tap and shower results in savings of around 40%. The model can be applied as study scenarios for the design of supply networks, as well as allowing the analysis of the influence of demand management measures, through simulations.

KEYWORDS: End uses; water demand management; consumption; model.

INTRODUÇÃO

No ambiente doméstico/familiar, o controle do desperdício da água e seu uso racional requerem revisão de hábitos e proposição de novos padrões de consumo, não só dos variados bens e serviços, mas, sobretudo, da água, conforme Feital (2008).

Devido à importância da caracterização da demanda hídrica e suas projeções futuras, muitos pesquisadores têm se voltado a estudar o tema, pois segundo Ghalekhondabi *et al.* (2017) o número de artigos publicados cresceu exponencialmente nos últimos 20 anos. O aumento no número de publicações é um provável reflexo da intensificação da escassez dos recursos hídricos junto a valorização da gestão da demanda.

Para elaboração de muitos dos estudos no tema é necessário medir e avaliar o consumo residencial. A instalação de medidores e registradores em cada ponto de consumo é uma alternativa necessária, porém fatores como a operacionalidade necessária para essa coleta e o custo associado fomentam a utilização de outras metodologias, dentre elas, a modelagem computacional da demanda.

Modelos estocásticos utilizando distribuições de probabilidade associadas as características de vazão, duração e intensidade de aparelhos sanitários e características comportamentais da população de estudo já foi o objeto de estudo de alguns autores. Blokker *et al.* (2010) utilizou dados estatísticos de pesquisas de companhias de fornecimento de água da Holanda de 3200 residências em 2001 e definiu as distribuições de probabilidade para habitações em Ohio, EUA, através dos dados de consumo de água de 21 residências. Ferreira e Gonçalves (2019) também criaram um modelo preditivo e obtiveram as funções de probabilidade e os parâmetros de vazão, frequência e duração a partir dos trabalhos de Ilha e Gonçalves (1991), Barreto e Medeiros (2008) e Oliveira *et al.* (2013), nos quais a área de estudo de ambos foi no município de São Paulo.

OBJETIVOS

Modelar os consumos total e por dispositivo hidráulico de água intradomiciliar de uma unidade habitacional de um morador, com base na metodologia de superposição de pulsos retangulares de água por aparelho, uso e tipo de habitação, com aplicações no impacto de medidas de gestão da demanda e melhoria da eficiência de Sistemas de Abastecimento de Água (SAA).

METODOLOGIA

Para a realização do estudo proposto foi criado um modelo estocástico na linguagem de programação MATLAB. A estrutura do modelo criado é similar ao SIMDEUM, desenvolvido por Blokker *et al.* (2010). Assim como no SIMDEUM, foi simulado um pulso retangular de demanda para cada usuário em cada aparelho sanitário, o qual ocorre num determinado horário, com uma duração e intensidade específica. Como mostrado na Figura 1, a demanda de uso de um usuário 'j' em um determinado aparelho num tempo ' τ_j ' é associada a um pulso aleatório de duração ' D_j ' e de intensidade ' I_j '. Por fim a demanda total Q é obtida através da soma de todos os pulsos retangulares de todos aparelhos, tal qual a Equação 1, onde k é o índice de contagem de todos usos finais de 1 a M , j o índice dos usuários e i o índice que contabiliza todos eventos de uso de todos aparelhos e usuários.

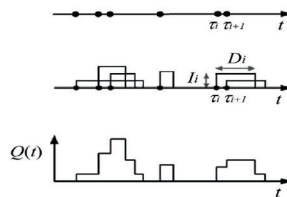


Figura 1: Metodologia de mensuração do consumo utilizada no SIMDEUM.

Fonte: Blokker *et al.* (2010)

A intensidade do evento de demanda é fixada durante o período D_{ijk} , sendo igual a zero no restante do tempo, como mostrado na Equação 2.

$$Q = \sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{F_{jk}} B(I_{ijk}, D_{ijk}, \tau_{ijk}) \quad (1)$$

$$B(I_{ijk}, D_{ijk}, \tau_{ijk}) = \begin{cases} I_{ijk} & \tau_{ijk} < \tau < \tau_{ijk} + D_{ijk} \\ 0 & \text{outros casos} \end{cases} \quad (2)$$

Neste trabalho foi analisado a demanda e consumo de água residencial por domicílio, considerando-se os usos e as distribuições de probabilidades obtidas por Ferreira e Gonçalves (2019), descritas na Tabela 1.

Conforme Ferreira e Gonçalves (2019), os usos da pia da cozinha, do tanque e máquina de lavar são classificados como usos coletivos e, dito isso, suas frequências de uso se associam ao uso de todos os moradores, ou seja, são estimados por domicílio.

	Frequência		Duração		Vazão (L/S)	
	Distribuição	Parâmetro	Distribuição	Parâmetro	Distribuição	Parâmetro
Lavatório	Poisson	$\lambda = 5.93$	Lognormal	$\sigma = 0.8449$ $\mu = 3.3551$;	Lognormal	$\sigma = 0.3275$; $\mu = -2.667$;
Pia da Cozinha	Poisson	$\lambda = 24.88$	Lognormal	$\sigma = 0.785$; $\mu = 3.1763$;	Weibull	$\lambda = 0.569$ $k = 1.5871$
Chuveiro	Poisson	$\lambda = 1.08$	Gama	$k = 6.5216$ $\theta = 0.7668$	Lognormal	$\mu = -2.4205$ $\sigma = 0.2014$
MQL	-	-	6 Min/Ciclo		Uniforme	0.1
Bacia Sanit. (12L)	Poisson	$\lambda = 2,75$	Fixo	60s	Fixa	0,25L/s
Tanque	Poisson	$\lambda = 1,15$	Lognormal	$\sigma = 0,8918$; $\mu = 3,2905$;	Lognormal	$\sigma = 0.3279$; $\mu = -.3485$;

Tabela 1: Padrão estatístico de uso por aparelho sanitário.

Fonte: Adaptado de Ferreira e Gonçalves (2019).

Para a frequência de ciclos da máquina de lavar no Brasil é adotada a distribuição Poisson, com $\lambda = 0.37$, mesma dos encontrados por Blokker *et al.* (2010), segundo dados dos EUA.

A probabilidade do horário de ocorrência de um evento de uso varia de acordo com o padrão comportamental de seu morador, sendo o horário de pico de demanda até 30min depois de acordar, nos 30 min antes de sair de casa, nos 30 min após retornar e nos 30 min antes de dormir. Dentro do modelo desenvolvido cada aparelho tem uma probabilidade de horário de ocorrência, tal que:

- A probabilidade de uso do chuveiro e do lavatório no horário de pico é de 100%, da bacia sanitária é de 50% e da máquina de lavar é 0%, em concordância com probabilidade do SIMDEUM de Blokker *et al.* (2010).
- Durante a madrugada a probabilidade de uso da bacia sanitária e demais usos, excetuando a máquina de lavar roupas é 5%.
- Os eventos de uso do tanque e da máquina de lavar roupas acontecem durante o dia, fora do horário de pico de demanda e uma vez na semana.

Os parâmetros das distribuições de probabilidade das amostras populacionais por domicílio do tipo apartamento na região urbana e a idade da população urbana foram definidos segundo dados do IBGE (2011), conforme a Tabela 3.

Parâmetros	Número de moradores por apartamento	Idade
		$\mu = 2.60736$
	$\sigma = 1.27454$	$\sigma = 20,2051$
R ²	94,78%	82,91%
RMSE	0,0252	0,0029

Tabela 3: Parâmetros da distribuição normal para região urbana.

Fonte: Adaptado de IBGE (2011).

Para introdução de aparelhos e usos mais eficientes no modelo foram considerados os usos da bacia sanitária, chuveiro e torneiras do lavatório e da cozinha. No Brasil uma das bacias sanitárias mais econômicas é a da Acquamatic (2020), com acionamento único e consumo de 2L. Quanto ao chuveiro, a OMS recomenda que a duração mínima do banho seja de 5min e há dispositivos no mercado com vazões de até 3L/min.

- Cenário 1 (C1): Habitação brasileira na zona urbana segundo modelo de Ferreira e Gonçalves (2019);
- Cenário 2 (C2): Habitação brasileira na zona urbana com: bacia sanitária com vazão fixa de 0,4L/s e duração fixa de 5s; chuveiro com vazão fixa em 3L/min e duração fixa de 5min; lavatório com restritor de vazão de 2L/min;

Para analisar os dois cenários, foi simulada a demanda de cada um por 24h de um dia útil para usuários com o padrão comportamental estimado com base nas experiências dos autores, conforme Tabela 4.

		Acordar	Sair de casa	Retornar	Dormir
18 a 65 anos (75%)	μ	5:30:00	07:30:00	19:30:00	22:30:00
	σ	01:00:00	00:30:00	00:45:00	01:30:00
18 a 65 anos (25%)	μ	8:00:00	10:00:00	14:00:00	23:30:00
	σ	01:00:00	03:00:00	04:00:00	01:00:00
Até os 17 anos (matutino 60%)	μ	6:00:00	07:30:00	12:30:00	22:30:00
	σ	01:00:00	00:30:00	00:30:00	01:00:00
Até os 17 anos (vespertino 40%)	μ	09:30:00	13:00:00	18:00:00	01:00:00
	σ	01:00:00	00:30:00	00:30:00	01:30:00
A partir dos 65 anos	μ	05:30:00	10:00:00	14:00:00	21:30:00
	σ	01:00:00	03:00:00	04:00:00	00:30:00

Tabela 4: Padrão horário comportamental do usuário segundo distribuição normal por faixa etária.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

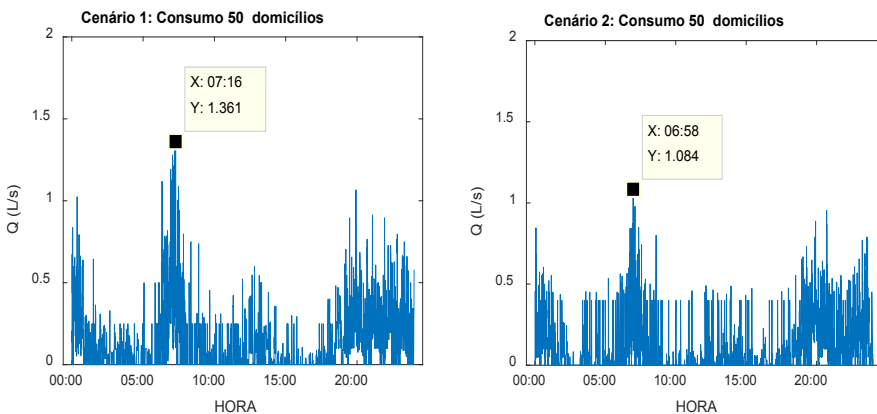
De acordo com o padrão comportamental foram simulados os eventos de demanda para 50, 500 e 5000 domicílios por hora, conforme a Figura 3 e Tabela 5, detalhando o consumo por amostra populacional e tipo de aparelho e sinalizando os picos de demanda nos períodos diurno e noturno.

Em todos os cenários o consumo por aparelho e por amostra não variou linearmente com a quantidade de domicílios, tal fato deve-se a estocasticidade do modelo, o que lhe confere a possibilidade de avaliação de cenários distintos.

Conforme a Figura 3, há uma concentração de picos de demanda na faixa horária da manhã e da noite, tais eventos se associam ao padrão comportamental inserido no modelo. Contudo, ainda que o intervalo etário tenha uma influência direta no comportamento horário dos eventos, ele não influi nos parâmetros de consumo, ou seja, os aparelhos ainda obedecem aos padrões da Tabela 4 sem considerar, por exemplo, os casos em que o período dentro de casa é prolongado, devido à falta de estudos que considerem a correlação dos parâmetros de consumo com variáveis como gênero, idade e tempo no interior da habitação.

Devido à aplicação de aparelhos mais eficientes em C2, o consumo de água foi 40% menor do que em C1 em todas as amostras e, analogamente, houve uma redução nos picos de demanda, evidenciando como o uso eficiente em aparelhos com maior potencial de demanda no horários de pico podem atenuar eventos de sobrecarga no SAA.

Para análise da confiabilidade pode-se comparar o consumo médio per capita do primeiro cenário (Tabela 6), em que os parâmetros foram obtidos por estudos na cidade de São Paulo, com demais estudos. Barreto (2008) obteve 152.7 L/dia/hab. e Rocha e Barreto (1999) 109 L/dia/hab. para os mesmos usos na cidade de São Paulo, em apartamentos.



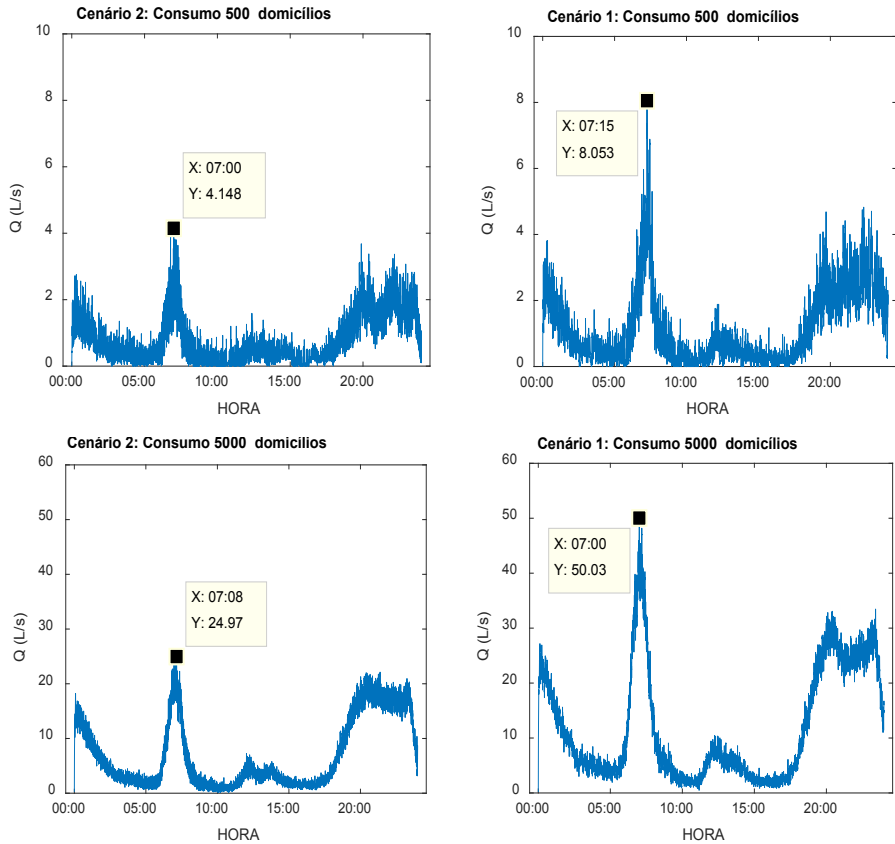


Figura 3: Vazão (Q) em L/s por hora, cenários C1 e C2.

Cenário 1

	B. S.	Lavatório	Chuveiro	Pia	Tanque	MQL	Total C1
50	7,485	2,988	5,273	1,981	257	1,728	19,712
500	67,02	28,547	45,775	20,744	2,233	22,032	186,351
5000	656,415	281,67	463,84	205,37	23,131	221,616	1,852,042

Cenário 2

	B. S.	Lavatório	Chuveiro	Pia	Tanque	MQL	Total C2
50	860	2,925	2,85	2,029	179	2,16	11,003
500	8,818	28,438	25,485	20,536	2,26	21,744	107,281
5000	86,682	282,82	255,6	207,52	22,719	220,464	1,075,805

Tabela 5: Consumo total por aparelho e número de domicílios cenários C1 e C2.

Cenários	Número de domicílios		
	50	500	5000
C2	85	83	83
C1	152	143	142

Tabela 6: Consumo médio em L/dia/hab. por amostra populacional nos cenários C1 e C2.

A partir das simulações criadas também é possível obter coeficientes multiplicadores de demanda, como o K2. O coeficiente K2, que é a relação entre a máxima vazão horária e a vazão média do maior dia de consumo, utilizado para determinação da demanda de água para dimensionamento do SAA, variou conforme o tamanho das amostras, diferente do disposto na NBR 9649 (1986) em que o valor é fixado em 1,5. Conforme a Figura 4, o coeficiente apresenta em ambos cenários uma relação inversa ao tamanho das amostras, mas com tendência de estabilização em grandes agrupamentos populacionais.

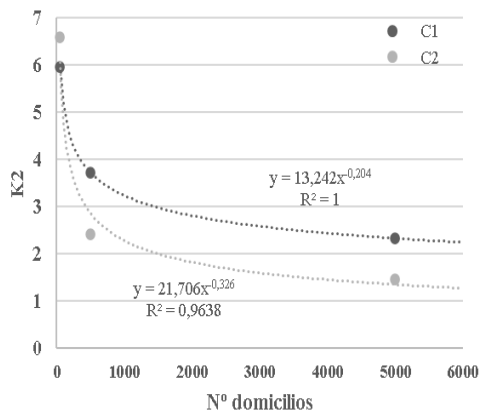


Figura 4: Coeficiente K2 por amostra cenários C1 e C2.

CONCLUSÃO

A caracterização da demanda é fundamental para a utilização adequada de recursos financeiros nos sistemas de abastecimentos, logo sua análise e diagnósticos devem ser realizados continuamente. A aplicação de aparelhos eficientes é um dos pilares para melhor gestão da demanda e melhor aproveitamento dos recursos hídricos.

O modelo criado atua como uma ferramenta com bom potencial de uso para dimensionamento dos SAA's, capaz de caracterizar a demanda dos microcomponentes em diferentes agrupamentos populacionais com resultados dentro da margem encontrada na literatura para a mesma região de estudo, além de poder calcular coeficientes multiplicadores de demanda utilizados em projetos de abastecimento de água e de esgoto sanitário. Nele

nota-se que a aplicação de medidas de gestão da demanda de forma hierárquica nos aparelhos com maior potencial de uso em horários de pico uniformiza a demanda e, por conseguinte, atenua eventos de sobrecargas no SAA, tal que uso eficiente do chuveiro, lavatório e bacia sanitária reduziu cerca de 40% do consumo total.

Para uma análise mais apurada de cada cenário deve-se considerar mais iterações, períodos mais longos, mais usos e cenários distintos, assim como a influência do gênero nas variáveis de consumo.

REFERÊNCIAS

ACQUAMATIC DO BRASIL (2020). Loja virtual de hidráulica. 2020. Disponível em: https://acquamatic.loja2.com.br/3902758-_Vaso-Sanitario-Acquamatic-Karoll-ModCaixaAcoplada. Acesso em: 20.05. 2020

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1986). NBR 9646— Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. Rio de Janeiro.

BARRETO, Douglas. 2008) Perfil do consumo residencial e usos finais da água. Ambiente Construído, v. 8, n. 2, p. 23-40. Disponível em: < <https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/download/5358/3280>>

BARRETO, D.; MEDEIROS, O. (1999). Caracterização da vazão e frequência de uso de aparelhos sanitários. Ambiente Construído, v. 8, n. 4, p. 137–149. Disponível em: <seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/download/5939/4713>.

BARRETO, D.; ROCHA, A.L. (1999) Caracterização do consumo de água de aparelhos sanitários economizadores de água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20. Rio de Janeiro. Anais...

BLOKKER, E. J. M., VREEBURG, J. H. G., AND VAN DIJK, J. C. (2010). “Simulating residential water demand with a stochastic end-use model.” J. Water Resour. Plann. Manage., 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000002, 19–26.

FEITAL, J. C. D. C., SPERS, E. E., NOVAES NETTO, A. F. D., SPERS, V. R. E., & PONCHIO, M. C. (2008). O consumo consciente da água: um estudo do comportamento do usuário doméstico.

FERREIRA, T. D. V., & GONCALVES, O. M. (2019). Stochastic simulation model of water demand in residential buildings. Building Services Engineering Research and Technology, 0143624419896248

GHALEHKHONDABI, I., ARDJMAND, E., YONG II, W. A. & WEECKMAN, G. R. (2017) Water demand forecasting: review of soft computing methods. Environmental Monitoring and Assessment 189–313. doi:10.1007/s10661-017-6030-3.

ILHA, M. S. d. O.; GONÇALVES, O. M. (1991) Estudos de parâmetros relacionados com a utilização de água quente em edifícios residenciais. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, v. 38.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2011). Sinopse do censo demográfico. Rio de Janeiro.

OLIVEIRA, L. H. de et al. (2013). Modelling of water demand in building supply systems using fuzzy logic. *Building Services Engineering Research and Technology*, v. 34, n. 2, p. 145–163. ISSN 0143-6244. Disponível em: <<http://bse.sagepub.com/cgi/doi/10.1177/0143624411429381>>.

BARRETO, D.; ROCHA, A.L. (1999) Caracterização do consumo de água de aparelhos sanitários economizadores de água. 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES. Rio de Janeiro.

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

Data de aceite: 23/06/2021

Eduardo Antonio Maia Lins

Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP
e Instituto Federal de Pernambuco - IFPE

Giselle de Freitas Siqueira Terra

Universidade Católica de Pernambuco

Sérgio de Carvalho Paiva

Universidade Católica de Pernambuco

Raphael Henrique dos Santos Batista

Instituto Federal de Pernambuco

Camilla Borges Lopes da Silva

Instituto Federal de Pernambuco

Julia Ximenes Botelho de Melo

Instituto Federal de Pernambuco

Laura Grazielly Silva Candeias

Instituto Federal de Pernambuco

Ana Beatriz Lima de Albuquerque

Instituto Federal de Pernambuco

Marianna Dayane Alves de Souza dos Santos

Instituto Federal de Pernambuco

RESUMO: Atualmente, um dos maiores problemas sobre as áreas urbanas é a perturbação das características da atmosfera no meio urbano. Os principais motivos para essa ocorrência é a substituição de elementos naturais por elementos artificiais, como edificações e impermeabilização do solo. A troca natural de calor é impedida pelo meio artificial e as características do microclima

da região é alterado. O crescimento desordenado dos centros urbanos traz um desconforto quando desalinhado com as condições ambientais. O fenômeno conhecido como Ilhas de Calor é caracterizado pelo aumento da temperatura do ar em áreas formadas por edifícios e baixa densidade arbórea. Este fenômeno é intensificado quando alinhado às altas taxas de emissões atmosféricas. Constatar a ocorrência do fenômeno de ilhas de calor, caracterizar sua intensidade e monitorar seu desenvolvimento em bairros vizinhos da capital de Pernambuco (PE), visando a contribuição para formulação de ideias que visem o seu controle foi o objetivo deste trabalho. Foram realizadas medições utilizando sensores de temperatura e umidade em três pontos, tendo como referência uma área com significativa densidade de vegetação, e outros pontos localizados no Bairro da Boa Vista e Soledade. Os dados foram recolhidos a cada meia hora registrando-os simultaneamente em cada local sendo a medição realizada em horário de diminuição do índice de ultravioleta, entre 14h e 16h. Os dados históricos mostraram um aumento gradual da temperatura na cidade e uma diminuição na umidade. Já com relação aos dados de campo, houve uma gradativa diferença entre a área com representação de unidades arbóreas e a área coberta por edificações e solo impermeabilizado. A área com maior densidade verde obteve uma temperatura relativamente menor com relação às outras áreas.

PALAVRAS-CHAVE: Temperatura, Impermeabilização, Vegetação, Umidade, Variação.

ABSTRACT: Currently, one of the biggest problems in urban areas is the disturbance of the characteristics of the atmosphere in the urban environment. The main reasons for this occurrence is the replacement of natural elements by artificial elements, such as buildings and soil waterproofing. The natural exchange of heat is prevented by the artificial medium and the characteristics of the region's microclimate are altered. The disorderly growth of urban centers brings discomfort when out of alignment with environmental conditions. The phenomenon known as Islands of Heat is elevated by the increase in air temperature in areas formed by buildings and low tree density. This phenomenon is intensified when aligned with the high rates of atmospheric rates. The objective of this work was to verify the occurrence of the phenomenon of heat islands, characterize its intensity and monitor its development in neighborhoods neighboring the capital of Pernambuco (PE). Temperature and humidity sensors were used at three points, with reference to an area of vegetation density, and other points present about Boa Vista and Soledade. The data were collected every half hour, recording them simultaneously in each location, and the one performed at a time of decrease in the ultraviolet index, between 2:00 pm and 4:00 pm. Historical data identified a gradual increase in temperature in the city and a decrease in humidity. Regarding field data, there was a gradual difference between an area with representation of tree units and an area covered by buildings and waterproofed soil. The area with the highest green density obtained a relatively lower temperature compared to the other areas.

KEYWORDS: Temperature, Waterproofing, Vegetation, Humidity, Variation.

INTRODUÇÃO

Atualmente, um dos maiores problemas sobre as áreas urbanas é a perturbação das características da atmosfera no meio urbano. Os principais motivos para essa ocorrência é a substituição de elementos naturais por elementos artificiais, como edificações e impermeabilização do solo. A troca natural de calor é impedida pelo meio artificial e as características do microclima da região é alterado. O crescimento desordenado dos centros urbanos traz um desconforto quando desalinhado com as condições ambientais. O fenômeno conhecido como Ilhas de Calor é caracterizado pelo aumento da temperatura do ar em áreas formadas por edifícios e baixa densidade arbórea.

O desequilíbrio causado pelas mudanças devido ao crescimento desenfreado das cidades dá vez ao fenômeno de Ilhas de Calor caracterizado pelo aumento da temperatura do ar em áreas predominantemente formada por edifícios e pela baixa disponibilidade de unidades arbóreas. Quando esses fatores se aliam às altas taxas de emissões atmosféricas causadas por carros e indústrias, temos a intensificação deste fenômeno. Embora seja um tema bastante conhecido pela comunidade acadêmica e até mesmo pelo senso comum, a prefeitura da Região Metropolitana do Recife (RMR) falha ao identificar e corrigir os pontos de incidências de ilhas de calor, ou seja, não há uma ação mitigadora por parte do governo para tratar desde fenômeno que tanto causa desconforto à população.

Segundo os estudos apontados por Santos (2011), as ilhas de calor podem ser analisadas sob os aspectos das variações espaciais e temporais, fatores que vão determinar

a intensidade e frequência do fenômeno. A cidade do Recife/PE, possui as características necessárias para ocorrência do fenômeno, especificamente nos bairros mais movimentados por conta do centro de comércio instalado ao longo das Avenidas. Um estudo feito na cidade de São Paulo mostra que um quadro é refletido na relação entre temperatura do ar e mortalidade no município, onde o acréscimo de 1 °C na temperatura média corresponde a um aumento de 3,46% da mortalidade geral e 3,26% das cardiovasculares e respiratórias (McMICHAEL et al., 2008).

Atualmente, um dos maiores problemas sobre as áreas urbanas é a perturbação das características da atmosfera urbana. Os principais motivos, segundo Acero et al. (2012), são: (a) impermeabilização das superfícies naturais, devido à introdução de materiais artificiais; (b) presença de novos obstáculos interagindo com o fluxo de ar e (c) emissões de partículas e poluentes. Uma das primeiras publicações sobre o aspecto do clima urbano foi de Alves e Specian (2009), neste artigo os autores buscaram verificar a existência de variações térmicas e higrométricas em quatro pontos de coleta na área urbana de Iporá-GO, estes pontos se diferenciavam basicamente no uso e ocupação do solo. A pesquisa de Oliveira e Alves (2013) verificou os padrões da temperatura e da umidade entre duas praças públicas de Iporá, que se diferenciavam pela densidade de vegetação. Segundo Alves (2017) as cidades podem gerar um clima próprio, denominado de clima urbano e os fatores geourbanos são os responsáveis por esta modificação em escala local.

O objetivo geral desse trabalho foi analisar a ocorrência do fenômeno de ilhas de calor, caracterizar sua intensidade e monitorar seu desenvolvimento em bairros vizinhos na cidade do Recife-PE, visando a contribuição para formulação de ideias que visem o seu controle.

METODOLOGIA

Área de Estudo

O bairro da Boa Vista possui uma área de 176 hectares e uma população residente de 14.778 habitantes (Figura 1), segundo a Prefeitura da Cidade do Recife (2019). Este bairro abriga a Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP), além de abrigar a Avenida Conde da Boa Vista onde transitam mais de 400 mil veículos, podendo ser chamada de trajeto inevitável para quem circula pelo Recife. As belezas e os problemas do bairro são cenários da vida de muitos.

É neste espaço plural que se tem uma das mais vigorosas expressões urbanas da cidade do Recife: edificações de vários estilos arquitetônicos (esculturas à base de calcário) e épocas construtivas distintas, sobretudo o casario mais antigo, com seus sobrados magros e altos, que utilizavam mármore em suas fachadas; o traçado antigo da cidade de feições “medievais”, com suas vielas, becos e ruas estreitas; e o novo, com largas avenidas e espaços abertos convivem entre si com grande “tolerância” cultural,

formando um exemplo vivo dessa expressão, que ao mesmo tempo promove e materializa a história da própria cidade (Prefeitura da Cidade do Recife, 2019).

O bairro da Soledade surgiu em 1988, através de um decreto municipal, cuja área pertencia ao Bairro da Boa Vista. Ocupa uma área territorial de 32,4 ha (Figura 1), o antigo novo bairro conta com uma população residente de 2.201 habitantes. Este pequeno bairro foi cenário de fatos históricos e políticos, abrigou a famosa indústria de refrigerante Fratelli Vitta, tradicionais instituições de ensino, simpáticas casas residenciais localizadas em suas ruas estreitas e algumas sombreadas por árvores centenárias. Apesar de todas as transformações e certo abandono, o Bairro conserva alguns atrativos que merecem atenção, conservação e inclusão na atividade turística (Prefeitura da Cidade do Recife, 2019).

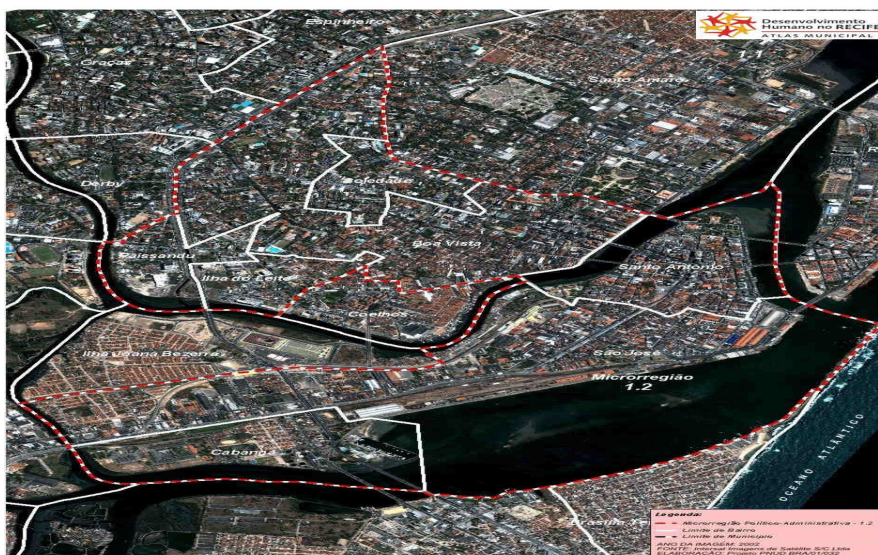


Figura 1. Bairros da Boa Vista e da Soledade.

Fonte: Prefeitura da Cidade do Recife (2019).

A escolha dos pontos para os bairros foi baseada em locais de grande fluxo de veículos e áreas verdes, onde teoricamente poderia se observar maiores variações de ilhas de calor. Nos Bairros da Boa Vista e Soledade, teve como uma das referências a área dentro da Universidade Católica de Pernambuco, representando uma área com densidade arbórea relevante. Os pontos fecham um triângulo onde a distância do ponto “A” ao ponto “B” é de 235,05 metros, do ponto “B” ao ponto “C” é de 132,06 metros e do ponto “C” ao ponto “A” é de 313,35 metros. Resumidamente, foram distribuídos 3 pontos:

Ponto 01 – Localizado na Universidade Católica de Pernambuco, no estacionamento dos professores e funcionários. (8°03'16" S; 34°53'14" W)

Ponto 02 – Localizado na esquina da Rua da Soledade com a Rua do Riachuelo (8°03'23" S; 34°53'20" W).

Ponto 03 – Localizado na Av. Cd. Da Boa Vista (8°03'26" S; 34°53'23" W).

Equipamentos Utilizados

Foram utilizados sensores DHT 22 para coleta dos dados meteorológicos, oferecendo uma acurácia de 2% para umidade e 0,5°C para temperatura com um time de 2 segundos para cada coleta. Este aparelho opera com variações de temperatura que vão de -45°C até 80°C e de 0-100% de umidade relativa do ar. Este equipamento não é à prova d'água, podendo ser danificado facilmente.

Em consonante com este equipamento, foi utilizado também um termohigrometro digital com sensor externo a qual as referências são inexistentes no aparelho que possui acurácia de 1°C para temperatura e 5% para umidade, operando a uma faixa de temperatura que vai de -50°C até 70°C, possuindo um “time” de 10 segundos. Contudo, os sensores DHT22 funcionam junto a uma plataforma Arduino, necessitando um circuito e software para que ele realize sua função em campo.

Metodologia na coleta de dados

O fenômeno de ilhas de calor é definido a partir da diferença de temperatura do ar observada dentro da área urbana ou em comparação com a área rural (FIALHO, 2012), portanto existem diversas metodologias e elas vão definir o curso da pesquisa. A cidade do Recife não dispõe de muitas estações meteorológicas fixas espalhadas pela cidade, por esse motivo se fez necessária aplicar a metodologia de transectos móveis, como retrata Gartland (2011), que consiste em percorrer um trajeto predeterminado por uma região, parando em locais representativos para obter medidas utilizando apenas um tipo de instrumentação meteorológica, nesse caso, o sensor.

Todos os sensores foram calibrados em conjunto, entretanto podem aparecer erros no momento da medição quanto a uma rajada de vento que possa retirar calor do sensor dando uma leitura que não caracterize as ilhas de calor por se tratar de um evento ou até mesmo o fato de algo ou alguém passar próximo ao sensor no momento da medição pode caracterizar numa leitura não válida. As medições foram realizadas de forma manual, deslocando até o ponto determinado e fazendo a leitura do sensor na hora designada no relógio, a cada 30 minutos, começando às 14h e finalizando às 16h. Segundo Alves (2017), normalmente pela manhã, a diferença de temperatura entre áreas urbanas e rurais é geralmente menor. Essa diferença aumenta ao longo do dia conforme as superfícies urbanas absorvem radiação solar e a reemite em forma de ondas longas aquecendo o ar urbano.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta etapa, serão analisados os estudos de ilhas de calor por bairro, apresentando uma comparação dos dados de temperatura e umidade, tendo o Bairro da Boa Vista e da Soledade como um único bairro e o da Boa Viagem como um segundo bairro.

Analisando a Figura 2, do gráfico da umidade versus tempo, notou-se um aumento da umidade na Universidade Católica de Pernambuco (ponto de referência do bairro da Boa Vista) ao final do dia, diferentemente nos outros pontos amostrados. Este fato pode estar relacionado a grande quantidade de cobertura vegetal local e baixo fluxo de veículos quando comparada as demais avenidas.

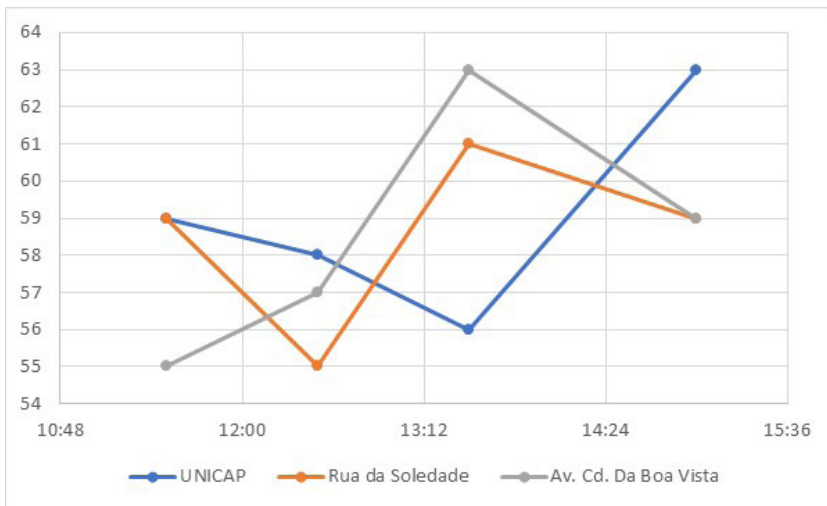


Figura 2. Relação umidade versus tempo nos bairros da Boa Vista e Soledade.

Fonte: Os autores (2019).

A Figura 3, do gráfico da temperatura versus tempo, notou-se, de um modo geral, uma redução da temperatura no decorrer do tempo. Porém, no horário de pico (11h às 12h), constata-se uma acentuada diferença de temperaturas, cerca de 1,5 °C, para distâncias inferiores a 500 metros. Esta tendência pode estar relacionada ao grande fluxo de veículos na avenida Conde da Boa Vista e a ausência de árvores, que são responsáveis pela manutenção da umidade local. De acordo com estudos realizados por Santos (2011) em sua dissertação de mestrado, do período de 1998 a 2010, para os mesmos pontos estudados na cidade do Recife, baseado nas estações ora existentes, observou-se também uma variação de temperatura na ordem de 1,5°C.

O aumento da temperatura pode estar relacionado ao contínuo crescimento da urbanização dos bairros, em função dos ambientes construídos e da impermeabilidade do solo, além da reduzida cobertura vegetal, contribuindo para uma maior concentração de

calor. Como complemento, Taha (1997) afirma que a baixa taxa de evapotranspiração nos ambientes urbanos, devido à retirada da vegetação e pavimentação das superfícies, é o grande causador do incremento das temperaturas do ar durante o dia.

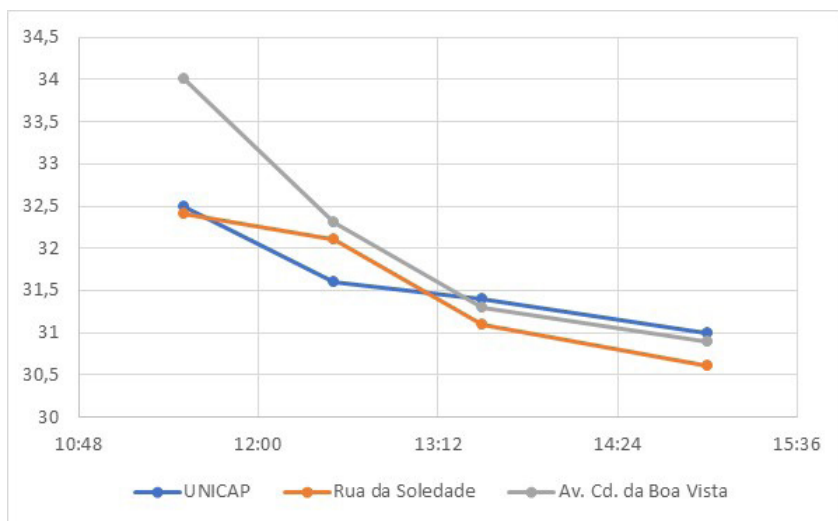


Figura 3. Relação temperatura versus tempo nos bairros da Boa Vista e Soledade.

Fonte: Os autores (2019).

CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos, pode-se considerar que:

- Há diferença de temperatura e umidade quando comparado às áreas que possuem uma boa densidade vegetal e áreas que não possuem unidades arbóreas. Quanto maior a concentração de edifícios e menor a disponibilidade vegetal do local, maior a incidência e intensidade do fenômeno de Ilhas de Calor, logo percebe-se que no bairro da Boa Vista apresenta-se uma incidência deste fenômeno;
- Acha-se um erro atribuído à precisão do sensor, às condições climáticas dos dias de medição e ao próprio processo de operação do equipamento. Entretanto, a tendência da medição aponta para a presença do fenômeno de Ilhas de Calor nos bairros estudados. Todavia para realizar a caracterização da intensidade do fenômeno são necessárias outras ferramentas de trabalho para que se possa reunir um grupo maior de dados para uma precisão maior da média;
- O fenômeno fica mais evidente quando se compara a temperatura entre duas zonas distintas, uma zona rural e zona urbana e, para isto, faz-se necessário um campo de estudo maior que os bairros analisados;
- A presente pesquisa mostra uma pequena diferença no microclima da região

ocasionada pelas Ilhas de Calor em áreas, dentro de um mesmo bairro, com e sem vegetação, sendo influenciada também pelo fluxo de veículos.

REFERÊNCIAS

1. ACERO, J. A. et al. Urban heat island in a coastal urban area in northern Spain. **Theoretical and Applied Climatology**. p. 137 - 154. 2012. ISSN 1434-4483.
2. ALCOFORADO, M. J. Observational studies on summer winds in Lisbon (Portugal) and their influence on daytime regional and urban thermal patterns. *Merhavim*. p. 90 - 112. 2006.
3. ALVES, E. D. L. Ilha de calor urbana em cidade de pequeno porte e a influência de variáveis geourbanas. **Revista Brasileira de Climatologia**. p. 97 - 116. 2017. ISSN 2237-8642.
4. ALVES, E. D. L.; SPECIAN, V. **Contribuição aos estudos do clima Urbano: variação térmica e higrométrica em espaços intra-urbanos**. Mercator. p. 181 - 191. 2009.
5. ASSIS, E. S. de. **Estudo integrado de Ilhas de Calor em áreas urbanas e sua contribuição ao planejamento: O caso de Belo Horizonte, MG**. Fórum Patrimônio. p. 69 - 83. 2011.
6. BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo em São Paulo-SP. **Geosp – Espaço e Tempo**. p. 160 - 177. 2016. ISSN 2179-0892.
7. BRASIL, IBGE. **Censo Demográfico**. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 20 de Fevereiro de 2019.
8. CHRISTEN, A.; VOGT, R. Energy and radiation balance of a Central European city. **International Journal of Climatology, Chichester**, v.24, p.1.395-1.421, 2004.
9. ELAGIB, N. A. Evolution of urban heat island in Khartoum. **International Journal of Climatology**. p. 1377 - 1388. 2011.
10. FERREIRA, M. J.; OLIVEIRA, A. P.; SOARES, J.. Anthropogenic heat in the city of São Paulo, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**. p. 9 - 19. 2010. ISSN 1434-4483.
11. FIALHO, E. S. **Ilhas de Calor: reflexões acerca de um conceito**. ACTA Geográfica. p. 61 - 76. 2012.
12. GARTLAND, L., **Ilhas de Calor: Como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
13. GRIMMOND, C. S. B. et al. Local-scale fluxes of carbon dioxide in urban environments: methodological challenges and results from Chicago. **Environmental pollution**. 2002.
14. MOHAN, M. et al. Urban Heat Island Assessment for a Tropical Urban Airshed in India. **Atmospheric and Climate Sciences**. p. 127 - 138. 2012.

15. McMICHAEL, A. J. et al. International study of temperature, heat and urban mortality: the 'ISOTHURM' project. **International Journal of Epidemiology**. p. 1121 - 1131. 2008.
16. OKE, T. R. **Boundary layer climates**. Florence, Kentucky, USA: Routledge, 1987.
17. OKE, T. R. The energy balance of central Mexico City during the dry season. **Atmospheric Environment**. p. 3919 - 3930. 1999.
18. OLIVEIRA, M. DE; ALVES, W. S. A influência da vegetação no clima urbano de cidades pequenas: um estudo sobre as praças públicas de Iporá-GO. **Revista Territorial**. p. 61 - 77. 2013.
19. Prefeitura da Cidade do Recife. Serviços para o turista. Disponível em: <www2.recife.pe.gov.br>. Acesso em: 16 de fevereiro de 2019.
20. SANTOS, T. O; **Identificação de Ilhas de Calor em Recife-PE por meio de sensoriamento remoto e dados meteorológicos de superfície**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Recife, PE, 2011.
21. SZUCS, Á. Wind comfort in a public urban space: Case study within Dublin Docklands. **Frontiers of Architectural Research**. p. 50 - 66. 2013.
22. TAHA, H. Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. **Energy and Buildings**, n. 25

SOBRE O ORGANIZADOR

CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA - Técnico em química pelo Colégio Profissional de Uberlândia (2008), Bacharel em Química pela Universidade Federal de Uberlândia (2010), Licenciado em Química pela Universidade de Uberaba (2011). Especialista em Metodologia do Ensino de Química e em Docência do Ensino Superior pela Faculdade JK Serrana em Brasília (2012). Mestre em Química pela Universidade Federal de Uberlândia (2015), com ênfase em desenvolvimento de bioadsorvente para remoção dos íons metálicos As(V), Sb (III) e Se (IV) em diferentes matrizes aquáticas. Doutor em Química pela Universidade Federal de Uberlândia (2018), com ênfase em Processos Oxidativos Avançados [fotocatálise heterogênea ($\text{TiO}_2/\text{UV-A}$ e $\text{TiO}_2/\text{Solar}$, $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-C}$) para remoção de contaminantes de interesse emergente (CIE) em diferentes matrizes aquáticas. Atualmente realiza Pós-doutorado (maio de 2020 a maio de 2022) na Universidade Federal de Uberlândia com ênfase em aplicação de novos agentes oxidantes empregando radiação solar para remoção de CIE em efluentes provenientes de estação de tratamento de esgoto. Possui 11 anos de experiência como técnico em química no Instituto Federal de Goiás, tendo atuado como responsável por análises de parâmetros físico-químicos e biológicos de águas e efluentes provenientes de estação de tratamento de esgoto. Atualmente, vem atuando nas seguintes linhas de pesquisa: (i) Desenvolvimento de novas metodologias para tratamento e recuperação de resíduos químicos gerados em laboratórios de instituições de ensino e pesquisa; (ii) Estudos de monitoramento de CIE; (iii) Desenvolvimento de novas tecnologias avançadas para remoção de CIE em diferentes matrizes aquáticas; (iv) Aplicação de processos oxidativos avançados ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV-C}$, $\text{TiO}_2/\text{UV-A}$ e foto-Fenton e outros) para remoção de CIE em efluentes provenientes de estação de tratamento de esgoto para fins de reutilização; (v) Estudo e desenvolvimento de novos bioadsorventes para remediação ambiental de CIE em diferentes matrizes aquáticas e (vi) Educação Ambiental.

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



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



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