



Helenton Carlos Da Silva
(Organizador)

Demandas Essenciais para o Avanço da Engenharia Sanitária e Ambiental 4

Atena
Editora

Ano 2020



Helenton Carlos Da Silva
(Organizador)

Demandas Essenciais para o Avanço da Engenharia Sanitária e Ambiental 4

Atena
Editora

Ano 2020

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Geraldo Alves

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. 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.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

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

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

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. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

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 Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

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

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador

Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano

Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. 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
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Msc. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Msc. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Msc. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Msc. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Msc. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof^a Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^a Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^a Dr^a Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Msc. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Msc. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Msc. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^a Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof^a Msc. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

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

D371 Demandas essenciais para o avanço da engenharia sanitária e ambiental 4 [recurso eletrônico] / Organizador Helenton Carlos da Silva. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2020.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-85-7247-952-3
DOI 10.22533/at.ed.523202101

1. Engenharia ambiental. 2. Engenharia sanitária. I. Silva, Helenton Carlos da.

CDD 628.362

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “*Demandas Essenciais para o Avanço da Engenharia Sanitária e Ambiental*” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora, em seu III volume, apresenta, em seus 29 capítulos, discussões de diversas abordagens acerca da importância da engenharia sanitária e ambiental, tendo como base suas demandas essenciais interfaces ao avanço do conhecimento.

Os serviços inerentes ao saneamento são essenciais para a promoção da saúde pública, desta forma, a disponibilidade de água em quantidade e qualidade adequadas constitui fator de prevenção de doenças, onde a água em quantidade insuficiente ou qualidade imprópria para consumo humano poderá ser causadora de doenças; observa-se ainda o mesmo quanto à inexistência e pouca efetividade dos serviços de esgotamento sanitário, limpeza pública e manejo de resíduos sólidos e de drenagem urbana.

Destaca-se ainda que entre os muitos usuários da água, há um setor que apresenta a maior interação e interface com o de recursos hídricos, sendo ele o setor de saneamento.

O plano de saneamento básico é o instrumento indispensável da política pública de saneamento e obrigatório para a contratação ou concessão desses serviços. A política e o plano devem ser elaborados pelos municípios individualmente ou organizados em consórcio, e essa responsabilidade não pode ser delegada. O Plano deve expressar o compromisso coletivo da sociedade em relação à forma de construir o saneamento. Deve partir da análise da realidade e traçar os objetivos e estratégias para transformá-la positivamente e, assim, definir como cada segmento irá se comportar para atingir as metas traçadas.

Dentro deste contexto podemos destacar que o saneamento básico é envolto de muita complexidade, na área da engenharia sanitária e ambiental, pois muitas vezes é visto a partir dos seus fins, e não exclusivamente dos meios necessários para atingir os objetivos almejados.

Neste contexto, abrem-se diversas opções que necessitam de abordagens disciplinares, abrangendo um importante conjunto de áreas de conhecimento, desde as ciências humanas até as ciências da saúde, obviamente transitando pelas tecnologias e pelas ciências sociais aplicadas. Se o objeto saneamento básico encontra-se na interseção entre o ambiente, o ser humano e as técnicas podem ser facilmente traçados distintos percursos multidisciplinares, potencialmente enriquecedores para a sua compreensão.

Neste sentido, este livro é dedicado aos trabalhos relacionados a estas diversas demandas essenciais do conhecimento da engenharia sanitária e ambiental. A importância dos estudos dessa vertente é notada no cerne da produção do

conhecimento, tendo em vista o volume de artigos publicados. Nota-se também uma preocupação dos profissionais de áreas afins em contribuir para o desenvolvimento e disseminação do conhecimento.

Os organizadores da Atena Editora agradecem especialmente os autores dos diversos capítulos apresentados, parabenizam a dedicação e esforço de cada um, os quais viabilizaram a construção dessa obra no viés da temática apresentada.

Por fim, desejamos que esta obra, fruto do esforço de muitos, seja seminal para todos que vierem a utilizá-la.

Helenton Carlos da Silva

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ALGORITMO DE BUSCA EXAUSTIVA PARALELA EM PROBLEMAS DE OTIMIZAÇÃO EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	
Artemisa Fontinele Frota Luís Henrique Magalhães Costa Rafael Pereira Maciel Marco Aurélio Holanda De Castro	
DOI 10.22533/at.ed.5232021011	
CAPÍTULO 2	25
POÇO ARTESIANO; AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA QUE ABASTECE A ZONA RURAL NO MUNICÍPIO DE CALÇADO-PE	
Angela Maria Coêlho de Andrade Caio Cesário de Andrade	
DOI 10.22533/at.ed.5232021012	
CAPÍTULO 3	38
AVALIAÇÃO DE DIGESTOR ANAERÓBIO PARA OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL E VIABILIZAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DO BIOGÁS NA GERAÇÃO DE ENERGIA	
Felipe R. A. dos Santos Clément Van Vlierberghe Guilherme F. Campos	
DOI 10.22533/at.ed.5232021013	
CAPÍTULO 4	52
AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE BOVINOCULTURA, SUINOCULTURA E LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE MILHO (<i>Zea mays</i> L.)	
Rhégia Brandão da Silva Leonardo Duarte Batista da Silva Alexandre Lioi Nascentes Antonio Carlos Faria de Melo Dinara Grasiela Alves Everaldo Zonta João Paulo Francisco Marcos Filgueiras Jorge	
DOI 10.22533/at.ed.5232021014	
CAPÍTULO 5	76
DESENVOLVIMENTO DE APLICAÇÃO WEB APLICADA À HIDRÁULICA DE CANAIS	
Lenise Farias Martins Rafael Pereira Maciel Luis Henrique Magalhães Costa	
DOI 10.22533/at.ed.5232021015	

CAPÍTULO 6 86

ESTUDO EXPERIMENTAL E MODELAGEM MATEMÁTICA DE UM REATOR ANAERÓBIO HORIZONTAL DE LEITO FIXO (RAHLF) PARA TRATAMENTO BIOLÓGICO DE EFLUENTE SINTÉTICO CONTENDO D-LIMONENO

Arnaldo Sarti
Bruna Sampaio de Mello
Brenda Clara Gomes Rodrigues
Maria Angélica Martins Costa
Samuel Conceição de Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.5232021016

CAPÍTULO 7 98

ESTIMATIVA DE REDUÇÃO DE PERDAS ATRAVÉS DO CONTROLE DE PRESSÃO – MODELO HIDRÁULICO DO SISTEMA MORROS DA ZONA NORTE DO RECIFE-PE

Marcos Henrique Vieira de Mendonça
Hudson Tiago dos S. Pedroso

DOI 10.22533/at.ed.5232021017

CAPÍTULO 8 111

ESTUDO DA VULNERABILIDADE DA ÁGUA SUBTERÂNEA NO DISTRITO INDUSTRIAL DE ICOARACI (BELÉM-PA)

Ana Carla Leite Carvalho
Leonardo Augusto Lobato Bello
Ronaldo Lopes Rodrigues Mendes
Marco Valério Albuquerque Vinagre

DOI 10.22533/at.ed.5232021018

CAPÍTULO 9 122

ESTUDO DE ÁREA DE RISCO DEVIDO À EROÇÃO HÍDRICA EM TRECHO DO CÓRREGO AFONSO XIII EM TUPÃ / SP – CAUSAS E SOLUÇÃO

José Roberto Rasi
Roberto Bernardo
Cristiane Hengler Corrêa Bernardo

DOI 10.22533/at.ed.5232021019

CAPÍTULO 10 136

FATORES DETERMINANTES PARA GESTÃO DA MANUTENÇÃO ELETROMECÂNICA EFICAZ EM UMA EMPRESA DE SANEAMENTO

Karlos Eduardo Arcanjo da Cruz
Tiago Pontual Waked
Bruno Roberto Gouveia Carneiro da Cunha

DOI 10.22533/at.ed.52320210110

CAPÍTULO 11 145

FISCALIZAÇÃO TÉCNICO-OPERACIONAL REMOTA DA PRESTAÇÃO DE SERVIÇO DE ÁGUA E ESGOTO – DO PLANEJAMENTO A EXECUÇÃO

Flávia Oliveira Della Santina
Rodolfo Gustavo Ferreras

DOI 10.22533/at.ed.52320210111

CAPÍTULO 12	161
GESTÃO E CONSERVAÇÃO DE ÁGUA: ALTERNATIVAS PARA MELHORAR O ATENDIMENTO DAS DEMANDAS HÍDRICAS DO CENTRO DE CONVENÇÕES DE PERNAMBUCO	
Amanda Almeida de Oliveira Figueiredo Simone Rosa da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.52320210112	
CAPÍTULO 13	180
APLICAÇÃO DE NOVAS TECNOLOGIAS EM HIDROMETRIA COM BASE EM ESTUDOS DE VIABILIDADE ECONÔMICO FINANCEIRO	
Luiz Claudio Drumond	
DOI 10.22533/at.ed.52320210113	
CAPÍTULO 14	190
METODOLOGIA DE LEVANTAMENTO DE DADOS DE PROJETO DE SANEAMENTO APLICADA AO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA REGIÃO DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE BRASÍLIA PRESIDENTE JUSCELINO KUBITSCHKE UTILIZANDO O SOFTWARE EPANET	
Stefan Igreja Mühlhofer Carolina Silva de Oliveira Sá Teles	
DOI 10.22533/at.ed.52320210114	
CAPÍTULO 15	204
VISITAS DOMICILIARES JUNTO À POPULAÇÃO BENEFICIÁRIA DE OBRAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA – UMA ABORDAGEM SOCIOAMBIENTAL EM CAICÓ – RN	
Julyenne Kerolainy Leite Lima Marília Adelino da Silva Lima Teonia Casado da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.52320210115	
CAPÍTULO 16	212
OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL DE RESERVATÓRIO NA BUSCA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (RESERVATÓRIO DE JORDÃO DE 90.000 M ³ , SISTEMA PIRAPAMA-PE)	
Hudson Tiago dos S. Pedrosa	
DOI 10.22533/at.ed.52320210116	
CAPÍTULO 17	228
PERSPECTIVA DOS 20 ANOS DA LEI N°9.433/97: PERCEPÇÕES DOS COMITÊS DE BACIA HIDROGRÁFICA E DOS ÓRGÃOS GESTORES DE RECURSOS HÍDRICOS ACERCA DO ENQUADRAMENTO DE CORPOS D'ÁGUA	
Paulo Eduardo Aragon Marçal Ribeiro Mônica de Aquino Galeano Massera da Hora	
DOI 10.22533/at.ed.52320210117	

CAPÍTULO 18	238
PRÉ-DIAGNÓSTICO DAS EFICIÊNCIAS ELETROMECÂNICAS E HIDROENERGÉTICAS DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA A PARTIR DO CONSUMO ENERGÉTICO NORMALIZADO	
Luis Henrique Pereira da Silva Karlos Eduardo Arcanjo da Cruz Leonardo Nascimento de Oliveira Milton Tavares de Melo Neto Hudson Tiago dos Santos Pedrosa	
DOI 10.22533/at.ed.52320210118	
CAPÍTULO 19	247
PROCEDIMENTO PARA AVALIAÇÃO DE ALTERNATIVAS DE REUSO DE ÁGUA EM SISTEMAS RESFRIAMENTO	
Ewerton Emmanuel da Silva Calixto Fernando Luiz Pellegrini Pessoa Lidia Yokoyama Sérgio Pagnin Andréa Azevedo Veiga	
DOI 10.22533/at.ed.52320210119	
CAPÍTULO 20	260
PROGRAMA DE MONITORAMENTO DA LAGOA DA GAROPABA DO SUL/SC COM VISTAS A EFETIVA EXECUÇÃO DOS INVESTIMENTOS DO CONTRATO DE CONCESSÃO EM SANEAMENTO	
Ricardo Martins Anderson Sandrini Botega Eduardo Silvano Batista Gislaine Lonardi Katia Viviane Motta Martins	
DOI 10.22533/at.ed.52320210120	
CAPÍTULO 21	274
PROJETO DE AÇÃO SOCIAL ALIADO A EDUCAÇÃO AMBIENTAL NA ESCOLA E SEUS EFEITOS NA COMUNIDADE	
Manuella Andrade Swierczynski	
DOI 10.22533/at.ed.52320210121	
CAPÍTULO 22	293
PROJETO DE EFICIÊNCIA HÍDRICA: REUTILIZAÇÃO DE ÁGUA DESCARTADA POR DESTILADORES	
Roberto Santos de Oliveira Julio Cesar Oliveira Antunes Lucas Olive Pinho Silva Gomes	
DOI 10.22533/at.ed.52320210122	
CAPÍTULO 23	305
PROJETO DE INFRAESTRUTURA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO DESENVOLVIDO ATRAVÉS DA FILOSOFIA BIM	
Marcos André Capitulino de Barros Filho Pedro Henrique Matias Dantas	

Lucas Vieira Fernandes
Aldrin Magno Dantas Siqueira Júnior
DOI 10.22533/at.ed.52320210123

CAPÍTULO 24 318

QUALIDADE DA ÁGUA DOS POÇOS DO BAIRRO JARDIM CABANO DA VILA DOS CABANOS, MUNICÍPIO DE BARCARENA-PA

Claudio Farias de Almeida Junior
Ronaldo Pimentel Ribeiro
Mirian Favacho da Silva Ramos
Amanda Ingrid da Silva Therezo
Márcia de Almeida
Marcos Antônio Barros dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.52320210124

CAPÍTULO 25 327

RECUPERAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM POÇOS TUBULARES PROFUNDOS: O CASO DE VALE DO CATIMBAU

Karlos Eduardo Arcanjo da Cruz
Paulo César Nunes Pinho
José Antônio Charão Cunha
Luis Henrique Pereira da Silva

DOI 10.22533/at.ed.52320210125

CAPÍTULO 26 338

RESPONSABILIDADE SOCIAL E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. AÇÕES QUE FIZERAM A DIFERENÇA NA COMPANHIA DOCAS DO PARÁ/PORTO DE SANTARÉM – PARÁ – AMAZÔNIA

Cristiane da Costa Gonçalves de Andrade
Andrelle Soares Dantas Faria
Paula Danielly Belmont Coelho

DOI 10.22533/at.ed.52320210126

CAPÍTULO 27 349

SANEAMENTO DE QUALIDADE É CONSTRUÍDO COM FOCO EM GESTÃO: A EXPERIÊNCIA DA EMBASA – UNIDADE REGIONAL DE ITABERABA COM A IMPLANTAÇÃO DO MEG

Sebastiana Flávia Lima dos Santos
Gustavo Lima Magalhães Ferreira

DOI 10.22533/at.ed.52320210127

CAPÍTULO 28 360

TOXICOLOGIA AGUDA DE *Rhamdia quelen* EXPOSTOS A XENOBIÓTICOS UTILIZADOS EM LAVOURAS ARROZEIRAS

Jaqueline Ineu Golombieski
Débora Seben
Joseânia Salbego
Elisia Gomes da Silva

DOI 10.22533/at.ed.52320210128

CAPÍTULO 29	370
--------------------------	------------

TRATAMENTO NATURAL DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE PISCICULTURA COM USO DE SEMENTE DE MORINGA OLEIFERA

Edilaine Regina Pereira
Maik Mauro Alves
Bruna Ricci Bicudo
Dandley Vizibelli
Fellipe Jhordã Ladeia Janz

DOI 10.22533/at.ed.52320210129

SOBRE O ORGANIZADOR.....	383
---------------------------------	------------

ÍNDICE REMISSIVO	384
-------------------------------	------------

AVALIAÇÃO DE DIGESTOR ANAERÓBIO PARA OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL E VIABILIZAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DO BIOGÁS NA GERAÇÃO DE ENERGIA

Data de aceite: 09/01/2020

Felipe R. A. dos Santos

Companhia Catarinense de Águas e Saneamento de Santa Catarina (CASAN), Brasil – Gerência de Políticas Operacionais.

e-mail: frsantos@casan.com.br

Clément Van Vlierberghe

Université de Technologie de Compiègne (UTC), Sorbonne Universités, França – Departamento de Engenharia Biológica. Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC.

Guilherme F. Campos

Companhia Catarinense de Águas e Saneamento de Santa Catarina (CASAN), Brasil – Gerência de Políticas Operacionais.

RESUMO: Reatores anaeróbios são ferramentas eficientes à problemática de remoção da matéria orgânica e sua conversão em biogás, sendo solução interessante na produção de energia sustentável, possibilidade de valorização do biogás como precursor da combustão em motores de cogeração e na redução do volume de lodo, reduzindo custos operacionais. O objetivo do trabalho foi avaliar o reator anaeróbio da ETE Canasvieiras operada pela Concessionária CASAN e obter informação para a otimização da produção do biogás para viabilizar sua utilização na cogeração de

energia. Análises de AGV no reator mostraram uma média de $330 \pm 51 \text{ mg.L}^{-1}$, indicando que o reator estava estável durante a alta vazão da alta temporada. Entretanto, observou-se um BMP médio para o lodo físico-químico de $153,5 \text{ NmL}_{\text{CH}_4} \cdot \text{g}_{\text{SV}}^{-1}$, indicando um efeito negativo, possivelmente, pela presença do alumínio e/ou sua combinação com o sulfato. Com base nestes valores, a produção diária estimada foi de 341 m^3 de metano, sendo possível gerar com isto 83% do consumo de energia da ETE avaliada. As análises efetuadas durante esse estudo permitiram visualizar que o reator é estável durante o período de baixa temporada quando o reator recebe uma carga reduzida de lodo, produzindo um lodo digerido composto por 53% de material volátil e concentração em AGV totais baixa e típica de um processo em bom estado de saúde. Porém, na alta temporada, um risco de sobrecarga do reator acaba evidenciada e uma redução no desempenho do reator pode ocorrer, particularmente devido à baixa concentração do lodo, gerando uma digestão incompleta do substrato.

PALAVRAS-CHAVE: Digestor Anaeróbio, Inibição da Atividade Microbiana, Sulfato de Alumínio, Lodo Físico-Químico, Biogás.

EVALUATION OF ANAEROBIC DIGESTER FOR OPERATIONAL OPTIMIZATION AND FEASIBILITY OF THE USE OF BIOGAS IN ENERGY GENERATION

ABSTRACT: Anaerobic reactors are efficient tools for the removal of organic matter and its conversion to biogas, being an interesting solution for sustainable energy production, possibility of biogas valorization as a precursor of combustion in cogeneration engines and reducing sludge volume, reducing operational costs. The objective of this work was to evaluate the anaerobic reactor of ETE Canasvieiras operated by the CASAN concessionaire and to obtain information for the optimization of biogas production to enable its use in energy cogeneration. Reactor AGV analyzes showed an average of $330 \pm 51 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, indicating that the reactor was stable during the high flow of the summer season. However, an BMP average of $153.5 \text{ NmL}_{\text{CH}_4}\cdot\text{g}_{\text{SV}}^{-1}$ was observed for the physico-chemical sludge, indicating a negative effect, possibly due to the presence of aluminum and/or its combination with sulfate. Based on these values, the estimated daily production was 341 m^3 of methane, making it possible to generate 83% of the energy consumption of the assessed ETE. The analyzes carried out during this study showed that the reactor is stable during the year when the reactor receives a reduced sludge load and producing a digested sludge composed of 53% volatile material and low total AGV concentration, typical of this process. However, in summer season, there is a overload risk of the reactor and a reduction in the performance of the reactor may occur, particularly due to the low sludge concentration, leading to incomplete digestion of the substrate.

KEYWORDS: Anaerobic Digester, Microbial Activity Inhibition, Aluminum Sulphate, Physical-Chemical Sludge, Biogas.

1 | INTRODUÇÃO

A digestão anaeróbia é um processo natural que ocorre em alguns sedimentos, mangues, arrozais assim como no trato intestinal de uns animais como os ruminantes e as térmitas (BAYANÉ; GUIOT, 2011). Este processo é complexo pois recorre a vários grupos de microorganismos e permite a conversão da matéria orgânica (carboidratos, lípidos, proteínas) em elementos simples (CH_4 , CO_2 , H_2S , NH_3). A mistura gasosa produzida (biogás) durante o processo é principalmente composta por metano e dióxido de carbono com teores respectivos de 50 a 70% e 30 a 50%. A composição deste gás depende da configuração do reator e do substrato digerido, apresentando ao alto poder calorífico – a combustão de 1 m^3 de metano é equivalente à de 1,15 L de gasolina ou 2,1 kg de madeira (MOLETTA, 2008).

A digestão anaeróbia é um processo que pode ser descrito em quatro fases principais que recorrem à diferentes grupos de microorganismos (Figura 1). As etapas são interdependentes e a eficiência da digestão depende da boa coordenação entre as fases.

Conforme ilustrado na Figura 1, a complexidade do sistema remete ao entendimento que a operação de sistemas anaeróbios exige um conhecimento mínimo das reações que ocorrem no reator e da influência dos parâmetros exteriores sobre as variáveis deste sistema de tratamento. Por isso, o monitoramento dos reatores é um elemento indispensável ao bom funcionamento do processo.

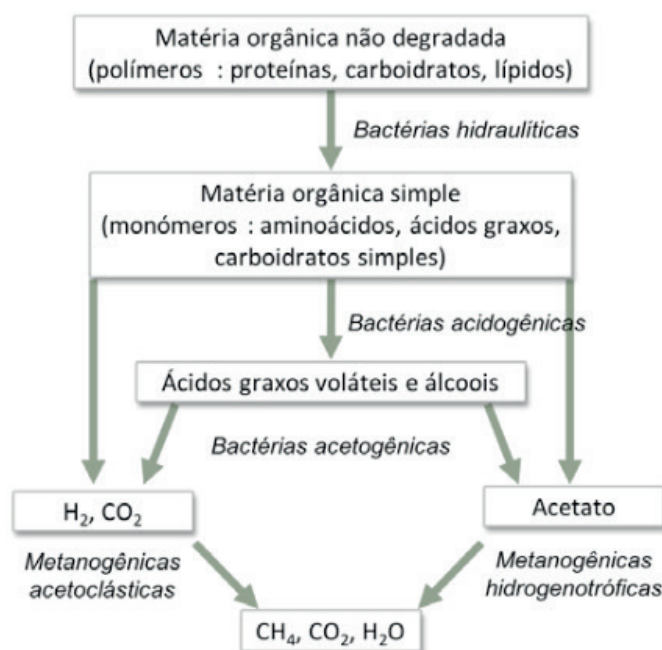


Figura 1: Síntese das etapas da digestão anaeróbia.

Reatores de digestão anaeróbia são ferramentas de processo bastante interessantes e constituem uma resposta eficiente à problemática de remoção da matéria orgânica devido à ação das comunidades microbianas complexas na promoção da conversão desta matéria em forma de biogás (MOLETTA, 2008). Este fato o torna vantajoso pela possibilidade de valorização deste biogás produzido como precursor da combustão em motores de cogeração, além da redução do volume de lodo gerado frente a outros modelos de tratamento, proporcionando redução também dos custos operacionais (TANDUKAR; OHASHI; HARADA, 2007).

2 | OBJETIVO

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o reator de digestão anaeróbia da ETE Canasvieiras operada pela Concessionária CASAN e gerar informação para a otimização do biogás para viabilizar sua utilização na cogeração de energia. Para isto, estudou-se:

- A operação do digestor anaeróbio em escala real, avaliando parâmetros específicos do processo;
- A influência de coagulantes utilizados no processo químico de tratamento

na atividade microbiana;

- Propostas para procedimentos de análise para avaliação da qualidade do processo de tratamento.

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

Durante o estudo, o cloreto férrico (FeCl_3), produto utilizado no projeto da estação, foi inicialmente utilizado como coagulante, com sua posterior substituição pelo sulfato de alumínio na concentração de $250 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Entretanto, como o íon sulfato é convertido em sulfeto no reator havendo a possibilidade de geração de um efeito inibidor sobre a digestão anaeróbia, assim como o alumínio, foi necessário avaliar os níveis de concentração destes íons no sistema (CABIROL *et al.*, 2003; CHEN; CHENG; CREAMER, 2008; ABBOTT; ESKICIOGLU, 2015; VIEIRA, 2017). Com base nisto, testes analíticos foram realizados para avaliação do digestor, o qual apresentava volume útil de projeto de 613 m^3 e capacidade para receber uma concentração de matéria orgânica variando de 40 a 75% (MOLETTA, 2008) que proporciona uma carga de lodo físico-químico de $2885 \text{ kg}_{\text{SST}}\cdot\text{d}^{-1}$, corrente com uma concentração de sólidos de 7%.

As análises foram efetuadas, em sua maioria, através de kits analíticos adquiridos comercialmente e padronizados internacionalmente. Abaixo seguem as descrições das metodologias de análises.

- Sulfato: efetuadas por turbidimetria com precipitação do íon sulfato, com preparação das amostras por centrifugação e filtração em filtro $0,45\mu\text{m}$;
- Sulfeto: efetuadas por colorimetria em espectrofotômetro com azul de metileno;
- DQO: efetuadas por reações ácidas com dicromato de potássio em alta temperatura;
- Alumínio total: efetuadas preparando a amostra através de digestão em ácido nítrico em alta temperatura com posterior medição colorimétrica;
- Potencial bioquímico de metano (BMP): realizado sobre o lodo físico-químico onde o inóculo usado foi o lodo do digestor com a concentração de $8\text{g}_{\text{SSV}}\cdot\text{L}^{-1}$ e relação substrato/inóculo de $0,4 \text{ g}_{\text{DQO}}\cdot\text{g}_{\text{SV}}^{-1}$.

O BMP foi calculado conforme Equação 1:

$$BMP = \frac{V_S - V_I}{m_{S, SV}} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde: BMP = Potencial biometano ($\text{NmL}_{\text{CH}_4}\cdot\text{g}_{\text{SV}}^{-1}$)

V_S = Volume total de metano produzido na digestão do substrato (NmL)

V_i = Volume de metano produzido pelo inóculo (NmL)

$m_{s,sv}$ = Massa de substrato adicionada (g_{sv})

Obs.₁: Os volumes V_s e V_i são determinados como apresentado na Figura 2.

• Atividade metanogênica específica (AME): teste foi realizado sobre os inóculos para comparar o desempenho dos consórcios microbianos dos reatores. A mesma concentração em sólidos voláteis do BMP ($8 g.L^{-1}$) e relação substrato/inóculo ($0,4 g_{DQO} \cdot g_{sv}^{-1}$) foram usadas para melhorar a interpretação e comparação dos resultados, conforme recomendações da literatura (AQUINO *et al.*, 2007). O substrato usado para esse teste foi a glicose com uma relação $0,938 g_{DQO} \cdot g_{glicose}^{-1}$.

A AME foi calculada usando a Equação 2:

$$AME = \frac{r \times 24}{m_{i,sv}} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde: AME = Atividade metanogênica específica ($g_{DQO\ CH_4} \cdot g_{sv}^{-1} \cdot d^{-1}$)

R = Taxa de produção de metano ($g_{DQO\ CH_4} \cdot h^{-1}$)

$m_{i,sv}$ = Massa de inóculo adicionada (g_{sv})

Obs.₂: A taxa de produção de metano foi medida durante a fase de produção linear de gás (Figura 2). A taxa em $NmL_{CH_4} \cdot h^{-1}$ foi então convertida em $g_{DQO\ CH_4} \cdot h^{-1}$ ($1 g_{DQO\ CH_4} = 354 NmL$ de CH_4).

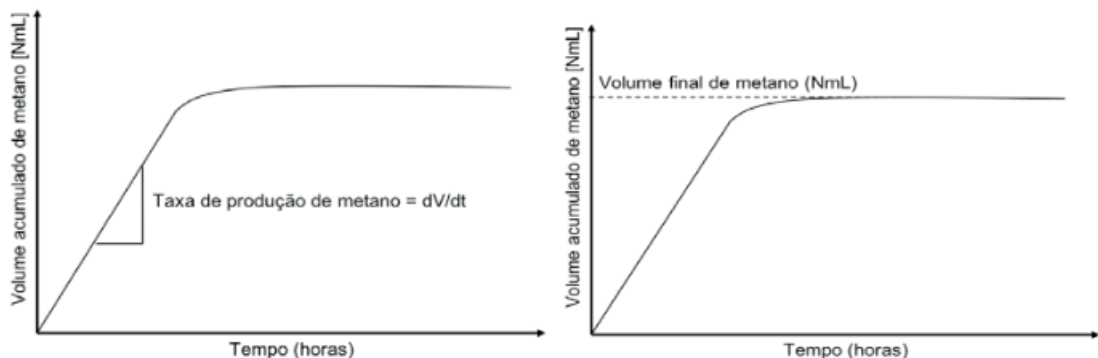


Figura 1: Determinação gráfica da taxa de produção de metano (esquerda) e do BMP (direita).

• Carga orgânica: estimada a partir dos dados reais de vazão de entrada de esgoto na ETE compacta e da quantidade de lodo físico-químico produzido (valor calculado foi $0,334 kg_{SST} \cdot m^{-3}$). A umidade do lodo produzido e o teor em matéria orgânica foram medidos através da concentração em sólidos (ST, SV, SST e SSV) (*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, APHA, 2012).

Obs.₃: O volume de lodo fresco produzido pela unidade de flotação foi estimado conforme a Equação 3:

$$V_{lodo} = \frac{M_{SST}}{C_{SST} \times 1000} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde: $V_{\text{lodo}} = \text{Vazão de lodo (m}^3 \cdot \text{d}^{-1}\text{)}$

$M_{\text{SST}} = \text{Produção de sólidos (kg}_{\text{SST}} \cdot \text{d}^{-1}\text{)}$

$C_{\text{SST}} = \text{Concentração do lodo (kg}_{\text{SST}} \cdot \text{m}^{-3}\text{)}$

Os valores de concentração em sólidos totais e voláteis dos lodos de entrada e saída permitem calcular a eficiência de digestão e remoção da matéria orgânica usando a Equação 4:

$$\% \text{ Remoção} = \frac{A_{fl} - E_{fl}}{A_{fl} - (A_{fl} - E_{fl})} \times 100$$

Equação (4)

Onde: $A_{fl} = \% \text{ de sólidos voláteis (SV/ST) do afluente}$

$E_{fl} = \% \text{ de sólidos voláteis (SV/ST) do efluente}$

4 | RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÕES

4.1 Avaliação da vazão de entrada e carga orgânica

Com uma avaliação do histórico de vazão de esgoto de entrada da ETE, permite-se distinguir dois períodos distintos no ano: a alta temporada, durante a qual a estação opera em contínuo e com alta vazão; e a baixa temporada, quando a estação só funciona pontualmente (Figura 3). A vazão média observada durante a alta temporada foi de $126,5 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ com desvio padrão de $36,7 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$, e neste período é possível observar que 78% das medidas ultrapassam a vazão de projeto da estação ($100 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$), e destes, 32% a ultrapassam por mais de 50%. Esta sobrecarga repercute sobre a vazão de lodo físico-químico produzido e a carga do digestor anaeróbico, pois estima-se uma produção diária de lodo fresco de $3.651 \text{ kg}_{\text{SST}} \cdot \text{d}^{-1}$, 26,5% superior à carga de projeto.

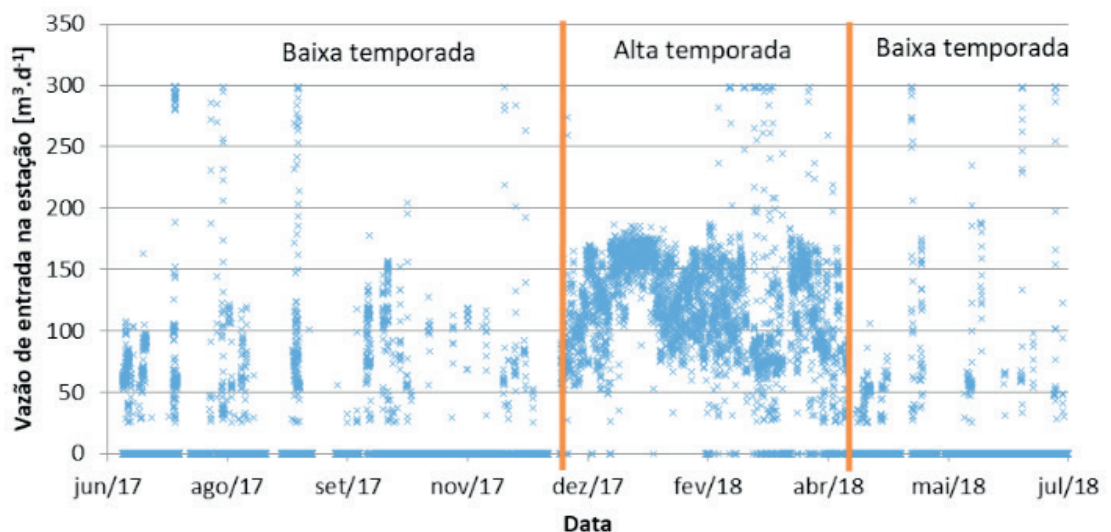


Figura 2: Histórico de vazão de entrada da ETE.

As análises de concentração em sólidos totais e voláteis permitiram observar

uma compactação média de 2,6% do lodo (sendo 7% o dado de projeto) quando a estação estava em operação contínua, apresentando uma proporção de sólidos voláteis de $61 \pm 5,3\%$ (sendo 75% o dado de projeto). Dentro deste cenário, o volume de lodo produzido foi de $140,42 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, 241% superior ao dado de projeto, e a carga orgânica volumétrica aplicada ao reator nessas condições foi de $3,63 \text{ kg}_{\text{SSV}} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ (próxima ao valor $3,53 \text{ kg}_{\text{SSV}} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ do projeto). No entanto, a acentuada diminuição de concentração do lodo causa redução do tempo de detenção hidráulico para 4,36 dias em lugar dos 14,9 previstos pelo projeto. Para digestores convencionais homogeneizados, a norma recomenda tempos de digestão acima de 30 dias.

Este tempo de detenção hidráulico é muito baixo comparado com os dados recomendados na literatura e pela norma NBR 12.209/2011. Na literatura, reatores perfeitamente homogeneizados similares são classificados como reatores de baixa taxa com cargas aplicadas de $1,4 \text{ kg}_{\text{SSV}} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ no caso do tratamento de lodo primário de estação de tratamento (MOLETTA, 2008; ABBASI; TAUSEEF; ABBASI, 2012). No caso de digestores convencionais homogeneizados, a norma ABNT n° 12209-2011 recomenda uma carga orgânica de $0,5 \text{ kg}_{\text{SSV}} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ até $1,2 \text{ kg}_{\text{SSV}} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$. RAJESHWARI *et al.* (2000) ilustraram as características típicas de vários tipos de reatores anaeróbios mostrando também que a carga de projeto assumida ($1,5 \text{ kg}_{\text{SSV}} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$) está acima das cargas tipicamente aplicadas em termos de DQO.

Em oposição à alta temporada, constata-se que durante a baixa temporada a estação opera de maneira intermitente, onde a média de vazão cai para $13 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ e a carga orgânica volumétrica para $0,375 \text{ kg}_{\text{SSV}} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$. Esta ampla diferença entre os dois períodos pode ocasionar situações negativas sobre a estabilidade do reator. De fato, quando o reator não está sendo alimentado ou com baixa alimentação, uma diminuição do desempenho dos microorganismos envolvidos na digestão anaeróbia pode ocorrer, proporcionando uma perda da atividade metanogênica de até 60% no caso de uma interrupção de várias semanas (GALLERT; WINTER, 2008). Entretanto, no retorno da sua vazão de alimentação, um período controlado de aumento progressivo da carga é necessário afim de evitar o desequilíbrio do reator, pois caso contrário, uma situação de sobrecarga importante pode ocorrer, causando um acúmulo de AGV e queda do pH (GALLERT; WINTER, 2008).

Em termos de eficiência, nas condições observadas na alta temporada, o lodo digerido que apresentou um teor em matéria orgânica de $53 \pm 0,6\%$ teve eficiência de remoção dos sólidos voláteis de 28% em lugar dos 50% previstos. Esta eficiência abaixo do objetivo pode ser atribuída à diminuição do tempo de detenção hidráulico mencionada anteriormente e ao fato que a fração inicial em SV é menor do que previsto (61 em lugar de 75%).

4.2 Análises no digestor

Análises de AGV foram realizadas na saída e no interior do reator obtendo uma concentração média de $330 \pm 51 \text{ mg.L}^{-1}$ (exprimida em equivalente acetato), que quando comparada com a literatura, conclui-se que o reator está em condições estáveis durante o período de estudo (Figura 3) (DROSG, 2014). De acordo com GUIBELIN (2014), concentrações de AGV totais na faixa de $50 - 500 \text{ mg.L}^{-1}$ são consideradas como ótima. Aliado a isto, o fato de o reator ter uma elevada alcalinidade ($3.400 \text{ mg}_{\text{CaCO}_3} \cdot \text{L}^{-1}$) permite manter a relação AGV/alcalinidade muito favorável (entre 0,06 e 0,14). Uma relação inferior a 0,3 indica um processo estável e valores acima de 0,8 o processo é tido como instável, com risco elevado de acidificação do reator (DROSG,2014).

Deve ser considerado que durante o período amostral, baixa temporada, a ETE funcionou com vazão reduzida e de maneira intermitente, limitando os riscos de sobrecarga e acúmulo de AGV. Durante o período de alta temporada se recomenda atenção particular sobre esse parâmetro, pois é necessário monitorar um possível aumento do teor de AGV no reator, visto a influência da vazão ilustrada no subitem anterior.

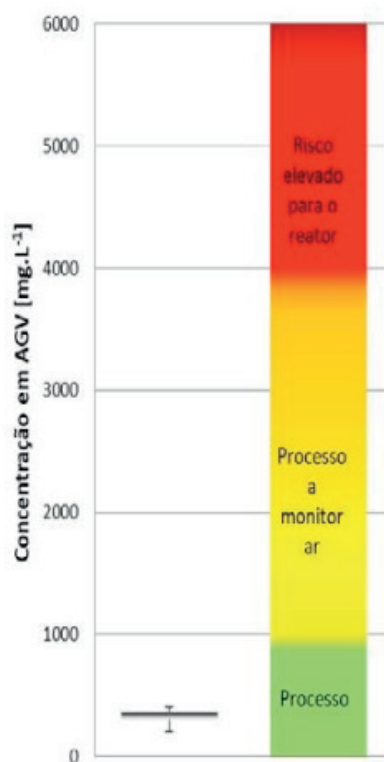


Figura 3: Faixas de interpretação operacional da concentração de AGV totais.

4.3 Avaliação de sulfato e sulfeto no reator

Avaliando a concentração de sulfato do lodo fresco, permitiu-se observar um valor de 280 mg.L^{-1} , correspondendo aproximadamente ao aumento teórico causado

pela adição de sulfato de alumínio no processo de coagulação (210 mg.L^{-1}), somada à concentração de sulfato já presente no esgoto ($48 \pm 17 \text{ mg.L}^{-1}$). Com este resultado, pode-se descartar a possibilidade de uma repartição desigual do sulfato entre o lodo e o efluente clarificado na etapa de coagulação/floculação. Paralelo a isto, a DQO mensurada para o lodo permitiu observar um valor médio de 41.750 mg.L^{-1} , proporcionando uma relação $\text{DQO}/\text{SO}_4^{2-}$ de 149, o que dá uma larga vantagem aos microorganismos da digestão anaeróbia em frente as bactérias redutoras de sulfato quando comparado com os valores de predominância (predominância de Metanogênese para relações acima de 2,7).

No que tange a avaliação da conversão do sulfato em sulfeto, os resultados se mostraram insatisfatórios devido a uma reação concorrente observada entre o cloreto férrico utilizado na operação da ETE e o reagente da análise de sulfeto, proporcionando valores superiores de leitura de padrões. No entanto, a alta relação $\text{DQO}/\text{SO}_4^{2-}$ permite descartar um risco de inibição pelo sulfeto.

4.4 Avaliação da inibição pelo alumínio

A concentração média de Al^{3+} observada no lodo fresco obtido durante a dosagem de sulfato de alumínio na etapa de coagulação foi de 527 mg.L^{-1} , com concentrações entre 320 e 800 mg.L^{-1} . No interior do reator e no lodo digerido as concentrações mensuradas foram 71 e 260 mg.L^{-1} , respectivamente, mas acredita-se que deverão atingir concentrações similares às da entrada ao longo do tempo de operação com o sulfato de alumínio. Nesta faixa de concentração, VIEIRA (2017) encontrou redução de eficiência de remoção de DQO em ensaios com reatores tratando lodos dentro dos quais foram adicionadas concentrações de 500 , 1.000 , 1.500 e 2.000 mg.L^{-1} de $\text{Al}(\text{OH})_3$ (ou seja, 173 , 346 , 519 e 692 mg.L^{-1} de Al^{3+}), quando comparados com um reator controle que não recebeu alumínio. O controle atingiu eficiência de remoção de DQO de $52,5\%$ enquanto os outros reatores atingiram eficiência de $42,4$, $37,1$, $39,2$ e $39,6\%$, respectivamente. Quanto à produção de biogás, a atividade metanogênica foi reduzida em mais de 60% a partir de uma concentração de Al^{3+} de 346 mg.L^{-1} . Outros estudos mostraram uma diminuição acima de 10% da fermentação acidogênica (segunda etapa da digestão anaeróbia) a partir de uma concentração de alumínio de 46 mg.L^{-1} e 120 mg.L^{-1} para o ferro, e uma inibição completa do processo de fermentação microbiana em concentrações acima de 232 mg.L^{-1} de alumínio na forma de policloreto de alumínio (PAC) (KIM; CHUNG, 2015). Isto demonstra que a inibição causada pelo alumínio é bem mais alta do que a causada pelo ferro presente no coagulante inicialmente usado na estação. Entretanto, um possível efeito de aclimatação pode ser observado, mas este processo de adaptação é lento e dependente dos microorganismos envolvidos (CABIROL *et al.*,

2003).

Em relação a outros efeitos causados pelo sulfato de alumínio, o aumento da quantidade de compostos voláteis de enxofre pode ser observado, principalmente na forma de H_2S . Com uma concentração de alumínio de $10,74 \text{ mg}\cdot\text{g}_{\text{ST}}^{-1}$ e um TDH de 7 dias, um aumento da concentração desses compostos de 746% pode ser observado, chegando até a concentrações de 1% (10.000 ppm) de H_2S no biogás, sendo o sulfeto, nestas concentrações, altamente tóxico e corrosivo (D. DEUBLEIN, 2008; GUIDOTTI, 1996). Com adições de cloreto férrico, o efeito inverso pode ser observado, com uma redução de 57% com TDH de 7 dias.

Por essas razões, testes de bancada são recomendáveis antes da aplicação a longo prazo do sulfato de alumínio ou qualquer outro produto na estação. Além dos parâmetros avaliados, parâmetros de remoção de sólidos e monitoramento da produção de H_2S também deverão receber uma atenção particular.

4.5 Potencial Bioquímico do metano (BMP)

O BMP médio obtido para o lodo físico-químico foi de $153,5 \text{ NmL}_{\text{CH}_4}\cdot\text{g}_{\text{SV}}^{-1}$ (Figura 4), sendo este valor inferior aos valores encontrados na literatura para lodos e estações de tratamento. Os lodos mais parecidos com o lodo estudado, sendo lodos físico-químicos com uma relação DQO/SV de 1,5, atingem um BMP de $180 \text{ NmL}_{\text{CH}_4}\cdot\text{g}_{\text{SV}}^{-1}$.

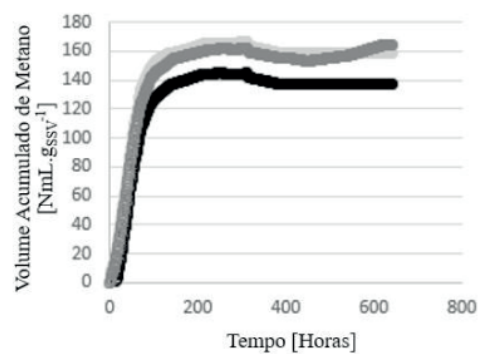


Figura 4: Volume acumulado de metano no teste BMP.

O lodo testado foi obtido por coagulação com o sulfato de alumínio, o que pode ter causado um efeito negativo pela presença do alumínio e/ou sua combinação com o sulfato. O BMP para o lodo coagulado pelo cloreto férrico não pôde ser avaliado durante este estudo e por isso as influências dos dois coagulantes sobre a produção de biogás e a degradabilidade não puderam ser comparadas (objetivo para um próximo estudo).

Durante o ensaio, a produção de biogás ocorreu predominantemente no início com 90% do metano sendo produzido durante as 100 primeiras horas, ou seja 4,16 dias (Figura 5). Este resultado permite concluir que a parte degradável da matéria

orgânica contida no lodo pode ser degradada rapidamente no digestor. No entanto, tem que ser considerado que os testes de BMP foram realizados em condições favoráveis de temperatura, com os reatores sendo mantidos a 35°C. No digestor, cuja temperatura não é controlada, tempos de reação maiores são esperados.

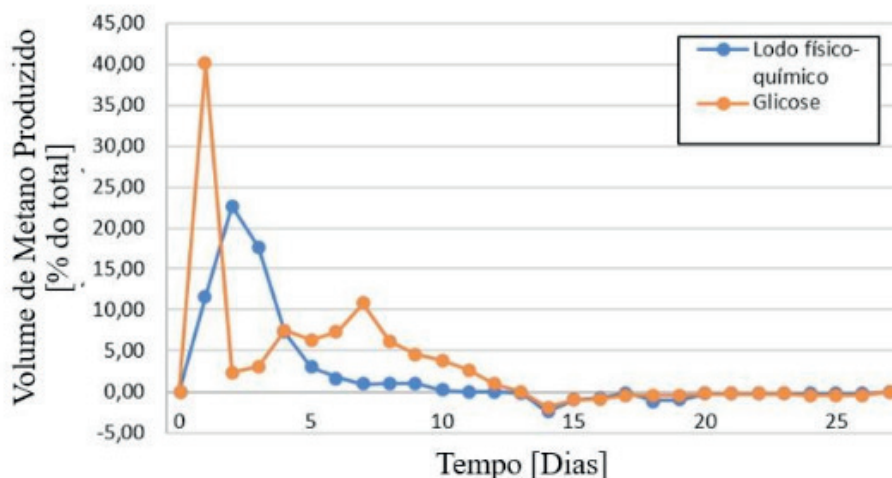


Figura 5: Produção de metano ao longo do tempo no teste BMP para o lodo físico-químico e a glicose.

Durante esse teste uma redução de 9,33% dos sólidos voláteis foi constatada, passando de 54,8 para 52,4%. Essa redução é baixa, mas a concentração inicial baixa em SV também tem que ser considerada. Finalmente, o teor em SV final é próximo dos valores obtidos na determinação da eficiência de remoção (subitem *Avaliação da vazão de entrada e carga orgânica*). Isso permite considerar que para um teor em SV em torno de 50% na saída do reator, uma redução satisfatória dos SV foi atingida e que uma eficiência maior não é esperada nas condições de operação atuais do reator. Esse dado pode ser usado para detectar uma digestão incompleta do lodo, particularmente durante a estação estival.

Considerando o valor de BMP de $153,5 \text{ NmL}_{\text{CH}_4} \cdot \text{g}_{\text{SV}}^{-1}$ e a carga orgânica calculada durante a alta temporada, a produção diária estimada é de 341 m^3 de metano (568 m^3 de biogás considerando uma concentração em metano de 60%). Convertendo esta produção em eletricidade utilizando um motor de cogeração com um rendimento de 35%, a produção mensal de eletricidade seria de 34.700 kWh, sendo correspondente a 83% do consumo de energia da ETE avaliada. Se valores similares aos obtidos por GUERIN *et al.* (2016) forem atingidos, a produção de metano pode subir para 40.800 kWh e assim representar 97% do consumo de energia da ETE. Como o complexo de tratamento inclui reatores UASB de uma outra ETE operada em paralelo, a produção de energia poderia ultrapassar 90.000 kWh por mês, o que representa mais de 44% do consumo do complexo de ETE (tratamento convencional + compacta).

4.6 Atividade metanogênica específica (AME)

A partir das curvas de produção de biogás (Figura 7), as fases de produção linear foram isoladas e as taxas de produção de metano calculadas, sendo os volumes acumulados de metano na forma decrescente correspondente a uma produção inferior à do reator “branco”. Para os testes realizados sobre o reator UASB, verifica-se uma parada brutal da produção de biogás a partir de 16h de reação, provavelmente devido ao acúmulo rápido de AGV e H₂S. As taxas de produção de biogás providas dos inóculos do digestor anaeróbio e do reator UASB foram, respectivamente, 0,328 e 0,330 g_{DQO CH₄}·g_{SV}⁻¹·d⁻¹, muito próximas exceto a uma das repetições do digestor que acabou sendo ignorada. Não é possível evidenciar alguma diferença entre os dois reatores pelo efeito do alumínio ou qualquer outro inibidor. No entanto, tem que ser considerado que a data quando foram efetuadas as coletas para as análises, a concentração de alumínio no interior do reator ainda estava menor do que no lodo fresco e provavelmente aumentará enquanto o sulfato de alumínio estiver sendo usado na estação. Neste caso, possivelmente poderá ser constatada alguma inibição pelo alumínio conforme descrito na literatura. Valores máximos de AME de 10 g_{DQO CH₄}·g_{SV}⁻¹·d⁻¹ podem ser atingidos caso haja utilização de culturas puras no teste, no entanto, em reatores industriais e de laboratório, os valores de AME geralmente ficam entre 0,1 e 1,0 g_{DQO CH₄}·g_{SV}⁻¹·d⁻¹ (WILKE, 2018). Além disto, a AME depende também do substrato a ser utilizado, podendo atingir valores máximos quando usado substratos simples como o acetato. Com substratos mais complexos como a celulose ou a glicose, velocidades menores são constatadas uma vez que estes substratos envolvem várias etapas da digestão anaeróbia para a sua degradação. Assim, comparando os valores obtidos com os dados da literatura, estes não parecem tão discrepantes, podendo servir de comparação para estudos futuros.

Em caso de efeito inibidor causado pelo sulfato de alumínio, uma diminuição do valor da AME é esperada, particularmente devido a um efeito inibidor mais relevante em relação às bactérias acidogênicas e acetogênicas do que às metanogênicas (WILKE, 2018; ZAHER *et al.*, 2004). Por este motivo, é recomendado usar um substrato suficientemente complexo para envolver todas as etapas da digestão, evitando por exemplo o acetato que não permitiria evidenciar a inibição das outras etapas devido a ser consumido diretamente pelas metanogênicas, e assim prejudicando a avaliação do efeito sobre o processo de digestão por inteiro.

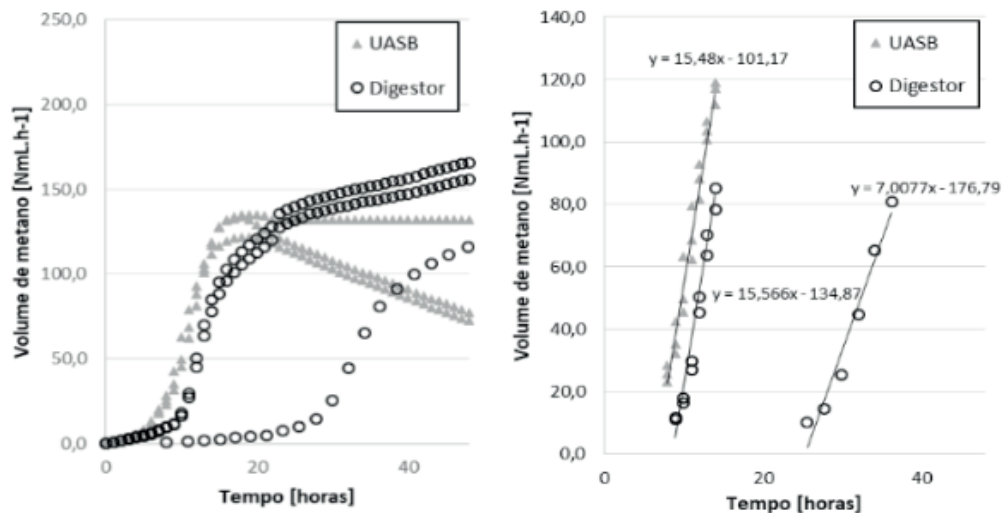


Figura 6: Volume de metano produzido (esquerda) e taxa de produção de metano (direita) do teste AME.

5 | CONCLUSÕES

As análises efetuadas durante esse estudo permitiram demonstrar que o reator estudado opera em um estado estável durante o período de baixa temporada quando o reator recebe uma carga reduzida de lodo. Entretanto, durante a alta temporada, um risco de sobrecarga do reator foi evidenciado e uma redução no desempenho do reator pode ocorrer, particularmente devido à concentração do lodo abaixo da concentração prevista pelo dimensionamento, gerando uma digestão incompleta do substrato.

Além disto, conforme apontado pela literatura, o trabalho indicou um possível efeito de inibição do processo de digestão anaeróbia por causa da presença do sulfato de alumínio, recentemente usado como coagulante na estação.

REFERÊNCIAS

ABBASI, T.; TAUSEEF, S. M.; ABBASI, S. A. *Biogas energy*, 2012.

ABBOTT, T.; ESKICIOGLU, C. **Effects of metal salt addition on odor and process stability during the anaerobic digestion of municipal waste sludge.** *Waste Management*, 2015.

ABNT. NBR 12209 -2011 - **Elaboração de projetos hidráulicos-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários**, Brasil, 2011.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22nd. ed. [s.l.] *American Public Health Association*, 2012.

AQUINO, S. F. *et al.* **Metodologias para determinação da atividade metanogênica específica (AME) em lodos anaeróbios.** *Engenharia Santiária e Ambiental*, v. 12, n. 2, 2007.

BAYANÉ, A.; GUIOT, S. R. **Animal digestive strategies versus anaerobic digestion**

- bioprocesses for biogas production from lignocellulosic biomass.** *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 2011.
- CABIROL, N. *et al.* **Effect of aluminium and sulphate on anaerobic digestion of sludge from wastewater enhanced primary treatment.** *Water Science and Technology*, v. 48, n. 6, 2003.
- CHEN, Y.; CHENG, J. J.; CREAMER, K. S. **Inhibition of anaerobic digestion process: A review.** *Bioresource Technology*, v. 99, n. 10, 2008.
- D. DEUBLEIN, A. S. **Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction.** 2008.
- DROSG, B. **Process monitoring in biogas plants,** 2014
- GALLERT, C.; WINTER, J. **Propionic acid accumulation and degradation during restart of a full-scale anaerobic biowaste digester.** *Bioresource Technology*, v. 99, n. 1, 2008.
- GUERIN, S.; AZIMI, S.; BERNIER, J.; ROCHER, V. **The biological methane potential of urban sludge. Mapping of different WWTP sludge potentials and proposal of a method coupling reactor experiments and modeling to decrease the measurement time,** 2016.
- GUIBELIN, E. **Caractéristiques et traitements des boues d' épuration. Techniques de l'ingénieur,** v. 33, n. *Base documentaire Gestion de l'eau par les industriels*, p. 23, 2014.
- GUIDOTTI, T. L. **Hydrogen sulphide.** *Occupational medicine (Oxford)*, v. 46, n. 5, 1996.
- KIM, J. O.; CHUNG, J. **Inhibitory effects of inorganic and organic coagulants on acidogenic fermentation.** *KSCE Journal of Civil Engineering*, 2015.
- MOLETTA, R. **Méthanisation de la biomasse.** *Techniques de l'ingénieur*, v. 33, n. 5, 2008.
- RAJESHWARI, K. *et al.* **State-of-the-art of anaerobic digestion technology for industrial wastewater treatment.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 4, n. 2, 2000.
- TANDUKAR, M.; OHASHI, A.; HARADA, H. **Performance comparison of a pilot-scale UASB and DHS system and activated sludge process for the treatment of municipal wastewater.** *Water Research*, 2007.
- VIEIRA, G. C. **Inibição e toxicidade no processo de digestão anaeróbia dos lodos gerados na ete Brasília sul: estudo em escala laboratorial.** Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2017.
- WILKE, D. A. C. Biogas Use. Disponível em: <<http://biogas.ifas.ufl.edu/uses.asp>>. Acesso em: 17 maio 2018.
- ZAHER, U. *et al.* **Development of two on-line analysers for the control of the anaerobic digestion process,** 2004.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Água potável 27, 35, 189, 264, 293, 302, 303, 325, 336, 350

Águas subterrâneas 25, 26, 27, 30, 33, 36, 37, 54, 111, 112, 113, 115, 117, 118, 120, 121, 123, 174, 179, 318, 319, 322, 323, 324, 326, 336, 361

Água subterrânea 25, 35, 36, 112, 117, 118, 119, 120, 161, 175, 318, 319, 324, 325, 377

Análises 25, 27, 28, 35, 37, 38, 41, 43, 45, 49, 50, 56, 91, 126, 140, 141, 158, 164, 267, 271, 301, 302, 320, 321, 322, 324, 360, 370, 373, 376, 379

B

Biogás 38, 39, 40, 46, 47, 48, 49, 90

Busca exaustiva 1, 3, 4, 7, 20, 22, 23

C

Conservação 159, 161, 162, 163, 164, 171, 178, 179, 259, 264, 274, 275, 276, 277, 279, 280, 281, 283, 284, 287, 292, 303, 338, 342

D

Degradação dos solos 122

Desenvolvimento web 76, 78

Desperdício de água 293, 303

Destilador 293, 295, 296, 298, 301, 302

Digestor anaeróbio 38, 40, 43, 49

E

Educação ambiental 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 284, 290, 291, 292, 304, 338, 340, 342, 344, 345, 347, 348

Eficiência hídrica 293, 294

Erosão hídrica 122, 123, 124, 126, 129, 135

Erosão urbana 122

F

Fiscalização 140, 145, 146, 147, 148, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 261, 263, 264, 383

Fiscalização direta 145

Fiscalização indireta 145

G

Gestão da manutenção 136, 137, 138, 139, 143, 144

God 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121

H

Hidráulica de canais 76, 77, 78, 79, 85

I

Indicadores 100, 140, 145, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 160, 176, 181, 241, 246, 292, 358
Inibição da atividade microbiana 38

L

Lodo físico-químico 38, 41, 42, 43, 47, 48

M

Manutenção evolutiva 136
Manutenção preventiva 136, 330, 335
Medidores estáticos 180, 181, 184, 189
Meio ambiente 75, 111, 116, 122, 123, 228, 229, 233, 235, 236, 237, 263, 264, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 281, 283, 284, 285, 289, 290, 291, 292, 293, 296, 303, 304, 326, 338, 339, 342, 344, 345, 347, 362, 382, 383

O

Otimização 1, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 19, 20, 21, 22, 23, 38, 40, 147, 161, 162, 163, 212, 213, 239, 240, 247, 249, 256, 259

P

Planejamento 111, 125, 137, 139, 140, 143, 145, 146, 147, 155, 162, 228, 229, 230, 231, 236, 237, 246, 289, 305, 306, 308, 310, 315, 317, 326, 349, 351, 355, 356, 383
Poço artesiano 25, 27, 28, 29, 30, 31, 35

Q

Qualidade da água 25, 27, 30, 35, 36, 37, 74, 197, 296, 301, 302, 303, 318, 319, 325, 326, 364, 372

R

Redes de distribuição de água 1, 2, 4
Reuso de água 178, 247, 293

S

Submedição 100, 180, 181, 185, 187
Sulfato de alumínio 38, 41, 46, 47, 49, 50, 380
Sustentabilidade 111, 123, 162, 163, 179, 205, 206, 211, 235, 236, 274, 275, 277, 280, 285, 292, 296, 303, 304, 338, 351, 383

T

Tecnologia 22, 35, 37, 51, 52, 74, 76, 96, 98, 109, 168, 179, 180, 182, 188, 189, 212, 227, 238, 247, 259, 274, 299, 305, 308, 313, 316, 326, 360

V

Viabilidade 8, 161, 180, 181, 186, 187, 188, 189, 235, 261, 296
Vulnerabilidade 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 125, 181

 **Atena**
Editora

2 0 2 0