

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

**ENGENHARIA SANITÁRIA 2**



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

**Atena**  
Editora  
Ano 2021

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

**ENGENHARIA SANITÁRIA 2**



CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA  
(ORGANIZADOR)

**Atena**  
Editora  
Ano 2021

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

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.

Open access publication by Atena Editora



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 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 Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

**Diagramação:** Daphynny Pamplona  
**Correção:** Amanda Costa da Kelly Veiga  
**Indexação:** Gabriel Motomu Teshima  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

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

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia sanitária 2 /  
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 978-65-5983-537-9

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.379211310>

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

CDD 628

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos - CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa - Paraná - Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493

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

[contato@atenaeditora.com.br](mailto: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; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, desta forma não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

## APRESENTAÇÃO

O e-book: “Coleção desafios das engenharias: Engenharia Sanitária 2” é constituído por vinte e cinco capítulos de livros que foram devidamente selecionados por membros que integram o corpo editorial da Atena Editora. Diante disso, este e-book foi dividido em quatro unidades temáticas de grande relevância.

A primeira é constituída por sete capítulos que tratam da importância de se monitorar os parâmetros físico-químicos e biológicos da água destinada ao abastecimento público, provenientes de águas superficiais ou subterrâneas (poço artesiano). Por ser um recurso natural e cada vez mais escasso em termos de padrões de potabilidade, faz-se necessário a adoção de uma consciência coletiva que leve a redução do consumo *per capita* a nível mundial.

Os capítulos de 8 a 15 apresentam estudos que reforçam a importância de se investigar alternativas a fim de se estabelecer melhores condições de confinamento, destinação final e desaguamento do lodo gerado na ETA. Além disso, é apresentada a importância de melhorar e empregar técnicas de tratamento de efluente hospitalar e provenientes de instituições de ensino.

A terceira temática apresenta trabalhos que tratam da importância do conhecimento sobre resíduos na formação de futuros profissionais da biologia. Outro estudo apresenta a importância e o devido reconhecimento que os catadores de recicláveis representam para a sociedade e que contribuem para a política reversa de materiais recicláveis. Já outros trabalhos, procuram avaliar o uso de lodo de ETA e de rejeitos da mineração como matéria-prima a ser incorporada em substituição aos extraídos da natureza. Por fim, é apresentado um trabalho que validou uma metodologia QuEChERS-CLAE/FL na determinação do antibiótico Tetraciclina em cama de aviários.

O último tema é composto por quatro trabalhos que reportam a utilização de biomassa tanto para remoção de cor de águas residuárias, quanto como matéria-prima para a produção de bioetanol. Além disso, apresenta um trabalho que traz uma discussão em voga em relação aos possíveis riscos associados à utilização de agrotóxicos e por último um trabalho que trata do desenvolvimento de estratégias de *designs* para o reuso de espaços urbanos abertos para o público como espaços de acesso ao público.

Diante desta variedade de estudos, provenientes de pesquisadores (as) de diferentes partes do Brasil e com contribuições provenientes de pesquisadores de Portugal e da Itália, a Atena Editora publica e disponibiliza de forma gratuita em seu *site* e em outras plataformas digitais, contribuindo para a divulgação do conhecimento científico gerado nas instituições de ensino do Brasil e de outros países. Assim, a Atena Editora vem trabalhando, buscando, estimulando e incentivando cada vez mais os pesquisadores do Brasil e de outros países a publicarem seus trabalhos com garantia de qualidade e excelência em forma de livros ou capítulos de livros.

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DOS PRINCIPAIS TRIBUTÁRIOS AO SISTEMA LAGUNAR DE ITAIPU-PIRATININGA**

Flávia Cipriano Dutra do Valle

Wilson Thadeu Valle Machado

Mônica de Aquino Galeano Massera da Hora

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3792113101>

### **CAPÍTULO 2..... 12**

#### **ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO PINHAL - RS**

Ronaldo Sartoretto

Samuel Lunardi

Marcelle Martins

Dienifer Stahlhöfer

Willian Fernando de Borba

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3792113102>

### **CAPÍTULO 3..... 23**

#### **ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DE POÇOS ARTESIANOS: UM ESTUDO BIBLIOGRÁFICO**

Madalena Teixeira Soares

Manuel Santos da Costa

Mariano Carvalho de Souza

Marijara Serique de Almeida Tavares

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3792113103>

### **CAPÍTULO 4..... 36**

#### **OS INDICADORES AMBIENTAIS: MELHORIA NA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO**

Yasmin Rodrigues Gomes

Lilian Levin Medeiros Ferreira da Gama

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3792113104>

### **CAPÍTULO 5..... 44**

#### **COMPARATIVO FINANCEIRO DO CONSUMO DE ÁGUA EM ESCOLAS NAS MICRORREGIÕES SERGIPANAS**

Zacarias Caetano Vieira

Carlos Gomes da Silva Júnior

Rayana de Almeida Novais

Paulo Cicero de Jesus Carvalho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3792113105>

**CAPÍTULO 6..... 55**

**DIMENSIONAMENTO DE BARRAGEM PARA O ABASTECIMENTO DE SÃO MATEUS-ES**

Aloísio José Bueno Cotta  
Renato Pereira de Andrade  
Honerio Coutinho de Jesus  
Paloma Francisca Pancieri de Almeida

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3792113106>

**CAPÍTULO 7..... 66**

**PROPOSTAS DE MELHORIAS NO SISTEMA CAPTAÇÃO, TRATAMENTO, ARMAZENAMENTO E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL NA ÁREA URBANA E RURAL NO MUNICÍPIO DE PATROCÍNIO, MG**

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua  
Valdinei de Oliveira Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3792113107>

**CAPÍTULO 8..... 79**

**ESTUDO BIBLIOMÉTRICO SOBRE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NO CENÁRIO BRASILEIRO**

Lucas Rodrigues Bellotti  
Rosane Freire Boina

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3792113108>

**CAPÍTULO 9..... 87**

**DESAGUAMENTO DE LODOS DE ETAs: EXPERIÊNCIAS BEM-SUCEDIDAS COM EMPREGO DE LEITO DE DRENAGEM**

Antonio Osmar Fontana  
João Sergio Cordeiro  
Cali Laguna Achon  
Marcelo Melo Barroso  
Renan Felício dos Reis

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3792113109>

**CAPÍTULO 10..... 104**

**A IMPORTÂNCIA DA COBERTURA NA EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE DESAGUAMENTO DE LODO DE ETA EM LEITOS DE DRENAGEM**

Renan Felício dos Reis  
Cali Laguna Achon  
João Sergio Cordeiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131010>

**CAPÍTULO 11..... 122**

**AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE DESAGUAMENTO DE LODO – ETA SANTA BÁRBARA (RS)**

Daniele Martin Sampaio  
Carlos Vinícius Caetano Gonçalves

Laone Hellwig Neitzel  
Karen Gularte Peres Mendes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131011>

**CAPÍTULO 12..... 135**

**QUANTIFICAÇÃO DO LODO GERADO DE DECANTADORES DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE GUARATINGUETÁ**

Paulo Ricardo Amador Mendes  
Ailton César Teles de Barros

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131012>

**CAPÍTULO 13..... 142**

**SISTEMA DE CONFINAMENTO DE RESÍDUOS: ESTUDO DE CASO LODO DE ETA**

Denise de Carvalho Urashima  
Ana Paula Moreira de Faria  
Mag Geisielly Alves Guimarães  
Beatriz Mydori Carvalho Urashima  
Matheus Müller

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131013>

**CAPÍTULO 14..... 150**

**TRATAMENTO DE EFLUENTE HOSPITALAR EM REATOR TIPO UASB E FITOTOXICIDADE**

Roberson Davis Sá  
Fernando Rodrigues-Silva  
Paloma Pucholobek Panicio  
Yohannys Mannes  
Mariana Azevedo dos Santos  
Lidia Lima  
Lutécia Hiera da Cruz  
Liziê Daniela Tentler Prola  
Wanessa Algarte Ramsdorf  
Adriane Martins de Freitas  
Karina Querne de Carvalho  
Marcus Vinicius de Liz

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131014>

**CAPÍTULO 15..... 164**

**WETLANDS: UMA ALTERNATIVA ECOLÓGICA PARA TRATAMENTO DE ESGOTO NO INSTITUTO FEDERAL DE SERGIPE**

Carina Siqueira de Souza  
Halanna Moura de Souza  
Soanne Hemylle de Jesus Santos  
Thaise Kate Silva dos Santos  
Geovane de Mello Azevedo  
Maurício Santos Silva  
Felippe Matheus Silva Meneses

Florilda Vieira da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131015>

**CAPÍTULO 16..... 176**

**A IMPORTÂNCIA DO COMPONENTE CURRICULAR “GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS” PARA A FORMAÇÃO ACADÊMICA DE UM BIÓLOGO: UM RELATO DE EXPERIÊNCIA**

Regiane Gabriele Rocha Vidal

Beatriz dos Santos Souza

Dinalva Ribeiro de Oliveira

Juliana Maia Lima

Jannah Thalís da Silva Alves

Ana Caroline Barbosa de Castro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131016>

**CAPÍTULO 17..... 185**

**CONDIÇÕES DE TRABALHO DOS CATADORES E CATADORAS DE CAXIAS DO SUL/RS APÓS 10 ANOS DE IMPLANTAÇÃO DA POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS**

Ana Maria Paim Camardelo

Nilva Lúcia Rech Stedile

Fernanda Meire Cioato

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131017>

**CAPÍTULO 18..... 196**

**CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA ESCÓRIA DE FERRONÍQUEL PARA EMPREGO NA COMPOSIÇÃO DE CONCRETO BETUMINOSO USINADO À QUENTE**

Jéssika Cosme

Daniel Pinto Fernandes

Gilberto Fernandes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131018>

**CAPÍTULO 19..... 205**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE ETA COMO IMPERMEABILIZANTE DE OBRAS DE TERRA PARA A CONTENÇÃO DE RESÍDUOS**

Leonardo Marchiori

André Studart

Maria Vitoria Moraes

Antônio Albuquerque

Victor Cavaleiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131019>

**CAPÍTULO 20..... 213**

**ANÁLISE DA SEGURANÇA HÍDRICA ASSOCIADA ÀS BARRAGENS DE REJEITOS NO NORDESTE BRASILEIRO**

Ana Nery de Macedo Cadete

Abmael de Sousa Lima Junior

Roberta de Melo Guedes Alcoforado  
Marcelo Casiuch  
Andresa Dornelas de Castro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131020>

**CAPÍTULO 21..... 223**

OTIMIZAÇÃO E VALIDAÇÃO DE METODOLOGIA QuEChERS-CLAE/FL PARA A DETERMINAÇÃO DO ANTIBIÓTICO TETRACICLINA EM CAMA DE AVIÁRIO

Ismael Laurindo Costa Junior  
Letícia Maria Effting  
Luciane Effting

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131021>

**CAPÍTULO 22..... 241**

ANÁLISE DE RISCO ASSOCIADO AO USO DE AGROTÓXICOS - ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE ESCADA, PERNAMBUCO, BRASIL.

Eduardo Antonio Maia Lins  
Fellipe Martins Maurício de Menezes  
Luiz Vital Fernandes Cruz da Cunha  
Sérgio Carvalho de Paiva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131022>

**CAPÍTULO 23..... 249**

CASCA E BAGAÇO DA LARANJA COMO ADSORVENTE PARA REMOÇÃO DE COR DE ÁGUAS RESIDUAIS

Rayane de Oliveira Zonato  
Bianca de Paula Ramos  
Valquíria Aparecida dos Santos Ribeiro  
Rosane Freire Boina

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131023>

**CAPÍTULO 24..... 263**

POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DA BIOMASSA DE SISTEMA *WETLANDS* CONSTRUÍDOS PARA PRODUÇÃO DE BIOETANOL.

Eduarda Torres Amaral  
Gisele Alves  
Gustavo Stolzenberg Colares  
Tiele Medianeira Rizzetti  
Rosana de Cassia de Souza Schneider  
Ênio Leandro Machado

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131024>

**CAPÍTULO 25..... 270**

URBAN OPEN SPACES RE-USE: DESIGN STRATEGIES

Rossella Franchino  
Caterina Frettoloso  
Nicola Pisacane

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131025>

<b>SOBRE O ORGANIZADOR.....</b>	<b>282</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>283</b>

# CAPÍTULO 10

## A IMPORTÂNCIA DA COBERTURA NA EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE DESAGUAMENTO DE LODO DE ETA EM LEITOS DE DRENAGEM

Data de aceite: 01/10/2021

Data de submissão: 19/08/2021

### Renan Felício dos Reis

Instituto Federal de São Paulo (IFSP) –  
Câmpus São Roque  
São Roque – SP  
<http://lattes.cnpq.br/1840510720475585>

### Cali Laguna Achon

Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)  
São Carlos – SP  
<http://lattes.cnpq.br/0307406069325793>

### João Sergio Cordeiro

Universidade federal de São Carlos e Allevant  
Educação  
São Carlos – SP  
<http://lattes.cnpq.br/2572864522562875>

**RESUMO:** O tratamento de água através é fator decisivo na manutenção da qualidade do produto a ser distribuído à população. As estações de tratamento de água (ETAs) convencionais de ciclo completo geram resíduos, principalmente o lodo, que precisam ser tratados e destinados de forma ambientalmente adequada. O leito de drenagem (LD) é um sistema natural que usa geotextil como meio filtrante, que foi proposto por Cordeiro (2001) para redução de volume de lodo gerado em ETAs. Este trabalho tem por objetivo analisar a eficiência de cobertura plásticas no LD. Sendo assim, foram realizados ensaios, usando dois protótipos de leito de drenagem em chapa galvanizada com

capacidade aproximada de 260L, comparando a eficiência de desaguamento com e sem o uso de cobertura. Os resultados demonstraram obter lodo com menor teor de umidade quando se utiliza cobertura, sendo que o melhor resultado apresentou um lodo final 56% mais “seco” que na ausência de cobertura em 7 dias. Assim, o uso de cobertura para auxiliar no processo de remoção de água de lodo deve ser bem planejado e concebido de maneira particular, a depender de condições climáticas do local, bem como características específicas do lodo. Ademais, a cobertura adotada para implantação não tem apenas o objetivo de proteger o material do contato direto com água de chuva, mas pode e deve ser pensada de forma a potencializar o fenômeno de evaporação ou perda de umidade, acelerando o processo de evaporação da água presente no lodo, inibindo a possibilidade de regredir no processo de secagem de lodo mesmo em condições adversas, como as precipitações.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lodo, ETA, Desaguamento, Leito de drenagem, Cobertura plástica.

### THE IMPORTANCE OF COVERING IN THE EFFICIENCY OF DEWATERING WTP SLUDGE BY DRAINAGE BEDS

**ABSTRACT:** The treatment of water through is a decisive factor in maintaining the quality of the product to be distributed to the population. The conventional complete cycle of water treatment plants (WTP) generates residues, mainly sludge, which must be treated and prepared in an environmentally appropriate way. The drainage bed (DB) is a natural system that uses

geotextiles as a filtering, which was proposed by Cordeiro (2001) to reduce the volume of sludge generated in WTP. This work aims to analyze an efficiency of plastic coverage in DB. Therefore, tests were carried out, using two prototypes of drainage bed in galvanized sheet with an approximate capacity of 260L, comparing the dewatering efficiency with and without the use of a covering. The results showed to obtain sludge with lower moisture content when using coverage, and the best result presented a final sludge 56% “drier” than in the absence of coverage in 7 days. Thus, the use of cover to assist in the sludge water removal process must be well planned and designed in a particular way, depending on local climatic conditions as well as specific sludge characteristics. Furthermore, the coverage adopted directly for implementation is not only intended to protect the material from contact with rainwater, but it can and should be thought of in a way to enhance the phenomenon of evaporation or loss of moisture, accelerating the process of water evaporation present in the sludge, inhibiting the possibility of regressing in the sludge drying process even under adverse conditions, such as precipitation.

**KEYWORDS:** Sludge, Water Treatment Plant, Dewatering, Drainage Bed, Plastic Cover.

## 1 | ASPECTOS GERAIS

O mundo vem sofrendo grandes transformações, exigindo do setor produtivo e de serviços ações mais efetivas em relação às atitudes desenvolvidas. A **QUALIDADE TOTAL** é hoje meta de muitas organizações para a busca da competitividade junto ao mercado nacional e internacional. Para tanto, as empresas devem adequar seus programas de qualidade que hoje extrapolam o “chão de fábrica”, passando por ações mais efetivas em relação à questão ambiental.

A série de normas ISO 14.000/2015 trás essas prerrogativas para serem aplicadas pelas empresas, buscando nova mentalidade que possibilite a conscientização para a **NÃO AGRESSÃO** ao meio ambiente. Dessa forma, produtos ambientalmente corretos serão a tônica para o século XXI.

A poluição do solo, água e ar tem levado a preocupações relevantes em vários níveis de decisão, fazendo com que cada dia mais haja o envolvimento de pessoas para a minimização do problema. Assim, a competitividade e a busca de novos mercados têm sido mais amplas. As exigências legais também têm sido mais efetivas e as restrições mais frequentes, fazendo com que gestores se conscientizem sobre a questão ambiental de forma mais decisiva.

Os serviços de abastecimento de água nas áreas urbanas possuem algumas características que, no Brasil e em vários países, se constituem em monopólio, pois o consumidor não pode escolher seu fornecedor. No entanto, a busca de qualidade desses serviços deve ser realizada cada dia com mais eficiência, pois o problema da falta de água em algumas regiões já é realidade.

O tratamento de água através de estações de ciclo completo ou não, é fator decisivo na manutenção da qualidade do produto a ser distribuído à população. Esses sistemas

possuem formas diversas de operação e de manutenção, mas devem ser considerados como indústrias. Dessa forma, como um processo industrial, utiliza matéria prima e insumos, tais como, produtos químicos e energia, gerando água tratada para consumo e resíduos.

A aplicabilidade de conceitos de qualidade torna-se fundamental na visão moderna das empresas e os sistemas de tratamento de água são pontos fortes nessa visão. Faz-se necessário conhecer as estruturas de funcionamento das estações de tratamento, seus pontos vulneráveis e as maneiras de integração com o meio ambiente de forma mais abrangente.

Aspectos legais e normativos devem ser conhecidos e analisados por gestores de Sistemas de Tratamento de Água (SiTA), dentre eles, minimamente: Lei 9.433/1997 (Política Nacional de Recursos Hídricos); Lei 9.605/1998 (Lei de Crimes Ambientais); Lei 11.445/2007 (Política Nacional de Saneamento Básico); Lei 12.305/2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos); Lei 14.026/2020 (Novo Marco Legal do Saneamento). Além desse marco legal, várias Normas ISO como ISO 14.001/2015 (Gestão ambiental); ISO 24.512/2007 (Gestão de Sistemas de Abastecimento de Água); ISO 31.000/2018; (Gestão de riscos); ISO 20.001/2015 (Gestão de energia).

O entendimento desse arcabouço de leis e normas que são afetadas diretamente ao Sistema de abastecimento de água e ao tratamento de água deve ser de domínio dos gestores de SiTAs.

## 2 | A ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA - ETA

Quando se analisa os sistemas de tratamento de águas pode-se verificar que existem algumas possibilidades de arranjos físicos para implantação dos mesmos que dependem de fatores como a característica da água bruta a ser tratada e as condições de preservação dos mananciais.

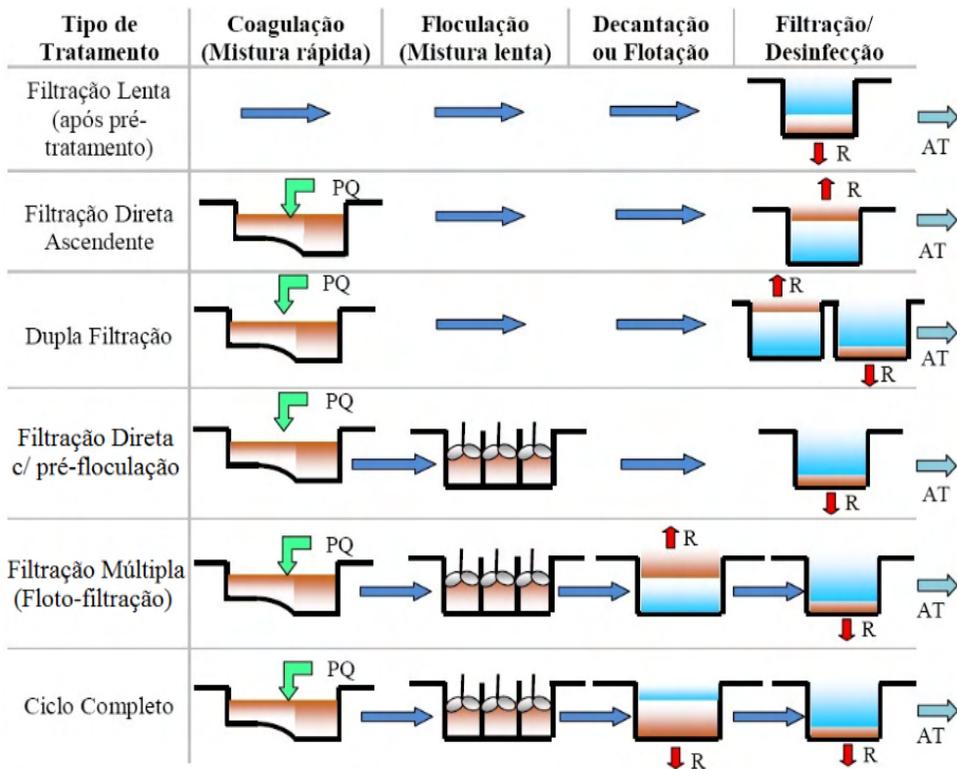
Dentre esses sistemas podem ser enumerados: sistemas de filtração direta; sistemas de filtração com pré-floculação; sistemas de ciclo completo ou tradicionais entre outros. Em qualquer desses sistemas prevalece alguns aspectos que devem ser trabalhados de forma a permitir que a estação forneça produto de qualidade e custo compatível.

Dentre esses itens podem ser citados:

- Qualidade do manancial e sua preservação;
- Distância e altura manométrica entre os pontos de captação e descarga (esse aspecto está ligado à energia consumida na adução da água bruta);
- Concentração e qualidade de produtos químicos empregados no sistema de tratamento adotado;
- Perdas de água no processo de tratamento em decantadores e/ou filtros;
- Impactos ambientais provocados pelos resíduos gerados no tratamento;

- Preparo de recursos humanos que operam e mantêm o sistema de tratamento;
- Atendimento à legislação vigente quanto ao produto a ser entregue à população;
- Análise da possibilidade de reuso, redução e reciclagem de subprodutos e rejeitos gerados.

Na Figura 1 estão ilustrados esquematicamente alguns tipos de tratamento adotados em ETAs com suas respectivas etapas principais.



AT = Água Tratada; PQ = Produtos Químicos; R = Resíduos.

Figura 1 - Tipologias de sistemas de tratamento de água.

Fonte: Adaptado de Papani (2009).

No Brasil, tem se observado que vários desses itens não têm sido trabalhados adequadamente, o que acarreta funcionamento indevido do sistema. Alguns trabalhos têm mostrado que vários mananciais não têm merecido a atenção necessária para a manutenção de sua qualidade. Além disso, na Região Metropolitana de São Paulo – RMSP sistemas como “Guarapiranga” que abastece a ETA – Alto da Boa Vista já se encontra com sérios problemas de qualidade da água bruta. Esses fatos levam ao funcionamento

inadequado dos sistemas exigindo novas posturas gerenciais.

### 3 | A ETA E SEUS RESÍDUOS

As estações de tratamento de água convencionais ou tradicionais de ciclo completo operam, em sua grande maioria com sistemas que dispõem de decantadores e filtros, além de tanques de preparo de produtos químicos. Esses sistemas funcionam, em sua grande maioria, retendo partículas nesses tanques dispendo-as em intervalos de tempo variáveis. No caso dos decantadores, esse material pode ficar retido por longos períodos de tempo, podendo atingir dezenas de dias. Como mostrado na Figura 2, esse resíduo pode atingir volume considerável e quando lançado no meio ambiente pode provocar inúmeros impactos.

Pode-se verificar que a forma de funcionamento não oferece nenhuma segurança aos operadores do sistema. Após essa remoção, na grande maioria das ETAs brasileiras, esse resíduo é lançado em cursos d'água, contrariando a legislação pertinente.



Figura 2 - Partículas retidas em tanques de decantação e limpeza dos tanques.

Fonte: Cordeiro (2001).

Outro aspecto importante que tem sido revelado em pesquisas conduzidas é o nível de escolaridade dos operadores dos sistemas. Resultados apontam que a maioria dos operadores (acima de 60% deles) têm formação totalmente inadequada frente às necessidades e responsabilidades exigidas nesse trabalho.

Existem alguns modelos que apresentam e classificam as águas presentes nos resíduos de ETAs. Segundo o modelo geral apresentado por Vesilind e Hsu (1997) e Smollen e Kafaar (1994), as águas presentes nos resíduos de ETAs possuem distintos estados físicos, os quais são (Figura 3):

- *Água livre* – fração de água que se move livremente, não associada aos sólidos. Essa água pode ser removida com relativa facilidade através de sedimentação gravitacional simples;

- *Água intersticial ou capilar* – essa fração está intimamente ligada à partícula floculada. Para remoção dessa fração existe a necessidade de aplicação de força mecânica, provocando a quebra do floco;
- *Água vicinal* – a água vicinal está fortemente ligada à partícula sólida devido à estrutura molecular da água: pontes de hidrogênio. A diferença entre essa fração e a intersticial é, simplificada, a quantidade de energia necessária para liberá-la, ou seja, necessita-se maior quantidade de energia para liberar a água vicinal em relação à intersticial;
- *Água de hidratação* – fração ligada quimicamente à partícula sólida coloidal. A remoção dessa água só é possível com aplicação de altas temperaturas ou com aplicação de elevada quantidade de energia elétrica, ou seja, somente por destruição termoquímica das partículas.

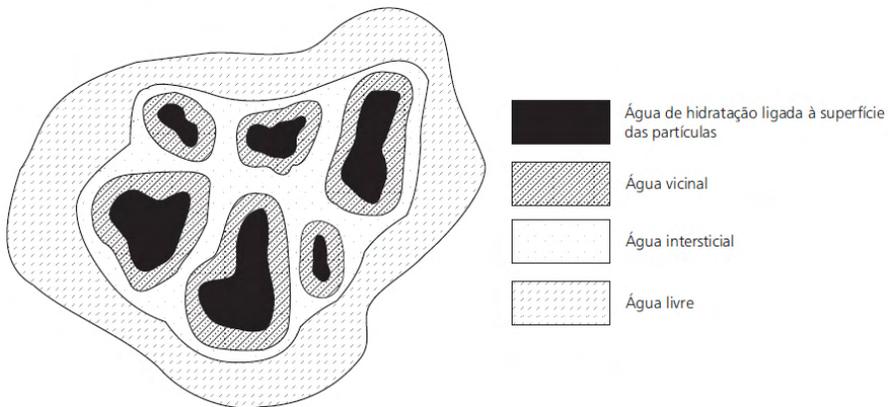


Figura 3 – Representação ilustrativa de classificação de águas presentes em lodos de ETAs.

Fonte: Reali (1999 *apud* Smollen & Kafaar, 1994).

Barroso (2007), discutindo a energia requerida ( $E_p$ ) para remoção de cada fração de água apresentou um esquema ilustrativo identificando cada fração (Figura 4).

Assim, a energia  $E_1$ , que consiste na energia necessária para remoção da água livre, é menor que a energia  $E_2$ , que é menor que  $E_3$ , que é menor que  $E_4$ . Logo, é possível afirmar que  $E_4$  é muitas vezes maior que  $E_1$ , o que pode conseqüentemente implicar em maiores custos envolvidos para remoção desta fração de água que demanda maior quantidade de energia (BARROSO, 2007).

Em relação a parâmetros quantitativos, a quantidade de lodo produzida em determinada ETA depende de fatores como partículas suspensas e dissolvidas presentes na água bruta, que lhe conferem turbidez e cor; concentração de produtos químicos aplicados ao tratamento; tempo de permanência do lodo nos tanques; forma de limpeza dos mesmos; eficiência da sedimentação entre outros (CORDEIRO, 2001).

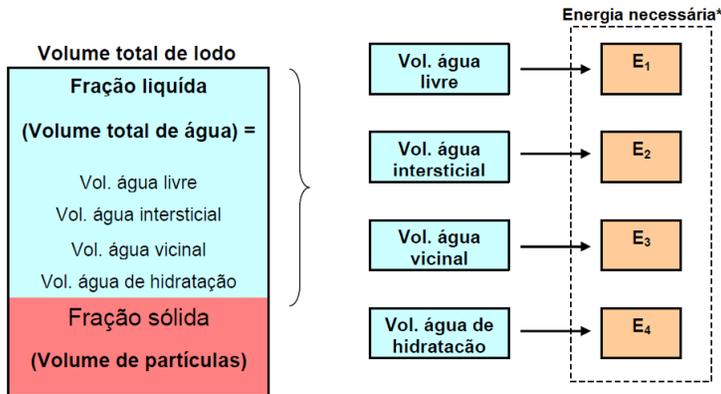


Figura 4 – Ilustração esquemática de energia requerida (\*E<sub>i</sub>) para remoção dos diferentes volumes de frações de água constituintes de lodo de ETAs.

Fonte: Barroso (2007).

#### 4 I REMOÇÃO DE ÁGUA DE LODO EM LEITOS DE DRENAGEM

Cordeiro (1993 e 2001), estudando a possibilidade de modificação da estrutura dos leitos de secagem tradicionais, observou que a colocação de manta geotêxtil sobre a camada filtrante do leito possibilitava remoção mais efetiva da água livre dos lodos, mesmo utilizando como meio filtrante areias de construção (grossa e fina) adquiridas no mercado. Nesta primeira modificação a areia era lavada e utilizada nos leitos com espessuras de 5 e 10 cm, porém os resultados dos ensaios evidenciaram que a areia e a espessura da camada filtrante não eram decisivos na remoção de água livre.

Os estudos evoluíram e Cordeiro desenvolveu uma nova proposta de leito modificado (leito modificado 2), publicada em 2001 através do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico 2 (PROSAB 2) – Tema 4, na qual a camada de areia foi removida e o leito passou a ser constituído de uma camada de brita nº 1 com 5 cm e, sobre ela, manta geotêxtil, com a camada de lodo atingindo até 50 cm. A Figura 5 ilustra as evoluções dos sistemas de leitos de secagem estudadas por Cordeiro (2001).

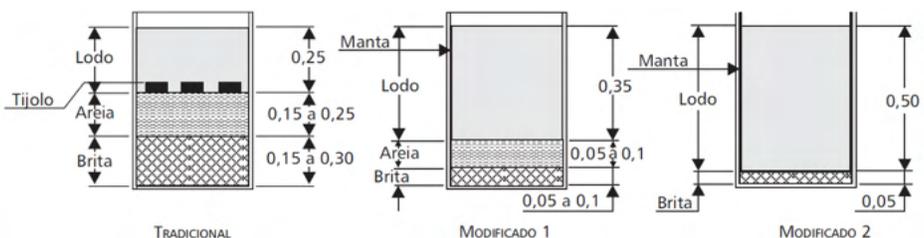


Figura 5 – Esquemas ilustrativos dos sistemas de leitos de secagem tradicionais e modificados por Cordeiro (1993) e (2000).

Fonte: Cordeiro (2001).

A proposta do leito modificado 2 permitiu significativa diminuição no tempo de drenagem de água livre presente no lodo. Os resultados obtidos comprovaram a diminuição do tempo de remoção de água livre nos leitos de secagem modificados 2 e ainda a obtenção de drenado de boa qualidade, passível de reutilização ou recuperação. Dessa forma, o leito modificado 2, isto é, o leito de secagem modificado conforme Cordeiro (2001) recebeu a denominação de *leito de drenagem (LD)*.

## 5 | COBERTURAS PLÁSTICAS

De acordo com o PROSAB (2009) – Tema 4 (Subprojeto 2: Uso de energia solar para secagem e higienização), pesquisas referentes à aceleração no processo de secagem de lodos em leitos de secagem cobertos foram desenvolvidas. Segundo considerações de trabalhos desenvolvidos, dois tipos de coberturas têm se destacado: cobertura com renovação de ar ilimitada (Figura 6) e cobertura com renovação de ar limitada (Figura 7).

Qualquer processo de secagem se baseia no fato de que moléculas de água passem do estado líquido para o gasoso, transformando-se vapor d'água. Entretanto, para que isso ocorra, certa quantidade de energia é requerida, podendo esta ser fornecida pelo Sol. Cada região é regida por leis próprias, devem ser criteriosamente consideradas na concepção de estufas para auxiliar na etapa de evaporação de água presente nos resíduos das ETAs. Estas formas de transmissão de calor são conhecidas como condução, convecção e radiação.

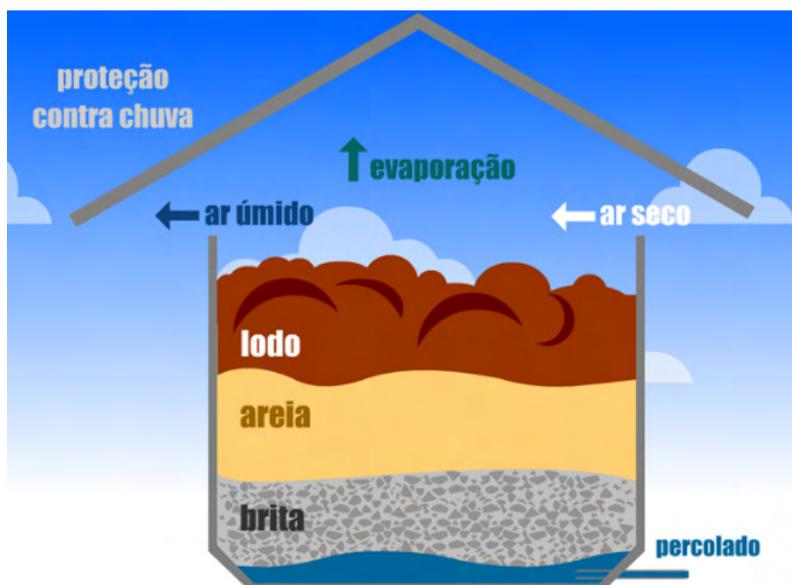


Figura 6 – Esquema simplificado ilustrando a cobertura com renovação de ar ilimitada em leito de secagem tradicional.

Fonte: Citado por Reis (2011)

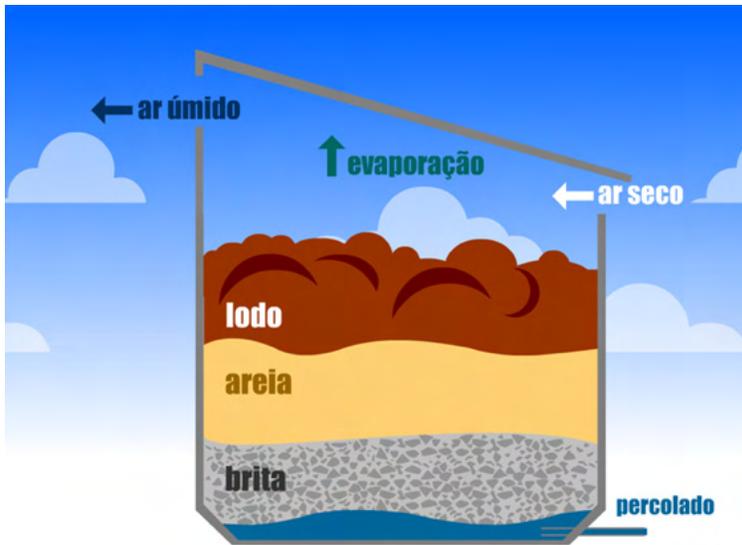


Figura 7 – Esquema simplificado ilustrando a cobertura com renovação de ar limitada em leito de secagem tradicional.

Fonte: Citado por Reis (2011)

A condução é um processo pelo qual o calor flui de uma região de temperatura elevada para outra de temperatura mais baixa, dentro de um meio (sólido, líquido ou gasoso) ou entre meios diferentes em contato físico direto. A energia intrínseca de um elemento de matéria, em virtude da velocidade e da posição relativa das moléculas, é chamada de energia interna. Assim, quanto mais rápido se movem as moléculas, maiores serão a temperatura e a energia interna do elemento da matéria. Quando as moléculas em uma região adquirem uma energia cinética média maior do que a das moléculas da região adjacente, o que se manifesta por uma diferença de temperatura, as moléculas possuidoras de maior energia transmitirão parte de sua energia para as moléculas da região de temperatura mais baixa, tendendo à uniformidade térmica de toda a região (KREITH, 1977).

Em se tratando de convecção, esta forma de transmissão de calor pode ser dita como uma operação de transporte de energia pela ação combinada da condução de calor, armazenamento de energia e movimento de mistura. Se uma partícula fluida tiver contato com uma superfície aquecida, se dilatará, isto é, aumentará seu volume mantendo o peso e tornando-se menos densa. Sendo assim, se afastará da superfície quente, fazendo com que uma partícula mais densa, por estar fria, aproxime-se da superfície, propiciando, portanto, um autêntico trânsito de partículas, umas se afastando e outras se aproximando da fonte quente, são as chamadas correntes de convecção. Como se observa, ocorre, de fato, um transporte de massa, mas, como a massa transportada altera o estado térmico, não se pode também deixar de caracterizar um transporte de calor. Essa convecção, unicamente comandada pela diferença de densidade de partículas, é chamada convecção livre ou convecção natural.

Existe também a convecção forçada ou convecção artificial, que pressupõe a necessidade de emprego de elementos mecânicos responsáveis por circulação de fluidos, tais como ventiladores, exaustores, compressores, bombas, etc. (ARAÚJO, 1978).

A transmissão de calor por radiação ocorre quando o calor se transmite de uma região à outra, sem que o meio intermediário se aqueça. Na realidade são ondas eletromagnéticas de determinada faixa de comprimento de onda que, emitidas por um corpo, se caracterizam por atravessar um meio transparente e, ao encontrarem um meio que lhes seja opaco, são absorvidas, ocorrendo conseqüentemente uma transformação de energia radiante em energia térmica (ARAÚJO, 1978).

Uma vez conhecidas as três formas de transmissão de calor (condução, convecção e radiação) e as premissas consideradas para concepção de estufas tradicionais para cultivo de alimentos foram adaptados sistemas com coberturas plásticas (espécies de estufas) para aumentar a eficiência no desaguamento de resíduos dos serviços de saneamento (lodos). Entretanto, como, neste caso, o intuito é criar uma atmosfera artificial estritamente para secagem do lodo, a umidade gerada internamente à estufa deve ser liberada, ou seja, a fim de se evitar um equilíbrio entre a pressão de vapor dentro e fora do lodo, o ar deve ser liberado para fora da estufa. Esta liberação pode ser considerada como natural, já que existem aberturas laterais e o vapor d'água é menos denso que o ar seco (correntes convectivas: ar menos denso sobe e ar mais denso permanece nas camadas inferiores). Dessa forma, sintetizando-se a ideia, neste caso, o intuito não é prender o ar úmido (vapor d'água) internamente à cobertura, mas sim liberá-lo para o ambiente externo, de forma que se permita continuamente a entrada de ar seco na estrutura. A Figura 8 ilustra o esquema de funcionamento de uma estufa para desaguamento de lodo em meio não mecanizado.

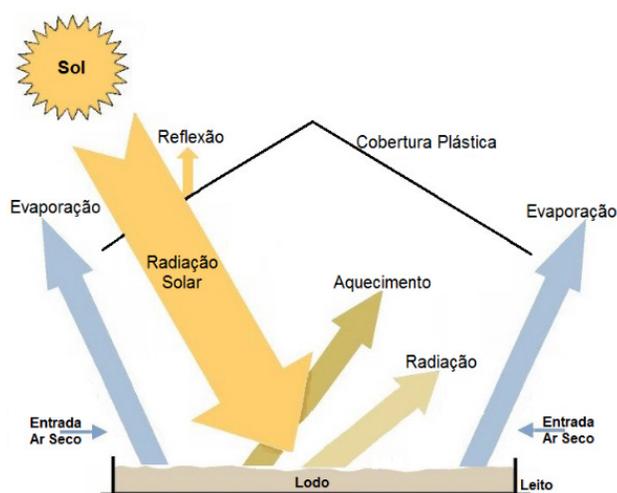


Figura 8 – Esquema de funcionamento de desaguamento de lodo em estufas.

Fonte: Citado por Reis (2011)

Existe também concepção de cobertura plástica para aceleração da operação de remoção de água de lodo possuindo abertura superior para ventilação e ventiladores axiais para auxiliar a evasão de ar úmido. A Figura 9 ilustra uma concepção como esta.

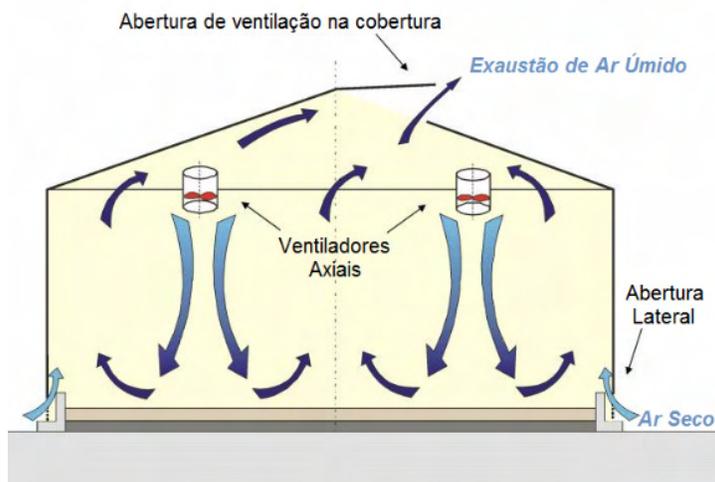


Figura 9 – Esquema de funcionamento de desaguamento de lodo em estufas.

Fonte: Citado por Reis (2011)

As coberturas plásticas, assim como as placas solares devem possuir inclinação e orientação adequadas conforme região onde estiverem localizadas para que exista maior aproveitamento da radiação incidente, resultando em melhor direcionamento dos raios refratados e maior aquecimento interno.

Em se tratando de ângulo de inclinação da cobertura em relação ao solo, é importante que este seja igual ou mais próximo possível da latitude do local de instalação. Normalmente, adiciona-se 10° a este ângulo, para compensar a variação anual da declinação solar.

Quanto à orientação, é imprescindível que pelo menos um dos lados da cobertura (preferência para o lado de maior área, quando ocorrer) esteja voltado para o hemisfério oposto ao que se localiza, ou seja, se a cobertura for instalada em um leito no Brasil, um dos lados deve estar voltado para o Norte, já que o Brasil se situa no hemisfério Sul.

## 6 | MÉTODOS APLICADOS AO LEITO DE DRENAGEM COBERTO

Os materiais utilizados na investigação principal apresentada neste artigo foram dois protótipos de leito de drenagem de chapa galvanizada com capacidade aproximada de 260L; tubos de aço; aproximadamente 5m<sup>2</sup> de tecido plástico do tipo PVC 0,30mm transparente para a construção da cobertura plástica; 16L de brita nº 1; manta geotêxtil não tecida de 600g/m<sup>2</sup>; lodo de ETA proveniente de decantador de ETA de ciclo completo convencional; materiais

complementares para coleta e realização dos ensaios; e equipamentos laboratoriais.

A Figura 10 ilustra esquematicamente a concepção do leito de drenagem com cobertura plástica, o que permite compreender também o leito de drenagem sem cobertura plástica, bastando apenas desconsiderar a cobertura. Foram realizados 6 (seis) ensaios efetivos simultâneos nos leitos de drenagem com e sem cobertura. A cobertura utilizada nos ensaios permitia ajuste de altura e, dos seis ensaios, dois foram realizados com cobertura a 20cm de altura em relação à borda do leito de drenagem e os demais a 30, 40, 50 e 60cm. Os ensaios foram realizados simultaneamente (com e sem cobertura) para avaliar as diferenças na remoção de água por conta da cobertura plástica, permitindo comparação. O volume de lodo de ETA despejado nos leitos foi de aproximadamente 220L, o que alcançou uma altura da camada de lodo de 50cm. Os seis ensaios foram realizados no fim do inverno e início da primavera.

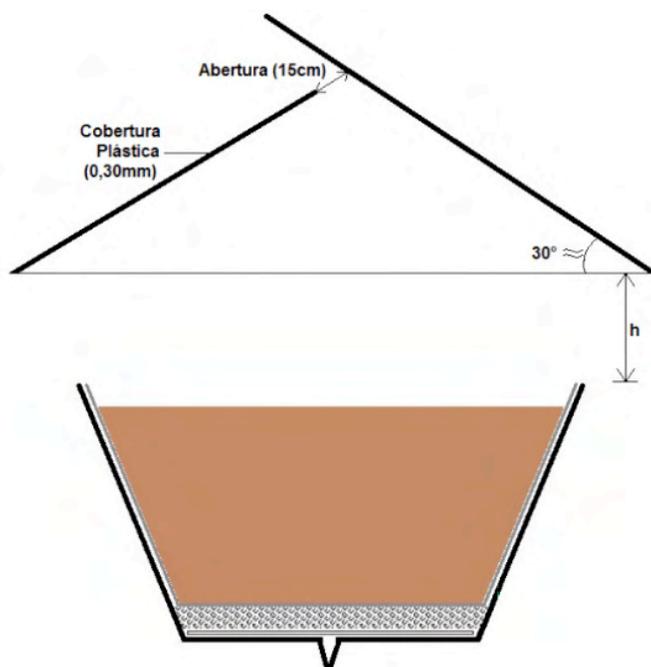


Figura 10 – Esquema do leito de drenagem com cobertura plástica.

Fonte: Citado por Reis (2011)

## 7 | RESULTADOS OBTIDOS

As Tabelas 1 e 2 sintetizam os resultados obtidos nos 6 (seis) ensaios simultâneos realizados, referentes ao lodo bruto, à água drenada acumulada no ensaio e aos dados meteorológicos.

Altura Cobertura Plástica →		0,2m	0,3m	0,4m	0,5m	0,6m	0,2m
N° Ensaio →		E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6
Lodo	Sólidos Totais (%)	0,42	0,20	1,41	1,20	0,18	2,22
	pH (%)	6,5	6,7	6,9	6,6	6,9	7,3
Água Dren.	Cor (uC)	52	45	97	111	50	60
	Turbidez (NTU)	4,9	5,5	11,3	61,1	6,7	3,7
Dados meteorológicos	Temperatura (°C)	17	18	17	22	18	20
	Umidade Relativa (%)	63	59	46	36	68	80
	Insolação (hbs)	61	NR	76	NR	39	21
	Nebulosidade	0,2	0,2	0,2	NR	0,3	0,8
	Velocidade do Vento (m/s)	0,1	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2
	Radiação (MJ/m²)	141	127	160	157	105	153
	Pluviosidade (mm)	0	0	0	0	0	113

Tabela 1 – Análises do lodo de ETA bruto e da água drenada em cada ensaio (E) variando a altura da cobertura plástica no leito de drenagem.

NR: não registrado.

Na Tabela 2 nota-se que a média de duração dos ensaios foi de 7 (sete) dias e que o ensaio com maior duração foi o E-6, com 11 (onze) dias. Em termos de agilidade na remoção da água e obtenção de lodo desaguado, pode-se afirmar que o E-5 foi o que mais se destacou, tendo duração de quatro dias e alcançando percentual de 89,49% de sólidos totais (ST). Entretanto, assim como também ocorreu no E-2, acredita-se que isso ocorreu principalmente devido ao baixo percentual de ST na amostra de lodo bruto, ou seja, 0,18% de ST para o ensaio E-5 e 0,20% de ST para o E-2, conforme Tabelas 1 e 2.

	Bruto	DIA(S) APÓS DESPEJO DE LODO NO LEITO (% de Sólidos Totais)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
E-1	Coberto	0,42	9,46	12,24	15,01	19,09	55,50	75,03	88,77	-	-	-	-
	S/ Cobertura	0,42	7,38	8,95	12,27	15,18	26,21	31,34	56,59	-	-	-	-
E-2	Coberto	0,20	8,18	14,64	20,69	37,44	63,87	89,89	-	-	-	-	-
	S/ Cobertura	0,20	7,14	12,76	17,93	24,12	43,79	69,18	-	-	-	-	-
E-3	Coberto	1,41	6,89	9,58	11,91	15,61	18,44	27,82	46,71	85,24	93,29	-	-
	S/ Cobertura	1,41	5,67	8,19	9,72	13,08	16,43	21,00	38,76	79,47	88,58	-	-
E-4	Coberto	1,20	7,98	9,47	12,32	23,12	37,69	56,45	83,02	-	-	-	-
	S/ Cobertura	1,20	4,84	7,33	10,52	21,42	32,04	54,13	75,46	-	-	-	-
E-5	Coberto	0,18	14,69	32,28	79,80	89,49	-	-	-	-	-	-	-
	S/ Cobertura	0,18	7,81	10,71	20,17	79,47	-	-	-	-	-	-	-
E-6	Coberto	2,22	5,50	10,37	11,66	13,61	13,73	14,08	14,80	16,37	16,91	17,29	48,32
	S/ Cobertura	2,22	3,34	6,04	6,27	8,71	7,03	8,25	9,07	8,37	10,08	11,94	14,75

Tabela 2 – Resultados diários de Sólidos Totais em cada ensaio simultâneo com e sem cobertura.

Quanto ao E-6, os resultados apontam que, no leito sem cobertura plástica, no 5º e 8º dias após o início do ensaio ocorreu diminuição no teor de ST presente na amostra, cuja causa se deve ao alto índice de pluviosidade nestes dias. Outro aspecto referente a este ensaio, ocorreu principalmente devido à ocorrência de chuvas, alta nebulosidade, queda de temperatura e menos horas de brilho solar (insolação), que conseqüentemente aumentou a duração do ensaio (11 dias) e atingiu um menor teor de ST (14,75% de ST sem cobertura plástica e 48,32% de ST no leito coberto) em relação aos demais. No entanto, um aspecto positivo que deve ser destacado no E-6 é que, no leito com cobertura não houve decréscimo de percentual de ST nas amostras diárias coletadas, ou seja, por estar protegido contra chuvas, mesmo em dias muito chuvosos, ainda que de maneira mínima, houve progressão no desaguamento do lodo de ETA, além de ter obtido resultado de ST bem superior com cobertura (48,32%) comparado ao sem cobertura (14,75%).

Comparando-se os percentuais de ST finais dos leitos com e sem cobertura plástica apresentados na Tabela 2, vê-se que as diferenças mais expressivas encontradas em um mesmo ensaio são referentes ao E-1 e E-6 (88,77% e 56,59%, e 48,32% e 14,75%, respectivamente), o que permite inferir que a 20cm de altura do leito de drenagem a cobertura plástica potencializa sua eficiência em relação à não utilização da cobertura. A Figura 11 ilustra graficamente o E-1 para facilitar a visualização e comparação.

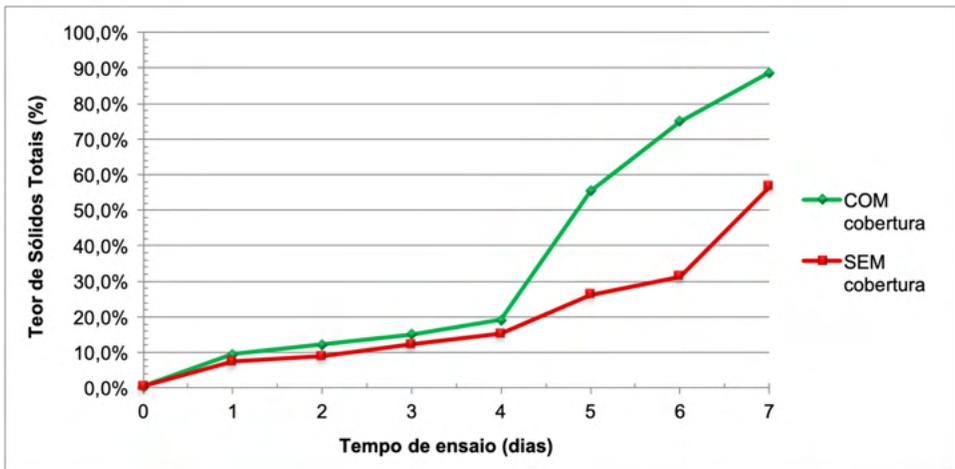


Figura 11 – Comparativo do teor de sólidos (ST) do LETA no LD com CP (0,20m) e sem CP para o Ensaio E-1.

## 8 | LEITOS COBERTOS ATUALMENTE NO BRASIL

A aplicação de cobertura em leitos no Brasil, embora existente, carece de critérios técnicos e científicos. Analisando-se as implantações de cobertura existentes, observa-se que, obviamente, buscou-se acima de tudo construir espécie de proteção contra umidade proveniente de precipitação. Dessa forma, percebe-se que não se oportunizou a implantação de coberturas também com finalidade de obter ganhos de evaporação em dias não chuvosos, mas tão somente de proteger os leitos da entrada de água de chuva. Para comprovar esta situação cita-se a aplicação de coberturas com trilhos deslizantes, de modo que apenas em dias chuvosos mantém-se a cobertura nos leitos e em dias sem chuva abre-se a cobertura.

Contudo, conforme descrito anteriormente, é possível obter benefícios por meio das coberturas também em dias sem ocorrência de chuvas, contanto que critérios técnicos e científicos sejam considerados. Ou seja, é possível, por meio da cobertura, propiciar um ambiente com capacidade maior de perda de umidade por evaporação que quando da ausência de cobertura.

No que se refere à implantação de cobertura em leitos de drenagem em escala real cita-se a ETA de Cardoso/SP e de Monte Aprazível/SP. A Figura 12 ilustra a cobertura implantada no leito de drenagem de Cardoso/SP.



Figura 12 – Leito de drenagem com cobertura na ETA de Cardoso/SP e Monte Aprazível/SP.

Fonte: Cordeiro et al. (2014) e Cordeiro (2018).

Pela Figura 12 percebe-se o que foi ante mencionado, uma vez que se trata de uma cobertura deslizante de material metálico (zinco) que, quando fechada, inclusive impede o contato da radiação com o material (lodo) em processo de desaguoamento.

Em relação a Monte Aprazível/SP, a estrutura implantada, embora transparente, não contou com a melhor escolha de material bem como conformação adequada. Isso incorreu em rápido rompimento da cobertura por conta de intempéries naturais e não aproveitamento da conformação/estrutura para corroborar com a evaporação da umidade presente no lodo.

É possível citar também práticas de armazenamento de lodo previamente desaguoado em locais dotados de cobertura (ex.: Taiapuê/SP). Esta prática normalmente tem também o objetivo de preservar o material do contato direto com águas de chuva e de favorecer a perda de umidade ao longo do tempo. Contudo, na prática, a grande maioria destas aplicações carecem também de rigor científico em suas concepções, de forma que a cobertura se torna apenas uma barreira contra a água de chuva ao invés de um fator que potencialize perda de umidade do material.

Assim, conforme já mencionado é importante que na concepção de coberturas, estas sejam planejadas de forma a propiciar renovação de ar ilimitadamente, preservando também o material do contato com água de chuva e favorecendo a ocorrência do fenômeno de evaporação, ou seja, atentando-se à condição de refração da radiação (ângulo de inclinação), maior aproveitamento da radiação incidente (orientação principal ao hemisfério oposto), tipo de material (resistência a intempéries e facilidade de manutenção) entre outras, ou seja, favorecendo as formas de transmissão de calor existentes: condução, convecção e radiação.

## 9 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Diante das discussões apresentadas é possível destacar que:
- O uso de cobertura para auxiliar no processo de remoção de água de lodo deve

ser bem planejado e concebido de maneira particular, a depender de condições climáticas do local, bem como características específicas do lodo;

- A cobertura adotada para implantação não tem apenas o objetivo de proteger o material do contato direto com água de chuva, mas pode e deve ser pensada de forma a potencializar o fenômeno de evaporação ou perda de umidade;
- O uso de cobertura plástica no leito de drenagem acelera o processo de evaporação da água presente no lodo;
- A cobertura plástica inibe a possibilidade de regredir no processo de secagem de lodo mesmo em condições adversas, como as precipitações;
- É importante que a cobertura plástica não possua aberturas laterais extensas, uma vez que melhores resultados obtidos foram para altura de abertura lateral de 20cm, quando em escala piloto;
- Todos os ensaios comparativos de desaguamento em leito de drenagem com e sem cobertura demonstraram obter lodo com menor teor de umidade quando se utiliza cobertura;
- O melhor resultado obtido foi no ensaio E-1, que obteve um lodo final 56% mais “seco” que na ausência de cobertura em 7 dias.

## REFERÊNCIAS

ACHON, C. L.; CORDEIRO, J. S. Gerenciamento de lodo de ETAs: remoção de água livre através de leito de secagem e lagoas. AIDIS; Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Saneamento Ambiental: Ética e Responsabilidade Social. Joinville, ABES, p. 1-10 Ilus, set. 2003.

ACHON, C. L.; REIS, R. F.; CORDEIRO, J. S. **Leitos de drenagem para resíduos de ETAs: contribuição do PPGEU para municípios de pequeno e médio porte.** In: VENTURA et al. (2020) Org. 25 anos: programa de pós-graduação em engenharia urbana – PPGEU. São Carlos: UFSCar/ CPOI, 2020.

ARAÚJO, C. **Transmissão de calor.** Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1978.

BARROSO, M. M. **Influência das micro e macro propriedades dos lodos de estações de tratamento de águas no desaguamento por leito de drenagem.** 249p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

CORDEIRO, J. S. **O problema dos lodos gerados em decantadores de estações de tratamento de águas.** 342 p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

CORDEIRO, J. S. **Processamento de lodos de estações de tratamento de água (ETAs).** In.: ANDREOLI, C. V. et al. (2001). Coord. Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: ABES. Projeto PROSAB, 2001.

CORDEIRO, J.S., REIS, R. F.; ACHON, C.L.; BARROSO, M. M. (2014). **Evolução dos Leitos de Drenagem (LD) no Brasil – uma década de avanços**. In: XXXIV Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental (AIDIS), Anais. Monterrey - México, 2014. Cod. 332-T8-Cordeiro-Brasil-1, 8 p.

KREITH, F. **Princípios da transmissão de calor**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1977.

PAPANI, P. C. **Gestão de Pessoas em Sistemas de Abastecimento de Água**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos/UFSCar. São Carlos, 2009.

PROSAB – Tema 4 – Edital 4. **Subprojeto Estabilização, secagem e higienização de lodos – Subprojeto 2: Uso de energia solar para secagem e higienização**. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/Prosab/videos/6.swf>>. Acesso em: 17 set. 2009.

REIS, R. F. **Estudo de influência de cobertura plástica na remoção de água de lodos de Estações de Tratamento de Água em leitos de drenagem**. 131 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos/UFSCar, São Carlos, 2011.

SMOLLEN, M.; KAFAAR, A. **Electroosmotically enhanced sludge dewatering: Pilot-Plant Study**. Water Science Technology. v. 30, n. 8, pp. 159-168, 1994.

VESILIND, P. A.; HSU, C. C. **Limits of sludge dewaterability**. Water Science Technology. v. 36, n. 11, pp. 87-91, 1997.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Adsorção 85, 232, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 259, 260

Adsorvato 251, 255, 259

Adsorvito 251

Afluentes 5, 8, 56, 57, 59, 60, 61, 67, 123, 124, 125, 168, 243

Agropecuária 175, 238

Agrotóxicos 3, 8, 41, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248

Água 3, 4, 5, 6, 1, 2, 3, 4, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 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, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 61, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 98, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 113, 114, 115, 116, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 126, 127, 128, 129, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 147, 148, 149, 151, 154, 155, 162, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 173, 174, 186, 193, 196, 198, 199, 201, 204, 205, 215, 216, 217, 218, 219, 226, 227, 228, 232, 234, 242, 244, 246, 247, 248, 250, 251, 252, 253, 264

Águas residuárias 3, 151, 152, 163, 252, 260, 265

Antibiótico 3, 8, 223, 226

Atividades antrópicas 12, 13, 36, 38

Aviário 8, 223, 225, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 235, 236, 237, 238, 239

### B

Bacias hidrográficas 1, 2, 43, 64, 65, 67, 77, 174

Barragem 5, 55, 59, 61, 62, 63, 64, 69, 125, 134, 216, 217, 218, 221

Bioetanol 3, 8, 263, 264, 265, 266, 267

Biomassa 3, 8, 154, 157, 263, 264, 265, 266, 267, 268

### C

Calha Parshall 137

Captação 5, 26, 35, 56, 57, 59, 61, 62, 63, 66, 68, 69, 75, 76, 81, 87, 89, 106

Carvão ativado 136

Cloração 68, 70, 72, 75, 77

Coagulação 71, 74, 77, 80, 87, 89, 136, 141, 251

Coliformes termotolerantes 1, 2, 8, 9, 10, 12, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 31, 32, 33

Cor 3, 8, 23, 27, 29, 30, 33, 71, 75, 109, 116, 129, 135, 137, 138, 139, 168, 199, 249, 251,

252, 254, 257

Corante 250, 252, 253, 254, 256, 257, 258, 259, 260, 261

## D

Decantação 68, 70, 71, 73, 74, 89, 108, 136, 137

Desaguamento 3, 5, 82, 87, 88, 89, 90, 92, 93, 94, 95, 96, 98, 101, 102, 104, 113, 114, 117, 119, 120, 122, 124, 126, 127, 130, 132, 134, 142, 144, 145, 146, 147, 148

Desenvolvimento sustentável 37, 43, 166

Design 8, 79, 133, 168, 224, 270, 271, 274, 275, 276, 278, 280, 281

Desinfecção 3, 32, 70, 72, 77, 136, 151

Development 64, 123, 195, 214, 224, 238, 261, 264, 270, 272, 275

## E

Ecosistema 36, 41, 136, 167, 215, 217, 224, 251

Educação ambiental 9, 21, 167, 177, 178, 179, 182, 184, 192, 282

Efluentes 1, 3, 9, 13, 14, 21, 22, 31, 40, 58, 59, 77, 81, 84, 124, 125, 127, 128, 132, 150, 151, 152, 159, 160, 161, 164, 166, 167, 168, 174, 249, 250, 251, 253, 260, 265, 282

Environmental 2, 11, 36, 43, 64, 84, 88, 123, 148, 161, 162, 163, 165, 177, 186, 196, 197, 206, 210, 214, 238, 239, 240, 241, 242, 250, 261, 262, 270, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280

Escoamento pluvial 3

Estação de Tratamento de Efluente - ETE 148

Estuários 56

Eutrofização 3

## F

Fármacos 77, 151, 224, 225, 226, 227, 237, 238

Filtração 68, 72, 74, 75, 89, 92, 106, 126, 127, 133, 136, 138, 142, 146, 148, 155, 200, 254

Flotação 68, 70

Fluoretação 70, 72, 75, 77, 78

Fósforo total 2, 8, 12, 13, 16, 17, 19, 20, 21

## I

Impactos ambientais 36, 37, 38, 42, 81, 106, 122, 136, 141, 162, 164, 166, 183, 205, 241, 243, 244, 245, 246

Índice de Qualidade da Água 4, 1, 2, 11, 12, 13, 16, 17, 41

Índices pluviométricos 56, 97, 135, 138

## **J**

Jusante 14, 217, 218

## **L**

Leito de drenagem 5, 87, 88, 89, 90, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 104, 111, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 134

Lignocelulósicas 264

## **M**

Mananciais 13, 106, 107, 125, 137

Matrizes ambientais 224, 225, 226, 237

Meio ambiente 10, 21, 22, 24, 27, 34, 38, 77, 82, 85, 86, 88, 89, 91, 105, 106, 108, 123, 133, 148, 150, 164, 167, 177, 178, 183, 187, 192, 194, 198, 199, 219, 220, 224, 225, 241, 243, 244, 248

Micro-organismos 72, 74, 75

Mineração 3, 30, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 222, 264

Montante 14, 58, 59, 218

## **N**

Nitrogênio total 12, 13, 16, 17, 19, 20

## **P**

Passivo ambiental 204

Patógenos 37, 151, 191

Poço artesiano 3, 23, 26, 35

Polímeros 87, 101

Poluição 1, 2, 3, 11, 12, 13, 21, 36, 41, 42, 105, 152, 167, 178, 198, 215, 216, 227, 248, 250

Potabilidade 3, 23, 24, 26, 27, 28, 29, 32, 33, 34, 35, 37, 64, 68, 74, 75, 76, 77, 90, 123, 136, 196, 199, 204

## **R**

Reaproveitamento 89, 133, 135, 141, 177, 179, 182, 265

Reciclável 186, 188, 192, 194

Recursos hídricos 1, 2, 3, 10, 11, 13, 14, 41, 42, 55, 56, 63, 64, 65, 68, 106, 134, 149, 150, 219, 220

Rejeito 144, 187, 190, 192, 214, 219

Resíduos agroindustriais 249, 251, 260

Resíduos sólidos 7, 3, 81, 84, 85, 102, 106, 120, 136, 143, 144, 147, 148, 165, 176, 177,

178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 190, 194, 195, 197, 198, 199, 204, 260

Resolução CONAMA 357 1, 2, 3, 4, 19, 21, 136

## **S**

Saneamento básico 9, 10, 66, 78, 80, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 103, 106, 110, 125, 144, 147, 164, 165, 174

Segurança hídrica 7, 213, 214, 215, 217, 219, 221

## **T**

Turbidez 2, 8, 12, 13, 16, 17, 19, 20, 23, 29, 30, 33, 69, 74, 75, 98, 99, 109, 116, 124, 126, 129, 135, 137, 138, 139, 164, 168, 170, 172, 199

# COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

## ENGENHARIA SANITÁRIA 2



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

COLEÇÃO

# DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

## ENGENHARIA SANITÁRIA 2

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