

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>

<b>CAPÍTULO 6.....</b>	<b>55</b>
<b>DIMENSIONAMENTO DE BARRAGEM PARA O ABASTECIMENTO DE SÃO MATEUS-ES</b>	
Aloísio José Bueno Cotta Renato Pereira de Andrade Honerio Coutinho de Jesus Paloma Francisca Pancieri de Almeida	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.3792113106">https://doi.org/10.22533/at.ed.3792113106</a>	
<b>CAPÍTULO 7.....</b>	<b>66</b>
<b>PROPOSTAS DE MELHORIAS NO SISTEMA CAPTAÇÃO, TRATAMENTO, ARMAZENAMENTO E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL NA ÁREA URBANA E RURAL NO MUNICÍPIO DE PATROCÍNIO, MG</b>	
Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua Valdinei de Oliveira Santos	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.3792113107">https://doi.org/10.22533/at.ed.3792113107</a>	
<b>CAPÍTULO 8.....</b>	<b>79</b>
<b>ESTUDO BIBLIOMÉTRICO SOBRE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA NO CENÁRIO BRASILEIRO</b>	
Lucas Rodrigues Bellotti Rosane Freire Boina	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.3792113108">https://doi.org/10.22533/at.ed.3792113108</a>	
<b>CAPÍTULO 9.....</b>	<b>87</b>
<b>DESAGUAMENTO DE LODOS DE ETAs: EXPERIÊNCIAS BEM-SUCEDIDAS COM EMPREGO DE LEITO DE DRENAGEM</b>	
Antonio Osmar Fontana João Sergio Cordeiro Cali Laguna Achon Marcelo Melo Barroso Renan Felício dos Reis	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.3792113109">https://doi.org/10.22533/at.ed.3792113109</a>	
<b>CAPÍTULO 10.....</b>	<b>104</b>
<b>A IMPORTÂNCIA DA COBERTURA NA EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE DESAGUAMENTO DE LODO DE ETA EM LEITOS DE DRENAGEM</b>	
Renan Felício dos Reis Cali Laguna Achon João Sergio Cordeiro	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131010">https://doi.org/10.22533/at.ed.37921131010</a>	
<b>CAPÍTULO 11.....</b>	<b>122</b>
<b>AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE DESAGUAMENTO DE LODO – ETA SANTA BÁRBARA (RS)</b>	
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>

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

Data de aceite: 01/10/2021

Data de submissão: 06/08/2021

### Leonardo Marchiori

Universidade da Beira Interior  
Civil Engineering and Architecture Department  
Covilhã, Portugal  
<https://orcid.org/0000-0001-8825-2162>

### André Studart

Universidade da Beira Interior  
Civil Engineering and Architecture Department  
Covilhã, Portugal  
<https://orcid.org/0000-0001-5963-9317>

### Maria Vitoria Morais

Universidade da Beira Interior  
Civil Engineering and Architecture Department  
Covilhã, Portugal  
<https://orcid.org/0000-0003-3895-1672>

### António Albuquerque

Universidade da Beira Interior  
Civil Engineering and Architecture Department  
Covilhã, Portugal  
<https://orcid.org/0000-0001-7099-0685>

### Victor Cavaleiro

Universidade da Beira Interior  
Civil Engineering and Architecture Department  
Covilhã, Portugal  
<https://orcid.org/0000-0002-9266-2938>

**RESUMO:** A disposição incorreta de resíduos industriais pode causar a contaminação de águas e solos. Nessa vertente surge o lodo/

resíduo de estação de tratamento de água (RETA) como resíduo a ser valorizado para intensificar a contenção de resíduos e amenizar os seus impactos ambientais. Fez-se portanto a avaliação do potencial de valorização do lodo para a atuação como impermeabilizante de obras de terra e seus impactos nas propriedades do solo argiloso analisado para possibilidade de reforço do mesmo. Os resultados apresentados mostram que o lodo possui uma grande percentagem de finos e contribui para a redução de plasticidade do solo, além de apresentar composição química compatível com características pozolânicas e possibilidade de incorporação com materiais já utilizados em obras de terra. Tais resultados indicam um início sólido para uma caracterização completa do lodo de estação de tratamento de água para a sua incorporação e estabilização em solos, além de indicar possível reforço de solos argilosos e aplicabilidade em *liners*, a serem confirmados por investigações aprofundadas acerca de parâmetros de resistência e permeabilidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduo de Estação de Tratamento de Água (RETA), Barreira Impermeabilizante, Contenção de Resíduos, Reforço de Solos.

### EVALUATION OF THE POTENTIAL USE OF WATER TREATMENT SLUDGE (WTS) AS A WATERPROOFING MATERIAL FOR WASTE CONTAINMENT EARTHWORKS

**ABSTRACT:** Industrial wastes' incorrect disposal can cause groundwater and soils contamination. In this aspect, the water treatment sludge (WTS) appears as a potential residue to be valorized

within soils in order to enhance wastes' stabilization while mitigating its environmental impacts. Therefore, geotechnical and chemical evaluations were conducted for assessing WTS's potential as a waterproofing agent for earth works, considering their impacts on the properties of the analyzed clayey soil for assessing possible soil' reinforcement through a further investigation. Found results on the WTS characterization have shown a high percentage of fines, which contributes for the reduction of the soil's plasticity. In addition, its chemical composition is compatible with pozzolanic characteristics while being possible to associate the analyzed WTS with materials already used in earth works. These results indicate a solid beginning for a complete characterization of the WTS and its stabilization within soils as they indicate possible reinforcement of clayey soils and use for liners application, which have yet to be confirmed by in-depth investigations around resistance and permeability properties.

**KEYWORDS:** Water Treatment Sludge (WTS), Waterproof Barrier; Waste Containment; Soil Reinforcement.

## 1 | INTRODUCTION

Several earthworks for solid and liquid waste containment as landfills, dams, among others, use waterproof coatings such as geomembranes or clay-based materials as barriers against soil contamination. Geomembranes are a costly solution (DUFFY, 2016) and the use of clays proves to be unsustainable from an environmental point of view, as it involves the extraction of natural materials from the soil. The main parameters for geotechnical performance of these materials are low hydraulic conductivity ( $\leq 1 \times 10^{-7}$  cm/s), good mechanical strength ( $\geq 5$  N/mm<sup>2</sup>) and good compaction conditions (GANJIAN et al., 2004). In order to valorize wastes for such application, it is important to assess varied parameters, such as particle size, density, consistency limits, moisture content, chemical composition, mechanical and hydraulic characteristics. These parameters will also contribute for a solid investigation on the affected properties of the soil-residue mixture.

Therefore, the objective of this work is to evaluate the potential valorization of water treatment sludge (WTS) as a waterproofing agent for waste containment earthworks (landfills, tailings and stabilization ponds and dams), through the production of soil mixtures with WTS and its characterization. In addition, found results will provide data for a further investigation on the geomechanical properties over soil added by WTS.

## 2 | MATERIALS E METHODS

The WTS and the soil were collected at the water treatment plant (WTP) of Caldeirão from Castelo Branco (Portugal), respectively. Both were analyzed to determine the following parameters and their adopted standards:

- Sample Preparation according to (ABNT, 2016).
- Granulometry (ASTM, 2017a) and;



- Laser Diffraction through Coulter LS200 (USA).
- Specific Density ( $G_s$ ) (ASTM, 2014).
- Plastic Limit (LP) e Liquid Limit (LL) (ASTM, 2017b).
- Water Content (w) (ASTM, 2019a).
- Hydraulic Conductivity (k) (ASTM, 2019b).
- Compaction Characteristics (ASTM, 2012).
- Preparation of Samples according to (ABNT, 2016).
- Granulometry (ASTM, 2017a).
- Specific Surface Area (SS) through laser diffraction in Coulter LS200 equipment (USA).
- Specific Grain Mass ( $G_s$ ) (ASTM, 2014).
- Plasticity (LP) and Liquidity (LL) Limits (ASTM, 2017b).
- Water Content (w) (ASTM, 2019a).
- Hydraulic Conductivity (k) (ASTM, 2019b).
- Compression Characteristics (ASTM, 2012).
- Oxides Elemental Analysis obtained using the EDS (Energy Dispersive Spectrometer) technique, coupled to a scanning electron microscope (SEM) (model S-2700 Hitachi, USA).
- Classification according to USCS.

WTS had approximately 75% water content when collected at the WTP. It was dehydrated at temperatures between 60 and 65°C for better workability. The following four mixtures of WTS with soil were prepared, with percentages in dry mass, which were tested for compaction and plasticity characteristics:

1. 05% of WTS e 95% of soil.
2. 10% of WTS e 90% of soil.
3. 15% of WTS e 85% of soil.
4. 20% of WTS e 80% of soil.

## 3 | RESULTS AND DISCUSSION

### 3.1 Granulometry Characteristics

The particle size curves, and their characteristics are presented in Figure 1.

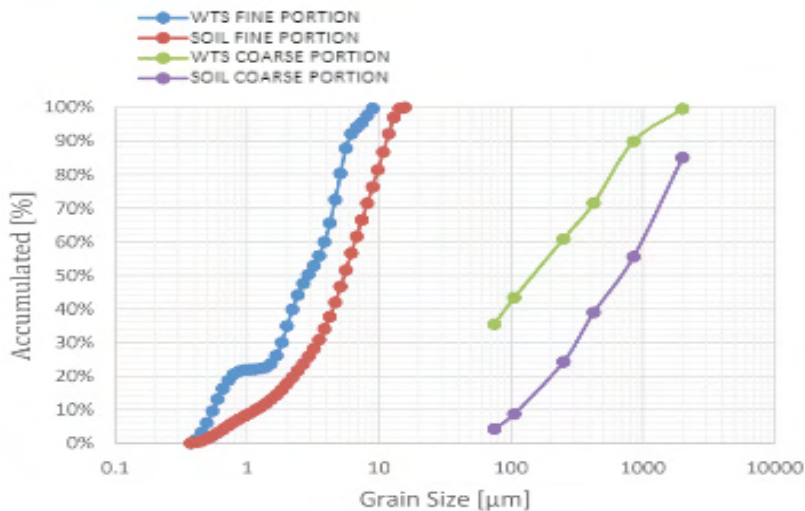


Figure 1. Granulometry Distribution

Granulometric curves - WTS COARSE PORTION and SOIL COARSE PORTION - were obtained through materials' sieving -, being classified as SM and SW, respectively. However, due to the difficult deagglomeration of WTS's particles, the finer portion of WTS's sample was analyzed separately by the laser method, being represented by curve WTS FINE PORTION. This approach was successful due to the presence of an ultrasonic sonicator in aqueous solution coupled to the equipment, exposing WTS's mostly fine granulometric composition. For comparison effects, only the finer part of the soil (<75 $\mu\text{m}$  sieve) was analyzed in the laser equipment, obtaining the SOIL FINE PORTION curve. Very fine particles of WTS justify found SS value of 15900  $\text{cm}^2/\text{g}$ , much larger than the soil's 0.005  $\text{cm}^2/\text{g}$  SS. This result indicates that the analyzed WTS needs more liquid to lubricate and wet its surface, which will affect characteristics such as specific weight, plasticity index and compaction values.

### 3.2 Geotechnical Characteristics

Index	WTS	Soil	Mixtures			
			1	2	3	4
$G_s$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	1,30	2,30	2,15	2,01	1,92	1,83
LL (%)	-	35	39	38	42	55
LP (%)	-	29	32	34	39	54
IP (%)	NP <sup>1</sup>	6	7	4	3	1
$w_{\text{opt}}$ (%)	86,0	20,5	17,6	22,0	26,6	27,0
$\rho_{\text{d,opt}}$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	1,26	2,04	1,97	1,91	1,86	1,81
$k$ ( $\text{cm}/\text{s}$ )	$8 \times 10^{-4}$					

Table 1. Geotechnical Characteristics.

The geotechnical characteristics are shown in Table 1. Elemental and oxide analysis are shown in Table 2 while compaction curves are presented in Figure 2.

Elements	Soil (%)	WTS (%)	Oxydes	Soil (%)	WTS (%)
<b>O</b>	62,8	60,9	<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0,42	-
<b>Na</b>	0,29	-	<b>MgO</b>	1,61	0,59
<b>Mg</b>	0,85	0,30	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	29,5	60,4
<b>Al</b>	12,3	24,5	<b>SiO<sub>2</sub></b>	54,0	29,9
<b>Si</b>	19,1	10,3	<b>K<sub>2</sub>O</b>	4,23	1,15
<b>Cl</b>	-	1,20	<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,98	-
<b>K</b>	1,91	0,51	<b>CaO</b>	-	2,88
<b>Ti</b>	0,26	-	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	9,22	5,00
<b>Ca</b>	-	1,06			
<b>Fe</b>	2,45	1,29			

Table 2. Chemical Analysis.

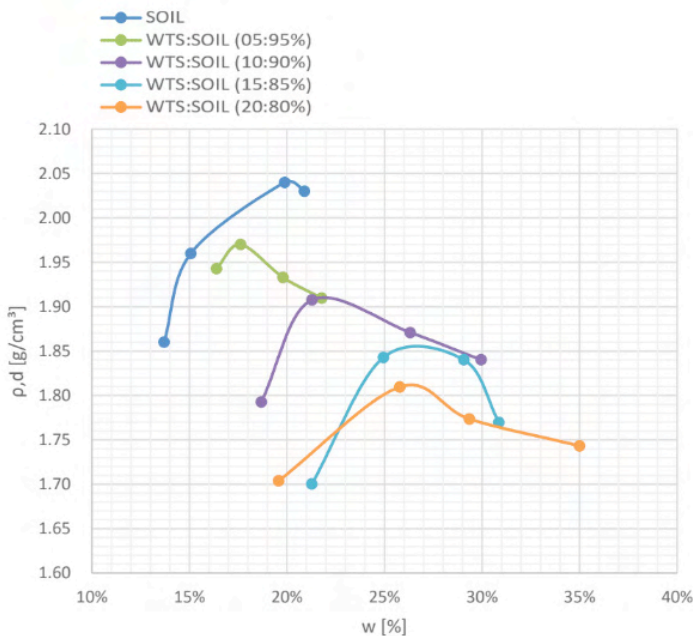


Figure 2. Compaction Curves.

The analyzed soil has low plasticity and a low specific density, which are expected values when compared to studied soils in the region, as stated by (SILVA, 2015). Regarding the WTS, found results indicate a mineralogical structure similar to illite and kaolinite while being characterized as a non-plastic material, opposing to other studies, which have stated

higher values, such as the 22% value for the plasticity index in (WOLFF et al., 2007) o lodo dos decantadores da ETA de uma indústria de celulose do Estado de Minas Gerais, juntamente com outro resíduo também produzido no local (dregs for its WTS. Thus, the addition of the analyzed WTS can provide a finer granulometry to the soil attached to a progressive reduction on the mixtures' plasticity. Also, its chemical composition - based on silicon and aluminum oxides - indicate possible pozzolanic characteristics, creating a siliceous structure similar to a silica-aluminum gel, that could reduce the number of voids in soils, principally considering the WTS's majorly fine particle (BAĞRIAÇIK; GÜNER, 2020). Therefore, such results indicate a solid initial path for WTS's feasibility for liner application and for soils' reinforcement through the introduction of optimal WTS value, which its range seems to be around 15-20%, corroborating with other successful studies, such as (MONTALVAN, 2021). In addition, GS of 1.30 g/cm<sup>3</sup> indicates a low density when compared to soils, indicating possible weight reduction properties of the WTS-soil mixtures, contributing for a successful feasibility of WTS as soil stabilizer. Further characterization was proceeded by analyzing hydraulic conductivity (k) value through a sample saturated in permeameter with constant load, suitable for granular soils, for 100% WTS. However, the found value of  $8 \times 10^{-4}$  cm/s would be insufficient to act as a waterproofing agent in civil works, although also necessary to evaluate WTS-soil iterations. It is worth noticing that the variances found in the chemical analyzes and plasticity index between different studies expose the variability of WTS residue, due to the varied used methodologies and coagulants applied in water treatment processes, although WTS's chemical analysis exposes a high content of silicon, iron, aluminum and oxygen, as they are among the most common elements on earth (GOMES, 1986; RAMANAIDOU; WELLS, 2014).

#### 4 | CONCLUSIONS

The results indicated the analyzed WTS does not meet the necessary parameters to act as a waterproofing material alone but has a great potential for incorporation with already used materials, such as in mixtures with clayey soils, which would attend the minimum hydraulic conductivity requirements for barriers -  $10^{-7}$  cm/s - contributing for filling the voids due to its finer granulometry. However, a more in-depth study is needed regarding WTS-soil iterations and their hydraulic conductivities for further evaluation on the abovementioned minimum hydraulic requirements. Furthermore, the variability of WTS and its characteristics indicate the need for its constant evaluation for different possible applications. However, the addition of the analyzed WTS to the soil allows a finer granulometry and reduction in the weight due to its low specific weight. Also, a progressive reduction on plasticity indexes and possible pozzolanic characteristics occurrence were also stated. Thus, the study exposes a solid beginning for WTS valorization as a waterproofing material for earthworks. In addition, WTS introduction within soft soils seems to improve their geotechnical characteristics, contributing for a successful soil's reinforcement. Thus, properties improvement and environmental

impacts reduction generated by its *in-nature* disposal seems to be reachable, although further investigation is necessary over resistance and hydraulic performances.

## ACKNOWLEDGEMENT

The work is supported by the projects UIDB/00195/2020 (FibEnTech) and UIDB/04035/2020 (GeoBioTec), both financed by the Foundation for Science and Technology (FCT-Portugal).

## REFERENCES

ABNT. **NBR 6457 Amostras de solo - preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.** [s.l.: s.n.].

ASTM. **ASTM D698- 12e2 Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (600 kN-m/m<sup>3</sup>)).** [s.l.: s.n.].

ASTM. **ASTM D854-14 Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer.** [s.l.: s.n.].

ASTM. **ASTM D6913-17 Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis.** West Conshohocken, PA, 2017.

ASTM. **ASTM D4318-17e1 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.** [s.l.: s.n.].

ASTM. **ASTM D2216-19 Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass.** [s.l.: s.n.].

ASTM. **ASTM D2434-19 Standard Test Method for Permeability of Granular Soils (Constant Head).** [s.l.: s.n.].

BAGRIACIK, Baki; GÜNER, Esra Deniz. An Experimental Investigation of Reinforcement Thickness of Improved Clay Soil with Drinking Water Treatment Sludge as an Additive. **KSCE Journal of Civil Engineering**, [S. l.], v. 24, n. 12, p. 3619–3627, 2020. DOI: 10.1007/s12205-020-0111-5.

DUFFY, D. P. **Landfill Economics - Getting Down to Business - Part 2.** 2016.

GANJIAN, Eshmaiel; CLAISSE, Peter A.; TYRER, Mark; ATKINSON, Alan. Selection of Cementitious Mixes as a Barrier for Landfill Leachate Containment. **Journal of Materials in Civil Engineering**, [S. l.], v. 16, n. 5, p. 477–486, 2004. DOI: 10.1061/(asce)0899-1561(2004)16:5(477).

GOMES, Celso. **Argilas: O que são e para que servem.** [s.l.: s.n.].

MONTALVAN, E. L. T. **Geotechnical properties of mixtures of water treatment sludge and residual lateritic soils from the State of São Paulo.** 2021. Universidade de São Paulo, [S. l.], 2021.

RAMANAIDOU, E. R.; WELLS, M. A. Sedimentary Hosted Iron Ores. *In: Treatise on Geochemistry.* 2. ed. [s.l.]: Elsevier, 2014. v. 13p. 313–355. DOI: 10.1016/B978-0-08-095975-7.01115-3.

SILVA, Flora Cristina Meireles. **Avaliação da capacidade reativa de solos residuais destinados à infiltração de águas residuais tratadas**. 2015. Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2015.

WOLFF, E.; SCHWABE, W. K.; LANDIM, A. B.; VITORINO, M. D.; DOS SANTOS, W. L. A Substituição de Argila por Lodo de ETA na Produção de cerâmica Vermelha. *In*: 51° CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA 2007, Salvador, BA. **Anais** [...]. Salvador, BA.

## 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)