



# As Engenharias frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente 2

Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizador)

**Atena**  
Editora  
Ano 2019

Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizador)

As Engenharias frente a Sociedade, a  
Economia e o Meio Ambiente 2

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora  
Copyright © Atena Editora  
Copyright do Texto © 2019 Os Autores  
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora  
Editora Executiva: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Antonella Carvalho de Oliveira  
Diagramação: Natália Sandrini  
Edição de Arte: Lorena Prestes  
Revisão: Os Autores

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

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

#### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

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

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
E57	<p>As engenharias frente a sociedade, a economia e o meio ambiente 2 [recurso eletrônico] / Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (As Engenharias Frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente; v. 2)</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-430-6 DOI 10.22533/at.ed.306192506</p> <p>1. Engenharia – Aspectos sociais. 2. Engenharia – Aspectos econômicos. 3. Desenvolvimento sustentável. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Série.</p> <p style="text-align: right;">CDD 658.5</p>
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

As obras As Engenharias frente a Sociedade, a Economia e o Meio Ambiente Volume 1, 2, 3 e 4 abordam os mais diversos assuntos sobre métodos e ferramentas nas diversas áreas das engenharias a fim de melhorar a relação do homem com o meio ambiente e seus recursos.

O Volume 1 está disposto em 31 capítulos, com assuntos voltados a engenharia do meio ambiente, apresentando processos de recuperação e reaproveitamento de resíduos e uma melhor aplicação dos recursos disponíveis no ambiente, além do panorama sobre novos métodos de obtenção limpa da energia.

Já o Volume 2, está organizado em 32 capítulos e apresenta uma vertente ligada ao estudo dos solos e águas, com estudos de sua melhor utilização, visando uma menor degradação do ambiente; com aplicações voltadas a construção civil de baixo impacto.

O Volume 3 apresenta estudos de materiais para aplicação eficiente e econômica em projetos, bem como o desenvolvimento de projetos mecânico e eletroeletrônicos voltados a otimização industrial e a redução de impacto ambiental, sendo organizados na forma de 28 capítulos.

No último Volume, são apresentados capítulos com temas referentes a engenharia de alimentos, e a melhoria em processos e produtos.

Desta forma um compendio de temas e abordagens que facilitam as relações entre ensino-aprendizado são apresentados, a fim de se levantar dados e propostas para novas discussões em relação ao ensino nas engenharias, de maneira atual e com a aplicação das tecnologias hoje disponíveis.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
ESTUDOS DA ÁGUA E SEDIMENTOS NA BACIA DO RIO UBERABINHA EM UBERLÂNDIA - MG	
Maria da Graça Vasconcelos	
Luiz Alfredo Pavanin	
Erich Vectore Pavanin	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3061925061</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>13</b>
BATIMETRIA E MEDIÇÃO DE VAZÃO NA BACIA DO RIO JI-PARANÁ - RO	
Renato Billia de Miranda	
Camila Bermond Ruezzeno	
Bruno Bernardo dos Santos	
Frederico Fabio Mauad	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3061925062</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>26</b>
MONITORAMENTO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA ENSAIO DE PROVA DE CARGA EM SOLO BASÁLTICO	
Daniel Russi	
Sandra Garcia Gabas	
Giancarlo Lastoria	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3061925063</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>37</b>
UTILIZAÇÃO DO MÉTODO PAPEL FILTRO E CENTRÍFUGA PARA DETERMINAÇÃO DE CURVAS DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO E CORRELAÇÕES COM PARÂMETROS GEOTÉCNICOS	
Ana Carolina Dias Baêso	
Eduardo Souza Cândido	
Roberto Francisco de Azevedo	
Gustavo Armando dos Santos	
Tulyo Diniz Oliveira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3061925064</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>51</b>
DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS DE UM SOLO TROPICAL DA BAIXADA FLUMINENSE NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO	
Fernando Benedicto Mainier	
Claudio Fernando Mahler	
Viktor Labuto Ramos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3061925065</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>61</b>
ELABORAÇÃO DE UMA CARTA DE UNIDADES DE TERRENO DO MUNICÍPIO DE CACHOEIRO DE ITAPEMIRIM – ES	
Bruna Xavier Faitanin	
Éder Carlos Moreira	
Altair Carrasco de Souza	
Vitor Roberto Schettino	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3061925066</b>	

<b>CAPÍTULO 7 .....</b>	<b>69</b>
ESTABILIZAÇÃO DE UM SOLO SILTE ARENOSO DA FORMAÇÃO GUABIROTUBA COM CAL PARA USO EM PAVIMENTAÇÃO	
Wagner Teixeira	
Eclesielter Batista Moreira	
João Luiz Rissardi	
Vanessa Corrêa de Andrade	
Ronaldo Luis dos Santos Izzo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3061925067</b>	
<b>CAPÍTULO 8 .....</b>	<b>80</b>
INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE CAL HIDRATADA NA RESISTÊNCIA DE SOLOS SEDIMENTARES	
Jair de Jesús Arrieta Baldovino	
Eclesielter Batista Moreira	
Ronaldo Luis Dos Santos Izzo	
Juliana Lundgren Rose	
Erico Rafael Da Silva	
Wagner Teixeira	
Felipe Perretto	
Roberto Pan	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3061925068</b>	
<b>CAPÍTULO 9 .....</b>	<b>95</b>
PERFILAGEM DO SUBSOLO NO MUNICÍPIO DE APUCARANA-PR COM BASE EM DADOS DE SONDAGENS DE SIMPLES RECONHECIMENTO COM SPT	
Mariana Alher Fernandes	
Augusto Montor de Freitas Luiz	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3061925069</b>	
<b>CAPÍTULO 10 .....</b>	<b>104</b>
UTILIZAÇÃO DO PERMEÂMETRO DE TUBO NA DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE DE CAMADAS SUPERFICIAIS DE SOLOS	
Marcos Túlio Fernandes	
Glaucimar Lima Dutra	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30619250610</b>	
<b>CAPÍTULO 11 .....</b>	<b>116</b>
DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO EM SOLO REFORÇADO COM GEOSSINTÉTICOS	
Alessandra Lidia Mazon	
Maytê Pietrobelli de Souza	
Bianca Penteado de Almeida Tonus	
André Fanaya	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30619250611</b>	

**CAPÍTULO 12 ..... 133**

AVALIAÇÃO DA ERODIBILIDADE DO SOLO DE CARACTERÍSTICA NÃO LATERÍTICA SOB O ENFOQUE GEOTÉCNICO NAS MARGENS DA TO-222 NO MUNICÍPIO DE ARAGUAÍNA - TO

Glacielle Fernandes Medeiros  
Renata de Moraes Farias  
Palloma Borges Soares  
Ana Sofia Oliveira Japiassu  
Andressa Fiuza de Souza  
Igor Guimarães Matias

**DOI 10.22533/at.ed.30619250612**

**CAPÍTULO 13 ..... 144**

ADAPTAÇÃO DE METODOLOGIA DE HIERARQUIZAÇÃO DE NÍVEIS DE ATENÇÃO UTILIZADA EM MINERAÇÃO PARA TRABALHOS DE MAPEAMENTO DE RISCOS GEOTÉCNICOS EM ÁREA URBANA

Marcelo Corrêa da Silva  
Daiara Luiza Guimarães

**DOI 10.22533/at.ed.30619250613**

**CAPÍTULO 14 ..... 157**

PRODUÇÃO DE CONCENTRADO ÚMIDO FOSFATADO: UMA EXPERIÊNCIA DE ESTÁGIO NA MINERAÇÃO

Matheus Henrique Borges Coutinho  
Ricardo Antonio de Rezende  
Cibele Tunussi  
Marcos Vinicius Agapito Mendes

**DOI 10.22533/at.ed.30619250614**

**CAPÍTULO 15 ..... 163**

ESTUDO DOS DESPERDÍCIOS DE MATERIAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL E SUGESTÕES PARA A MINIMIZAÇÃO E REUTILIZAÇÃO DOS MESMOS, VISANDO A OTIMIZAÇÃO DOS CUSTOS DAS OBRAS E MENORES IMPACTOS AMBIENTAIS

Beatriz Zeurgo Fernandes  
Rafael Bergjohann  
Luiz Carlos de Campos

**DOI 10.22533/at.ed.30619250615**

**CAPÍTULO 16 ..... 176**

USO DA CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR COMO SUBSTITUTO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND

Kenyson Diony Souza Silva  
Raduan Krause Lopes  
Fabiano Medeiros Da Costa

**DOI 10.22533/at.ed.30619250616**

**CAPÍTULO 17 ..... 192**

ESTUDOS PRELIMINARES DA APLICAÇÃO DE RESÍDUO DE MINÉRIO DE COBRE SULFETADO NA ELABORAÇÃO DE ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO E REVESTIMENTO

Julia Alves Rodrigues  
Dilson Nazareno Pereira Cardoso  
Abel Jorge Rodrigues Ferreira  
Edinaldo José de Sousa Cunha  
Bruno Marques Viegas  
Edilson Marques Magalhães  
José Antônio da Silva Souza

**DOI 10.22533/at.ed.30619250617**

**CAPÍTULO 18 ..... 200**

AValiação DO COMPORTAMENTO DE COMPOSIÇÕES A BASE DE CIMENTO DE ALUMINATO DE CÁLCIO FRENTE AOS MICRORGANISMOS STAPHYLOCOCCUS AUREUS E ESCHERICHIA COLI

Renata Martins Parrreira  
Talita Luana de Andrade  
Newton Soares da Silva  
Cristina Pacheco Soares  
Victor Carlos Pandolfelli  
Ivone Regina de Oliveira

**DOI 10.22533/at.ed.30619250618**

**CAPÍTULO 19 ..... 209**

UMA TÉCNICA, BASEADA EM PROJETO DE EXPERIMENTOS, PARA OTIMIZAÇÃO DA DOSAGEM DE ARGAMASSA MISTA DE CIMENTO, CAL E AREIA

André Rodrigues Monticeli  
Paulo César Mappa  
Aellington Freire de Araújo  
Emerson Ricky Pinheiro  
Karoline Santos da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.30619250619**

**CAPÍTULO 20 ..... 221**

REDUÇÃO DO CONSUMO DE AÇO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO SUBMETIDAS AO ESFORÇO CORTANTE ATRAVÉS DA ESCOLHA DO ÂNGULO DAS BIELAS

Lucas Teotônio de Souza  
Paula de Oliveira Ribeiro

**DOI 10.22533/at.ed.30619250620**

**CAPÍTULO 21 ..... 232**

ANÁLISE DE CRONOGRAMA FÍSICO x CRONOGRAMA REALIZADO NA OBRA DO FÓRUM DE RIO NEGRO/PR PARA FINS DE DIMINUIÇÃO DOS ATRASOS

Nathalia Loureiro de Almeida Correa

**DOI 10.22533/at.ed.30619250621**

**CAPÍTULO 22 ..... 250**

ANÁLISE DA IMPORTÂNCIA DO CORRETO DIMENSIONAMENTO DOS VERTEDORES EM BARRAGENS E SUAS INFLUÊNCIAS ECOLÓGICAS E SOCIOECONÔMICAS. ESTUDO DE CASO: USINA HIDRELÉTRICA DE XINGÓ

Jéssica Beatriz Dantas  
Djair Félix da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.30619250622**

<b>CAPÍTULO 23</b> .....	<b>262</b>
ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DE PAVIMENTO PERMEÁVEL EM UMA ÁREA DA CIDADE DE JOINVILLE/SC	
Adilon Marques dos Santos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30619250623</b>	
<b>CAPÍTULO 24</b> .....	<b>281</b>
ANÁLISE NUMÉRICA DA SENSIBILIDADE DO ALGORITMO IMPLEX APLICADO EM UM CENÁRIO HIPOTÉTICO DE ESTABILIDADE DE TALUDE VIA TÉCNICA DE DESCONTINUIDADES FORTES	
Nayara Torres Belfort	
Ana Itamara Paz de Araujo	
Kátia Torres Botelho Galindo	
Igor Fernandes Gomes	
Leonardo José do Nascimento Guimarães	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30619250624</b>	
<b>CAPÍTULO 25</b> .....	<b>294</b>
DIMENSIONAMENTO DE LAJES MACIÇAS POR MEIO DE CÁLCULO MANUAL E COM O AUXÍLIO DE UM SOFTWARE COMPUTACIONAL	
Iva Emanuely Pereira Lima	
Vitor Bruno Santos Pereira	
Vinicius Costa Correia	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30619250625</b>	
<b>CAPÍTULO 26</b> .....	<b>306</b>
DIMENSIONAMENTO OTIMIZADO DE PILARES MISTOS PREENCHIDOS DE AÇO E CONCRETO	
Jéssica Salomão Lourenção	
Élcio Cassimiro Alves	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30619250626</b>	
<b>CAPÍTULO 27</b> .....	<b>325</b>
ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS: MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	
João Augusto Dunck Dalosto	
Luiz Fernando Hencke	
Jhonatan Conceição dos Santos	
Hevrlí da Silva Carneiro Pilatti	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30619250627</b>	
<b>CAPÍTULO 28</b> .....	<b>336</b>
APLICAÇÃO DO CPR EM SOLOS MOLES NA REGIÃO DO CAMPO DOS PERDIZES: DUPLICAÇÃO DA BR 135, ENTRE O KM 39,36 E O KM 39,90	
Rodrigo Nascimento Barros	
Larysse Lohana Leal Nunes	
Saymo Wendel de Jesus Peixoto Viana	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30619250628</b>	
<b>CAPÍTULO 29</b> .....	<b>348</b>
ANÁLISE DA QUALIDADE DO AR INTERNO DE UMA TERAPIA INTENSIVA	
Sylvia Katherine de Medeiros Moura	
Antonio Calmon de Araújo Marinho	
Wagner Amadeus Galvão de Souza	
Angelo Roncalli Oliveira Guerra	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30619250629</b>	

<b>CAPÍTULO 30</b> .....	<b>357</b>
'ARTENGENHARIA': UMA PONTE TRANSDISCIPLINAR PARA O DESENVOLVIMENTO DO POTENCIAL HUMANO E SUAS CONTRIBUIÇÕES PARA A GESTÃO DO CONHECIMENTO	
Ana Alice Trubbianelli	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30619250630</b>	
<b>CAPÍTULO 31</b> .....	<b>371</b>
PROCEDIMENTO DE ANÁLISE EXPERIMENTAL E NÚMÉRICO DE UMA PONTE EXECUTADA COM PALITOS DE PICOLÉ	
Matheus Henrique Morato de Moraes	
João Eduardo Sousa de Freitas	
Diogo Henrique Morato de Moraes	
Juarez Francisco Freire Junior	
Wellington Andrade da Silva	
Geraldo Magela Gonçalves Filho	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30619250631</b>	
<b>CAPÍTULO 32</b> .....	<b>383</b>
EXERGIA HÍDRICA EM SISTEMAS REDUTORES DE PRESSÃO	
Conrado Mendes Moraes	
Ângela B. D. Moura	
Eduardo D. P. Schuch	
Eduardo de M. Martins	
<b>DOI 10.22533/at.ed.30619250632</b>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....	<b>393</b>

## EXERGIA HÍDRICA EM SISTEMAS REDUTORES DE PRESSÃO

### **Conrado Mendes Morais**

Universidade Feevale, Instituto de Ciências  
Exatas e tecnologia/Engenharia Mecânica  
Novo Hamburgo – RS

### **Ângela B. D. Moura**

Universidade Feevale, Instituto de Ciências  
Exatas e tecnologia/Engenharia Mecânica  
Novo Hamburgo - RS

### **Eduardo D. P. Schuch**

Universidade Feevale, Instituto de Ciências  
Exatas e tecnologia/Engenharia Mecânica  
Novo Hamburgo - RS

### **Eduardo de M. Martins**

Universidade Feevale, Instituto de Ciências  
Exatas e tecnologia/Engenharia Mecânica  
Novo Hamburgo - RS

**RESUMO:** A análise exérgica evidencia a quantidade de trabalho útil disponibilizado, e a irreversibilidade que um determinado sistema ou processo possui, e o potencial energético que pode ser utilizado em processos secundários. Sistemas e processos que possuem dutos de água, com fluxo contínuo e válvulas de redução de pressão, desperdiçam grande quantidade de energia, que poderia ser direcionada e utilizada aumentando a eficiência de todo o sistema. Através da fundamentação teórica, e da obtenção de dados de processo, baseados nos catálogos dos fabricantes de

válvulas redutoras de pressão, este trabalho mostra uma avaliação exérgica aplicada a sistemas redutores de pressão de sistemas de bombeamento de água. Foram calculados os resultados do balanço da taxa de exergia para volumes de controle e da exergia destruída, evidenciando assim a quantidade de energia disponível em cada processo, útil para reaproveitamento, e o que não pode ser utilizado. Os dados obtidos quantificaram a energia envolvida, e evidenciaram que estes processos podem se tornar mais eficientes energeticamente se utilizarem essa energia que está sendo desperdiçada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Exergia, aproveitamento energético, Eficiência energética, termodinâmica.

### **WATER EXERGY IN PRESSURE REDUCING SYSTEMS**

**ABSTRACT:** The exergetic analysis shows the amount of useful work available, and the irreversibility of a certain system or process, and consequently, the energetic potential that can be used in secondary processes. Systems and processes that have continuous flow of water and pressure reduction valves waste large amounts of energy that could be directed and used increasing the efficiency of the entire system. Based on the theoretical basis and the

process data, obtained in the catalogs of the pressure reducing valve manufacturers, this work shows an exergetic evaluation applied to pressure reducing systems of water pumping systems. The results of the balance of the exergy rate for control volumes and destroyed exergy were calculated, thus showing the amount of energy available in each process, useful for reuse, and the amount that cannot be used. The data obtained quantified the energy involved, and showed that these processes can become more energy efficient if they use this energy that is being wasted.

**KEYWORDS:** *Exergy, energy efficiency, thermodynamics.*

## 1 | INTRODUÇÃO

O Brasil tem o recurso hídrico como a principal fonte para a geração de energia elétrica, atingindo 68% de participação na matriz energética, oriundos de centrais hidrelétricas. A indústria é o setor com maior consumo de energia elétrica, e o estudo de eficiência e disponibilidade energética torna-se importante para que a utilização dos recursos disponíveis seja o mais eficiente possível, evitando desperdícios e custos desnecessários (ANEEL, 2015).

As empresas de saneamento possuem grande demanda de recursos hídricos, principalmente em sistemas de bombeamento, que envolvem, em muitos casos, estações redutoras de pressão. As estações redutoras de pressão, envolvem vazões de água consideráveis e promovem a redução da pressão para as linhas de distribuição, através de válvulas, que impõe ao sistema uma perda de energia (perda de carga). A questão que surge está relacionada a possibilidade e viabilidade técnica de aproveitamento desta energia.

Assim o objetivo deste estudo é realizar uma avaliação da exergia disponível e da exergia inaproveitável dos sistemas hídricos, que atravessam um sistema redutor de pressão, fundamentados nos conceitos termodinâmicos, identificando a possibilidade e disponibilidade de aproveitando desta energia. Ainda gerar um padrão de análise e parâmetros de comparação para sistemas similares, que possam representar de forma analítica os resultados obtidos.

Uma análise exérgica pode evidenciar diversas oportunidades de direcionamento e aproveitamento dessa energia, inclusive embasar análises técnicas e econômicas de projetos, que quando viáveis se tornam excelentes aliados no que tange à eficiência energética e redução de custos nos processos industriais, objetivos comuns da gestão energética. Na literatura são encontrados trabalhos que evidenciam o uso da eficiência exérgica como critério de comparação entre processos que pode ajudar a entender os benefícios de usar uma ou outra alternativa em comparação com o ponto de vista energético tradicional. (Ko, 2006; Rosen et al., 2008; Dincer e Ratlamwala, 2013; Gassner e Marechal, 2013; Bechara et al., 2016; Quiroz et al., 2018).

## 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica baseia-se nos conceitos de termodinâmica, que sequencialmente envolvem o estudo da primeira e da segunda lei da termodinâmica, além de reversibilidade e irreversibilidade dos sistemas, que são as bases conceituais e métricas para que a exergia possa ser calculada. São apresentadas informações que possibilitam aprimorar o entendimento dos temas envolvidos, e possibilitar embasar de forma concreta e mensurável os resultados das análises realizadas.

A primeira lei da termodinâmica, também conhecida como princípio de conservação de energia, oferece uma base eficiente de estudo sobre as interações e diferentes formas de energia que envolvem calor (energia interna), trabalho (energia cinética) e energia potencial. Evidencia também que a energia não pode ser criada nem destruída durante um processo, ela pode apenas mudar de forma (ÇENGEL E BOLES, 2013).

Baseados nestes conceitos de primeira lei da termodinâmica de conservação de energia, ainda segundo Çengel e Boles (2013), a variação total de energia ( $\Delta E$ ) de um determinado sistema, é calculada pela soma da variação das energias interna ( $\Delta U$ ), da energia cinética ( $\Delta E_C$ ) e da energia potencial ( $\Delta E_P$ ), conforme Equação 1.

$$\Delta E = \Delta U + \Delta E_C + \Delta E_P \quad (1)$$

Um dos termos mais relacionados à termodinâmica é a eficiência. Neste caso (eficiência energética) indica com qual efetividade o processo de transferência ou conversão de energia foi realizado. O índice de eficiência (Equação 2) se dá pela relação do resultado desejado ou obtido pelo fornecimento necessário (neste caso de energia) (BORGNAKKE; SONNTAG, 2009).

$$\text{Eficiência} = \frac{\text{Resultado desejado/obtido}}{\text{Fornecimento necessário}} \quad (2)$$

Segundo Çengel e Boles (2013), durante o estudo da primeira lei da termodinâmica, entende-se que a energia de um processo não pode ser criada nem destruída, apenas muda de forma. Já da segunda lei da termodinâmica, compreende-se que a energia gerada por determinado processo tem direção determinada, e possui qualidade e quantidade. E para que o processo ocorra, é necessário que ele satisfaça tanto a primeira lei quanto a segunda lei da termodinâmica.

A segunda lei da termodinâmica tem papel fundamental na engenharia, uma vez que determina a qualidade de determinado processo, o que pode definir a sua viabilidade ou não. Também é possível avaliar o nível de degradação da energia durante o processo, auxiliando nesta análise (ÇENGEL E BOLES, 2013).

Um dos usos mais importantes dentro da segunda lei da termodinâmica é a determinação do melhor desempenho teórico do sistema, para que possa ser comparado com o real. Nesta análise é necessário entender que teoricamente todos os processos reais são irreversíveis, o que significa que não podem retornar ao seu estado inicial, devido a diversos fatores que não o deixam retornar ao mesmo estado, como exemplo atrito, expansão não resistida, transferência de calor, deformação, etc. (MORAN et al. 2013).

## 2.1 Trabalho reversível e irreversível (destruição da energia)

Trabalho reversível ( $W_{rev}$ ) é definido como o máximo de trabalho útil produzido quando um sistema passa por um processo, entre os estados inicial e final especificados. Quando o estado final é morto (ou seja, em condições ambientes de temperatura e pressão), o trabalho reversível é o mesmo que a exergia. O trabalho reversível representa a quantidade mínima de trabalho que o sistema precisa para executar determinado processo. (KO, 2006; MORAN et al. 2013).

As diferenças entre o trabalho reversível ( $W_{rev}$ ) e o trabalho útil ( $W_u$ ), ou máxima energia que pode ser aproveitada, ocorrem em função da exergia destruída ou não aproveitada durante o processo (que é também chamada de Irreversibilidade do processo) e é expressa conforme Equação 3:

$$I = W_{rev, sai} - W_{u, sai} \quad \text{ou} \quad I = W_{u, ent} - W_{rev, ent} \quad (3)$$

A irreversibilidade será sempre positiva para todos os processos reais (irreversíveis), pois  $W_{rev} \geq W_u$  para sistemas que produzem trabalho, e  $W_{rev} \leq W_u$  para os sistemas que consomem trabalho. Esta irreversibilidade pode ser entendida com o potencial de trabalho desperdiçado pelo sistema, ou então uma oportunidade perdida de realizar trabalho, representando a energia que não foi convertida. Quanto menor a irreversibilidade, maior o trabalho produzido, e consequentemente melhor o desempenho do sistema (MORAN et al. 2013).

## 2.2 Exergia

A Exergia pode ser entendida como a energia disponível e útil de determinada fonte. É o máximo de trabalho útil que pode ser retirado desta.

Sabe-se da importância do trabalho para a geração de energia, e todos os processos consequentes dessa demanda. Porém existem diversas fontes com potencial energético elevado, mas sem condições de aproveitar da melhor forma possível essa energia. É nesse contexto que se insere a exergia e os demais estudos decorrentes desta: para determinação da quantidade de energia útil que pode ser extraída de determinada fonte ou processo, importante na determinação da viabilidade

dos aproveitamentos.

Análises exergéticas podem ser ferramentas para entender e orientar o gerenciamento de recursos naturais e do meio ambiente, que são também objetivos da gestão da energia nas empresas.

Na abordagem da primeira lei da termodinâmica, verifica-se que a energia, não pode ser destruída nem criada. Na segunda lei da termodinâmica trata-se da qualidade da mesma, das perdas, e das oportunidades não completas para a conversão em trabalho, e do rendimento que se extrai de determinado processo. Dela deriva-se o conceito de disponibilidade de trabalho, ou seja, a Exergia (ÇENGEL E BOLES, 2013).

A exergia não representa toda a quantidade de trabalho que o sistema produz, mas sim a quantidade útil de energia desse sistema, e sempre haverá uma diferença entre a exergia e o trabalho real produzido. Estas lacunas que se criam, representam oportunidades de melhoria e fontes de possíveis melhorias e aperfeiçoamentos de processos.

Segundo ÇENGEL E BOLES (2013), o cálculo da Exergia ) de um sistema, Equação 4, se dá pela soma da variação da energia interna  $(U - U_0)$ , da variação da velocidade vezes a pressão inicial do sistema  $(P_0 (V - V_0))$  menos a variação de entropia vezes a temperatura inicial  $(T_0 (S - S_0))$ , além da energia cinética  $(\frac{V^2}{2})$  e da energia potencial (gz). Sendo representada abaixo:

$$E = (U - U_0) + P_0 (V - V_0) - T_0 (S - S_0) + \frac{V^2}{2} + gz \quad (4)$$

Para o caso específico de um fluxo permanente através de uma tubulação, a análise é feita através do balanço da taxa de energia para um volume de controle, Equação 5:

$$\sum \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right) \dot{Q}_k - (\dot{W} - P_0 (V - V_0)) + \sum_{ent} \dot{m}\psi - \sum_{sai} \dot{m}\psi - \dot{X}_{destruída} = \frac{dX_{vc}}{dt} \quad (5)$$

Onde  $(\sum (1 - \frac{T_0}{T_k}) \dot{Q}_k)$  é a exergia por transferência de calor, sendo  $\frac{T_0}{T_k}$  a diferença das temperaturas do processo e  $Q_k$  a taxa de fluxo. A exergia relacionada à taxa de trabalho do sistema é  $(\dot{w})$ , e a variação de velocidade pela pressão inicial é representada por  $(P_0 (V - V_0))$ .

Além destes termos, considera-se também a diferença entre a relação das exergias de entrada e saída associadas ao transporte de massa  $(\sum_{ent} \dot{m}\psi - \sum_{sai} \dot{m}\psi)$ , onde  $\psi$  é a exergia de fluxo para volumes de controle em escoamento permanente. Subtrai-se por fim a taxa de exergia destruída representada por  $\dot{X}_{destruída}$ , que é a quantidade de energia que não pode ser aproveitada (MORAN et al. 2013).

### 3 | METODOLOGIA

Para o estudo de caso foi realizada uma pesquisa bibliográfica, para aprofundamento e ampliação de conhecimento a respeito dos conceitos fundamentais de termodinâmica, como primeira e segunda lei, trabalho reversível e irreversível, e exergia. Além das literaturas específicas da termodinâmica, artigos que contemplam estudos acerca dos assuntos abordados, disponíveis em portais direcionados a este tipo de pesquisa também foram utilizados.

Com base nos conceitos estudados, foram escolhidos processos baseados nas faixas de operação oferecidas em catálogos de fabricantes de válvulas redutoras de pressão, onde foram aplicadas as fórmulas para o cálculo do balanço da taxa de exergia e irreversibilidade do sistema, para demonstrar a quantidade de energia que poderia ser aproveitada em outro processo secundário, como por exemplo para geração de energia elétrica. As entalpias ( $h$ ) e entropia ( $s$ ) foram calculadas através do *software* livre Minirefprop, para os dados de pressão e temperatura da água.

Os dados e especificações de processo utilizados nos cálculos foram retirados dos catálogos dos fabricantes de válvulas redutoras de pressão, marcas conhecidas no mercado como Valloy e Berluto (Valloy, 2018; Berluto, 2018).

### 4 | RESULTADOS

Para o cálculo de balanço de exergia do sistema, foi selecionada uma válvula redutora de pressão da marca Valloy, série 200, com dados de processo retirados do catálogo do fabricante. Com pressão de entrada de 10kgf/cm<sup>2</sup> e pressão de saída 3 kgf/cm<sup>2</sup>. A vazão para o sistema é de 260 m<sup>3</sup>/h, e o diâmetro da válvula é de 250mm. A temperatura considerada é a ambiente padrão, 25°C.

A fórmula (Equação 6) utilizada foi (conforme anteriormente especificada na fundamentação teórica):

$$\sum \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right) \dot{Q}_k - (\dot{W} - P_o (V - V_o)) + \sum_{ent} \dot{m} \psi - \sum_{sai} \dot{m} \psi - \dot{X}_{destruída} = \frac{dX_{vc}}{dt} \quad (6)$$

Em função de não ter variação de temperatura, fluxo, velocidade e trabalho (que depende também da velocidade) nas respectivas exergias, estes elementos tendem a zero e foram desconsiderados na resolução. A diferença entre os somatórios de fluxo de massa vezes as exergias de entrada e saída foram simplificados, conforme Equação 7.

$$\frac{dX_{vc}}{dt} = \dot{m} (\psi_{ent} - \psi_{sai}) - \dot{X}_{destruída} \quad (7)$$

Resultando na fórmula a seguir, Equação 8:

$$\frac{dX_{vc}}{dt} = \rho Av ((h_1 - h_2) - T_o(s_1 - s_2)) - T_o(s_2 - s_1)$$

$$0,36487 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot 0,05 \text{ m}^2 \cdot 1,44 \frac{\text{m}}{\text{s}} \left( \left( 105,11 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 104,47 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) - 298 \text{ K} \right. \\ \left. \left( 0,36487 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} - 0,36505 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \right) \right) - 298 \text{ K} \left( 0,36505 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} - 0,36487 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \right)$$

(8)

Resultado do balanço da taxa de exergia para volume de controle em regime permanente, conforme Equação (9):

$$\frac{dX_{vc}}{dt} = 45,97 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \text{ ou } 45,97 \text{ kW}$$

(9)

Sendo esta a energia passível de aproveitamento. A irreversibilidade do sistema, ou seja, a energia que não pode ser utilizada, em função das perdas do sistema é dada pela Equação 11:

$$\dot{X}_{destruída} = T_o(s_2 - s_1)$$

$$\dot{X}_{destruída} = 298 \text{ K} \left( 0,36505 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} - 0,36487 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \right)$$

$$\dot{X}_{destruída} = 0,054 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

(11)

Os dados utilizados do processo, foram especificados no catálogo do fabricante, supondo a definição de um determinado equipamento, e a mesma análise pode ser utilizada para criar facilmente novos dados referentes a processos análogos, evidenciando a quantidade de energia disponível nos processos.

Na Tabela 1 são apresentados resultados dos cálculos baseados em dados de processo e configuração de válvulas redutoras de pressão para sistemas hídricos. Foram calculados e especificados os resultados do balanço da taxa de exergia e da exergia destruída nos padrões de processos baseados em dados de pressões de entradas e saídas informadas nos catálogos dos fabricantes (Valloy, 2018; Berluto, 2018).

Diâmetro da Válvula (mm)	Pressão de Entrada (Mpa)	Pressão de Saída (Mpa)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Taxa de Exergia (kJ/s ou kW)	Exergia destruída (kJ/kg)
500	1	0,343	0,1	65,82	0,05
400	1,6	0,4	0,08	95,81	0,09
150	2	0,4	0,05	79,75	0,12
50	2,5	0,5	0,003	5,84	0,15

TABELA 1. Balanço de Taxa de Exergia e Exergia destruída para diferentes situações de quedas de pressão em sistemas de bombeamento.

Fonte: Autor (2018).

Para os dados considerados para a Tabela 1, a taxa de exergia representa a energia passível de aproveitamento evidenciando a quantidade de energia disponível nos processos de redução de pressão em sistemas de bombeamento de água.

## 5 | CONCLUSÕES

O trabalho mostrou uma investigação da exergia em sistemas redutores de pressão de fluxos hídricos. Os resultados evidenciaram a disponibilidade de energia que pode ser direcionada e utilizada em processos secundários e complementares, para o aumento da eficiência energética de todo o sistema envolvido.

A avaliação exérgica apresenta-se como uma eficiente ferramenta para avaliação mais precisa e assertiva do rendimento de determinados processos, pois considera também nos cálculos a irreversibilidade do processo, ou seja, aquela quantidade de energia que não pode ser utilizada, que é perdida pelo sistema, devido aos processos envolvidos, demonstrando assim dados reais e mais concretos de todo o sistema.

Para aumentar a eficiência energética e a sustentabilidade dos processos, a análise exérgica é determinante para evidenciar os diversos pontos de melhoria e aproveitamento dos recursos disponíveis, para que soluções inovadoras sejam criadas e desenvolvidas, visando sempre processos mais eficientes.

Com base neste estudo realizado é possível dar continuidade em estudos e avaliações para o aproveitamento dessa energia disponibilizada pelo sistema, em casos reais de companhias de saneamento, para que esta seja utilizada de forma mais eficiente, e reduza o desperdício, aumentando a eficiência de todo o processo. Pode-se também relacionar a intenção de criar sistemas secundários como a geração de energia elétrica, o que efetivamente pode influenciar no retorno financeiro em forma de redução de custos por utilização de energia elétrica gerada, que pode alimentar determinado parte de um processo ou equipamento.

Existe grande dependência de recursos hídricos, seja em saneamento ou plantas industriais, que utilizam este tipo de processo estudado, e o aproveitamento dessa energia é fundamental para que se possa cada vez mais utilizar este recurso de forma racional e mais eficiente, evitando qualquer desperdício existente no processo.

## REFERÊNCIAS

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, **Atlas de energia elétrica do Brasil**, 2. ed. – Brasília, Brasil: ANEEL, 2005. 243 p.

**Balço Energético Nacional**. 2017. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2017.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2017.pdf)>. Acesso em: 20 set. 2018.

BECHARA, Rami et al. **Methodology for the design and comparison of optimal production configurations of first and first and second generation ethanol with power**. Disponível em: <<https://doi-org.ez310.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.apenergy.2016.09.100>>. Acesso em: 27 set. 2018.

BERLUTO, **Riduttori di Pressioni in acciaio inox** (dados do fabricante). Disponível em: <<https://www.mcastrumenti.it/pdf/riduttori-di-pressione-acciaio-acqua-di-mare.pdf>>. Acesso em: 27 set. 2018.

BORGNAKKE, Claus; SONNTAG, Richard E. **Fundamentos da Termodinâmica**. 7. ed. São Paulo, Brasil: Blucher, 2009. 462 p.

CERQUEIRA, Sérgio A. **Métodologias de análises termodinâmica de sistemas**. Monografia do Curso de Engenharia Mecânica (Departamento de energia) – Universidade Estadual de Campinas, 163 p., 1999.

COLOMBO, Marina F. **Valutazione exergetica di um giacimento di idrocarburi**. Tesi di Laurea in Ingegneria Energetica – Politecnico di Milano, 132 p., 2012.

ÇENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A. **Termodinâmica**. 7. ed. Porto Alegre, Brasil: AMGH, 1019 p., 2013.

DINCER, Ibrahim; RATLAMWALA, T.A.H. Ratlamwala. **Importance of exergy for analysis, improvement, design, and assessment**. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/wene.63>>. Acesso em: 27 set. 2018.

GUIZONI, Valeria H. **Dispositivos de geração hídrica**. Monografia do Curso de Engenharia Eletrônica - Universidade Feevale, Novo Hamburgo, 59 p., 2016.

KOTAS, T. J. **The Exergy Method of Thermal Plant Analysis**. Malabar, Florida: Krieger, 320 p., 2015.

MARECHAL, François; GASSNER, Martin. **Methodology for the design and comparison of optimal production configurations of first and first and second generation ethanol with power**. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, 2017 p., 2013.

MORAN, Michael J.; SHAPIRO, Howard N.; BOETTNER, Daisie D.; BAILEY, Margaret B. **Princípios da Termodinâmica para Engenharia**. 7. ed. Rio de Janeiro, Brasil: LTC, 820 p., 2013.

NETTO, Luiz Ferraz. **Geradores de Energia Elétrica**. Disponível em <[http://www.feiradeciencias.com.br/sala13/13\\_T02.asp](http://www.feiradeciencias.com.br/sala13/13_T02.asp)>. Acesso: 25 de set. 2016.

PETRY, Magaly. **Análise Exergética de planta termelétrica de ciclo combinado**. Monografia do Curso de Engenharia Mecânica - Universidade Feevale, Novo Hamburgo, 128 p., 2015.

VALLOY, **Tecnologia em válvulas de alto rendimento** (fabricante de válvulas redutoras de pressão). Disponível em: <<http://www.valloy.com.br/default.asp>>. Acesso em: 23 set. 2018.

VALLOY, **Catálogo de dimensionamento de válvulas** (dados do fabricante). Disponível em: <<http://www.valloy.com.br/PDF/YTD01.pdf>>. Acesso em: 23 set. 2018.

ROSEN, Marc A.; DINCER, Ibrahim; KANOGLU, Mehmet. **Role of exergy in increasing efficiency and sustainability and reducing environmental impact**. Disponível em: <<https://doi-org.ez310.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.enpol.2007.09.006> CrossRefGoogle Scholar>. Acesso em: 28 set.2018.

## **SOBRE O ORGANIZADOR**

**HENRIQUE AJUZ HOLZMANN** Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná Doutorando em Engenharia e Ciência do Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-430-6



9 788572 474306