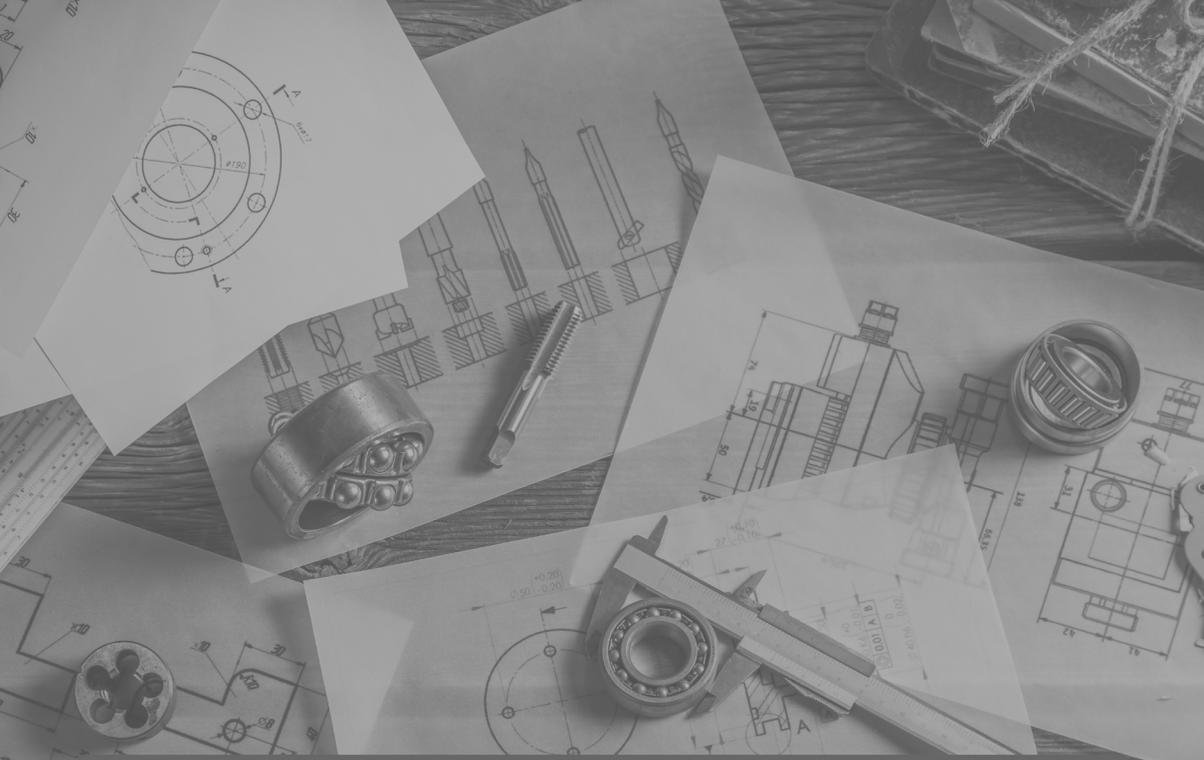


Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizador)

# A aplicação do conhecimento científico na engenharia mecânica

# 3

**Atena**  
Editora  
Ano 2023



Henrique Ajuz Holzmann  
(Organizador)

# A aplicação do conhecimento científico na engenharia mecânica

# 3

**Atena**  
Editora  
Ano 2023

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2023 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2023 Os autores

Copyright da edição © 2023 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-Não-Derivativos 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 Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

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  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof<sup>o</sup> Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> 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  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas  
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof<sup>o</sup> Dr Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

## A aplicação do conhecimento científico na engenharia mecânica 3

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Mariane Aparecida Freitas  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Henrique Ajuz Holzmann

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)</b>	
A642	<p>A aplicação do conhecimento científico na engenharia mecânica 3 / Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2023.</p> <p>Formato: PDF  Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  Modo de acesso: World Wide Web  Inclui bibliografia  ISBN 978-65-258-0782-9  DOI: <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.829230501">https://doi.org/10.22533/at.ed.829230501</a></p> <p>1. Engenharia mecânica. I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD 621</p>
<b>Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166</b>	

**Atena Editora**  
Ponta Grossa – Paraná – Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 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.

A Engenharia Mecânica pode ser definida como o ramo da engenharia que aplica os princípios de física e ciência dos materiais para a concepção, análise, fabricação e manutenção de sistemas mecânicos. O aumento no interesse por essa área se dá principalmente pela escassez de matérias primas, a necessidade de novos materiais que possuam melhores características físicas e químicas e a necessidade de reaproveitamento dos resíduos em geral.

Nos dias atuais a busca pela redução de custos, aliado a qualidade final dos produtos é um marco na sobrevivência das empresas, reduzindo o tempo de execução e a utilização de materiais.

Neste livro são apresentados trabalho teóricos e práticos, relacionados a área de mecânica e materiais, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. A caracterização dos materiais é de extrema importância, visto que afeta diretamente aos projetos e sua execução dentro de premissas técnicas e econômicas.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais.

Aos autores, agradeço pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann

**CAPÍTULO 1 ..... 1****METROLOGIA PARA ENGENHARIAS: CONSTRUÇÃO DE UM PROJETO METROLÓGICO PARA APLICAÇÃO DE CONCEITOS**

Lisiane Trevisan

Daniel Antonio Kapper Fabricio

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8292305011>**CAPÍTULO 2 ..... 11****APLICAÇÃO DE MÉTODO DE GERENCIAMENTO DE PROJETOS PARA MELHORIA DE PROCESSO DE SOLDAGEM**

Sílvio Caixeta Rodrigues

Pedro Henrique Pires França

Wisley Falco Sales

Lohanna Ferreira Paiva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8292305012>**CAPÍTULO 3 .....24****ESTUDO DA LIGA Ti-30Nb-5Mo APLICADA EM IMPLANTES ORTOPÉDICOS**

Alexandra de Oliveira França Hayama

Magna Bibiano de Oliveira

Aguinaldo Soares de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8292305013>**CAPÍTULO 4 .....39****INVESTIGATION ON THE MECHANICAL PROPERTY BEHAVIOUR OF THE HYBRID COMPOSITES FROM NATURAL AMAZONIAN FIBRES BY NUMERICAL AND EXPERIMENTAL METHOD**

Gilberto García del Pino

Abderrezak Bezazi

Haithem Boumediri

José Luis Valin Rivera

Antonio Claudio Kieling

Sofia Dehaini Garcia

José Costa de Macedo Neto

Marcos Dantas dos Santos

Tulio Hallak Panzera

César Alberto Chagoyen Méndez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8292305014>**CAPÍTULO 5 .....49****APRENDIZADO DE MÁQUINA EMPREGADO EM SOLUÇÕES APLICADAS EM UM BRAÇO MANIPULADOR DIDÁTICO**

Márcio Mendonça

Angelo Feracin Neto

Ricardo Breganon

Rogério Breganon

Emerson Ravazzi Pires da Silva

Vicente de Lima Gongora  
 Michelle Eliza Casagrande Rocha  
 Andre Luis Shiguemoto  
 Celso Alves Correa  
 Matheus Gil Bovolenta  
 Rodrigo Rodrigues Sumar  
 Luiz Francisco Sanches Buzachero  
 Márcio Jacometti  
 Kazuyochi Ota Junior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8292305015>

**CAPÍTULO 6 .....64**

SISMOS: BREVE ABORDAGEM TEÓRICA SOBRE SUA AÇÃO SOBRE ESTRUTURAS, CONTROLE DAS VIBRAÇÕES E DISPOSITIVOS DE CONTROLE PASSIVOS

Tarciso Melo Claudino  
 Natanael de Paula e Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8292305016>

**CAPÍTULO 7 ..... 81**

AVALIAÇÃO ANALÍTICA ENERGÉTICA E EXERGÉTICA DO CHUVEIRO ELÉTRICO

Haypha Mendes Vieira  
 Carlos Alberto Chuba Machado  
 Fernando Augusto Alves Mendes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8292305017>

**SOBRE O ORGANIZADOR .....98**

**ÍNDICE REMISSIVO .....99**

# AVALIAÇÃO ANALÍTICA ENERGÉTICA E EXERGÉTICA DO CHUVEIRO ELÉTRICO

*Data de aceite: 02/01/2023*

### **Haypha Mendes Vieira**

Universidade Federal da Grande  
Dourados  
Dourados – MS

### **Carlos Alberto Chuba Machado**

Universidade Federal da Grande  
Dourados  
Dourados – MS

### **Fernando Augusto Alves Mendes**

Universidade Federal da Grande  
Dourados  
Dourados – MS

**RESUMO:** Considerando o chuveiro elétrico como um dos grandes consumidores de energia elétrica na classe residencial no Brasil, esse trabalho apresenta uma análise mais detalhada das ineficiências que envolvem o seu funcionamento. Por meio da reprodução de ensaios teóricos embasados nas normas NBR 15001, NBR 12087 e NBR 12089 aplicou-se as equações de balanço de energia e exergia para duas situações hipotéticas de funcionamento do chuveiro. Na primeira considerou-se que toda a energia entregue ao chuveiro é transferida para a água sem a formação de vapor, que sai exclusivamente na forma de

água aquecida. Dentro dessas condições de funcionamento, determinou-se que a Eficiência de Segunda Lei ( $\eta_{II}$ ) do chuveiro elétrico é de apenas 1,59%, o que indica que a maior parte da potência aplicada no aparelho destina-se à exergia destruída ( $X_{dest}$ ). Já na segunda situação considerou-se que parte da água de saída estivesse sob forma de vapor saturado, simulando uma ocorrência prática inevitável. Sob essas condições, constatou-se que a uma vazão média de 0,3 L/s, a Eficiência de Segunda Lei ( $\eta_{II}$ ) é de 11,64% para uma taxa de geração de vapor de 2% da vazão mássica de entrada, valor que sobe para 17,32% para uma taxa de geração de vapor de 10%. A contribuição da formação de vapor na destruição de exergia total do sistema também aumentou sendo de aproximadamente 50% para 2% de geração de vapor e 85% para 10% de geração de vapor. Por último analisou-se a destruição de exergia que ocorre na própria resistência elétrica de acordo com sua temperatura de funcionamento. Constatou-se que à medida em que é aumentada a temperatura de funcionamento da resistência elétrica, menor é a destruição de exergia que ocorre nela mesma.

**PALAVRAS-CHAVE:** Chuveiro elétrico,

## ENERGETIC AND EXERGETIC ANALYTICS EVALUATION OF ELECTRIC SHOWER

**ABSTRACT:** Considering the electric shower as one of the major consumers of electric energy in the residential class in Brazil, this work presents a more detailed analysis of the inefficiencies that involve its operation. Through the reproduction of theoretical tests based on the NBR 15001, NBR 12087 and NBR 12089 standards, the energetic balance and exergetic equations were used for application in two hypothetical situations of shower operation. In the first, it was considered that all the energy delivered to the shower is transferred to the water, which comes out exclusively in the form of heated water. Within these specifications, it was determined that the efficiency of the Second Law ( $\eta_{II}$ ) of the electric shower is average 1.59%, which indicates that most of the power applied in the device is destined for the destruction of exergy ( $X_{dest}$ ). In the second situation, part of the outlet water was considered to be in the form of saturated steam, simulating an inevitable practical occurrence. Under these conditions, it was found that at an average flow rate of 0.3 L / s, the Second Law Efficiency ( $\eta_{II}$ ) is 11.64% for a steam generation rate of 2% of the incoming mass flow, value that rises to 17.32% for a steam generation rate of 10%. The contribution of the steam to the system's total exergy destruction also increased from approximately 50% to 2% of steam generation and 85% to 10% of steam generation. Finally, the exergy destruction that occurs in the electrical resistance itself was analyzed according to its operating temperature. It was found that the higher the operating temperature of the electrical resistance, the lower the exergy destruction.

**KEYWORDS:** Electric Shower, Efficiency, Exergy.

## 1 | INTRODUÇÃO

A invenção do chuveiro elétrico representou um avanço na qualidade de vida e higiene dos brasileiros. Apesar de sua construção e funcionamento serem considerados simples, sua adoção foi uma alternativa aos tradicionais aquecedores a gás, amplamente utilizados em outros países. Sua vantagem está em não necessitar de instalação de canalização de gás e ainda aproveitar o sistema elétrico já disponível e em ascensão no país em meados de 1930, o que o tornou mais viável economicamente.

Com a popularização do plástico nas décadas de 1960 e 1970, o emprego desse material nos chuveiros o tornou mais seguro, aumentando a isolamento dos condutores elétricos em seu interior. Mesmo com diferentes modificações estéticas e funcionais, agregando novas tecnologias de controle de temperatura e pressurização de água, a eficiência do chuveiro é algo que segue praticamente inalterado desde a sua concepção, uma vez que seu funcionamento continua o mesmo.

Em resposta ao aumento da demanda energética, o Brasil promulgou a Lei nº 10.295 de 17 de outubro de 2001, conhecida como Lei de Eficiência Energética, que estabelece níveis mínimos de eficiência energética a aparelhos consumidores de energia

fabricados ou comercializados no país em várias modalidades. Ela foi um dos principais componentes do marco legal da política de eficiência energética no país, constituindo-se num instrumento eficaz e efetivo de política pública e planejamento energético. Todavia, mesmo estabelecendo critérios a diversos equipamentos, o chuveiro elétrico não obteve uma regulamentação específica para definição de seus padrões de eficiência. Tal fato pode ser justificado devido à eficiência de Primeira Lei ser superior a 95% (INMETRO,2008), considerando-se apenas a razão entre a energia térmica de saída e a elétrica de entrada. O processo de cálculo dessa eficiência é normatizado pela NBR 15001:2003.

ELETOBRAS (2007) em sua pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso apresentou dados relativos ao aquecimento de água, principalmente para banho. O trabalho conclui que devido à frequente utilização e às altas potências de funcionamento dos equipamentos destinados a essa atividade, o setor de aquecimento de água é considerado de grande importância para ações de políticas direcionadas à eficiência energética. De acordo com os dados divulgados, 80,9 % dos domicílios brasileiros aquecem a água para banho de alguma forma. Desses, 73,5 % eram sistemas que utilizavam a energia elétrica para o aquecimento da água.

Dada a magnitude da parcela de domicílios que utilizam o aquecimento por resistência elétrica, mesmo apresentando um rendimento térmico elevado, existe a necessidade de análise sob a perspectiva da qualidade do aproveitamento energético empregado nesse processo.

A exergia surgiu baseada na Segunda Lei da Termodinâmica e tem sido ignorada no planejamento de sistemas elétricos. Acredita-se que isso se deve, principalmente, à falta de familiaridade com o segundo princípio da termodinâmica e às implicações decorrentes para avaliação precisa. Há fatores que não se encontram totalmente disponíveis no mercado e precisam ser estudados, fatores tecnológicos de conversão da energia, informações sobre o uso final da energia, razões políticas e nível de conscientização sobre o segundo princípio da termodinâmica, bem como suas implicações no planejamento sobre diversas esferas de decisão da sociedade, na tecnologia disponível, eficiência dos equipamentos, hábitos de consumo e etc. (Oliveira filho, 2000).

A importância de se analisar a exergia em processos de aquecimento em chuveiros elétricos está no fato de evidenciar o desperdício do potencial associado à eletricidade, energia considerada de maior qualidade e “densidade”. Em processos de transformação de energia a capacidade de realizar trabalho diminui; portanto, à medida que é transformada a energia, há a geração de irreversibilidade (Brzustowski & Golem, 1977). Por mais que o processo de transformação de energia seja inevitável para a utilização dos diversos equipamentos eletrônicos, em um processo em que se faz o aquecimento de água à baixa temperatura, a destruição de exergia corresponde a quase toda a capacidade de realização de trabalho.

Além da análise exérgica, propõe-se também uma investigação mais criteriosa

sobre os produtos gerados nesse tipo de aquecimento. Ao utilizar o chuveiro, é comum observar vapor ao seu redor bem como a formação de água condensada em espelhos e superfícies mais afastadas. Essa água na forma de vapor é responsável por utilizar parte da energia empregada para aquecimento da água do banho, porém representa um produto indesejável no processo. Considerando que o calor necessário para a mudança de fase da água é mais de 50 vezes maior que o calor necessário para simplesmente aquecê-la em 10°C (Shapiro et al, 2005), faz-se necessário que haja estudos e desenvolvimento de tecnologias que tornem o aquecimento de água cada vez mais eficiente, analisando não somente a transferência de calor para aquecimento da água, mas também a redução de efeitos que geram perdas na forma de vapor e perda de calor através de sua carcaça.

## 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A normatização de procedimentos envolvendo estudos de fenômenos térmicos é fundamental para estabelecer os parâmetros de ensaio e considerações associadas à análise. Qualquer fator como umidade, temperatura ambiente, incidência solar ou disposição de sensores de medição podem influenciar nos resultados obtidos. Nesse sentido, a fim de padronizar o estudo de caso, foram adotados procedimentos e condições de análise de acordo com a norma NBR 15001:2003 - Aparelho eletrodoméstico fixo de aquecimento instantâneo de água - Determinação da eficiência energética. Essa Norma especifica um método para determinação da eficiência energética, referida à tensão nominal e à potência elétrica máxima disponível em aparelhos eletrodomésticos fixos de aquecimento instantâneo de água, em particular aos chuveiros elétricos ou duchas elétricas, aquecedores instantâneos de água e torneiras elétricas destinados ao aquecimento da água à temperatura abaixo do seu ponto de ebulição. (ABNT, 2003)

Para a medição da eficiência do chuveiro é utilizado um recipiente coletor de acordo com a Fig. 1.

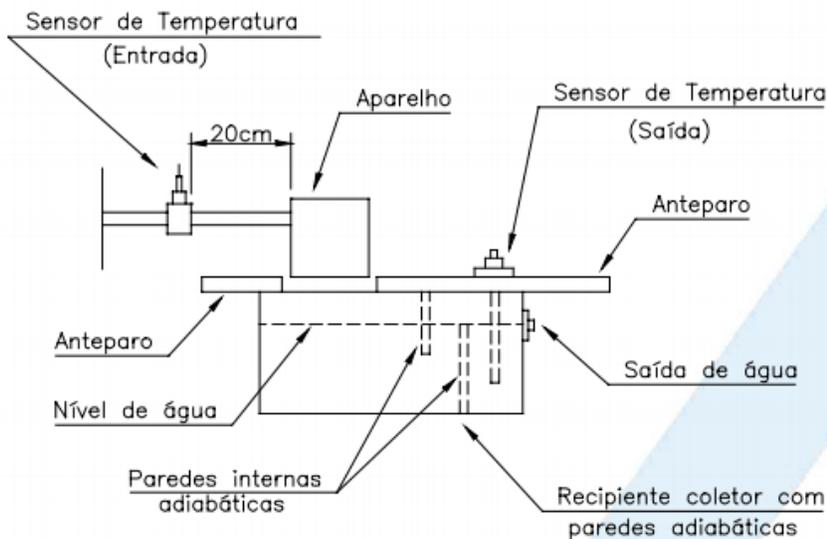


Figura 1 – Esquema do recipiente coletor

Fonte: ABNT – NBR 15001:2003

A instalação deve ter capacidade de fornecer água em escoamento forçado, regime permanente, vazão de no máximo 0,5 L/s e pressão de no máximo 100 kPa. O ambiente de ensaio deve ter temperatura de  $22^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$  e umidade de  $65\% \pm 10\%$ . O procedimento para a obtenção da eficiência energética, segundo a norma, consiste em regular a vazão de água para 0,05 L/s e acionar o dispositivo de aquecimento. Após 5 minutos de funcionamento iniciam-se as medições de temperatura para garantir que a medição ocorra em regime permanente. É importante assegurar-se que a temperatura de saída da água não ultrapasse  $40^{\circ}\text{C}$ , mesmo que seja necessária a manutenção da vazão até que essa temperatura seja de  $38^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ . Após 3 min de funcionamento do aparelho com vazão e temperaturas estabilizadas, inicia-se a leitura da temperatura de entrada da água ( $T_e$ ), temperatura de saída da água ( $T_s$ ), tensão (E) e corrente elétrica (I). Tendo posse de todos os dados coletados, juntamente com a vazão é possível determinar a eficiência energética do dispositivo aquecedor de água.

O processo de determinação da eficiência é repetido três vezes consecutivas com intervalos de 1 minuto entre as medições, de forma a se obter a média aritmética dos resultados em porcentagem e com pelo menos 2 algarismos significativos. A Norma ainda estabelece que para estar em conformidade com ela, o aparelho ensaiado precisa obter valor de eficiência superior a 95%.

Outras normas utilizadas na fundamentação desse trabalho foram a NBR 12087:2015, que trata da determinação da potência elétrica de chuveiros e NBR 12089, a respeito do método de determinação do consumo energético desses aparelhos.

A NBR 12087:2015 estabelece, dentro dos mesmos parâmetros de ensaio de todas as demais normas citadas, a potência elétrica alcançada pelo dispositivo em análise por meio da medição de tensão e corrente elétrica, utilizando um processo de ensaio idêntico ao descrito anteriormente, porém por meio de uma outra equação que também leva em consideração o fator de potência do sistema.

Já a NBR 12089:2015 determina o método de constatação de consumo mensal mínimo e máximo na utilização de um chuveiro elétrico. A aferição da condição de consumo mínimo é feita considerando um banho diário com duração média de 8 minutos, ao longo de 30 dias, regulando um incremento de temperatura da água de 10° C, em média, com vazão igual ou superior a 0,05 L/s. Na categoria de consumo máximo, a análise é feita com base em um banho diário de 8 minutos com vazão de 0,05 L/s, por 30 dias e regulação do dispositivo para aquecer ao máximo a água.

### **3 | METODOLOGIA**

Para a realização da análise energética e exérgica do chuveiro elétrico, inicialmente, foram levantadas as normas e equações que regem o sistema, bem como bibliografias que o envolvem para que fossem determinadas suas condições normais de funcionamento. Considerou-se 2 diferentes situações de funcionamento. A primeira define que toda a energia elétrica entregue pela resistência é aproveitada exclusivamente para aquecimento da água, sem geração nenhuma de vapor. Já a segunda situação define que durante o funcionamento do chuveiro, parte da água aquecida sai do volume de controle na forma de vapor e parte na forma de água aquecida. Foram elaboradas representações do volume de controle (VC) do sistema a ser considerado nas duas situações e descritas as equações que regem cada modelo proposto. Em todas as situações considerou-se a pressão da água como 100 kPa em conformidade com as normas de referência. Para efeitos de estudo, foram desconsideradas as condições de umidade e evaporações relacionadas ao ambiente.

Por último, foram analisadas as destruições de exergia apenas na resistência elétrica à diferentes temperaturas de funcionamento. As equações descritas a seguir foram inseridas no programa EES – Engineering Equation Solver (S.A. Klein), o qual já possui em seu banco de dados, todos os valores das tabelas termodinâmicas necessários para o estudo.

#### **3.1 Situação 1 – Sem geração de vapor**

Em um primeiro momento, foram feitos os cálculos sem imposição de limite de potência de entrada, onde foram definidas apenas as condições de saída de água, a fim de correlacionar os dados de eficiência energética e exérgica às condições teóricas de potência requerida para elevação de temperatura da água em 10 °C.

A Figura 2 representa o volume de controle e todas as variáveis consideradas para a situação 1.

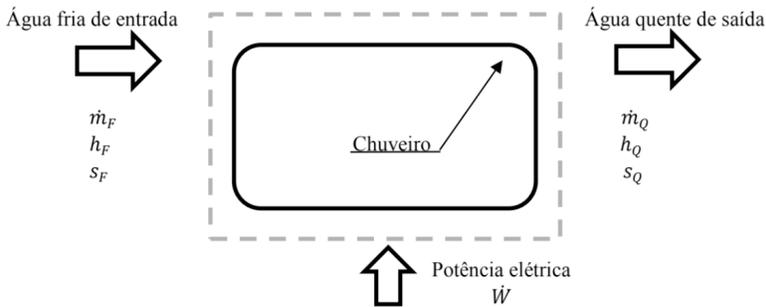


Figura 2 – Volume de controle do chuveiro sem geração de vapor

Fonte: Própria

Onde  $T_F$  é a temperatura de entrada da água no chuveiro ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_Q$  é a temperatura de saída da água ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $\dot{m}_F$  é a vazão mássica de água fria (kg/s),  $\dot{W}_Q$  é a vazão mássica de água quente (kg/s) e  $\dot{W}$  é a potência elétrica fornecida ao chuveiro (kW).

As equações de conservação da massa e da energia para o presente caso são apresentadas pelas Eqs. (1) e (2), respectivamente. Foram desprezados os termos que representam a variação de energia cinética e potencial. Na situação em que ocorre o processo de aquecimento da água no estado líquido sem mudança de fase a Eq. (3), obtida a partir da Eq. (2), pode ser usada para determinação da potência de aquecimento da água. A Eq. (4) corresponde ao balanço exergético aplicado no V.C. (Çengel; Boles, 2013).

$$\dot{m}_F = \dot{m}_Q = \dot{m} = \rho \cdot \dot{V} \quad (1)$$

$$-\dot{W} = \dot{m} * (h_Q - h_F) \quad (2)$$

$$\dot{W} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (3)$$

$$-\dot{W} + \dot{m} \cdot [(h_e - h_s) - T_0 \cdot (s_e - s_s)] - \dot{X}_{dest} = 0 \quad (4)$$

Onde  $\dot{m}$  refere-se à vazão mássica de água (kg/s),  $\dot{V}$  é a vazão volumétrica ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $\rho$  é a massa específica da água ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),  $\dot{W}$  é a potência elétrica (kW),  $h$  representa entalpia da água (kJ/kg),  $c_p$  é o calor específico da água à pressão constante (kJ/kg. $^{\circ}\text{C}$ ),  $\Delta T$  é o incremento de temperatura da água entre a entrada e a saída ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_0$  é a temperatura de estado morto (K),  $s$  é a entropia da água (kJ/kg.K) e  $\dot{X}_{dest}$  corresponde à exergia destruída (kW). Os subscritos F e Q correspondem à água fria e água quente, respectivamente. Na Eq. (4) o subscrito  $e$  representa o estado de entrada e o subscrito  $s$  o estado de saída do volume de controle.

O trabalho reversível pôde ser determinado por meio da Eq. (5) e a eficiência

exergética, também chamada de eficiência de Segunda Lei, por meio da Eq. (6)

$$\dot{W}_{rev1} = \dot{m} \cdot \left[ (c_p \cdot \Delta T) - T_0 \cdot c_p \cdot \ln \left( \frac{T_F}{T_Q} \right) \right] \quad (5)$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{W}_{rev1}}{\dot{W}} \quad (6)$$

Onde  $\dot{W}_{rev1}$  corresponde ao trabalho reversível do processo de aquecimento da água na situação 1 (kW).

### 3.2 Situação 2 – Com geração de vapor

Inicialmente, buscou-se encontrar o potencial da geração de vapor de um chuveiro comum, estabelecendo a potência usual máxima de entrada de 5,5 kW e definindo o quanto de vapor, em porcentagem de vazão mássica de entrada, poderia ser gerado com a energia excedente à usada para aquecer a água em 10° C.

Após isso, foi considerado que uma parcela de água que entra no chuveiro absorve energia térmica suficiente para sair na forma de vapor saturado. O volume de controle para essa situação passa a ser como mostrado na Fig. 3.

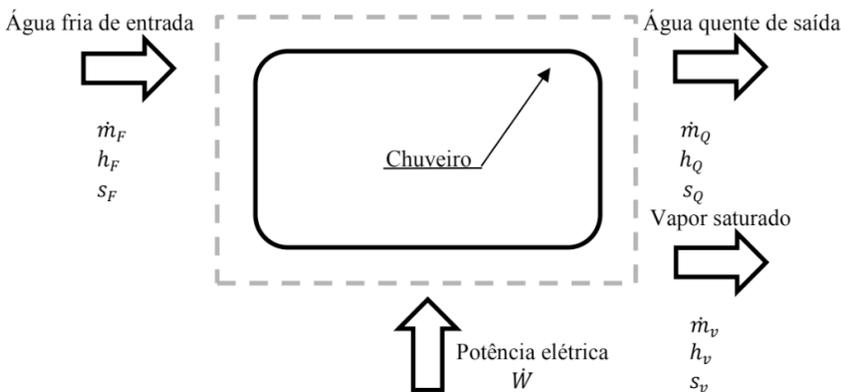


Figura 3 – Volume de controle do chuveiro com geração de vapor

Fonte: Própria

Onde  $\dot{m}_F$  é a vazão mássica de água fria que entra no chuveiro (kg/s),  $\dot{m}_Q$  é a vazão mássica de água quente que sai (kg/s),  $\dot{W}$  é o trabalho elétrico (W)  $\dot{m}_v$  é a vazão mássica de vapor que sai do volume de controle (kg/s).

De forma análoga à situação 1, também foram aplicadas as equações termodinâmicas que regem o sistema, respeitando os conceitos conservação de massa e energia que resultaram nas Eqs. (7), (8) e (9).

$$\dot{m}_F = \dot{m}_Q + \dot{m}_v \quad (7)$$

$$\dot{m}_v = a \cdot \dot{m}_F \quad (8)$$

$$-\dot{W} = \dot{m}_F \cdot h_F - \dot{m}_Q \cdot h_Q - \dot{m}_v \cdot h_v \quad (9)$$

Onde  $a$  representa a fração da água de entrada que é transformada em vapor saturado (%) e o subscrito  $v$  refere-se ao vapor saturado que sai do volume de controle.

Considerando que a utilidade do chuveiro elétrico se dá apenas pela água aquecida, calculou-se a eficiência prática do aparelho  $\eta$  (%), levando em conta a parcela de energia gasta para elevação de temperatura da água representada por  $\dot{Q}_Q$  (kW) e desprezando a parcela perdida na forma de vapor. As Eqs. (10) e (11) descrevem essa análise.

$$\dot{Q}_Q = \dot{m}_F \cdot (1 - a) \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (10)$$

$$\eta = \frac{\dot{Q}_Q}{\dot{W}} \quad (11)$$

Para a análise exérgica e cálculo da eficiência de Segunda Lei, foram usadas as Eqs. (12) e (13)

$$-\dot{W}_{rev} + \dot{m}_F \cdot [(h_F - h_0) - T_0 \cdot (s_F - s_0)] - \dot{m}_Q \cdot [(h_Q - h_0) - T_0 \cdot (s_Q - s_0)] - \dot{m}_v \cdot [(h_v - h_0) - T_0 \cdot (s_v - s_0)] = 0 \quad (12)$$

$$\eta_{II} = \frac{W_{rev2}}{\dot{W}} \quad (13)$$

Onde  $W_{rev2}$  é o trabalho reversível para aquecimento da água (kW) na situação 2 e  $s_0$  é a entropia da água em estado morto.

Após a inserção do equacionamento no *software* EES, foram definidos diferentes valores de taxa geração de vapor a fim de se analisar o impacto da mesma no consumo e eficiência geral do sistema. Foram definidas taxas de 2%, 4%, 6%, 8% e 10%. Isso pôde ser feito apenas alterando o coeficiente  $a$  da Eq. (8).

### 3.3 Destruição de exergia na resistência elétrica

A última análise realizada buscou saber o quanto da destruição de exergia ocorre na própria resistência elétrica, selecionando-a como volume de controle e objeto de estudo. Foram usadas as Eqs. (14) e (15) e temperaturas teóricas da superfície da resistência, de 22° C até 1000° C. O limite superior de temperatura corresponde ao valor típico de funcionamento de aquecedores dessa modalidade. (SILVEIRA, 2013).

$$\dot{S}_{ger} = \frac{Q}{T_{sup}} \quad (14)$$

$$\dot{X}_{destR} = \dot{S}_{ger} \cdot T_0 \quad (15)$$

Sendo  $\dot{S}_{ger}$  a entropia gerada na resistência (kW/K),  $Q$  o calor dissipado (kW) e  $T_{sup}$  a temperatura na superfície da resistência (K).  $\dot{X}_{destR}$  é a exergia destruída na resistência (kW).

Foram calculados diferentes valores de exergia destruída de acordo com as potências requeridas para aquecimento da água em 10 °C em cada uma das vazões descritas na situação 1 até o valor de 5,5 kW, desconsiderando a energia excedente que supostamente

se torna vapor. Dentro dessas condições, foram comparadas as destruições de exergia que ocorre na resistência e a total do sistema.

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Situação 1 – Sem geração de vapor

Utilizando-se as condições de temperatura ambiente definidas pela norma 15001:2003, obteve-se os resultados descritos na Tab. 1 com o incremento de temperatura da água ( $\Delta T$ ) de 10°C.

É possível observar que a parcela de exergia destruída representa quase que inteiramente toda a energia conferida ao sistema de aquecimento. O quociente entre o trabalho reversível e o trabalho total (Eq. 6) fornece uma eficiência de Segunda Lei média igual a 1,59%.

Percebe-se também que a potência requerida à vazão máxima é de 20,86 kW, valor muito superior à potência máxima encontrada nos chuveiros mais comuns de 5,5 kW. Isso significa que, teoricamente, a partir da vazão entre 0,1 L/s e 0,15 L/s o chuveiro torna-se incapaz de aquecer toda a água em 10°C.

$\dot{V}$ (L/s)	$\dot{W}$ (kW)	$\dot{W}_{rev}$ (kW)	$\dot{X}_{dest}$ (kW)
0,05	-2,09	-0,03	2,05
0,10	-4,17	-0,07	4,11
0,15	-6,26	-0,10	6,16
0,20	-8,34	-0,13	8,21
0,25	-10,43	-0,17	10,26
0,30	-12,52	-0,20	12,32
0,35	-14,60	-0,23	14,37
0,40	-16,69	-0,27	16,42
0,45	-18,77	-0,30	18,47
0,50	-20,86	-0,33	20,53

Tabela 1. Resultados teóricos para aquecimento de água sem geração de vapor.

### 4.2 Situação 2 – Com geração de vapor

Por meio da Tabela 2 é possível analisar o potencial hipotético de geração de vapor com a energia excedente à utilizada para aquecer a água em 10° C em chuveiros que fornecem 5,5 kW de potência.  $\dot{W}_{nec}$  representa a potência necessária para aquecer a água em determinada vazão e  $\dot{W}_{exced}$  a potência que sobraria para a formação de vapor que é

expressa na fração de vapor como sendo uma porcentagem da vazão de entrada.

$\dot{V}$ (L/s)	$\dot{W}_{nec}$ (kW)	$\dot{W}_{exced}$ (kW)	Fração de vapor (%)
0,05	-2,09	-3,41	2,65%
0,06	-2,50	-3,00	1,94%
0,07	-2,92	-2,58	1,43%
0,08	-3,34	-2,16	1,05%
0,09	-3,75	-1,75	0,75%
0,10	-4,17	-1,33	0,52%
0,11	-4,59	-0,91	0,32%
0,12	-5,01	-0,49	0,16%
0,13	-5,42	-0,08	0,02%

Tabela 2. Resultados teóricos de potencial de geração de vapor.

Na prática, tal situação não se concretizaria, pois, a energia excedente seria diluída na parcela destinada ao aquecimento de água, o que representaria um aumento de temperatura da água além dos 10°C. Todavia, a Tab. 2 fornece a informação de que a medida em que se diminui a vazão de água, o percentual hipotético de geração de vapor é aumentado. Isso pode ser comprovado de maneira experimental ao tomar banho e reduzir ao mínimo a vazão, de forma que o chuveiro permaneça ligado. É possível perceber que rapidamente são formados condensados em superfícies de vidro e espelhos do ambiente devido ao aumento da umidade no ar.

Partindo do pressuposto de que a formação de vapor seja inevitável, os cálculos de eficiência ( $\eta$ ) de acordo com as Eqs. (10) e (11) foram realizados para cada taxa de geração de vapor como pode ser visto na Tab. 3. É notório o impacto que o vapor tem na energia útil do chuveiro elétrico, uma vez que uma fração de 2% de vapor no sistema já é responsável por utilizar mais da metade de toda a energia provida.

Fração de vapor (%)	$\eta$ (%)
2	44,23
4	27,98
6	20,23
8	15,69
10	12,72

Tabela 3. Resultados teóricos de eficiência prática do chuveiro elétrico.

A Tabela 4 demonstra como se daria o balanço exergético especificamente para a geração de 2% de vapor.

$\dot{V}$ (L/s)	$\dot{W}$ (kW)	$\dot{W}_{rev}$ (kW)	$\dot{X}_{dest}$ (kW)
0,05	-4,62	-0,54	4,08
0,1	-9,24	-1,08	8,17
0,15	-13,86	-1,61	12,25
0,2	-18,48	-2,15	16,33
0,25	-23,11	-2,69	20,42
0,3	-27,73	-3,23	24,50
0,35	-32,35	-3,77	28,58
0,4	-36,97	-4,30	32,67
0,45	-41,59	-4,84	36,75
0,5	-46,21	-5,38	40,83

Tabela 4. Resultados teóricos para aquecimento de água com 2% de geração de vapor.

Ao se comparar os resultados de potência ( $\dot{W}$ ) das Tabs. 1 e 4 é possível inferir que a formação de vapor, mesmo em pequena quantidade (2%) tem impacto substancial na potência necessária para funcionamento do chuveiro. Um fator relevante é que a parcela de trabalho reversível ( $\dot{W}_{rev}$ ) aumenta consideravelmente quando se tem o vapor saturado.

De forma análoga, os resultados para outras taxas de geração de vapor podem ser analisados e comparados na Fig. 4 abaixo. Para efeito de comparação, foram apresentados os valores correspondentemente à vazão média de 0,3 L/s.

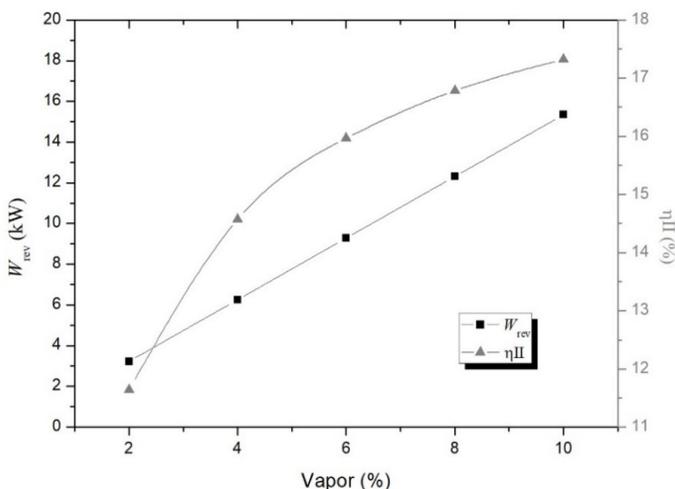


Figura 4 – Trabalho reversível e Eficiência de Segunda Lei entre diferentes taxas de geração de vapor à vazão de 0,3 L/s

Fonte: Própria

É interessante ressaltar a inconstância da Eficiência de Segunda Lei ( $\eta_{II}$ ) entre os diferentes valores de geração de vapor. Enquanto para baixas formações de vapor, seu incremento representa uma maior variação na eficiência, para altas formações o mesmo não ocorre, formando uma curva ascendente que tende a se manter constante. Isso pode se dar devido à enorme discrepância entre os valores de calor latente e calor sensível às condições de ensaio. Quando uma pequena quantidade de vapor é formada, proporcionalmente sua energia e entropia podem representar um alto impacto no sistema como um todo. Todavia, se o sistema já possui uma maior formação de vapor, qualquer incremento não representa impacto tão significante.

Fica evidente que a formação de vapor resulta em um aumento de  $\eta_{II}$ , o que pode ser assinalado como maléfico para um equipamento como o chuveiro elétrico que não tem como objetivo a geração de trabalho ( $W$ ). Além disso, esse aumento se dá pela consideração do vapor como parte do sistema, porém o mesmo é dispensado no ambiente como produto indesejável. Como foi visto na Situação 1, as condições ideais de funcionamento para o eletrodoméstico apresentam uma Eficiência de Segunda Lei baixa.

Enquanto a Fig. 4 apresenta um aumento de  $\eta_{II}$  conforme aumenta-se a porcentagem de vapor, a Fig. 5, mostra que juntamente com  $\eta_{II}$  há também o aumento da contribuição do vapor na  $\dot{X}_{dest}$  total do sistema.

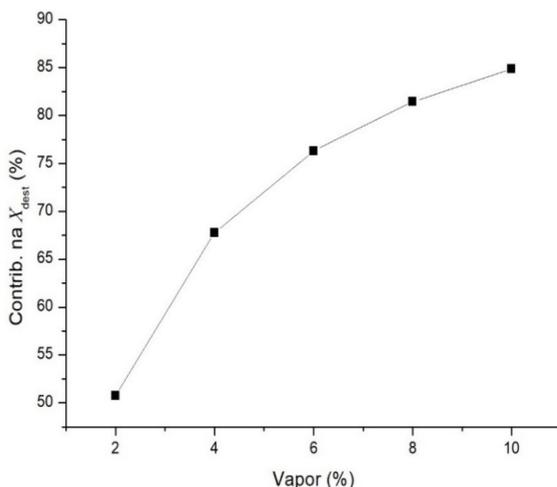


Figura 5 – Contribuição da formação de vapor na exergia destruída total do sistema.

Fonte: Própria

### 4.3 Exergia destruída na resistência elétrica

Ao analisar somente a resistência elétrica como volume de controle, onde a potência elétrica é transformada em energia térmica, foi possível estabelecer a relação entre a geração de entropia  $e$ , conseqüentemente, a exergia destruída com a temperatura de operação da resistência como pode ser observado na Fig. 6.

Pode-se perceber que para ambas as vazões o comportamento da curva é semelhante, sendo a destruição da exergia maior em baixas temperaturas de funcionamento da resistência, diminuindo à medida em que se atinge a temperatura de 1000 °C. Considerando que a temperatura da resistência depende de diversos aspectos construtivos do chuveiro relacionados à sua transferência de calor, potência aplicada e vazão de água, os pontos da Fig. 6 representam uma gama de valores possíveis. A representação de apenas duas vazões se deu por conta da ultrapassagem da potência requerida para aquecimento da água em 10 °C da potência máxima comum em chuveiros elétricos comerciais (5,5 kW), como pode ser observado na Tab. 1.

Supondo que à essas vazões a resistência elétrica funcione em uma faixa de temperatura próxima de 1000° C, pode-se definir que aproximadamente 10% e 19% da destruição de exergia ocorrem no próprio dispositivo de aquecimento para a vazão de 0,05 L/s e 0,10 L/s respectivamente.

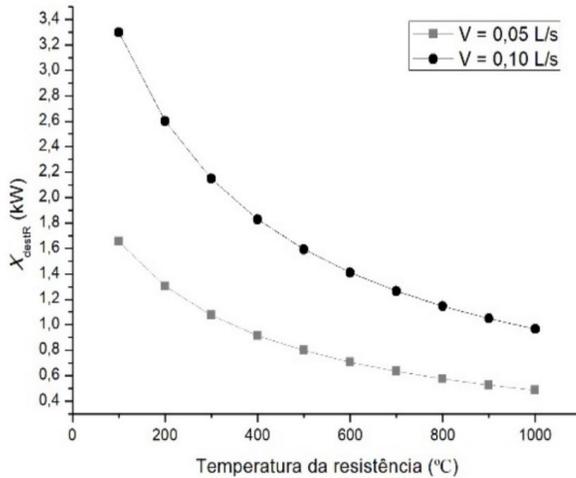


Figura 6 - Relação entre a exergia destruída na resistência elétrica e sua temperatura de funcionamento.

Fonte: Própria

## 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido a ampla utilização do chuveiro no Brasil, é imprescindível o estudo e pesquisa aprofundada sobre a sua eficiência energética e exergética. A consideração da geração de vapor durante o funcionamento do chuveiro elétrico, mesmo que incomum em trabalhos científicos e até mesmo em normas, levanta a discussão sobre o impacto que ela implica no consumo de energia elétrica e se esse consumo representa um desperdício de uma energia considerada de qualidade.

É possível afirmar que o chuveiro elétrico possui baixa eficiência exergética, o que pode ser um fator importante a ser considerado no planejamento e incentivo de novas tecnologias que possam o substituir de maneira viável, com baixo custo e segurança. Utilizar a energia elétrica, considerada de alta qualidade, para aquecimento de água por meio do chuveiro elétrico, apesar de ser uma solução prática e perfeitamente cabível, pode não representar a melhor solução no futuro, dada a enorme destruição de exergia que seu funcionamento proporciona. De modo a minimizar seu impacto no aproveitamento da energia disponível no país, ações que visam aumentar ao máximo sua eficiência energética são de extrema importância, mesmo que em percentuais de apenas um algarismo.

Para maior aprofundamento no tema, sugere-se como trabalhos futuros a elaboração de bancada de ensaio embasada nas normas apresentadas anteriormente com a adição de sensor de vazão ao final do recipiente coletor para que seja possível averiguar a perda de massa no processo devido à formação de vapor. Outras avaliações poderiam ser realizadas

como a determinação do calor perdido pela carcaça do chuveiro e a taxa de evaporação da água devido às condições ambiente e altura entre o chuveiro e o recipiente coletor. Essa distância por onde água escoar em forma de gotas, tendo sua superfície de contato com o ar aumentada, poderia colaborar com a evaporação propriamente dita. Tais fenômenos não foram considerados no presente trabalho devido a suas complexidades e dificuldades de definição das condições ambientes teóricas, mas se apresenta como excelente objeto de estudo experimental.

## REFERÊNCIAS

Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO, 2008, “Tabela de consumo de energia elétrica - chuveiros elétricos.” Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/pbe5.pdf>> Acesso em: 10 set. 2020

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.NBR- 15501: Aparelho eletrodoméstico fixo de aquecimento instantâneo de água - determinação da eficiência energética.” Rio de Janeiro. 2003.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. “NBR- 12087: Chuveiros elétricos - determinação da potência elétrica - método de ensaio.” Rio de Janeiro. 2015.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. “NBR- 12089: Chuveiros elétricos - determinação do consumo de energia elétrica - método de ensaio” Rio de Janeiro. 2015.

ÇENGEL, Yunus A.; BOLES, Michel A. Termodinâmica. AMGH Editora: Grupo A, 2013.

ELETROBRAS. “Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso, ano base 2005: Classe Residencial Relatório Sudeste.” Rio de Janeiro: ELETROBRAS; PROCEL, 2007.

Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética. “Lei de Eficiência Energética”. Disponível em:

<<http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2014/lei.pdf>> Acesso em: 03 set 2020

Rabello, Alice. “Quem inventou o chuveiro elétrico?”. Disponível em: <<https://www.mundoinverso.com.br/quem-inventou-o-chuveiro-eletrico/>> Acesso em: 20 Jun 2020

Silveira, Fernando L. da. “Qual é o metal usado para resistência de chuveiros, ebulidor, secador de cabelo?”. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/novocref/?contact-pergunta=qual-e-o-metal-usado-para-resistencia-de-chuveiros-ebulidor-secador-de-cabelo>> Acesso em: 20 Jun 2020

SHAPIRO, Haward, N.; MORAN, Michael J.; MUNSON, Bruce R.; DEWITT, David P. Introdução à Engenharia de Sistemas Térmicos. Grupo GEN, 2005.

OLIVEIRA FILHO, Dely; TANABE, Celso Shiguetoshi; COSTA, José Márcio. Considerações da análise exérgica em tarifas de energia elétrica. Rev. bras. eng. agríc. ambient., Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 114-119, 2000. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662000000100021&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662000000100021&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 04 Nov. 2020.

COSTA, José Márcio, D.S., Análise exérgica em sistemas elétricos. Universidade Federal de Viçosa, 2001. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/7716>>. Acesso em: 22 Jun 2020.

BRZUSTOWSKI, T.A., GOLEM, P.J. Second-law analysis of energy processes - Part I: Exergy - An introduction. Transactions of the Society for Mechanical Engineers, v. 4, n. 4, 1977.

**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. Doutor em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

**C**

Chuveiro elétrico 81, 82, 83, 86, 89, 91, 93, 95, 96

Cinemática inversa 50, 51, 52, 56, 61, 62

Controle 3, 7, 9, 11, 13, 14, 19, 20, 21, 22, 51, 56, 64, 65, 70, 71, 72, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 82, 86, 87, 88, 89, 94

**D**

Deformação plástica 25, 29, 30, 31, 35, 37

**E**

Edifícios 64, 65, 66, 75, 77, 78, 79, 80

Educação 1, 2, 3, 9, 10, 80

Eficiência 12, 15, 71, 72, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 93, 95, 96

Engenharia Mecânica 1, 3, 10, 11, 15, 24, 36, 37, 49, 50, 64, 80, 98

Envelhecimento 24, 25, 27, 33, 34, 35, 36, 37

Estruturas 26, 64, 65, 68, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 79, 80

Exergia 81, 82, 83, 86, 87, 89, 90, 94, 95

**L**

Ligas de titânio 24, 25, 26, 30

**M**

Metrologia 1, 2, 3, 5, 6, 9, 10, 96

Módulo de elasticidade 24, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36

**N**

Normas 22, 81, 85, 86, 95, 96

Normatização 84

**R**

Redes neurais artificiais 50, 51, 55, 56, 62

**S**

Sismos 64, 65, 66, 67, 68, 70, 73, 75, 76, 78, 80

**V**

Visão computacional 50, 51, 52, 54, 61, 62

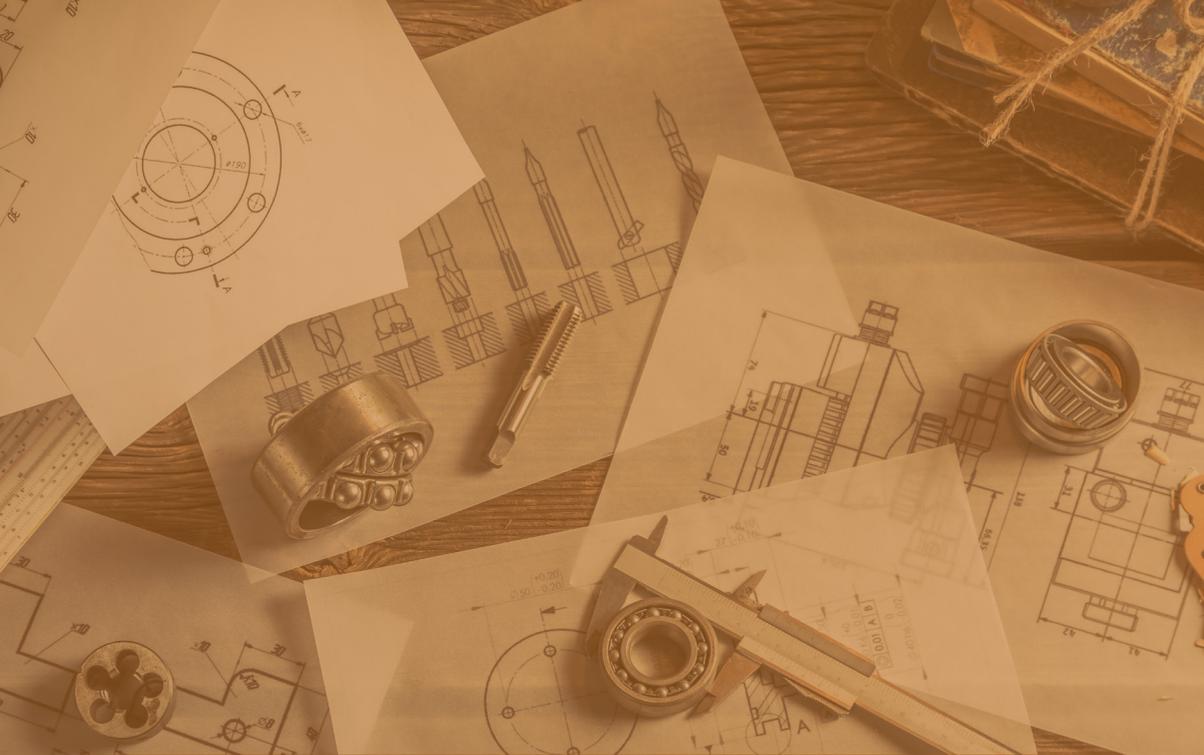


# A aplicação do conhecimento científico na engenharia mecânica

-  [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)

# 3

**Atena**  
Editora  
Ano 2023



# A aplicação do conhecimento científico na engenharia mecânica

-  [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)

# 3

**Atena**  
Editora  
Ano 2023