

GILBERTO JOÃO PAVANI
(ORGANIZADOR)

Collection:

APPLIED MECHANICAL ENGINEERING

Atena
Editora
Ano 2022

GILBERTO JOÃO PAVANI
(ORGANIZADOR)

Collection:

APPLIED MECHANICAL ENGINEERING

Atena
Editora
Ano 2022

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

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 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
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 Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
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
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
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



Collection: applied mechanical engineering

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Bruno Oliveira
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Gilberto João Pavani

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C697 Collection: applied mechanical engineering / Organizador
Gilberto João Pavani. – Ponta Grossa - PR: Atena,
2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-860-8

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.608220102>

1. Mechanical engineering. I. Pavani, Gilberto João
(Organizador). II. Título.

CDD 621

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br



Atena
Editora
Ano 2022

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

A engenharia mecânica aplica os princípios da engenharia, física e ciência dos materiais para a análise, projeto, fabricação e manutenção de sistemas mecânicos como veículos, máquinas e ferramentas, requerendo a compreensão dos conceitos como automação, ciência dos materiais, cinemática, dinâmica, energia, mecânica dos fluidos, mecanismos, processos de fabricação, termodinâmica e vibrações com o auxílio de ferramentas computacionais para desenho e simulação.

A presente obra “Collection: Applied mechanical engineering” tem como objetivo a apresentação e a discussão de temas relevantes sobre a aplicação da engenharia mecânica na mensuração da criticidade na manutenção de equipamentos, análise de desempenho de indicadores de manutenção, análise de modo e efeito de falha para o desenvolvimento de um plano de manutenção, estudo cinemático das velocidades de um mecanismo genérico, avaliação da eficiência e utilização de ventiladores com motores eletrônicos em sistemas de ar condicionado industrial, desenho de mecanismo e estrutura para animatrônicos, estudo da posição de um mecanismo de quatro barras por meio de uma interface gráfica, modelo matemático para obter a componente axial da velocidade absoluta nos impulsores de turbocompressores centrífugos, mensuração do aumento de eficiência de produção e energia elétrica usando o pré-resfriamento para o ultracongelamento de pães, requisitos metrológicos, ondas de Lamb e métodos estatísticos para detecção do limiar de dano aplicado à estruturas de aeronaves e uso da visão por computador para identificação de circuitos integrados em placas eletrônicas.

Portanto, esta obra apresenta grande potencial para contribuir com o entendimento dos temas apresentados, podendo servir como referência valiosa para novas pesquisas e estudos sobre as questões aqui discutidas.

Agradeço aos autores dos capítulos por suas valiosas contribuições e desejo aos leitores sucesso em seus futuros trabalhos de pesquisa sobre os temas apresentados nesta obra.


Gilberto João Pavani

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ANÁLISE DE CRÍTICA DE DOS EQUIPAMENTOS DE UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE CALHAS PLUVIAIS


Pierre Breno Nunes de Assis
Beatriz da Costa Lima
Claudecir Fernandes de Freitas Moura Júnior
Matheus Gomes Lima
Patric de Holanda Nogueira
Ramon Rudá Brito Medeiros

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201021>

CAPÍTULO 2..... 16

ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS INDICADORES DE MANUTENÇÃO DE UMA INDÚSTRIA TÊXTIL DO VALE DO JAGUARIBE


José Guilherme Queiroz Sousa
Patric de Holanda Nogueira
James Rodrigo da Silva Lima
Luan Victor Diniz Campos
Ramon Rudá Brito Medeiros
George Luiz Gomes de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201022>

CAPÍTULO 3..... 28

ANÁLISE DE MODO E EFEITO DE FALHA PARA DESENVOLVIMENTO DE UM PLANO DE MANUTENÇÃO PARA UM SISTEMA DE LIMPEZA E PINTURA EM EMPRESA DO SETOR AUTOMOTIVO


Vinícius Gomes Silva
Daniel Levi Maia Matos
João Víctor Nogueira Gonçalves
Gilvan Antônio Cappi
Ramon Rudá Brito Medeiros
George Luiz Gomes de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201023>

CAPÍTULO 4..... 42

APLICAÇÃO DIDÁTICA NO ESTUDO CINEMÁTICO DAS VELOCIDADES DE UM MECANISMO GENÉRICO DE QUATRO BARRAS

Vergara Hernández Erasto
Pérez Millán Brenda Carolina
Cea Montufar César Eduardo
Torres Torres Yael Valdemar

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201024>

CAPÍTULO 5..... 52

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA E UTILIZAÇÃO DOS VENTILADORES COM MOTORES


ELETRÔNICOS (EC) - APLICAÇÃO EM SISTEMAS DE AR CONDICIONADO INDUSTRIAL

Abimael J. Urcino Junior

Samuel Mariano do Nascimento

Eliandro Barbosa de Aguiar

Alexandre Fernandes Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201025>

CAPÍTULO 6..... 68

DISEÑO DE MECANISMOS Y ESTRUCTURA PARA EL ANIMATRÓNICO DEL DINOSAURIO TRICERATOPS


Roberto Carlos García Gómez

Hernán Valencia Sánchez

Juan Carlos Niños Torres

Mario Alberto Cruz Padilla

Fernando Alfonso May Arrioja

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201026>

CAPÍTULO 7..... 80


ESTUDO DA POSIÇÃO DE UM MECANISMO DE QUATRO BARRAS POR MEIO DE UMA INTERFACE GRÁFICA DE USUARIO

Vergara Hernández Erasto

Pérez Millán Brenda Carolina

Cea Montufar César Eduardo

Yael Valdemar Torres Torres

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201027>

CAPÍTULO 8..... 90

LA ECUACIÓN DE SEGUNDO GRADO COMO MODELO MATEMÁTICO PARA OBTENER LA COMPONENTE AXIAL (C_{2U}) DE LA VELOCIDAD ABSOLUTA EN LOS IMPULSORES DE LOS TURBOCOMPRESORES CENTRÍFUGOS

Tena Verdejo Juan


Santiago Gabino Francisco

Tena Galván Sandra Zulema

Oropeza Ramírez Salvador

Gutierrez Pola Marlenne

Ordoñez Tapia Mayanin

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201028>

CAPÍTULO 9..... 98

MENSURAÇÃO DO AUMENTO DE EFICIÊNCIA DE PRODUÇÃO E ENERGIA ELÉTRICA USANDO O PRÉ RESFRIAMENTO PARA O ULTRACONGELAMENTO DE PÃES


Leandro Fluvio Torno





Alexandre Fernandes Santos

Heraldo José Lopes de Souza

Sariah Torno

Darlo Torno

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6082201029>

CAPÍTULO 10.....	110
REQUISITOS METROLÓGICOS LEGAIS PARA MEDIÇÃO FISCAL APLICADOS A UNIDADES FLUTUANTES DE PRODUÇÃO, ARMAZENAMENTO E TRANSFERÊNCIA DE PETRÓLEO (FPSO): CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DOS INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO	
Hélio Damásio de Lima Filho	
Jardel Dantas da Cunha	
Andréa Francisca Fernandes Barbosa	
Antônio Robson Gurgel	
Antonio Rodolfo Paulino Fernando Pessoa	
André Luís Novaes Motta	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.60822010210	
CAPÍTULO 11	124
SHM BASEADO EM ONDAS DE LAMB E MÉTODOS ESTATÍSTICOS PARA O LIMAR DE DETECÇÃO DE DANO APLICADO A ESTRUTURAS DE AERONAVES	
Lucas Altamirando de Andrade da Rocha	
Roberto Mendes Finzi Neto	
Valder Steffen Jr	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.60822010211	
CAPÍTULO 12.....	138
VISIÓN POR COMPUTADORA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE CIRCUITOS INTEGRADOS EN TARJETAS ELECTRÓNICAS	
Samuel Sotelo Martínez	
Raúl García García	
Rafael Ocampo Martínez	
Marco Antonio Olivo Flores	
Pablo Saúl Espinoza Aguirre	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.60822010212	
CAPÍTULO 13.....	148
AVALIAÇÃO GEOMÉTRICA DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR CONVECÇÃO EM CAVIDADES DIRIGIDAS COM USO DO DESIGN CONSTRUTAL	
Priscila Martta Rodrigues	
Cícero Coelho de Escobar	
Flávia Schwarz Franceschini Zinani	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.60822010213	
SOBRE O ORGANIZADOR.....	159
ÍNDICE REMISSIVO.....	160

AVALIAÇÃO GEOMÉTRICA DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR CONVECÇÃO EM CAVIDADES DIRIGIDAS COM USO DO DESIGN CONSTRUTAL

Data de aceite: 10/01/2022

Data de submissão: 15/12/2021

Priscila Martta Rodrigues

Universidade do Vale do Rio dos Sino, Centro
de Ciências Exatas e Tecnológicas
São Leopoldo - RS
<http://lattes.cnpq.br/1478423514431780>

Cícero Coelho de Escobar

Universidade Federal de Pelotas, Centro de
Engenharias
Pelotas - RS
<http://lattes.cnpq.br/2824357187395679>

Flávia Schwarz Franceschini Zinani

Universidade do Vale do Rio dos Sino, Centro
de Ciências Exatas e Tecnológicas
São Leopoldo - RS
<http://lattes.cnpq.br/8732272690265023>

RESUMO: O estudo da transferência de calor e de escoamento de fluidos é uma das principais áreas de aplicação da Engenharia. O avanço desse conhecimento permite contribuir para o desenvolvimento de equipamentos cada vez mais sofisticados e eficientes como, por exemplo, trocadores de calor que podem ser empregados em usinas elétricas, usinas de processamento químico, refrigeradores domésticos, aquecimento e condicionamento de ar em prédios, radiadores de automóveis, entre outros. Em várias dessas aplicações, trabalhos experimentais visando a otimização de dispositivos podem ser custosos e demorados. Nesse contexto, os estudos de

escoamentos em cavidades simulados com auxílio da Fluidodinâmica Computacional têm ganhado atenção entre os pesquisadores. Dentre as metodologias empregadas, o método denominado Busca Exaustiva associado ao Design Construtal tem sido aplicado na busca de melhores geometrias para sistemas de escoamentos para diversas finalidades como busca pelo desempenho global máximo minimizando a resistência térmica global. Apesar disso, poucos trabalhos relacionados ao Design Construtal têm sido empregados no estudo de aletas inseridas em cavidades dirigidas. Nesse sentido, este capítulo tem objetivo de revisar alguns dos principais trabalhos relatados na literatura referente ao uso do Design Construtal e a Busca Exaustiva para a otimização geométrica de aletas inseridas em cavidades dirigidas com escoamentos convectivos. Após revisão da literatura, foi constatado um crescente aumento no estudo de cavidades dirigidas em escoamentos com transferência de calor com convecção. Mais precisamente, o uso do Design Construtal tem sido empregado para análise de geometrias cada vez mais diversas. Apesar disso, ainda há várias lacunas que merecem ser investigadas nessa área, como a avaliação de diferentes números de Reynolds, a investigação de um número maior de aletas com diferentes geometrias e a análise numérica de escoamentos com escoamento turbulento.

PALAVRAS-CHAVE: Design construtal, cavidades dirigidas, transferência de calor, fluidodinâmica computacional.

GEOMETRICAL EVALUATION OF CONVECTIVE HEAT TRANSFER IN LID-DRIVEN USING CONSTRUCTAL DESIGN

ABSTRACT: The study of heat transfer and fluid flow is one of the main areas of application in Engineering. The advancement of this knowledge makes it possible to contribute to the development of increasingly sophisticated and efficient equipment, such as heat exchangers that can be used in power plants, chemical processing plants, domestic refrigerators, heating and air conditioning in buildings, radiators of automobiles, among others. In many of these applications, experimental work aimed at optimizing devices can be costly and time-consuming. In this context, studies of flows in simulated cavities with the aid of Computational Fluid Dynamics have gained attention among researchers. Among the methodologies used, Exhaustive Search associated with Constructal Design has been applied in the search for better geometries for flow systems for various purposes such as the search for maximum global performance while minimizing global thermal resistance. Despite this, few works related to Constructive Design have been used in the study of fins inserted in lid-driven cavities. In this sense, this chapter aims to review some of the main works reported in the literature regarding the use of Constructal Design and Exhaustive Search for the geometric optimization of lid-driven cavities subjected to convective flows. After reviewing the literature, a growing increase in the study of directed cavities in flows with convective heat transfer was observed. More precisely, the use of Constructal Design has been used to analyze increasingly diverse geometries. Despite this, there are still several gaps that deserve to be investigated in this area, such as the evaluation of different Reynolds numbers, the investigation of a larger number of fins with different geometries and the numerical analysis of flows with turbulent flow.

KEYWORDS: Constructal design, lid-driven cavities, heat transfer, computational fluid dynamics.

1 | INTRODUÇÃO

Através do estudo da transferência de calor e de escoamento de fluidos é possível contribuir para o desenvolvimento de equipamentos cada vez mais sofisticados e eficientes como, por exemplo, os trocadores de calor que podem ser empregados em usinas elétricas, usinas de processamento químico, refrigeradores domésticos, aquecimento e condicionamento de ar em prédios, radiadores de automóveis, entre outros (Çengel e Ghajar, 2012). Desta forma, um dos campos mais estudados em engenharia é a transferência de calor por convecção, ou simplesmente convecção, que é o estudo de processos de transporte de calor efetuados pelo escoamento de fluidos. De acordo com Incropera et al. (2014), existem muitas aplicações relacionadas à convecção, entre elas, trocadores de calor, sistemas de aquecimento solar, resfriamento de componentes eletrônicos, entre outros.

A transferência de calor por convecção ocorre quando existe contato entre um fluido em movimento e uma superfície com diferentes temperaturas. A convecção pode ser classificada, de acordo com a natureza do escoamento do fluido, em forçada (quando

o escoamento é causado por meios externos), natural (quando o escoamento do fluido é induzido por forças de empuxo, que são originadas a partir de diferenças de massas específicas causadas por variações de temperatura do fluido) e mista que é a combinação da convecção natural e forçada (Incropera et al., 2014).

A crescente necessidade de miniaturização de estruturas em remoção de calor, especialmente em materiais eletrônicos, torna a busca por soluções de refrigeração um tópico importante para ser investigado. Nesse contexto, o fenômeno de transferência de calor por convecção em cavidades dirigidas com aletas inseridas pode representar idealmente o resfriamento de vários cenários de interesse na engenharia, tais como projeto de salas, carros, painéis solares e espaço entre as aletas em trocadores de calor. Sendo assim, várias estratégias têm sido empregadas para melhorar o desempenho térmico nesses sistemas (Durga et al., 2017; Fontana et al., 2015). Dentre essas estratégias pode-se mencionar os estudos de escoamentos em cavidades.

Entre os estudos relacionados à convecção de calor, escoamento de fluido em cavidades representam vários problemas de engenharia e o escoamento em cavidade dirigida vem sendo um problema bastante discutido e estudado na área de dinâmica dos fluidos computacionais. As cavidades representam vários problemas ideais de engenharia e têm grande importância, pois podem ser encontradas em espaços entre aletas de trocadores de calor, sistemas de energia solar, espaços entre componentes eletrônicos em circuitos integrados, motores elétricos, entre outros. Com isso, estudos vêm sendo realizados para melhorar o entendimento sobre o comportamento dos escoamentos.

Vários trabalhos têm sido desenvolvidos a fim de se obter uma melhor compreensão do comportamento fluidodinâmico de sistemas isotérmicos dentro das cavidades, sob diferentes regimes de escoamento (Ertruck e Gokçol, 2006; Loseff e Street, 1984; T. P. Chiang W. H. Sheu Robert R. Hwang, 1998; P. N. Shankar and M. D. Deshpande, 2000). Do ponto de vista computacional, sua relativa simplicidade é contrabalançada por fenômenos físicos complexos, como a formação do vórtice principal e possíveis vórtices secundários.

O Design Construtal baseia-se em um princípio físico, denominado por Adrian Bejan como Lei Construtal, utilizado para explicar a geração e a evolução do design (configuração, forma, estrutura) de sistemas inanimados e animados (Bejan e Lorente, 2008). A Teoria Construtal é a visualização de que a geração das configurações em sistemas de fluxo é um fenômeno físico que pode ser baseado em um princípio físico (Lei Construtal). A Lei Construtal, por sua vez, determina que para um sistema de fluxo de dimensões finitas persistir no tempo (sobreviver), sua configuração deve evoluir de forma a facilitar o acesso das correntes que fluem através do sistema (Bejan, 2000; Bejan e Lorente, 2008; Bejan e Zane, 2012). Dessa forma, o Design Construtal é um método de avaliação geométrica que, através da aplicação de restrições e objetivos em geometrias pertencentes aos sistemas de escoamento de dimensões finitas, vem sendo utilizado para explicar de uma maneira determinista que os designs existentes na natureza não são resultado do acaso (Bejan,

2000; Bejan e Lorente, 2008; Bejan e Zane, 2012). Diversos exemplos de aplicação do Design Construtal podem ser encontrados na literatura como o projeto do movimento humano e dos animais (Bejan e Lorente, 2011), desenho urbano, trânsito, transporte, economia, evolução da tecnologia (Bejan e Lorente, 2008) e vários problemas na área de engenharia como projetos de eletrônica, células de combustível, turbinas, energia das ondas, mecânica de materiais, refrigeração e problemas de transferência de calor (Biserni et al., 2004; Lorenzini et al., 2014; Estrada et al., 2015; Xie et al., 2015; Dos Santos et al., 2014; Vieira et al., 2017).

Para efeitos de ilustração, considere o exemplo de um processo de otimização geométrica através do método denominado Busca Exaustiva associado ao Design Construtal, conforme descrito por Rodrigues (2018). Neste trabalho, foi investigada uma cavidade dirigida bidimensional com duas aletas inseridas na parte inferior submetidas a um escoamento em regime laminar e com convecção mista. O problema levou em consideração a estratificação estável, ou seja, é a prescrição da temperatura mais alta na superfície superior. A avaliação geométrica realizada consiste em um princípio de restrições e objetivos. Para este problema foram definidas três restrições que são a área da cavidade (A_T) e a área das duas aletas (A_1 e A_2). As aletas são inseridas com o propósito de trocar calor com o escoamento dentro da cavidade. O problema consistiu em analisar a troca térmica das duas aletas inseridas na cavidade quadrada de dimensões. O fluido estava inicialmente em repouso, e o escoamento é originado pelo deslocamento da superfície superior. A Figura 1 ilustra o Domínio Computacional do problema estudado.

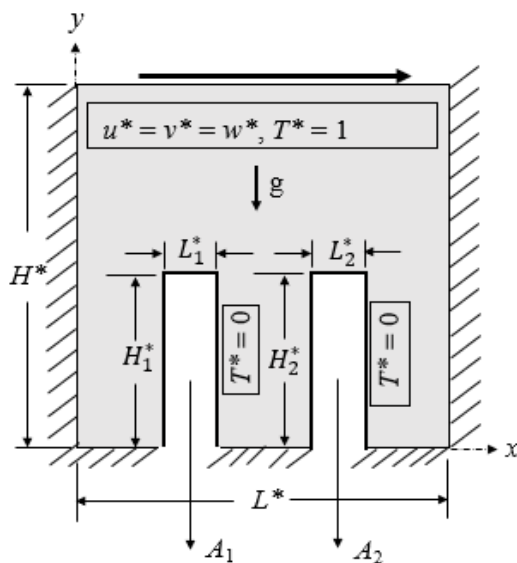


Figura 1: Domínio Computacional do problema estudado por Rodrigues (2018).

O número de Reynolds foi mantido constante e definido com base na velocidade de deslocamento e na altura da cavidade. Foi avaliado $Re_H = 400$, $Pr = 6.0$ e diferentes números de Richardson para diferentes ϕ_1 (razão entre A_1 sobre a A_T) e ϕ_2 (razão entre A_2 sobre a A_T).

A Figura 2 ilustra o processo de otimização geométrica através do método denominado Busca Exaustiva associado ao Design Construtal, no qual o diagrama de árvore representa o conjunto de simulações que serão abordadas no projeto. A fração total das áreas ($\phi_T = \phi_1 + \phi_2$) foi mantida fixa e constante igual a 0.1, e os valores de ϕ_1 e ϕ_2 variaram buscando maximizar a taxa de transferência de calor no sistema. Além disso, H_1/L_1 e H_2/L_2 também foram analisados (variando de 0.3 à 1.0).

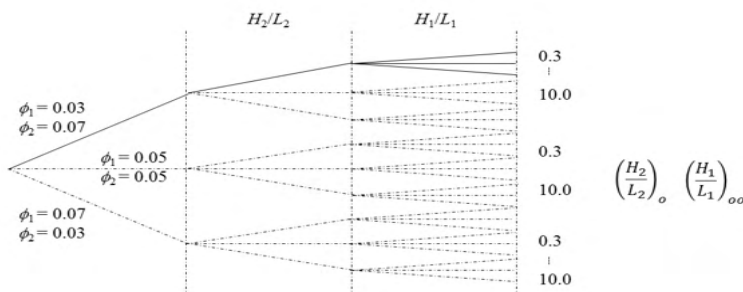


Figura 2: Esquema ilustrando o processo de otimização realizado aplicando o método Design Construtal com mecanismo de Busca Exaustiva no trabalho de Rodrigues (2018).

O processo de otimização foi realizado em duas etapas no presente estudo. No primeiro nível de otimização, o grau de liberdade H_1/L_1 foi variado enquanto manteve-se uma razão H_2/L_2 fixa. Os valores de ϕ_1 e ϕ_2 também foram mantidos constantes. A maior magnitude do número de Nusselt encontrada é o Nu_H uma vez maximizado ($Nu_{H,m}$). A geometria ótima correspondente é a razão (H_1/L_1) uma vez otimizada, $(H_1/L_1)_o$. No segundo nível de otimização, o primeiro nível é repetido para diferentes razões de H_2/L_2 . A partir desse novo conjunto de simulações, a maior magnitude de Nu_H obtida é o número de Nusselt duas vezes maximizado, $Nu_{H,mm}$ e as geometrias ótimas correspondentes são $(H_1/L_1)_{oo}$ e $(H_2/L_2)_o$.

Como pode ser observado pelos trabalhos anteriormente citados, o Design Construtal tem sido aplicado na busca de melhores geometrias para sistemas de escoamentos para diversas finalidades como busca pelo desempenho global máximo minimizando a resistência térmica global. Apesar disso, poucos trabalhos relacionados ao Design Construtal têm sido empregados no estudo de cavidades dirigidas. Nesse sentido, este capítulo tem objetivo de revisar alguns dos principais trabalhos relatados na literatura referente ao uso do Design Construtal e a Busca Exaustiva para a otimização geométrica de aletas inseridas em cavidades dirigidas com escoamentos convectivos.

2 | DISCUSSÃO

Recentemente, alguns trabalhos utilizaram o Design Construtal e a Busca Exaustiva para a otimização geométrica de aletas inseridas em cavidades dirigidas com escoamentos convectivos. A Tabela 1 apresenta as informações de alguns desses trabalhos.

Forma da Aleta	Características do Escoamento	Parâmetros adimensionais estudados	Indicador de Performance	Referência
Aleta retangular	Incompressível, bidimensional, laminar e regime permanente	$Pr = 0.71; Re_H = 10, 100$ e 1000	$\overline{Nu_H}$	dos Santos et al., 2013
Aleta retangular	Incompressível, bidimensional, laminar e regime permanente	$Pr = 0.71; Re_H = 10, 50, 100, 200, 500$ e 1000	$\overline{Nu_H}$	Aldrighi et al., 2016
Aleta retangular	Incompressível, bidimensional, laminar e regime permanente	$Pr = 0.71; Re_H = 10, 100, 300, 500, 700$ e 1000; $Ra_H = 1000, 10000, 100000$ e 1000000	$\overline{Nu_H}$	Lorenzi et al., 2016
Aleta triangular	Incompressível, bidimensional, laminar e regime permanente	$Pr = 0.71; Re_H = 10, 100, 1000;$ $Ra_H = 1000, 10000, 100000$ e 1000000	$\overline{Nu_H}$	Razera et al.; 2016
Semi-elíptica	Incompressível, bidimensional, laminar e regime permanente	$Pr = 0.71; Re_H = 10, 100$ e 1000; $Ra_H = 1000, 10000, 100000$ e 1000000	$\overline{Nu_H}$	Razera et al., 2018
Aleta retangular	Incompressível, bidimensional, laminar e regime permanente	$Pr = 0.71; Re_H = 10, 100$ e 1000	$\overline{Nu_H}$	dos Santos et al., 2019
Aleta ratangular	Incompressível, bidimensional, laminar e regime permanente	$Pr = 6.0; Re_H = 400; Ri = 0.1$ e 1.0	$\overline{Nu_H}$ e \tilde{q}'	Rodrigues et al., 2020

Tabela 1: Parâmetros adimensionais e indicadores de performance dos principais trabalhos da literatura.

Fonte: Os autores

Um dos trabalhos pioneiros foi o realizado por dos Santos et al. (2013), no qual foi empregado o método Design Construtal para avaliar o efeito de uma única aleta retangular inserida na superfície inferior de uma cavidade dirigida quadrada com transferência de calor por convecção forçada, considerando vários números de Reynolds ($10.0 \leq Re_H \leq 10^3$) e uma magnitude do número de Prandtl ($Pr = 0.71$). Os resultados mostraram uma forte influência da geometria da aleta sobre a transferência de calor entre uma aleta retangular e o escoamento circundante, medido pelo número de Nusselt espacial e temporal nas superfícies das aletas.

Lorenzini et al. (2016) analisaram um problema similar ao estudado por dos Santos et al. (2013), porém com a novidade de levar em consideração escoamento convectivos

mistos, e estudando os efeitos dos números de Reynolds e Rayleigh. O problema abordado apresentava duas restrições que eram a razão entre as áreas da aleta e cavidade mantida fixa e a razão da aleta (H_1/L_1) variando de $0.1 \leq H_1/L_1 \leq 10.0$. Os autores utilizaram o número de Prandtl fixo igual a 0.71. Foram investigadas a influência da geometria da aleta sobre o número de Nusselt. Os resultados mostraram que a geometria da aleta (H_1/L_1) teve forte influência sobre o número de Nusselt. Também foi observado que o efeito da razão H_1/L_1 sobre o número de Nusselt muda consideravelmente para diferentes números de Rayleigh e para as menores magnitudes de números de Reynolds. Por exemplo, foram observadas diferenças de quase 770% no número de Nusselt em escoamentos com o $Ra_H = 10^6$ e o escoamento convectivo forçado com o menor número de Reynolds estudado ($Re_H = 10$).

No trabalho conduzido por Aldrighi et al. (2016), a novidade foi a investigação de três posicionamentos diferentes da aleta inserida na superfície da cavidade, a saber: superfícies inferior, a montante e a jusante. O estudo numérico simulou um escoamento laminar com convecção forçada em uma cavidade dirigida com uma aleta retangular inserida em diferentes superfícies da cavidade. Os autores utilizaram o MVF (Método de Volumes Finitos) para a solução numérica das equações de conservação de massa, conservação da quantidade de movimento e conservação de energia. Foram investigados o efeito da geometria da aleta sobre o número de Nusselt (Nu_H) para os seguintes $Re_H = 10, 50, 100, 200, 500$ e 1000 , mantendo o número de Prandtl fixo ($Pr = 0.71$). Conclui-se que a geometria da aleta tem grande influência sobre o Nu_H para todos os Re_H avaliados. O maior Nu_H foi obtido para aletas na superfície a jusante para $50 \leq Re_H \leq 500$, enquanto para $Re_H = 1000$, a intrusão da aleta na superfície a montante levou ao maior desempenho térmico.

Razera et al. (2016) avaliaram uma geometria inédita na data de publicação, baseada em uma aleta triangular inserida em sua superfície inferior. Foi estudado os escoamentos convectivos mistos, tendo como foco analisar a influência do tamanho da aleta sobre o coeficiente de transferência de calor, ao mesmo tempo em que se buscou otimizar a geometria da aleta. O método do Design Construtal foi associado à Busca Exaustiva buscando otimizar o problema de escoamentos convectivos com diferentes números de Reynolds e Rayleigh. Foi mostrado que menores valores de razão de áreas (razão entre a área da aleta em relação a área total da cavidade) apresentaram maior desempenho térmico (representado pelo número de Nusselt) e conforme a proporção da área aumentou o desempenho diminuiu. Este comportamento não era esperado intuitivamente, uma vez que a área do trocador de calor diminui com a diminuição da área da fração da aleta. Dessa forma, os resultados mostraram que a liberdade de escoamento de fluido é um aspecto importante neste tipo de problema. Outro resultado interessante deste estudo foi a comparação com o desempenho de uma aleta retangular em condições de escoamento similares. Por exemplo, para $Ra_H = 10^5$, os resultados indicaram que a aleta retangular apresenta performance melhor para número de Reynolds maiores ($Re_H > 2.0 \times 10^2$), enquanto a aleta triangular apresentou melhores resultados para número de Reynolds

menores. De acordo com os autores, isso ilustra que diferentes condições de escoamentos requerem diferentes formas ótimas de maneira a minimizar as imperfeições (resistências) do sistema, conforme indicado pela Lei Construtal.

Razera et al. (2018) realizaram um estudo de otimização geométrica utilizando o Design Construtal para maximizar a taxa de transferência de calor. Foi investigado o comportamento de uma aleta de forma semi-elíptica variando suas dimensões em uma cavidade dirigida com placa infinita e convecção mista. Foi estudado um escoamento incompressível, bidimensional, laminar e no regime permanente. Os autores utilizaram o MVF para a solução numérica das equações de conservação de massa, conservação da quantidade de movimento e conservação de energia. Foram investigados diferentes $Re_H = 10, 10^2$ e 10^3 e números de Rayleigh ($Ra_H = 10^3, 10^4, 10^5$ e 10^6), mantendo $Pr = 0.71$. Os resultados apresentaram configurações ótimas com ganho de 40% na taxa de transferência de calor em relação a outras geometrias. Conclui-se também que as geometrias ótimas são influenciadas pelos Re_H e Ra_H .

Mais recentemente, dos Santos et al. (2019) investigaram o efeito geométrico da aleta retangular inserida em uma cavidade quadrada. O problema foi sujeito a duas restrições (área da cavidade e área da aleta retangular) e dois graus de liberdade (razão altura/comprimento da aleta retangular, H_1/L_1 , e sua posição na superfície a montante da cavidade, $S/A^{1/2}$). A razão (H_1/L_1) foi variada para três valores diferentes de $S/A^{1/2}$ ($S/A^{1/2} = 0.1, 0.5$ e 0.9) representando uma posição inferior, intermediária e superior da aleta. Os resultados mostraram que ambos os graus de liberdade (H_1/L_1 e $S/A^{1/2}$) tiveram forte influência para as maiores magnitudes do número de Reynolds. Além disso, o melhor desempenho térmico é alcançado quando a aleta é colocada perto da superfície superior da cavidade para uma relação intermediária entre a altura e o comprimento da aleta retangular, mais precisamente quando $(S/A^{1/2}) = 0.9$ e $(H_1/L_1) = 2.0$.

Em trabalho recente, Rodrigues et al. (2020) publicaram um estudo visando a otimização geométrica de uma cavidade dirigida com tampa deslizante sob escoamentos convectivos, incompressíveis e laminares em um domínio bidimensional. Até o momento dessa publicação, a avaliação geométrica da transferência de calor por convecção mista com estratificação estável de duas aletas variando concomitantemente não havia sido explorada na literatura. Os indicadores de desempenho foram os adimensionais média espacial do número de Nusselt ($\overline{Nu_H}$) e a taxa de transferência de calor (\dot{q}). Os resultados indicaram que configurações assimétricas para as aletas com diferentes frações de áreas para cada aleta levaram ao melhor desempenho térmico. Além disso, as formas ótimas e o efeito dos graus de liberdade sobre os indicadores de desempenho também foram afetados pelos números de Richardson investigados. Além disso, os resultados indicaram que a escolha do indicador de desempenho apresenta um papel importante na recomendação teórica sobre o projeto de aletas inseridas em uma cavidade dirigida com tampa sob escoamento convectivo misto. Foi demonstrado que as formas geométricas que maximizam o número

de Nusselt não levam necessariamente à maior taxa de transferência de calor, mostrando que esse parâmetro depende do equilíbrio entre o número de Nusselt e a área de troca de calor das aletas. Importante ressaltar que não haviam relatos na literatura de trabalhos investigando a taxa de transferência de calor em conjunto com o número de Nusselt em problemas com as condições especificadas no referido trabalho.

3 | CONCLUSÃO

Tendo em vista os trabalhos acima comentados, observa-se um crescente aumento no estudo de cavidades dirigidas em escoamentos com transferência de calor com convecção. Mais precisamente, o uso do Design Construtal tem sido empregado para análise de geometrias cada vez mais diversas. Apesar disso, ainda há várias lacunas que merecem ser investigadas nessa área, como a avaliação de diferentes números de Reynolds, a investigação de um número maior de aletas com diferentes geometrias e a análise numérica de escoamentos com escoamento turbulento.

REFERÊNCIAS

BEJAN A., ZANE P., **Design in Nature: How the Constructal Law Governs.**

Evolution in Biology, Physics, Technology, and Social Organization. Doubleday, New York: 2012.

BEJAN A., LORENTE S., **Design with constructal theory.** Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons, 2008.

ALDRIGHI, E. S.; RODRIGUES, P. M.; DO A. RODRIGUEZ, B. D.; ISOLDI, L. A. et al., **Constructal Design of Rectangular Fin Intruded into Different Surfaces of Forced Convective Lid-Driven Cavity Flow.** 43, n. 5-6, p. 418-440, 2016.

BEJAN, A. **Shape and structure, from engineering to nature.** New York: University Press, 2000.

BEJAN, A.; LORENTE, S. **The constructal law and the evolution of design in nature.** *Physics of Life Reviews*, 8, n. 3, p. 209-240, 2011.

BISERNI, C.; ROCHA, L. A. O.; BEJAN, A. **Inverted fins: geometric optimization of the intrusion into a conducting wall.** *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47, n. 12, p. 2577-2586, 2004.

ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A.J. **Transferência de Calor e Massa**, 4ªEd. AMGH EDITORA LTDA, 2012.

CHIANG, T. P.; SHEU, W. H.; HWANG, R. R. **Effect of Reynolds number on the eddy structure in a lid-driven cavity.** *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 26, n. 5, p. 557-579, 1998.

DURGAM, S.; VENKATESHAN, S. P.; SUNDARARAJAN, T. **Experimental and numerical investigations on optimal distribution of heat source array under natural and forced convection in a horizontal channel.** *International Journal of Thermal Sciences*, 115, p. 125-138, 2017.

ERTURK, E.; GÖKÇÖL, C. **Fourth-order compact formulation of Navier–Stokes equations and driven cavity flow at high Reynolds numbers.** International Journal for Numerical Methods in Fluids, 50, n. 4, p. 421-436, 2006.

ESTRADA, E. d. S. D.; FAGUNDES, T. M.; ISOLDI, L. A.; DOS SANTOS, E. D. et al. **Constructal Design Associated to Genetic Algorithm of Asymmetric V-Shaped Pathways.** Journal of Heat Transfer, 137, n. 6, 2015.

FONTANA, É.; CAPELETTO, C. A.; DA SILVA, A.; MARIANI, V. C. **Numerical analysis of mixed convection in partially open cavities heated from below.** International Journal of Heat and Mass Transfer, 81, p. 829-845, 2015.

INCROPERA, F. P.; WITT, D. P. **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**, 7ªEd. Rio de Janeiro: LTC-Livros Técnicos e Científicos Editora S/A, 2014.

KOSEFF, J. R.; STREET, R. L. **The Lid-Driven Cavity Flow: A Synthesis of Qualitative and Quantitative Observations.** Journal of Fluids Engineering, 106, n. 4, p. 390-398, 1984.

LORENZINI, G.; BISERNI, C.; DA SILVA DIAZ ESTRADA, E.; DOMINGUES DOS SANTOS, E. et al. **Genetic Algorithm Applied to Geometric Optimization of Isothermal Y-Shaped Cavities.** Journal of Electronic Packaging, 136, n. 3, 2014.

LORENZINI, G.; MACHADO, B. S.; ISOLDI, L. A.; DOS SANTOS, E. D. et al. **Constructal Design of Rectangular Fin Intruded Into Mixed Convective Lid-Driven Cavity Flows.** Journal of Heat Transfer, 138, n. 10, 2016.

RAZERA, A. L.; DA FONSECA, R. J. C.; ISOLDI, L. A.; DOS SANTOS, E. D. et al. **Constructal design of a semi-elliptical fin inserted in a lid-driven square cavity with mixed convection.** International Journal of Heat and Mass Transfer, 126, p. 81-94, 2018.

RAZERA, A. L.; FAGUNDES, T. M.; SEIBT, F. M.; DA FONSECA, R. J. C. et al. **Constructal Design of a Triangular Fin Inserted in a Cavity with Mixed Convection Lid-Driven Flow.** Defect and Diffusion Forum, 372, p. 188-201, 2017.

RODRIGUES, P. M. **Estudo Numérico e Avaliação Geométrica da Transferência de Calor por Convecção Mista em uma Cavidade Dirigida com duas Aletas Inseridas.** (Dissertação de Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional Universidade Federal do Rio Grande (FURG), 2018.

RODRIGUES, P. M.; BISERNI, C.; DE ESCOBAR, C. C.; ROCHA, L. A. O. et al. **Geometric optimization of a lid-driven cavity with two rectangular intrusions under mixed convection heat transfer: A numerical investigation motivated by constructal design.** International Communications in Heat and Mass Transfer, 117, p. 104759, 2020.

SANTOS, E. D.; MACHADO, B. N.; ZANELLA, M. M.; GOMES, M. d. N. et al. **Numerical Study of the Effect of the Relative Depth on the Overtopping Wave Energy Converters According to Constructal Design.** Defect and Diffusion Forum, 348, p. 232-244, 2014.

SANTOS, E. D. d.; RODRIGUES, P. M.; ISOLDI, L. A.; PROLO FILHO, J. F. et al. **Geometrical evaluation of rectangular fin mounted in lateral surface of lid-driven cavity forced convective flows.** Revista de Engenharia Térmica; Vol 18, No 2, 2019.

SELIMEFENDIGIL, F.; ÖZTOP, H. F. **Mixed convection of nanofluids in a three dimensional cavity with two adiabatic inner rotating cylinders.** International Journal of Heat and Mass Transfer, 117, p. 331-343, 2018.

SHANKAR, P. N.; DESHPANDE, M. D. **Fluid Mechanics in the Driven Cavity.** Annual Review of Fluid Mechanics, 32, n. 1, p. 93-136, 2000.

VIEIRA, R. S.; PETRY, A. P.; ROCHA, L. A. O.; ISOLDI, L. A. et al. **Numerical evaluation of a solar chimney geometry for different ground temperatures by means of constructal design.** Renewable Energy, 109, p. 222-234, 2017.

XIE, G.; SONG, Y.; ASADI, M.; LORENZINI, G. **Optimization of Pin-Fins for a Heat Exchanger by Entropy Generation Minimization and Constructal Law.** Journal of Heat Transfer, 137, n. 6, 2015.

SOBRE O ORGANIZADOR

GILBERTO JOÃO PAVANI - Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1991), especialização em Análise de Sistemas pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (1994), licenciatura em Informática pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (1996), especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Unisinos (2001), mestrado em Ciência da Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2003) e doutorado em Ciência dos Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (em andamento). Atualmente é professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS). Tem experiência em informática, engenharia mecânica, segurança do trabalho, materiais compósitos e poliméricos e participando dos grupos de pesquisa Programas Especiais em Saúde (IPA/RS) e Pesquisa em Polímeros Avançados (IFRS), além de ter publicado vários artigos científicos e livros na área de Engenharia Mecânica.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Análise dos Modos e Efeitos de Falha - FMEA 29

Análise estatística 124, 125, 131, 135

C

Calha 7, 15

Cinemática 42, 43, 90, 91, 92

Circuito integrado 138, 142, 143, 144, 145, 146, 147

Confiabilidade 14, 25, 28, 40, 41

Criticidade 1, 3, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 32, 36, 66

D

Desenho 151

E

Estrutura 7, 23, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 134, 135, 150

F

Ferramenta da qualidade 22

Floating Production Storage and Offloading - FPSO 111, 112

I

Impulsor 91, 92, 93, 94, 95

Indústria têxtil 16

Interface gráfica 80

M

Manutenção 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 52, 53, 54, 58, 61, 62, 63, 64, 65, 112

Manutenção corretiva 1, 3, 4, 5, 8, 11, 18, 19, 39

Manutenção preventiva 3, 4, 5, 8, 10, 12, 13, 18, 19, 38, 61

Mecanismo 10, 42, 43, 44, 45, 47, 48, 50, 71, 74, 75, 76, 80, 81, 82, 84, 85, 86, 87, 88, 152

Mecanismo de quatro barras 80

Medição fiscal 110, 111, 112, 113, 114, 118

Monitoramento da integridade estrutural 125

O

Ondas de Lamb 124, 125, 126, 129

P

Petróleo 43, 110, 111, 112, 113, 114, 116, 117, 119, 120, 121, 123

Placa eletrônica 61

Plano de manutenção 4, 5, 7, 12, 13, 22, 28, 30, 35, 37, 40, 54, 63, 64

Pré-resfriamento 98

Q

Qualidade 1, 2, 3, 4, 5, 10, 11, 12, 13, 16, 19, 20, 22, 23, 24, 26, 29, 33, 40, 41, 99, 101, 122

R

Rendimento térmico 98

Requisitos metrológicos 110, 111

T

Tempo Médio de Reparo - MTTR 17, 24

Tempo Médio entre Falhas - MTBF 17, 22


Triceratops 68, 69, 77


U


Ultracongelamento 98, 102, 107, 108

V

Ventilador 53, 54, 55, 56, 57, 58, 60, 61, 63, 64, 65, 66

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Collection:

APPLIED MECHANICAL ENGINEERING

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

Collection:

APPLIED MECHANICAL ENGINEERING


Ano 2022