

EDUARDO CESAR AMANCIO
(Organizador)

ENGENHARIAS:

Criação e repasse de tecnologias 2



EDUARDO CESAR AMANCIO
(Organizador)

ENGENHARIAS:

Criação e repasse de tecnologias 2



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

Daphynny Pamplona

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



Engenharias: criação e repasse de tecnologias 2

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Flávia Roberta Barão
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Eduardo Cesar Amancio

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia: criação e repasse de tecnologias 2 /
Organizador Eduardo Cesar Amancio. – Ponta Grossa -
PR: Atena, 2022.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-258-0200-8
DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.008223006>

1. Engenharia. I. Amancio, Eduardo Cesar
(Organizador). II. Título.

CDD 620

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



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 coleção “Engenharias: Criação e repasse de tecnologias 2” é uma obra que tem como foco principal a discussão científica por intermédio de trabalhos diversos que compõe seus capítulos. O volume abordará de forma categorizada e interdisciplinar trabalhos, pesquisas, relatos de casos e/ou revisões que transitam nos vários caminhos das Engenharias e áreas afins.

A atual necessidade de informações e conhecimento de maneira rápida e eficiente leva a uma demanda de repasse de tecnologias mais eficaz. Neste cenário destaca-se o campo das engenharias, as quais são um dos principais pilares para o setor industrial. Entender os campos de atuação, bem como pontos de inserção e melhoria dessa desta área é de grande importância, buscando desenvolver novos métodos e ferramentas para melhoria continua de processos.

O aumento no interesse aos temas relacionados com a engenharia 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. Além disso a busca pela otimização no desenvolvimento de projetos, leva cada vez mais a simulação de processos, buscando uma redução de custos e de tempo.

Neste livro são apresentados trabalho teóricos e práticos, relacionados a área de engenharia, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. 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. Sendo hoje que utilizar dos conhecimentos científicos de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros.

Deste modo a obra “Engenharias: Criação e repasse de tecnologias 2” apresenta uma teoria bem fundamentada nos resultados práticos obtidos pelos diversos professores e acadêmicos que arduamente desenvolveram seus trabalhos que aqui serão apresentados de maneira concisa e didática. Sabemos o quão importante é a divulgação científica, por isso evidenciamos também a estrutura da Atena Editora capaz de oferecer uma plataforma consolidada e confiável para estes pesquisadores exporem e divulguem seus resultados.

Eduardo Cesar Amancio


SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ANÁLISE EXERGÉTICA EM UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO A VAPOR COM APLICAÇÃO DA NEGUENTROPIA

Fábio de Farias Cavalcante

Glauco Demóclito Tavares de Barros

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0082230061>

CAPÍTULO 2..... 14

ASPECTOS DAS VARIAÇÕES LINGUÍSTICAS NO CANTEIRO DE OBRA

Iracira José da Costa Ribeiro

Lúcia de Fátima Araújo Souto Badú

Emerson Cordeiro de Lima

Ríusle Souza Nascimento

Ana Luzia Souza

Igor Jandson Feitosa da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0082230062>

CAPÍTULO 3..... 24

MEDIÇÃO INTELIGENTE DE DISTÂNCIA DE OBJETOS ESTÁTICOS PARA ROBÓTICA DE ENXAME

Márcio Mendonça

Rodrigo Henrique Cunha Palácios

Emanuel Ignacio Garcia

Michele Eliza Casagrande Rocha

Celso Alves Correa

Fábio Rodrigo Milanez

Marco Antônio Ferreira Finocchio

Lucas Botoni de Souza


Mateus Cabral dos Santos

João Paulo Scarabelo Bertoncini

Marcos Antonio de Matos Laia

André Luís Shiguemoto

Kazuyochi Ota Junior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0082230063>


CAPÍTULO 4..... 38

MODERNIZAÇÃO DE PONTES ANTIGAS – PONTE SOBRE O RIO JUCU – BR101 – ES

Jorge Martins Sarkis

Paulo Jorge Sarkis

Leonardo Borges Vargas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0082230064>

CAPÍTULO 5..... 52

PROGRAMA PILOTO Y CALIDAD DE SECADO DE MADERA *Apuleia leiocarpa* (Vogel)

J.F. Macbr. EN HORNO CONVENCIONAL ELÉCTRICO, MADRE DE DIOS-PERÚ

Emer-Ronald Rosales-Solorzano

Roger Chambi-Legoas

Rosa-Norma Aguilar-Lozano

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0082230065>

CAPÍTULO 6..... 63

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM DINAMÔMETRO BASEADO EM MOTOR DE CORRENTE CONTÍNUA

Felipe Costa Novo Malheiros

Nelson Henrique Bertollo Santana

Clara Luísa Pereira dos Santos Lima

Layane Rodrigues Monteiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0082230066>


CAPÍTULO 7..... 74

PROPOSTA DE REQUALIFICAÇÃO DE EDIFÍCIO INDUSTRIAL PARA ESPAÇOS DE ARTE E CULTURA

Margarida Ramos Silva

Jorge Ramos-Jular

João Carlos Lanzinha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0082230067>

CAPÍTULO 8..... 91

SEISMIC STUDY OF ANOMALIES OF AVO (AMPLITUDE VERSUS OFFSET) THROUGH SIMULATIONS USING THE BACKDROP OF THE RIO DO PEIXE SEDIMENTARY BASIN

Carlos Renato Gomes da Cunha

Gustavo Silva Vieira

Alice Dames Vieira

Letícia Kizuka Pereira

Ludmila Ravane Santos da Silva

Rayssa Barcellos Paiva

Brenda dos Santos Pereira


Hans Schmidt Santos

Kaio da Silva Pimentel Figueiredo

Rogério Manhães Soares

Ariane Raposo Nogueira Soares

Gabriel Fonseca Reiff Souto Vidigal

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0082230068>

SOBRE O ORGANIZADOR 104

ÍNDICE REMISSIVO..... 105

CAPÍTULO 1

ANÁLISE EXERGÉTICA EM UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO A VAPOR COM APLICAÇÃO DA NEGUENTROPIA

Data de aceite: 01/06/2022

Fábio de Farias Cavalcante

Glauco Demóclito Tavares de Barros

RESUMO: Neste trabalho, o principal objetivo é realizar uma investigação exergética em um ciclo de refrigeração por compressão a vapor em um supermercado atacadista que utiliza o refrigerante R-134a. É realizado a aplicação de neguentropia levando em consideração a contribuição dos equipamentos dissipativos, como condensador e válvula de expansão na alocação dos custos. Na formulação convencional, estes equipamentos não têm um propósito produtivo, mas são importantes para o funcionamento e análise de custos do sistema. Outro objetivo deste estudo é quantificar e analisar a eficiência exergética dos equipamentos e do sistema em geral, desenvolvendo um modelo exergético nos equipamentos dissipativos e também determinar os custos exergéticos de todos os fluxos produtivos. A determinação dos custos exergéticos partiu de uma abordagem acerca da neguentropia e utilização do modelo UFS (divide a parcela de exergia em três componentes: energia interna, trabalho de fluxo e neguentropia) obtendo-se assim uma estrutura produtiva que revela a parcela de gasto exergético de cada componente individual do sistema, e permitindo a análise dos equipamentos dissipativos no que diz respeito ao seu objetivo produtivo; dessa forma, permite explicitar o produto de forma correta e superando as inconsistências de métodos

convencionais em trabalhar com equipamentos dissipativos. Os resultados mostraram que, usando a metodologia proposta, chega-se a valores coerentes do ponto de vista da segunda lei da termodinâmica onde análise e conclusões a respeito dos componentes são feitas.

PALAVRAS-CHAVE: Termoeconomia, neguentropia e refrigeração.

ABSTRACT: The main objective of this work is to carry out an exergetic investigation in a refrigeration cycle by steam compression in a supermarket that uses the refrigerant R-134a. It was carried out with the application of negentropy taking into consideration the contribution of dissipative equipment, such as condenser and expansion valve in the allocation of costs. In the conventional formulation, these equipments do not have a productive purpose, but they are important for the operation and analysis of costs of the system. Another objective of this study is to quantify and analyze the exergetic efficiency of equipment and the system in general, developing an exergetic model in dissipative equipment and also determine the exergetic costs of all the productive flows. The determination of exergetic costs is based on an approach about negentropy and the use of the UFS model (it divides the exergy parcel into three components: internal energy, flux work and negentropy) obtaining a productive structure that reveals the share of exergetic expenditure of each individual component of the system, and allowing the analysis of dissipative equipment that says respect to its productive objective; this makes it possible to explain the product in a correct and overcoming the

inconsistencies of conventional methods in working with dissipative equipment. The results showed that, using the proposed methodology, we find coherent values from the point of view of the second law of thermodynamics where analysis and conclusions regarding the components are made.

KEYWORDS: Thermoeconomics, negentropy, refrigeration.

1 | INTRODUÇÃO

Segundo Salvador (1999), a refrigeração pode ser definida como um processo que vise transferir continuamente a energia térmica de uma região de baixa temperatura para uma de maior temperatura. A indústria de alimentos se utiliza bem desse processo, onde os sistemas frigoríficos visam fornecer as temperaturas necessárias ao processamento e estocagem dos produtos. Atualmente verifica-se não só uma crescente utilização de sistemas de refrigeração por compressão a vapor para conservação de alimentos, mas também o aumento da necessidade por ambientes climatizados em diversos seguimentos da sociedade. De acordo com Mendes et al (2012), é de extrema importância que se obtenha cada vez mais controle sobre os componentes utilizados nesses sistemas, com o objetivo de fazer que operem com a máxima eficiência em todas as condições de funcionamento. O sistema de refrigeração por compressão a vapor, utilizado de forma correta, pode contribuir para a redução no uso de energia, além de minimizar os indesejáveis efeitos ambientais, tais como aqueles associados à camada de ozônio e ao efeito estufa, devido à fuga de refrigerantes (MENDES; VENTURINI; PIRANI, 2012).

Verificar os fundamentos da segunda lei da Termodinâmica é possível, uma vez que o método da análise exérgica é particularmente apropriado para entender como a energia está sendo aproveitada ao longo do processo, e permite a determinação de rejeitos e perdas em termos de sua localização, tipo e quantificação de valores reais (MORAN & SHAPIRO, 2006). A análise de primeira lei, análise energética, não é suficiente para identificar perdas e eficiências destes sistemas. Desta forma, a análise exérgica supera as limitações de primeira lei (VELÁZQUEZ, 2006). Segundo Rojas (2007), o método da exergia é a ferramenta utilizada para contabilizar as ineficiências e perdas dos sistemas, assim como a procura para otimizá-los. A estrutura física de um sistema não é suficiente para explicitar os custos oriundos da produção das várias correntes ao longo dos processos; é vital identificar as eficiências e ineficiências dos setores a assim alocá-los. Utilizamos o conceito de neguentropia para alocar os custos envolvidos no sistema de compressão a vapor.

Este trabalho tem como objetivo geral realizar uma análise exérgica com aplicação do conceito de neguentropia em uma unidade de refrigeração por compressão a vapor que utiliza o gás R-134a como fluido refrigerante. Em relação aos objetivos específicos, podemos: quantificar e analisar a eficiência exérgica dos equipamentos e do sistema em geral, verificar modelo exérgico nos equipamentos dissipativos e determinar os custos

exergéticos do fluxo produtivo.

2 | REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Exergia

A exergia é uma propriedade extensiva que pode ser destruída e não é conservada, ao contrário da energia, que não pode ser criada nem destruída, como define a primeira lei. O método de exergia supera as limitações que apresenta a análise baseada na análise energética (primeira lei), pois a análise exérgica indica a localização da degradação de energia num processo e identifica quais setores convertem energia de forma mais eficiente. Para processos reais, na ausência de forças externas, a exergia de entrada de um fluxo é sempre maior que a exergia de saída. A diferença é devido à exergia destruída pelas irreversibilidades internas e a exergia transferida para fora do sistema. Tanto a irreversibilidade como a exergia desperdiçada representam as perdas exérgicas de um processo.

2.2 Ambiente e estado de referência

Podemos definir ambiente e estado de referência como um modelo de ambiente onde os componentes do sistema encontram-se em equilíbrio estável, não se verifica nenhuma reação química e nenhum potencial para realizar trabalho pode ser identificado. Em condições normais, o ambiente de referência é aquele com temperatura $T_0 = 25\text{ °C}$ e $p_0 = 101,3\text{ kPa}$ (pressão atmosférica padrão). Assim se estabelece um nível para produção de trabalho útil e toda substância mantém um potencial referente a este ambiente.

2.3 Componente física da exergia

Segundo Kotas (1985), a exergia física específica para um volume de controle é dada pela equação (1):

$$b_f = (h - h_0) - T_0^*(s - s_0) \quad (1)$$

O valor da entalpia (h) e entropia (s) é determinado através das tabelas de propriedades termodinâmicas existentes, h_0 e s_0 são valores de referência obtidos na temperatura de referência de 298,15 K e pressão atmosférica.

O componente físico da exergia específica de um gás ideal num volume de controle é representado mediante a combinação de várias equações, tendo como base fundamental a equação (1), que representa a exergia física. Para um gás ideal, a variação de exergia é representada por:

$$b_f = c_p \left[T - T_0 + T_0 * \ln \left(\frac{T}{T_0} \right) \right] + R * T_0 * \ln \left(\frac{p}{p_0} \right) \quad (2)$$

Onde c_p refere-se ao calor específico a pressão constante. As variáveis p e T são tomadas em referência a p_0 e T_0 . (KOTAS,1985).

2.4 Sistema de compressão a vapor

A figura 1 mostra o ciclo de refrigeração por compressão a vapor. Utiliza um fluido refrigerante para absorver e remover o calor de um determinado lugar que necessita de resfriamento. Em qualquer processo de refrigeração, o calor é transferido de uma região fria para a outra mais quente com a ajuda de um compressor.

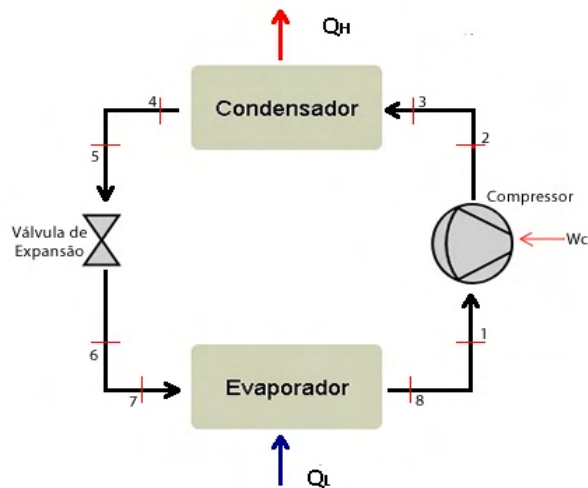


Figura 1 – Diagrama esquemático de um sistema de compressão a vapor

Fonte: Stoecker & Jones (1985)

O evaporador é um trocador de calor que recebe o fluido refrigerante líquido a baixa pressão e temperatura; no interior dos tubos do evaporador, o fluido refrigerante na forma líquida vaporiza absorvendo calor no interior da câmara (espaço a ser refrigerado). O fluido refrigerante deixa o evaporador na forma de vapor;

A linha que liga o evaporador ao compressor é conhecida como linha de sucção usada para transportar o vapor frio, oriundo do evaporador ligando ao compressor. Teoricamente se admite que o refrigerante atravessa essa linha sem trocar calor;

Ao chegar no compressor, o vapor frio tem sua pressão elevada; conseqüentemente sua temperatura de saturação eleva-se para um valor que permite o vapor condensar posteriormente a temperatura ambiente;

Ao deixar o compressor, o fluido refrigerante entra na linha de descarga na forma de vapor superaquecido; essa é a linha que liga o compressor ao condensador e também se admite que o refrigerante atravessa essa linha sem trocar calor;

O condensador nada mais é que um trocador de calor que, recebe o fluido refrigerante na forma de vapor a alta pressão e temperatura (vapor superaquecido) onde a sua condensação é realizada retirando-se calor do mesmo;

O fluido refrigerante, ao chegar no dispositivo de expansão (válvula de expansão), tem como função reduzir a pressão do líquido na entrada do evaporador, sendo o dispositivo responsável que controla o fluxo de refrigerante através do evaporador tendo como base a demanda de carga térmica. O fluido refrigerante chega ao evaporador e o ciclo reinicia novamente.

Vale ressaltar que esse é um ciclo de compressão a vapor de refrigeração ideal, mas nos dá a base de entendimento dos ciclos reais onde o fluido refrigerante é vaporizado, comprimido e condensado através de um ciclo contínuo para permitir refrigerar um determinado ambiente ou espaço.

2.5 Concepções teóricas da Termoeconomia

Segundo Gonçalves (2019), os pilares da Termoeconomia têm como princípio:

- A matriz de incidência, que relaciona os subsistemas com seus fluxos físicos, e por sua vez com o nível de agregação do sistema avaliado (ROJAS, 2007). A representação matricial nada mais é do que correlacionar o n-fluxo ao m-subsistema, onde existe uma relação de entrada com valor positivo (+1), e negativo (-1) caso o fluxo esteja saindo. Os fluxos constituem as colunas, enquanto as linhas da matriz são constituídas pelos equipamentos;
- A formulação F-R-P onde todo sistema tem um combustível F, um produto P, um Resíduo (R) que geralmente é expresso em termos de exergia. Não há uma formulação fixa, pois as necessidades de formulação podem variar de acordo com os requisitos de cada sistema. Podemos dizer que, o combustível (F) nada mais é do que o recurso necessário para um processo em um determinado subsistema gerar o produto desejado (P);
- As regras de atribuição de custo que, traz de forma compacta, o conjunto de postulados ou algumas proposições que tornar-se-ão base para uma análise geral do custo exergético formuladas por Valero, Lozano e Munoz (1986) e (Cuadra, 2000). Estas proposições, juntamente com seus corolários, irão desenvolver para um subsistema genérico básico sob condições normais (sem interações externas anômalas);
- O custo exergético onde a exergia é considerada como a mais adequada propriedade termodinâmica para associar com custos, isto porque ela contém informação da Segunda Lei e quantifica a qualidade de energia. A contabilidade exergética é definida por Valero e Torres (2000) como uma técnica numérica que permite quantificar os custos, a partir dos valores exergéticos dos fluxos, F, P e R. Esta metodologia formula um procedimento de determinação de custos, baseado na repercussão dos custos dos combustíveis de cada componente. O método da Teoria dos Custos Exergéticos apresenta uma nova função termodi-

nâmica chamado custo exergético.

Com todas essas concepções em mente, elabora-se a matriz de incidência inicial $A(m \times n)$ onde o número de fluxos (n) será sempre maior que o número de subsistemas (m); essa matriz A precisa de $(n-m)$ equações complementares para que possa formar uma matriz quadrada e ser atribuído o custo exergético a todos os fluxos. Essa matriz $A(m \times n)$ complementada através das regras de atribuição de custos e formulação F-R-P dá origem a uma nova matriz quadrada $\Lambda(m \times m)$.

Da mesma forma um vetor coluna $\omega(m \times 1)$ é obtido inicialmente e é complementado através das mesmas regras (atribuição de custos e formulação F-R-P), dando origem a um vetor Y^* de tal forma que temos o sistema:

$$\Lambda \times B^* = Y^* \quad (3)$$

A resolução do sistema descrito pela equação (3) nos dá o vetor B^* , que nada mais é que o vetor custo exergético e com ele podemos determinar o custo exergético unitário do i -ésimo fluxo

2.6 Análise exergética em um sistema de compressão a vapor

A análise exergética consiste em uma importante ferramenta para a melhoria dos sistemas através da redução das irreversibilidades. É uma ferramenta muito utilizada para determinar a maneira de melhorar o desempenho dos equipamentos e/ou sistemas. A modelagem termoeconômica com base na exergia total dos fluxos físicos é uma das características da Teoria do Custo Exergético (TCE). Apesar de direcionarem as suas equações de custo para o cálculo dos custos dos fluxos físicos, estas metodologias precisam sempre definir a estrutura produtiva da planta (Valero et al., 1994).

Com isso, equações auxiliares são obtidas com base na formulação F-R-P associada ao fluxo produtivo da planta onde essas mesmas equações são analisadas para cada subsistema (componente). As expressões do balanço exergético para exergia destruída dos componentes em um sistema de compressão a vapor são:

Evaporador:

$$EX_{dest.evap} = m_{ref} * (ex_{ent.evap} - ex_{sai.evap}) - Q_{evap} * \tau_{evap} \quad (4)$$

Compressor:

$$EX_{dest.comp} = m_{ref} * (ex_{ent.comp} - ex_{sai.comp}) + W_{elétrico} \quad (5)$$

Condensador:

$$EX_{dest.cond} = m_{ref} * (ex_{ent.cond} - ex_{sai.cond}) - Q_{cond} * \tau_{cond} \quad (6)$$

Válvula de expansão:

$$Ex_{dest.ve} = m_{ref} * (ex_{ent.ve} - ex_{sai.ve}) \quad (7)$$

2.7 Neguentropia

Para um dado sistema em análise, uma estrutura produtiva deve ser considerada mostrando os seus combustíveis, produtos e resíduos alocando custos de acordo com a regra do F-R-P. Esse procedimento apresenta limitações diante de equipamentos dissipativos como, por exemplo, condensador e válvula de expansão os quais não apresentam um propósito produtivo. Para solucionar o problema é possível utilizar o conceito de neguentropia, que é considerar a redução da entropia obtida pela variação da exergia do refrigerante no condensador, como produto do subsistema.

A neguentropia (negativa da entropia) é uma magnitude ou função que quantifica a redução da entropia do fluido de trabalho. Para que tenha a mesma dimensão da exergia, a neguentropia se expressa multiplicando-se a variação da entropia pela temperatura de referência

Para solucionar as restrições dos modelos E&S e H&S, consagrados na termoeconomia, Lourenço (2012) propôs o modelo UFS cuja aplicação em ciclos de refrigeração permite isolar equipamentos dissipativos como condensadores e válvulas, na estrutura produtiva; de modo que os resultados gerados sejam coerentes, isto é, por meio da avaliação dos custos exergéticos unitários, das relações entre produto e insumo e da análise.

O modelo UFS define que a exergia física deve ser desagregada em três termos: termo de energia interna, termo de trabalho de fluxo e termo entrópico. O objetivo é solucionar o problema na válvula de expansão, onde acontece o processo isoentálpico (onde são consideradas as hipóteses típicas de simplificação na análise Termodinâmica de Engenharia, como por exemplo, processo para volume de controle adiabático em regime permanente e desprezo dos termos de energia cinética e potencial).

Seguem abaixo as equações referentes aos termos desagregados do modelo UFS:

$$U = m * (U_i - U_0) \quad (8)$$

$$F = m * (p_i * v_i - p_0 * v_0) \quad (9)$$

$$S = m * T_0(S_i - S_0) \quad (10)$$

3 | PROPOSTA DO TRABALHO

O objetivo deste trabalho é determinar os custos exergéticos de um ciclo de refrigeração utilizando o conceito de neguentropia. O processo de investigação permitiu a modelagem matemática, tendo, portanto, a pesquisa caráter quantitativo. Sendo assim, foi efetuado um estudo no setor de refrigeração de frio alimentar em um supermercado atacadista-varejista com as seguintes condições de operação:

- A unidade de refrigeração do supermercado estava em pleno funcionamento no momento da coleta dos dados para o desenvolvimento da análise. Os dados foram adquiridos a partir do projeto de instalação e de equipamentos de medição da própria unidade térmica e repassados pela equipe que realiza manutenção no local;
- O estado de referência é a pressão atmosférica (101,3kPa) e temperatura de 25 °C;
- A exergia cinética e potencial de qualquer fluxo exergético assume-se como zero. As simulações do sistema foram processadas no software MathCAD 15.0®, devidamente licenciado, ©(P.T.C.INC, 2015).

O método descrito anteriormente foi aplicado em um sistema de refrigeração de frio alimentar, onde temos uma temperatura de evaporação de -10°C e temperatura no condensador de 72°C, com o R134a como fluido de trabalho.

Dados disponíveis		
Variável	Valor	Descrição
T_0	298,15K	Temperatura do meio de referência
P_0	131,35 kPa	Pressão do meio de referência
H_0	424,5 kJ/kg	Entalpia do meio de referência
S_0	1,901*kJ/kg*K	Entropia do meio de referência
\dot{m}	1,376 kg/s	Vazão de massa do sistema
T1	-10°C	Temperatura de entrada no compressor
T2	72°C	Temperatura de entrada no condensador
T3	45 °C	Temperatura de entrada na válvula
T4	-10 °C	Temperatura de entrada no evaporador
P1	200 kPa	Pressão de entrada no compressor
P2	1054,9 kPa	Pressão de entrada no condensador
P3	1172,11 kPa	Pressão de entrada na válvula
P4	200 kPa	Pressão de entrada no evaporador

Tabela 1 – Variáveis Termodinâmicas conhecidas

3.1 Descrição do processo

A finalidade dos equipamentos é utilizar o fluido refrigerante R-134a para remoção de calor nos expositores dos alimentos dentro do supermercado obtendo assim, o resfriamento necessário para cada tipo de alimento. São eles:

- 32 evaporadores (com capacidade de evaporação total de 121.208 kcal/hora);
- Três condensadores (com capacidade de condensação total de 297.936 kcal/hora);

- Quatro compressores (com capacidade total de 97.200 kcal/hora);
- Uma válvula de expansão.

Na figura 7 é apresentada a estrutura produtiva da planta de refrigeração. As setas verdes representam o fluxo de transferência de calor; as setas rosas representam as potências; as amarelas os fluxos de termo de energia interna; as azuis os fluxos de termo de trabalho de fluxo e as vermelhas os fluxos de termo entrópico (neguentropia).

As variáveis U, F e S são referentes aos termos desagregados energia interna, termo de trabalho de fluxo e termo entrópico, respectivamente. Com a determinação deles, é possível determinar o custo exergético e unitário de cada fluxo e conseqüentemente de cada equipamento

3.2 A Formulação F-P

A concepção Fuel – Product- Loss (FPL) apresentada em análises exergéticas definem para um volume de controle um propósito produtivo, um fluxo de combustível consumido durante o processo de transformação e os fluxos de perdas do sistema, quando são considerados na investigação. De acordo com Valero et al (2004), esta atribuição é arbitrária, porém é sempre uma combinação de fluxos exergéticos entrando e saindo do volume de controle. Na Tabela 2 é apresentada a formulação F-P para os equipamentos e volumes de controle fictícios (junções) onde é possível explicitar o fluxo neguentrópico, produto do condensador, e seu rateio para os demais componentes (insumos). A estrutura produtiva F-P para o sistema integrado é mostrada na Figura 2.

Dispositivo	Fuel		Product
	Exergia	Neguentropia	
Compressor	W_c	S_{21}	$U_{21}+F_{21}$
Condensador	$U_{23}+F_{23}$		S_{23}
VE	U_{34}	S_{43}	F_{43}
Evaporador		S_{14}	$F_{14}+U_{14}+Q_L$
Junção U	$U_{14}+U_{21}$		U_{34}
Junção F	$F_{21}+F_{14}+F_{43}$		F_{23}
Junção S		S_{23}	$S_{14}+S_{43}+S_{21}$

Tabela 2 – Definição F-P

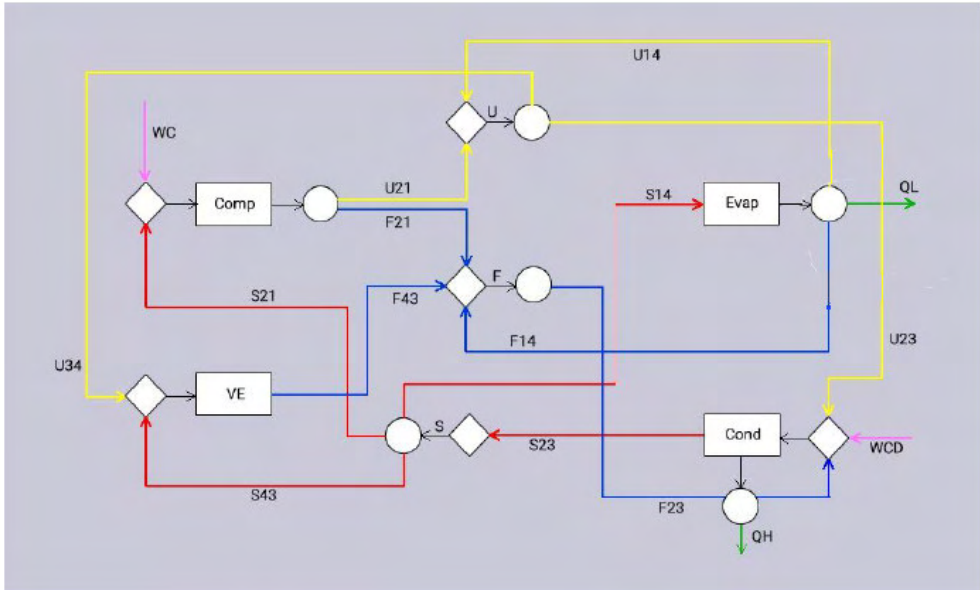


Figura 2 – Estrutura produtiva Modelo UFS

Fonte: O autor (2019)

A análise exérgica no sistema de refrigeração foi realizada de forma individual em seus componentes, podendo assim identificar os principais locais de destruição de exergia e exibindo os equipamentos passíveis de melhorias. Sendo assim, uma análise exérgica é efetuada em cada um dos equipamentos, com o objetivo de detectar as irreversibilidades no sistema em termos de quantidade de exergia.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base na estrutura física da planta, a destruição de exergia em cada subsistema de interesse foram:

- 42,13 kW no evaporador;
- 33,85 kW no condensador;
- 26,9 kW no compressor;
- 12,3 kW no dispositivo de expansão.

A figura 3 abaixo mostra bem isso

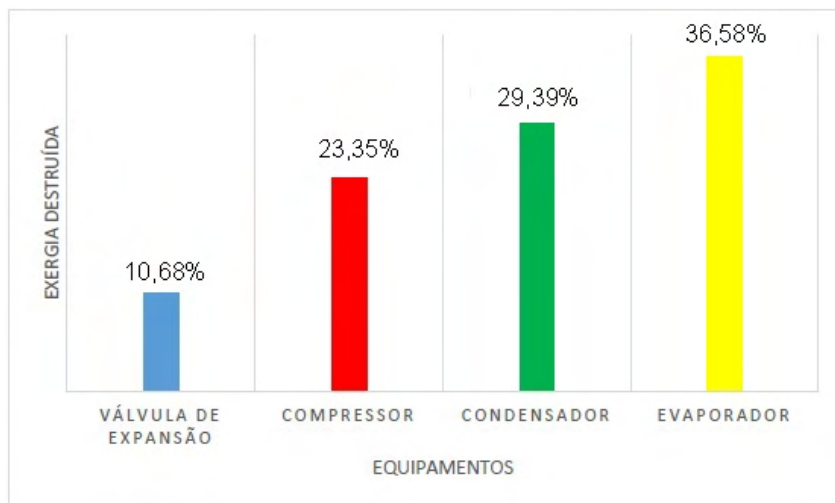


Figura 3 – Exergia destruída nos equipamentos

Fonte: o autor

A partir da solução do sistema de equações, são apresentados na tabela 03, os resultados para os custos exergéticos e unitários dos fluxos. foram determinados.

Na válvula de expansão observa-se o maior custo exergético e conseqüentemente maior custo exergético unitário, resultando numa menor eficiência. O condensador também apresenta um custo exergético relativamente alto, juntamente com seu custo unitário. Isso se deve pelo fato de estarmos diante de equipamentos dissipativos.

Fluxo	Fluxo Produtivo	B* (Custo exergético em kW)	K (Custo unitário)
1	U14	345,231	2,159
2	U21	110,051	1,421
3	U34	16,892	1,918
4	U23	438,391	1,918
5	F21	8,429	1,421
6	F43	42,815	4,756
7	F14	36,835	2,159
8	F23	88,079	2,753
9	S23	515,869	2,106
10	S43	24,923	2,106
11	S14	422,546	2,106
12	S21	67,4	2,106

Tabela 3 – Custos exergéticos e unitários do sistema

Fonte: o autor

Podemos concluir que:

A tabela 3 fornece o valor do custo exergético e unitário de cada fluxo, e consequentemente para cada equipamento;

Os fluxos U_{14} e U_{21} representam os fluxos do evaporador e compressor, respectivamente. Possuem custos exergéticos relativamente mais baixos em relação ao condensador e válvula de expansão;

O produto do condensador (neguentropia) foi o que apresentou o maior custo exergético e o maior custo exergético unitário foi obtido no produto da válvula de expansão;

O modelo UFS apresentado nesse trabalho atendeu bem as expectativas, visto que em sistemas de refrigeração engloba-se pelo menos dois equipamentos dissipativos e esse modelo consegue solucionar os problemas de alocação de custos no condensador e válvula de expansão sem violar as leis da termodinâmica. O conceito de neguentropia permite alocar os custos dos equipamentos dissipativos para os produtivos em função do aumento da entropia do fluido de trabalho onde o maior custo exergético alocado foi no evaporador.

REFERÊNCIAS

ACCADIA, M. D. e ROSSI, F. (1998). **Thermoeconomic Optimization of a Refrigeration Plant**. Int. J. Refrig. Vol. 21, No. 1, pp. 42-54.

ARENA A. P. e BORCHIPELLINI R (1999). **Application of Different Productive Structures for Thermoeconomic Diagnosis of a Combined Cycle Power Plant**. Int. J. Therm. Sci. (1999) 38, 601-612.

ÇENGEL, Yunus A. MICHAEL, A.B. **TERMODINÂMICA**; tradução Katia Aparecida Roque. 5 edição. São Paulo. McGraw-Hill, 2006.

KOTAS, T.J. **The Thermal Method of Thermal Plants**. Krieger Publishing company, USA. 1985.

DINCER, I/ ÇENGEL, Y.A (2001); **Energy, entropy and exergy concepts and their roles in thermal engineering**. Entropy, vol. 3, 2001, p. 131. 2001.

Erlach, B., Serra, L. e Valero, A. (1999). **Structural Theory as Standard for Thermoeconomics**. Energy Conversion and Management Vol. 40, pp. 1627-1649.

FERRAZ, F.; **Apostila de refrigeração**. Santo Amaro, 2008. Centro federal de educação tecnológica da Bahia.

FRANGOPOULOS, C. **Application of the Thermoeconomic Functional Approach to the CGAM Problem**, 1994. Energy Vol. 19, No. 3, pp. 323-342

TORRES, C., SERRA, L., VALERO, A. e LOZANO, M. A. (1996). **The Productive Structure and Thermoeconomic Theories of System Optimization**. ME'96: International Mechanical Engineering Congress & Exposition (ASME WAN' 96).

VALERO, A.; LOZANO, M. A.; MUNOZ, M. **A general theory exergy saving i. on ther exergetic cost.** p. 1–8, Dezembro 1986

VALERO, A. **Termodinâmica, Ecologia y Teoria de Sistemas.** Universidade de Zaragoza Espanha, 1998.

Valero, A.(2004); “**Exergy Accounting: Capabilities and drawbacks**”. Copyright © 2004 Elsevier Ltd All rights reserved -ScienceDirect. 2004

Stoecker, Wilbert F. et Jones, Jerold W. **Refrigeração e Ar Condicionado.** Tradução José M. Saiz Jabardo – São Paulo: McGraw - Hill do Brasil, 1985.

CUADRA, A. V. C. C. T. Curso de Doctorado - **TERMOCONOMIA.** Universidad de Zaragoza, 2000. Disponível em: <[http://teide.cps.unizar.es:8080/pub/publicir.nsf/codigospub/0172/\\$FILE/cp0172.pdf](http://teide.cps.unizar.es:8080/pub/publicir.nsf/codigospub/0172/$FILE/cp0172.pdf)>.

LOURENÇO, A. B. **Uma Nova Abordagem Termoeconômica para o Tratamento de Equipamentos Dissipativos,** Vitória, 68p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica - Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, 2012.

SANTOS, J. J. C. S. **Aplicação da Neguentropia na Modelagem Termoeconômica de Sistemas.** Itajubá. 140p. Tese de Doutorado em Conversão de Energia - Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, 2009.

GONÇALVES, J.G.V., et al. **Análise termoeconômica em uma planta de cogeração de energia.** Coletânea Brasileira de Engenharia de Produção 5. Stellata Editora. 2019

MENDES, T.; VENTURINI, O. J.; PIRANI, M. J. **Diagnóstico Termodinâmico Aplicado a Um Sistema de Refrigeração por compressão de vapor.** 2012. Tese (Mestrada em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Itajubá, Minas Gerais.

MISRA, R. D., SAHOO, P. K. e GUPTA, A. (2002). **Application of the Exergetic Cost Theory to the LiBr/H₂O Vapour Absorption System.** Energy Vol. 27, pp. 1009-1025.

MORAN, M. J.; SHAPIRO, H. N. **Princípios de termodinâmica para engenharia.** Rio de Janeiro: LTC, 2006, p. 681.

P.T.C.INC. MathCAD, version 15.0. 2015. 140 Kendrick Street, Needham, MA 02494 U.S.A. Disponível em: <<https://www.ptc.com/>>.

ROJAS, S. P. **Análise Exergética, Termoeconômica e Ambiental de um sistema de geração de energia.** Estudo de caso: Usina Termoelétrica Ute - Rio Madeira. p. 176, 2007

SALVADOR, F. **Projeto De Um Sistema De Refrigeração Industrial Com ‘ Set-Point’ Variável Refrigeração Industrial.** 1999. Universidade São Paulo, São Paulo, p. 136.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Alabeos 52, 57, 58, 60
Algoritmo 29, 30, 63, 64, 66, 70, 71, 72
Aparelho de apoio 38
Arte 38, 74, 84, 87, 88
AVO 91, 92, 93, 94, 95, 102, 103

C

Canteiro de obra 14, 15, 18
Cinética de secado 52
Covilhã 74, 75, 76, 79, 83, 88, 89, 90
Cultura 23, 74, 88

D

Defectos de secado 52
Dinamômetro 63, 64, 66, 68, 72

F

Fibra de carbono 38, 44, 48, 49, 50

H

Humedad de la madera 52, 53, 54, 58, 59

I

Indústria 2, 24, 74, 75, 78, 79, 80, 83, 88, 90

L

Linguagem 14, 15, 16, 17, 18, 20, 22, 63, 64, 68, 71

M

Módulo de controle 63, 64, 66, 68, 70
Monteiro-PB 14, 15

N

Neguentropia 1, 2, 7, 9, 12, 13

P

Petróleo 92, 96, 102, 103
Ponte 38, 39, 41, 42, 44, 45, 50, 51

Programas de secado 52, 62

Protensão externa 38, 44, 45, 50, 51

R

Redes neurais artificiais 25, 28, 29, 30, 36, 37

Reforço 38, 39, 42, 44, 48, 49, 50, 51

Refrigeração 1, 2, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 12, 13

Requalificação 74, 87, 89, 90

Robótica 24, 25, 26, 27, 29, 30, 36

S

Sísmica 92

Sociolinguística 14, 15, 17, 18

T

Termoeconomia 1, 5, 7, 13

V

Visão computacional 25, 26, 27, 30, 36


ENGENHARIAS:

Criação e repasse de tecnologias 2

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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


www.facebook.com/atenaeditora.com.br 




ENGENHARIAS:

Criação e repasse de tecnologias 2

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 