

CARTAS TÉRMICAS, ÁBACOS E ESTUDOS CORRELACIONADOS A HEISLER M. P.

Maurício da Cunha Müller^{1}, João Carlos Furtado¹, Elpídio Oscar Benítez Nara¹*

¹ *Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Processos Industriais Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), Santa Cruz do Sul, Brasil*

**E-mail: mauriciomcm@yahoo.com.br*

Recebido em: 04/11/2020

Aceito em: 29/12/2020

DOI: 10.17058/tecnolog.v25i1.16128

RESUMO

O presente trabalho traz o resgate histórico e cronológico, em forma de revisão bibliográfica, das publicações de cartas e ábacos de temperatura de Heisler M. P. e de outros autores, utilizadas para o controle do tratamento térmico de materiais, ao longo do tempo. O desenvolvimento da pesquisa foi realizado mediante consulta às principais bases de publicação de periódicos científicos e livros, analisando-se a maneira como o assunto tem sido abordado por autores do tema. A metodologia de pesquisa utilizada baseou-se na descrição e explicação, com coleta de dados bibliográficos, utilizando variáveis quantitativas, buscando, assim, a obtenção de melhores parâmetros de avaliação. A contribuição original é o demonstrativo histórico e cronológico das cartas de temperatura em forma de “seta do tempo”, que serve como guia acadêmico e prático para trabalhos futuros. A limitação é dada pelas publicações de cartas térmicas cronologicamente localizadas em periódicos e livros de transferência de calor entre o ano de 1826 até a atualidade. Os resultados significativos encontrados até o momento expressaram a evolução das cartas térmicas e a necessidade da implantação de ferramentas facilitadoras à extração dos dados complexos em cartas de temperatura. Este trabalho foi o ponto de partida para o desenvolvimento e registro do software M&J Transient Calculator for Cylinders, o qual será abordado em trabalho futuro.

Palavras-chave: Carta. Heisler. Temperatura. Transiente. Ábaco.

1 Introdução

O estímulo inicial para a realização de um estudo sobre cartas de controle de temperatura, foram as dificuldades encontradas para a interpretação dos dados da carta térmica para cilindros do autor Heisler [1], no momento em que Müller *et al.* [2] necessitaram fazer o cálculo do tempo de cozimento de alimentos embutidos. A partir desse momento, iniciou-se a busca por informações sobre o funcionamento das cartas existentes e a aplicabilidade das mesmas. O trabalho foi desenvolvido através de pesquisa bibliográfica realizada em livros e periódicos, e teve o epicentro da pesquisa na publicação de Heisler [1] na qual ele demonstra ao mundo, por intermédio da ASME (The American Society of Mechanical Engineers), três cartas para cálculos de temperaturas transientes: em placas planas, em cilindros e em esferas. Foram obtidas 258 publicações, mediante consulta das palavras-chave, e selecionadas 42 publicações que possuíam afinidade direta com o tema em meio a 6 bases de dados consultadas. Este artigo está organizado da seguinte forma: a introdução apresenta o referencial teórico, em formato de história cronológica das principais cartas térmicas localizadas durante a pesquisa, dividida em 3 subseções, as quais apresentam a coleta literária das informações localizadas durante a pesquisa, e esses mesmos dados são posteriormente incorporados à

metodologia, os quais são analisados quantitativamente. A seção dois apresenta a metodologia do trabalho. Na seção três, são apresentados os resultados e as análises. A seção quatro aborda a conclusão.

1.1 Pioneirismo

Cartas térmicas são diagramas ou gráficos visuais geralmente impressos em papel, utilizados na interpretação e explicação metodológica e facilitadora de cálculos e dados complexos, conforme Cheng e Tagha [3]. Também são conhecidas como “ábacos” e constituem alternativas rápidas e simplificadas, amplamente utilizadas por estudantes e profissionais. Geralmente, estão dispostas em 3 eixos, em que a interpolação entre dois desses eixos leva a obtenção de dados no eixo seguinte.

Em 1826, Fourier [4] foi pioneiro em estudar o comportamento térmico dos materiais, não publicou seu trabalho em formato de cartas térmicas, porém fomentou a construção de futuras cartas térmicas, pois a complexidade do seu trabalho foi apresentada por meio de equações térmicas complexas, no momento em que verificou e demonstrou a diferença de temperatura existente entre a superfície e o interior de corpos sólidos circulares. Esse autor verificou que o aquecimento não se comportava de forma linear ao longo da parede dos corpos

sólidos, mas sim de forma logarítmica e, para isso, observou o comportamento do calor incidente em linha reta, oriundo do Sol ao penetrar o planeta Terra. Definiu que o calor era maior na superfície e cada vez menor na medida em que penetrava o planeta. Baseado nessas observações do aquecimento direto em sólidos circunferenciais, publicou equações matemáticas para calcular a propagação do calor em volumes sólidos dessa natureza.

A continuidade ao trabalho de Fourier [4] foi dada por Gurney e Lurie [5], os quais facilitaram o entendimento das equações complexas referentes ao comportamento da temperatura no interior de sólidos por meio de cartas de temperatura. Estes autores relataram que as relações entre tempo de temperatura no interior de corpos sólidos sob aquecimento ou resfriamento podem ser obtidas por meio de termômetros inseridos no próprio sólido, ou, também, calculados a partir das condições assumidas em conjunto com as constantes físicas dos materiais. Dizem ainda que os dados físico-térmicos não são tão completos quanto poderiam ser e que as condições técnicas raramente coincidem com os protótipos teóricos. Afirmam que quando observações empíricas e cálculos teóricos podem ser executados simultaneamente, novas constantes físicas são obtidas, confiáveis na previsão de outras relações de tempo e temperatura sob diferentes aspectos, embora com condições de

contorno semelhantes. Eles fizeram a conversão de fórmulas matemáticas da difusão de calor em linhas geométricas distribuídas em formato de ábaco ou carta de papel que auxiliaram a reduzir os cálculos, demonstrando graficamente que a temperatura varia de forma não linear com a distância entre a superfície e o centro geométrico do sólido. A limitação desse trabalho deve-se à pouca legibilidade e não cobertura da variedade de condições de contorno industriais.

Na área da medicina, a primeira carta de controle térmico localizada foi a de Gououwrn [6], publicada em setembro daquele ano, e que tinha a finalidade de acompanhar e comparar a febre retal e oral de pacientes saudáveis e de pacientes com tuberculose. Essa publicação é rica em gráficos e ábacos de controle que auxiliavam na distinção entre pacientes doentes e pacientes saudáveis, mediante o acompanhamento térmico. Ainda na área da saúde, foi publicado um estudo feito a partir da evolução febril de pacientes com tuberculose e internados em sanatórios, pois a tuberculose era bastante comum, e disseminava-se rapidamente em meio hospitalar, por isso o autor mapeou as curvas de temperatura de pessoas normais e de pessoas com febre decorrente da tuberculose, para auxiliar no diagnóstico da doença, conforme Delmege [7].

Voltando à área de engenharia, o autor Gröber [8] publicou uma obra contendo gráficos que enfatizavam e

facilitavam a interpretação dos dados numéricos para tempos curtos de aquecimento de sólidos, porém com limites relacionados à temperatura, o que os restringiam para apenas uma posição sob o sólido em análise. Dessa forma, o autor necessitava de grande número de gráficos para dar cobertura prática em estudos térmicos situados entre a superfície e o centro do sólido. Esses gráficos apresentavam pouca legibilidade e limitações para o uso industrial, o que motivou os Shack [9] a estudá-los e melhorá-los por meio da adição de mais valores ao eixo do tempo adimensional “X”, e dessa forma tornando-os mais funcionais para a aplicação prática em meio industrial.

A busca de melhorias para a interpretação e alcance das cartas térmicas teve continuidade com os estudos do autor Bachmann [10], quando apresentou cartas para placas, cilindros e esferas, mas com parâmetros adimensionais diferentes dos utilizados e descritos anteriormente. A maior limitação para esse estudo foi na aplicação em problemas que envolvem grandes resistências de contorno, tais como: baixa temperatura, aquecimento de peças finas na faixa de alta temperatura com curtos períodos de aquecimento ou de arrefecimento. O autor McAdams [11] publicou em seu livro as cartas térmicas de Hoyt Clarke Hottel, (Hottel-Charts). Essas cartas eram baseadas nas cartas de Gurney e Lurie [5], porém direcionadas para o estudo da temperatura central de placas planas. As Hottel-Charts

apresentavam um alcance maior quando comparadas as de Gurney e Lurie [5].

O ano de 1947 foi marcado pela publicação de Heisler M. P., a qual foi composta por ábacos específicos para auxílio dos cálculos de tempo e temperatura transiente. Essa obra será tratada no tópico 1.2.

1.2 Heisler-Charts (1947)

Michael P. Heisler foi professor assistente do laboratório de análise de transferência de calor e massa do departamento de engenharia mecânica da Universidade Columbia, conforme arquivo do anuário da Columbia University [12]. Heisler M. P. – abreviação nominal que o autor comumente utilizava - publicou vários trabalhos de relevância na área de transmissão de calor, entre eles, a publicação de Paschkis e Heisler [13] abordou medições em circuitos Lumped RC, como parte do estudo do fluxo de calor transiente; Heisler [14] debateu a distribuição da temperatura no processo de aquecimento ao longo dos sólidos; Paschkis e Heisler [15] discutiram as tensões térmicas em planos e cilindros. Heisler [16] levou seus estudos também à área térmica de transiente em lajes e vasos de pressão circulares, e, também, participou de ensaios térmicos para relatórios técnicos anuais a respeito de reatores [17, 18]. Heisler

[19] abordou a remoção de calor por convecção natural do metal líquido em Reatores.

Na figura 1, observa-se a imagem original da carta de temperatura transiente para sólidos cilíndricos de Heisler [1]. A exemplo, essa carta de temperatura é um instrumento que auxilia a determinar tempo de aquecimento mediante a temperatura

desejada. Para isso, interpola-se, com auxílio de régua e esquadro, o Número de (Biot-1) representado pelas retas inclinadas com a Temperatura Adimensional (θ) representada no eixo vertical que, quando rebatidas para baixo, mostram o tempo adimensional (Fo) no eixo horizontal.

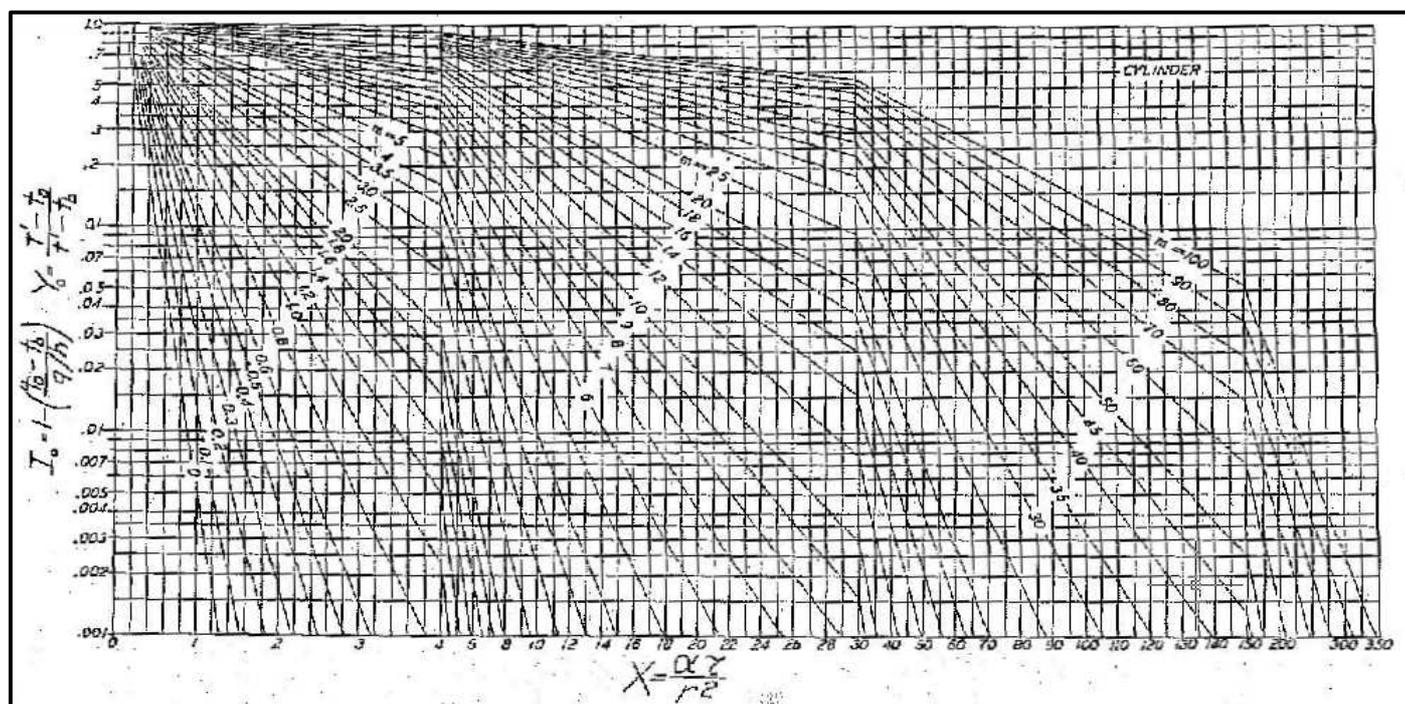


Figura 1: Carta térmica original de Heisler publicada em 1947.

As Heisler-Charts foram apresentadas por Heisler [1] à comunidade científica entre os dias 17 e 20 de junho de 1946, no evento semianual da Associação Americana de Engenheiros Mecânicos (ASME), sob o título *Temperature Charts for Induction and Constant-Temperature Heating*, e publicadas em

abril de 1947, na própria revista da entidade. Existem algumas limitações na utilização dessas cartas de temperatura, entre elas a de que o objeto deve estar a uma temperatura inicial uniforme, não deve haver geração de calor do próprio objeto, temperatura

do entorno e o coeficiente de transferência de calor convectivo deve ser uniforme e constante.

Conforme Heisler [1], a solução de muitos problemas de fluxo de calor necessita o uso de gráficos que facilitem, de forma simples, a obtenção de dados em sólidos, como blocos, cilindros e esferas. O mesmo autor disse ter feito um levantamento bibliográfico que indicou que nenhum dos conjuntos de ábacos pesquisado até aquela data preenchia os requisitos necessários de precisão e legibilidade ao longo de toda a faixa de temperatura, para permitir a interpolação fácil e abrangente em condições variadas de tempo, espessura, propriedades térmicas e limite de condutância.

As Heisler-Charts são um conjunto de ábacos construídos com o auxílio do analisador de fluxo de calor da Universidade Columbia e de cálculos obtidos mediante testes de verificação. Cada um desses ábacos contempla a temperatura adimensional (Θ), o tempo adimensional (Fo) e o coeficiente de transferência de calor adimensional (Biot) para cálculos de tempo e temperatura no centro geométrico e em qualquer ponto da parede de esferas, placas planas e cilindros [1]. Após a publicação das Heisler-Charts, outros autores passaram a utilizá-las para calcular tempos e temperaturas de sólidos em regime de aquecimento transientes [20-27].

A ampliação dos estudos de Heisler [1] deu-se por Gröber, Erk e Grigull [28], quando publicaram uma carta complementar para cada uma das formas geométricas propostas por Heisler: cilindro, plano e esfera. A carta complementar de Gröber [8], ou carta da energia interna, auxilia a calcular a transferência de calor adimensional (Q/Q_0) da parede do sólido em função do tempo adimensional (Fo) e do coeficiente de transferência de calor adimensional (Biot).

1.3 Outras cartas térmicas e correlacionados

Cartas de temperaturas, ábacos e estudos correlacionados foram analisados durante esse estudo, demonstrando que alguns autores pesquisaram melhorias específicas para o desempenho da utilização prática das cartas de Heisler [1]. Os autores Gao e Reid [29] pesquisaram 3 equações, com o intuito de substituir a carta transiente de Heisler [1] para esfera maciça, porém, observaram que as diferenças entre o método calculado e o método original da interpretação da carta de papel demonstraram pequenas diferenças de resultados, as quais puderam ser expressas em uma carta nova, específica. Concluíram, assim, que os dados da carta original são mais precisos. Outra carta térmica, também baseada nos estudos de Heisler [1], foi proposta por Bairi e Laraqui [30], que propuseram a otimização específica para situações de efeitos térmicos extremos e súbitos nas superfícies com baixos números de Fourier de cilindros e esferas.

A característica apontada por estes autores é de que esse método de trabalho funciona para qualquer valor do número de Biot. Outro estudo de carta de temperatura transiente é a proposta por Campo e Chang [31], no qual eles fizeram uma correlação entre as 15 curvas das cartas de energia interna de Gröber, Erk e Grigull [28] e as aperfeiçoaram em modelo único. O modelo otimizado propôs um novo gráfico de curvatura simples, ligando a temperatura média adimensional ao centro de um grande intervalo de Biot. $0,01 < Bi < 100$.

A utilização de cartas térmicas no meio industrial se fez presente na indústria de óleos para climatizadores, onde Daniel *et al.* [32] mapearam a melhora do desempenho dos compressores de ar-condicionado em função do comportamento relacionado a viscosidade do óleo, que, por sua vez, variava diferentemente em temperatura e pressão quando comparado aos óleos sintéticos. Estreitamente relacionado ao conforto térmico, no ramo da construção civil, Tsilingiris [33] demonstrou em sua carta de temperatura que é possível obter a temperatura a partir do tempo de aquecimento de paredes estruturais, por meio da carta comparativa entre método analítico e numérico. Ele propôs um método específico para auxiliar no cálculo de transferência de calor e dimensionamento do isolamento térmico para a climatização de ambientes, e, para isso, demonstrou, por meio de sua carta comparativa, que os resultados do seu método

numérico foram semelhantes aos analíticos, e, tratando-se de climatização ambiental, os evaporadores de teto para ar-condicionado podem ser calculados, conforme Mirzai *et al.* [34], por meio de carta térmica específica, que simplifica a operação e minimiza os gastos.

Na área geológica, Fuchs *et al.* [35] construíram a carta de temperatura para a correção dos valores de condutividade térmica em função da porosidade de rochas, pois, conforme esse autor, em geotermia, a condutividade térmica da rocha constitui um parâmetro importante para determinar o fluxo de calor a partir do interior da Terra. Dentro dessa ótica geológica, uma carta de temperatura para gás natural foi estudada por Allcross [36], o qual destaca a importância de compreender as condições em que o vapor de água pode condensar no gás natural, pois o mesmo implica no funcionamento de qualquer sistema de transporte ou armazenamento de gás natural. Diz ainda, Allcross [36], que, mesmo em época computacional, a carta com dados representados graficamente é útil. Dentro dessa ideia, outro trabalho que utilizou cartas de temperatura foi o de Alberti, Webber e Mancini [37], que as utilizou para determinar a emissividade de dióxido de carbono em função da pressão e da temperatura, em que as emissividades totais calculadas de dióxido de carbono foram tabeladas de modo a facilitar e garantir

interpolações precisas no gráfico, sem necessidade de recorrer a correções de pressão externas.

A aplicação de cartas de temperatura pode abranger diversas áreas do conhecimento, e pode ser complexa ao ponto de prever condições atmosféricas em outros planetas, como Marte, por exemplo, conforme proposto por Schallcross [38], ou, até mesmo assumir a forma de mapa de fluxo de calor tectônico convectivo, conforme Hamza, Cardoso e Neto [39], para mapear áreas para cultivos de alimentos na Austrália. Bayane *et al.* [40] utilizou um ábaco para explicar o comportamento do hidrogênio em função da massa sob determinadas temperaturas, onde esse instrumento tornou-se meio de estudo para identificar que os níveis de temperatura se correlacionam com os da massa da amostra, favorecendo etapas elementares do processo ou desfavorecendo a reação global. Na área médica, foram utilizadas cartas de temperatura em formato tabulado para acompanhar a evolução febril em pacientes com doenças graves relacionadas com o calor, conforme Bailes e Reeve [41], e, na indústria alimentícia, destacou-se o trabalho sobre o efeito da temperatura e do tempo na redução dimensional de carnes cozidas, conforme Fowler e Bejan [42], e, para isso, modificações nas cartas de Heisler [1] foram realizadas.

A necessidade de aprimoramento e praticidade para a interpretação das cartas e ábacos de papel motivaram o começo

das pesquisas em torno de ferramentas computacionais para facilitar o ensino didático a estudantes de engenharia, e, entre elas, a de Ribando e O'leary [43], que se baseou nas cartas térmicas de Heisler [1] para análise de transferência de calor transiente unidimensional, onde o usuário insere o valor de Θ , F_0 e Biot pode visualizar o aquecimento do sólido através de animação colorida. Outra ferramenta baseada em carta térmica para cálculo de temperaturas transientes foi objeto de estudo de Braga [44], que publicou um aplicativo para ser utilizado com eficiência em baixos números de Fourier. Essa ferramenta é capaz de calcular o tempo adimensional (F_0) mediante a inserção da temperatura adimensional (Θ) e do coeficiente de transferência de calor adimensional ($Biot^{-1}$).

2 Metodologia

O trabalho foi desenvolvido inicialmente através de pesquisa bibliográfica sobre o tema descrito na seção um. Após este estudo de embasamento teórico, foi realizado um estudo bibliométrico quantitativo sobre o tema proposto junto às principais bases de publicação de periódicos científicos e livros de transferência de calor.

A técnica utilizada foi a busca quantitativa para avaliação objetiva da produção científica relacionada as cartas de temperatura. Consistiu na aplicação de técnicas estatísticas e

matemáticas para descrever aspectos da literatura e de outros meios de comunicação, conforme Araujo [45]. As informações requereram a sistematização do entendimento para auxiliar na extração de conclusões sobre o conjunto de resultados analisados.

A presente pesquisa buscou demonstrar a maneira como a história, aplicação e importância das cartas de temperatura de Heisler M. P., e outras, estão sendo tratadas e utilizadas ao longo do tempo, através das publicações em determinadas bases de dados.

2.1 Procedimentos Metodológicos

O objetivo de trazer o resgate histórico e cronológico em forma de revisão bibliográfica das publicações de cartas e ábacos de temperatura de Heisler M. P., e de outros autores, utilizadas para o controle do tratamento térmico de materiais, ao longo do tempo, fez com que a busca de informações para a pesquisa fosse dividida em dois tópicos orientadores, indicados por números, para auxiliar a análise dos dados na seção quatro: 1- Os estudos e cartas térmicas correlacionadas a Heisler M.P.; 2- As cartas, mapas e ábacos para aplicações térmicas variadas.

As bases de dados utilizadas para a coleta de publicações relacionadas aos tópicos orientadores foram 6, sendo essas

indicadas por letras, para auxiliar a análise dos dados na seção quatro: A- Periódicos Capes; B- SciELO; C- Web of Science; D- Scopus; E- ScienceDirect; F- livros.

A busca de publicações nas bases de dados se deu com o auxílio de 9 palavras-chave: Chart, Heisler, Control, Temperature, Transient, Termal, Graphical, Map e Abacus, e limitando as publicações entre os anos de 1800 e 2015, tendo como alvo os títulos, os resumos e as palavras-chave dos trabalhos investigados.

3 Apresentação dos resultados e análise

Os resultados das buscas realizadas são demonstrados na Tabela 1 e analisados subsequentemente.

Durante a pesquisa nas 6 bases de dados, todas as publicações que contemplaram as 9 palavras-chave foram identificadas como “publicações localizadas” e as publicações que contemplaram as palavras-chave e também algum dos dois tópicos orientadores foram identificadas como “publicações selecionadas”.

Tabela 1. Publicações localizadas e selecionadas em função das bases de dados e tópicos.

Base	Nº de Publicações Localizadas	Nº de Publicações Selecionadas	Nº de Publicações Selecionadas em função dos Tópicos Orientadores		Nº de Publicações Selecionadas em meio aos tópicos 1 e 2 e que demonstram a utilização de carta térmica.
			Tópico 1	Tópico 2	
A	1	1	-	1	0
B	33	1	1	-	1
C	29	3	2	1	3
D	4	6	3	3	5
E	138	15	2	13	15
F	53	16	15	1	13

Em primeira análise da tabela 1, observa-se o total de 258 publicações localizadas nas bases de dados pesquisadas, tendo como filtro apenas as palavras-chave citadas.

Em segunda análise dessa tabela, observa-se 42 publicações selecionadas mediante a filtragem em função dos tópicos orientadores dentro das publicações localizadas anteriormente por palavras-chave. São as “publicações selecionadas” as que possuem aspectos de ligação direta com o objetivo do trabalho. Salienta-se que, das 42 publicações selecionadas, 26 foram artigos e 16 foram livros, existindo dois (2) estudos de ferramentas facilitadoras à extração dos dados complexos em cartas de temperatura em meio aos artigos.

Em terceira análise da mesma tabela, observa-se que foram selecionadas 23 publicações em função do tópico

orientador 1 e, também, 19 publicações selecionadas em função do tópico orientador 2.

Em quarta análise, observa-se 37 publicações tratadas na seção 2 e que foram extraídas em meio às 42 publicações selecionadas por demonstrarem a utilização de carta térmica para controle de temperatura, auxiliando assim na identificação da seta cronológica com a data e o autor, e que pode ser observada na Figura 2.

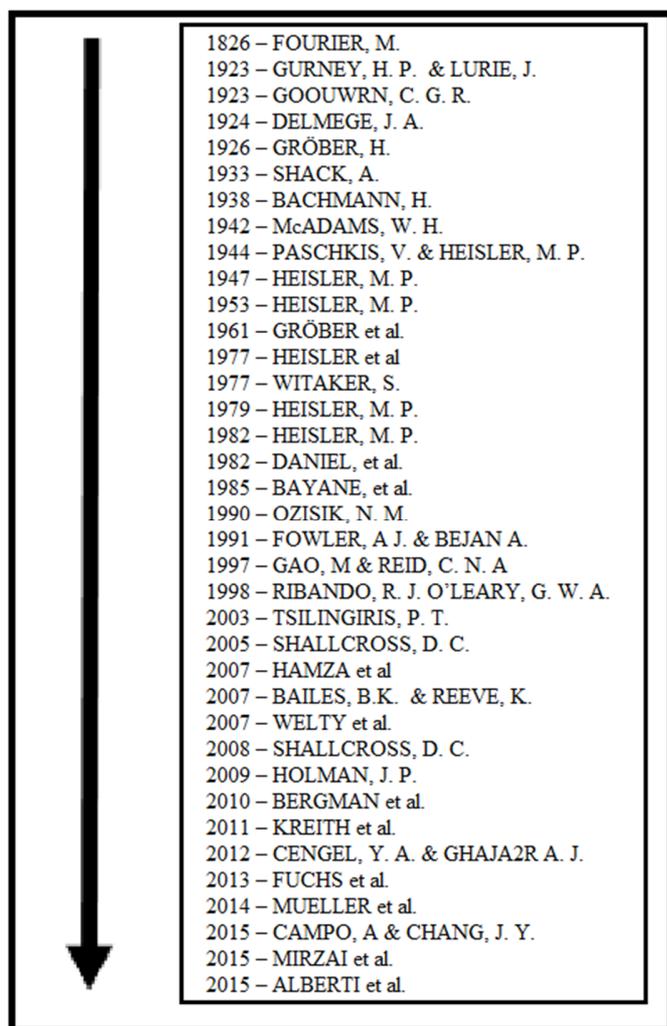


Figura 2 - Linha do tempo das cartas térmicas.

4 Conclusões

A análise das publicações selecionadas que relacionam cartas de temperatura de Heisler M. P. e outras que possuíam alguma referência com as palavras-chave e os tópicos de pesquisa apontou as seguintes conclusões:

1- Dispersão entre o número de publicações localizadas (258) e o número de publicações selecionadas (42), o que representa 16,27% de publicações especificamente referentes aos tópicos de pesquisa.

2- Em meio às publicações selecionadas, foram obtidas (37) por demonstrarem a utilização de carta térmica para controle de temperatura, o que representa 88%.

3- Entre as publicações selecionadas foram obtidas apenas (2) duas publicações (4,76%) referentes a ferramentas facilitadoras à extração dos dados complexos em cartas de temperatura.

4- A partir dessa observação é possível alegar que o tema proposto (mostrar a história e os avanços que ocorreram nas cartas de temperatura de Heisler M. P. e outras) ainda é importante e pouco explorado.

5- O número de publicações que tratam diretamente o tema pesquisado é pequeno, e, embora esta pesquisa tenha revelado resultados ao longo da cronologia histórica, as cartas de temperatura ainda são, na prática, utilizadas nos estudos térmicos.

6- Sugere-se pesquisas para a implantação de ferramentas facilitadoras à extração de dados complexos obtidos em cartas de temperatura, que funcionem com auxílio computacional para

obtenção de dados geométricos, interpretação e fornecimento de resultados de forma automatizada.

Agradecimentos

Agradecemos a oportunidade de submissão do presente trabalho nesse importante periódico.

THERMAL CHARTS, ABACUS AND STUDIES

CORRELATED

TO HEISLER M.P.

ABSTRACT: This paper presents the historical and chronological retrieval, in the form of a bibliographic review, of the publications of temperature charts and abacus of Heisler M. P., and of other authors, used for control of thermal treatment of materials over time. The research development has been carried out by consulting the main bases of publication on scientific journals and books, analyzing the way the subject has been approached by authors of the theme. The research methodology used has been based on description and explanation, with bibliographic data collection, using quantitative variables, seeking, thus, to obtain better evaluation parameters. The original contribution is the historical and chronological demonstration of the "time arrow" temperature charts, which

serve as an academic and practical guide for future research. The limitation is given by the publication of thermal charts chronologically found in heat transfer journals and books from 1826 to the present day. The significant results found so far have expressed the evolution of thermal charts and the need to implement tools that facilitate the extraction of complex data in temperature charts. This work was the starting point for the development and registration of the M&J Transient Calculator for Cylinders software, which will be covered in future work.

Keywords: Chart. Heisler. Temperature. Transient. Abacus

Referências

- [1] HEISLER, M. P. Temperature Charts for Induction and Constant Temperature Heating. The American Society of Mechanical Engineers, Detroit, Mich., p. 227-236, 1947.
- [2] MÜLLER, M. C.; KLAFKE, A. L.; SOARES, I. S. J.; TEDESCO, L. P.; FURTADO, J. C. Redimensionamento e automação do cozimento de alimentos embutidos. Revista Tecno-Lógica, Santa Cruz do Sul, v. 18, n. 1, pages 37-48, jan./jun., 2014.
- [3] CHENG, S. W.; THAGA, K. Single Variables Control Charts: an Overview. Wiley InterScience, v.22, p. 811-820, 2006.
- [4] FOURIER, M. Théorie du mouvement de la chaleur dans les corps solides. Suite de Mémoires de l'Académie royale des sciences de l'Institut de France, années v. 5, p. 153-246, 1826.

- [5] GURNEY, H. P.; LURIE, J. Charts for Estimating Temperature Distributions in Heating or Cooling Solid Shapes. *Industrial and Engineering Chemistry*, v. 15, no. 11, p.1170-1172, 1923.
- [6] GOOUWRN, C. G. R. The Bodily Temperature In Health And In Pulmonary Tuberculosis. *Tubercle*. September v.1 p. 529-542, 1923.
- [7] DELMEGE, J. A. Criteria Of Progress In Sanatorium Treatment. *Tubercle*. V.3, p. 270-274, 1924.
- [8] GRÖBER, H. Einführung in die Lehre von der Wärmeübertragung. Berlin: Springer, 1926.
- [9] SHACK, A. Translated from the German by Goldschmidt, H.; Partridge, E. P. *Industrial Heat Transfer*. New York: John Wiley Sons Inc, 1933.
- [10] BACHMANN, H. Tafeln über Abkühlungsvorgänge einfacher Körper. Berlin: Springer, 1938.
- [11] MCADAMS, W. H. *Heat Transmission*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1942
- [12] COLÚMBIA UNIVERSITY. (1943) Archive. Disponível em: <https://archive.org/stream/catalogue1943colu/catalogue1943colu_djvu.txt> Acesso em 15/10/2020.
- [13] PASCHKIS, V.; HEISLER, M. P. The Accuracy of Measurements in Lumped R-C Cable Circuits as Used in the Study of Transient Heat Flow. *Transactions of the American Society of Mechanical Engineers*. V.63, p. 165-171, 1944.
- [14] HEISLER, M. P. Temperature Uniformity in Heating-up process, *Transactions of the American Society of Mechanical Engineers*, v. 68, p. 493, 1946
- [15] PASCHKIS, V.; HEISLER, M. P. The Accuracy of Lumping in an Electric Circuit Representing Heat Flow in Cylindrical and Spherical Bodies *Journal of Applied Physics* v.17, p. 246, 1946.
- [16] HEISLER, M. P. Transient Thermal Stresses in Slabs and Circular Pressure Vessels. *Journal of Applied Physics*. Michigan, v. 75, p.261, 1953.
- [17] HEISLER, M. P., JOHNSON, R. P., NELSON, C. T., OTTER, J., VAUGHN, E. U., GUDERJAHN, C. (1977). Characterization of Sodium Fire and Fission Product. AI-DOE-13210. Annual Technical Progress Report LMFBR Safety Program Government Fiscal. Disponível em: www.osti.gov/scitech/servlets/purl/5053528-gowR6C/ . Acesso em 15/10/2020.
- [18] HEISLER, M. P., MORI, K.(1979). Reactor Safety. ESG-DOE-13294. Annual Technical Progress Report Reactor Government Fiscal. Disponível em: <http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/5506015> Acesso em 15/10/2020.
- [19] HEISLER, M. P. Development of Scaling Requirements for Natural Convection Liquid-Metal Fast Breeder Reactor Shutdown Heat Removal Test Facilities. *Nuclear Science and Engineering*, v. 80, n. 32, 1982.
- [20] WHITAKER, S. *Fundamental Principles of Heat Transfer*. New York: Pergamon Press, 1977.
- [21] OZISIK, N. M. *Transferência de Calor, um Texto Básico*. Rio de Janeiro: Guanabara, 1990.
- [22] INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. *Fundamentos da Transferência de Calor e de Massa*. 5ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.
- [23] WELTY, J. R.; WICKS, C. E.; WILSON, R. E.; RORRER, G. L. *Fundamentals of Momentum Heat, and Mass Transfer*. Nova Jersey: John Wiley & Sons, 2007.
- [24] HOLMAN, J. P. *Heat Transfer*. New York: McGraw-Hill, 2009.

- [25] BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S.; INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. Nova Jersey: John Wiley & Sons, 2010.
- [26] KREITH, F.; MANGLIK, R. M.; BOHN, M. S. Principles of Heat Transfer Hardcover. Stanford: Cengage Learning, 2011.
- [27] CENGEL, Y. A.; GHAJAR A. J. Heat Transfer: A Practical Approach. New York: McGraw-Hill, 2012.
- [28] GRÖBER, H.; ERK, S.; GRIGULL, U. Fundamentals of Heat Transfer. New York: McGraw-Hill, 1961.
- [29] GAO, M.; REID, C. N. A. Simple virtual sphere method for estimating equilibration times in heat treatment. International Communications in Heat and Mass Transfer, v 24, n. 1, p. 79-88, 1997.
- [30] BAIRI, A.; LARAQUI, N. Diagrams for fast transient conduction in sphere and long cylinder subject to sudden and violent thermal effects on its surface. Applied Thermal Engineering, v. 23, n.11, pages 1373-1390, 2003.
- [31] CAMPO, A; CHANG J.Y. Facile prediction of total heat transfer from simple solid bodies to neighboring fluids: A viable alternative to Gröber charts. Applied Thermal Engineering, Philadelphia, v.75, p. 541-546, 2015.
- [32] DANIEL, G.; ANDERSON, M. J.; SCHMID, W.; TOKUMITSU, M. Performance of selected synthetic lubricants in industrial heat pumps. Journal of Heat Recovery Systems, V.2, N. 4, P. 359-368, 1982.
- [40] BAYANE, C.; HAMMIOUI, M. E; SCIORA, E.; GIRARD, N. Regulating step in lan1 5 hydride formation kinetics: a competition among surface reactions, heat transfer and hydrogen diffusion?. Journal Hydrogen Energy, v10, n. 7/8, p. 531-535, 1985.
- [33] TSILINGIRIS, P. T. Thermal flywheel effects on the time varying conduction heat transfer through structural walls. Energy and Buildings, v. 35, n.10, p. 1037-1047, 2003.
- [34] MIRZAI, S.; GHADDAR, N.; GHALI, K.; KEBLAWI, A. Design charts for sizing CC/DV system aided with personalized evaporative cooler to the desired thermal comfort. Energy and Buildings, v.86, p. 203-213, 2015.
- [35] FUCHS, S.; SCHÜTZ, F.; FÖRTER, H. J.; FÖRSTER, H. Evaluation of common mixing models for calculating bulk thermal conductivity of sedimentary rocks: Correction chart and new conversion equations. Geothermics, v.47, p. 40-52, 2013.
- [36] ALLCROSS, D.C. Psychrometric charts for water vapors in natural gas. Journal of Petroleum Science and Engineering, v.61, n.9, p. 1-8, 2008.
- [37] ALBERTI, M.; WEBER, R.; MANCINI, M. Re-creating Hottels emissivity charts for carbon dioxide and extending them to 40 bar pressure using Hitemp-2010 data base. Combustion and Flame, v.162, n. 3, p.597-612, 2015.
- [38] SHALLCROSS, D. C. Preparation of psychrometric charts for water vapour in martian atmosphere. International Journal of Heat and Mass Transfer, v.48, n.9, p. 1785-1796, 2005.
- [39] HAMZA, V. M. CARDOSO, R. R. NETO, P. C. F. Spherical harmonic analysis of earth's conductive heat flow. International Journal of Earth Sciences, V. 97, p. 205 - 226, 2007

[41] BAILES, B. K.; REEVE, K. Prevention of Heat-Related Illness. The Journal for Nurse Practitioners, v. 3, n.3, p. 161-168, 2007.

[42] FOWLER, A. J.; BEJAN, A. The effect of shrinkage on the cooking of meat. International Journal of Heat and Fluid Flow, v.12, n.4, p. 375-383, 1991.

[43] RIBANDO, R. J.; O'LEARY, G. W. A. Teaching Module for One-Dimensional, Transient Conduction. Computer Applications in Engineering Education, Hoboken, v. 6, p. 41-51, 1998.

[44] BRAGA, F. W. Fenômenos de Transporte para Engenharia. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

[45] ARAUJO, C. A. Bibliometria: evolução história e questões atuais. Em Questão, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 11-32, jan./jun, 2006.