

SIMULAÇÃO DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR DE PLACAS METÁLICAS

III Congresso Online de Engenharia de Materiais. inscrições encerradas, 4ª edição, de 27/04/2021 a 30/04/2021
ISBN dos Anais: 978-65-89908-00-5

CRUZ; Erica Medrado¹, SAMPAIO; Arthur Borges², MARETI; Karina Garcia³

RESUMO

1. RESUMO

Na atualidade, se faz necessário que a engenharia caminhe cada vez mais unida aos softwares interativos de alta performance. Essa utilização tem a finalidade de facilitar cálculos complexos ou processos iterativos com uma longa repetição. Este trabalho tem como objetivo a utilização do software scilab para calcular a convecção natural de placas metálicas finas, com o passar do tempo. Foi feito ainda, testes para analisar a confiabilidade do algoritmo desenvolvido. Sendo testado a temperatura, ao longo do tempo, de duas placas metálicas, uma de cobre e outra de alumínio. Posteriormente, pode ser comparado com os dados da temperatura obtidos experimentalmente.

2. ABSTRACT

At present moment, it is necessary that the engineering walks more and more united to interactive software of high performance. This use is intended to facilitate complex calculations or iterative processes with a long repetition. This work aims to use scilab software to calculate the natural convection of thin metal plates, over time. We also performed tests to analyze the reliability of the algorithm developed. Being temperature tested, over time, two metal plates, one of copper and another of aluminum. Subsequently, it can be compared with the temperature data obtained experimentally.

3. INTRODUÇÃO

Com a crescente tecnologia infundida nas indústrias torna-se necessária a utilização de modelagem e simulação de processos mais completos e complexos, para garantir uma maior eficiência e auxiliar a escolha de um determinado material para a indústria de interesse conforme a troca de temperatura com o tempo. Os tipos de soluções com modelagem podem ser para qualquer área de interesse, desde que seja possível descrevê-los em linguagem matemática. Geralmente são problemas reais associados à indústria, engenharia, comércio, economia, administração, agricultura, natureza, ciências básicas, etc.

¹ Universidade Federal de Mato Grosso, ericamedradocruz@hotmail.com

² Universidade Federal de Mato Grosso, arthur.engquimica@hotmail.com

³ Universidade Federal de Mato Grosso, karinamareti@hotmail.com

Esse trabalho trata especificadamente de um problema associado à indústria e à engenharia, pois mostra a transferência de calor de uma placa de um determinado material com o meio. De forma a simplificar a interpretação deste texto, em alguns trechos apenas o termo “material” será utilizado. Toda a metodologia, todavia, é direcionada à placas de materiais metálicos.

Este tipo de energia, o calor, pode ser transferido de um corpo para o outro quando há diferença de temperatura entre eles, e sua transferência pode ocorrer de três formas: radiação, condução e convecção. Neste trabalho, foi dada a ênfase em transferência de calor por convecção, pois dispusemos de um material com a troca de calor com o ambiente em decorrência do tempo, assim não abordando todos os tipos de transferência de calor.

Neste contexto, podemos nos questionar sobre a necessidade de se conhecer o tempo em que o material perde calor para o ambiente, ou o tempo necessário para o material voltar para um estado de equilíbrio com o meio, ou, até mesmo, para o material aquecido chegar a uma determinada temperatura que possa ser manipulado. Estas perguntas são respondidas neste trabalho, que, por meio da modelagem computacional, pode-se aferir a temperatura por tempo em determinado material, assim utiliza-se o programa para adquirir informações que nos permitem tomar atitudes quanto a produção ou processo do material. Dessa forma, se for fabricado um determinado material e o produto final possui uma determinada temperatura, qual é o modo mais eficiente ou mais econômico para o resfriamento dele?

Esta é uma pergunta chave para um determinado processo da indústria, ou seja, compensa produzir um mecanismo físico de troca de calor para o material para que meu tempo e dinheiro seja satisfatório ou até mesmo mais rentável. Assim compara-se um equipamento de troca de calor, que inicialmente joga-se um ar resfriado no material para que ocorra a troca de calor mais rapidamente, sendo que tem o gasto de um processo que resfria o ar e ainda um local para que ocorra a troca de calor entre o material e o ar, ou apenas expor meu material à temperatura ambiente para que possa resfriar até a temperatura desejada. Nesses casos utiliza-se a base teórica de troca de calor por convecção para aferir a quantidade de calor que transfere do material para o ambiente em um determinado período, contendo as dimensões da placa, temperatura inicial da placa, emissividade da placa, temperatura ambiente, o tempo e propriedades termo físicas da placa, calcula-se a taxa de convecção e radiação do material.

No programa foram utilizados os dados de uma placa de cobre e alumínio. Após aferir todos os dados e equações, foi plotado um gráfico da temperatura por tempo e calculado a taxa de convecção. Para demonstrar uma comparação, foi também realizado o teste por meio experimental, utilizando um forno para aquecimento das placas metálicas de cobre e alumínio. Assim após atingirem o valor aproximado de 300°C foi retirado do forno e aferindo os resultados de temperatura constantemente até a temperatura sofrer pouca ou nenhuma variação. Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um programa computacional prático e simples, para aferir a taxa de temperatura por convecção de uma placa de metal. O trabalho deve permitir que o engenheiro ou o cliente tome nota da taxa de calor por convecção de determinada placa de metal e a partir dela direcione para o processo mais adequado para resfriamento da placa metálica.

Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um programa computacional prático e simples, para aferir a taxa de temperatura por

¹ Universidade Federal de Mato Grosso, ericamedradocruz@hotmail.com

² Universidade Federal de Mato Grosso, arthur.engquimica@hotmail.com

³ Universidade Federal de Mato Grosso, karinamareti@hotmail.com

convecção de uma placa de metal. O trabalho deve permitir que o engenheiro ou o cliente tome nota da taxa de calor por convecção de determinada placa de metal e a partir dela direcione para o processo mais adequado para resfriamento da placa metálica.

4. METODOLOGIA

Para simular o resfriamento das diferentes placas, o algoritmo computacional faz uso das seguinte fundamentação teórica.

4.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1.1 Transferência de calor

Temperatura de filme

Todas as propriedades são dependentes da temperatura, então é necessário estabelecer um critério para determina-las. Dessa forma, deve-se determinar todas as propriedades na temperatura de filme. Calculada pela média aritmética entre a temperatura da superfície da placa e a temperatura do ambiente em que a mesma se encontra.

Coeficiente de expansão térmica (β)

O coeficiente de expansão térmica é definido como o aumento relativo de volume que resulta de um aumento de temperatura unitário (mantendo-se a pressão constante). Os valores de β para os líquidos são dados nas tabelas, e para os gases (como o ar) é demonstrado a partir da lei dos gases perfeitos.

Número de Grashof (Gr)

O número de Grashof é um número adimensional da mecânica dos fluidos. Pode ser interpretado como a relação entre as forças de empuxo e as viscosas, ou seja, fornece a relação entre a sustentação de um fluido em relação a viscosidade.

Número de Rayleigh (Ra)

O número de Rayleigh é um número adimensional associado com os fluxos conduzidos por empuxo. Em convecção natural, este número caracteriza a transição de regime de escoamento laminar para turbulento, mesmo sabendo que a transição não ocorre instantaneamente, costuma-se adotar $Ra \sim 109$ como sendo o valor crítico entre esses dois escoamentos. Quando o número de Rayleigh é menor que 109 costuma-se dizer que é regime laminar, e quando é superior que 109 é turbulento. Este número pode ser calculado pela expressão:

Número de Prandtl (Pr)

O número de Prandtl é um número adimensional importante para o estudo dos processos de transferência de calor por convecção. Expressa a relação entre difusão de quantidade de movimento e a difusão de

¹ Universidade Federal de Mato Grosso, ericamedradocruz@hotmail.com

² Universidade Federal de Mato Grosso, arthur.engquimica@hotmail.com

³ Universidade Federal de Mato Grosso, karinamareti@hotmail.com

quantidade de calor dentro de um fluido, sendo uma medida da eficiência destas transferências nas camadas limites.

Número de Nusselt (Nu)

O número de Nusselt é um número adimensional, que depende do número de Rayleigh e de Prandtl. Na literatura existe diversas correlações de origem experimental para determinar este número. Essas correlações variam conforme a superfície em estudo, por exemplo, placas planas horizontais, placas planas verticais, cilindros e esferas. Neste trabalho serão abordadas placas planas verticais.

Coeficiente de transferência de calor por convecção (h)

O coeficiente de transferência de calor por convecção depende de algumas propriedades físicas do fluido, do tipo de movimento do fluido e da geometria da superfície que o fluido percorre. Este coeficiente possui valores elevados quando ocorre mudanças de fase e mais baixos no caso da convecção natural em gases. Pode ser determinado por métodos analíticos ou

Número de Biot (Bi)

O número de Biot (Bi) é um parâmetro adimensional e representa a razão entre o coeficiente de transferência convectiva de calor na superfície do sólido e a condutância específica do sólido. Este número é usado para definir o método a ser utilizado na solução de problemas de transferência de calor transiente.

Se o número de Biot for inferior a 0.1, utiliza-se o método da capacidade concentrada. Se for superior, utiliza-se cartas de temperaturas transientes, porém este último método não será abordado no trabalho.

Método da capacidade concentrada

O método da capacidade concentrada é aplicado pois a temperatura da placa é espacialmente uniforme em qualquer instante do processo o que implica que o gradiente de temperatura dentro do sólido é desprezível, e que segundo a Lei de Fourier que diz que um gradiente desprezível implica a existência de uma condutividade térmica,, infinita.

A resistência interna à transferência de calor por condução dentro do sólido é muito pequena comparada à resistência externa entre a superfície e o meio (convecção), assim esta aproximação é mais exata quanto maior for a relação entre a área superficial e o volume, ou seja, é um método eficiente para a análise de placas finas.

Neste trabalho foi utilizado o software Scilab, que é um programa semelhante ao Matlab, porém distribuído gratuitamente via internet desde 1994. Foi desenvolvido em 1990, e desde de julho de 2012 é mantido e desenvolvido pelo Scilab Enterprises.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O programa foi testado para uma placa vertical de cobre de 0,2 cm de espessura, 40 cm de largura e 40 cm de comprimento. Inicialmente a 300 °C em uma sala refrigerada a 25 °C. Considerando a emissividade da

¹ Universidade Federal de Mato Grosso, ericamedradocruz@hotmail.com

² Universidade Federal de Mato Grosso, arthur.engquimica@hotmail.com

³ Universidade Federal de Mato Grosso, karinamareti@hotmail.com

superfície de 0,9. Foi utilizado um tempo de 60 em 60 segundos e os dados obtidos estão tabelados abaixo.

Tabela 1 - Dados obtidos para uma placa de cobre 40x40.

Após testar o programa para uma placa de cobre hipotética, fez-se necessário alguns testes comparativos, onde foi possível visualizar o quão os dados, fornecidos pelo algoritmo, estavam próximos dos reais. Para isso, foram utilizadas duas placas, uma de cobre e outra de alumínio, onde foram aquecidas em forno convencional a gás. Ao resfriar em um sala, assim trocando calor por convecção natural, foi aferida as temperaturas a cada 10 segundos, até que a placa estivesse em equilíbrio térmico com o ambiente. Ao simular essa situação real no programa produzido, foi possível analisar a confiabilidade dos cálculos computacionais.

5.1 Placa de cobre

A chapa de cobre é uma lâmina de superfície plana, obtida pelo processo de laminação, onde o cobre passa por dois cilindros, é cumprido por processos quente ou frio, formando a chapa de cobre.

Neste trabalho foi utilizada como referência a placa com as seguintes propriedades, conforme Çengel & Ghajar (2011):

- Densidade (ρ) = 8933 Kg/m³;
- Capacidade calorífica (C_p): 393 J/Kg.K;
- Coeficiente de condutibilidade (k): 401 W/m.K.

Estas propriedades foram utilizadas posteriormente para o desenvolvimento do trabalho.

Figura 1 - Temperatura da placa de cobre, ao longo do tempo.

5.2 Placa de alumínio

O alumínio é considerado o elemento metálico em maior quantidade na Terra e é obtido a partir de alguns minérios, principalmente a bauxita. Uma das muitas formas de encontrar este metal é em formato de chapa, lâmina produzida através de um processo mecânico denominado laminação. Importante em diversas atividades econômicas, podendo ter muitas aplicações.

As propriedades utilizadas para o desenvolvimento do trabalho foram baseadas em Çengel & Ghajar (2011):

- Densidade (ρ) = 2702 Kg/m³;
- Capacidade calorífica (C_p): 903 J/Kg.K;
- Coeficiente de condutibilidade (k): 237 W/m.K.

¹ Universidade Federal de Mato Grosso, ericamedradocruz@hotmail.com

² Universidade Federal de Mato Grosso, arthur.engquimica@hotmail.com

³ Universidade Federal de Mato Grosso, karinamareti@hotmail.com

Figura 2 - Temperatura da placa de alumínio, ao longo do tempo.

5.3 Justificativa das variações da curva

Existem variáveis como principalmente as propriedades termo físicas das placas que variam conforme a variação de temperatura, como não foram encontradas as tabelas de propriedades termofísicas das placas para que o programa conseguisse interpolar as propriedades considerou-se as mesmas constantes, resultando em uma imprecisão durante os primeiros instantes de tempo na curva produzida pelo programa. Outra variável é a grande variação de temperatura em um intervalo de tempo muito pequeno, foi usado um termômetro de infravermelho e sua variação de medição de temperatura não é tão precisa quando há uma variação de temperatura muito brusca em um pequeno intervalo de tempo. Ademais, as curvas características tanto do programa quanto do experimento produzido tendem ao mesmo valor, que é a temperatura ambiente no momento da medição.

6. CONCLUSÕES

A taxa de calor por convecção é definida por vários fatores abordados ao decorrer do trabalho, assim se possuir os dados necessários, o programa consegue calcular a taxa de convecção de determinada placa metálica desejada. Apenas agora o programa não consegue formar uma curva idêntica como o resultado experimental, pois falta uma análise mais minuciosa em questão do intervalo de tempo, pois as propriedades se modificam muito mais expressivamente que adotado no intervalo de tempo. Se assim possuísse um banco de dados colossal de propriedades termo físicas das placas metálicas, tornaria a análise mais confiável, pois demonstraria uma curva mais idêntica ao experimento realizado.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. Transferência de calor e massa: uma abordagem prática, 4ª ed. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc, 2011. 904 p.

COELHO, J. C. M. Energia e fluidos: Transferência de calor, vol. 3. São Paulo: Blucher, 2016. 292 p.

FCTUC. Transferência de calor. Disponível em: <http://labvirtual.eq.uc.pt/siteJoomla/index.php?option=com_content&task=view&id=248&Itemid=422>. Acesso em: 12 out. 2018

UNISINOS. Condução de calor em regime transiente. Disponível em: <http://www.professor.unisinos.br/jcopetti/transcal_ppg/conducao_transiente.pdf>. Acesso em: 13 out. 2018.

¹ Universidade Federal de Mato Grosso, ericamedradocruz@hotmail.com

² Universidade Federal de Mato Grosso, arthur.engquimica@hotmail.com

³ Universidade Federal de Mato Grosso, karinamareti@hotmail.com

PALAVRAS-CHAVE: Convecção natural, Placas metálicas, Algoritmo computacional

¹ Universidade Federal de Mato Grosso, ericamedradocruz@hotmail.com
² Universidade Federal de Mato Grosso, arthur.engquimica@hotmail.com
³ Universidade Federal de Mato Grosso, karinamareti@hotmail.com