

# MODELAMENTO EM ELEMENTOS FINITOS PARA DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL NA DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA EM PROCESSOS MULTIPASSES DA MANUFATURA ADITIVA METÁLICA

Sofia de Melo Ghelli<sup>1</sup>, Thiago Gariba Starling<sup>2</sup>

<sup>1</sup>UFMG/Departamento de Engenharia Mecânica/Engenharia Mecânica, sofiaighelli@hotmail.com

<sup>2</sup>UFMG/Departamento de Engenharia Mecânica/Engenharia Mecânica, thiagogariba@gmail.com

**Resumo:** O tema do presente trabalho consiste no monitoramento de manufatura aditiva utilizando simulações computacionais. Seu objetivo é discursar sobre a distribuição de temperaturas nas camadas de materiais que passaram pelo processo de soldagem GMAW com a presença de manufatura aditiva. Será feita uma análise para relacionar os parâmetros mais importantes nos processos de prototipagem rápida, como temperatura e taxa de deposição da fonte de calor. O processo será simulado em softwares como ANSYS®, e principalmente o software livre Open FOAM®.

**Palavras-chave:** Manufatura aditiva, parâmetros térmicos e metalúrgicos, solda, simulação computacional, otimização de processo.

## 1. Introdução:

A procura por processos industriais que proporcionam alto rendimento e redução no custo e na matéria prima possuem um grande espaço no mercado comercial, assim como no espaço científico.

Dentre esses processos, está a manufatura aditiva, que consiste no termo genérico utilizado para descrever operações mecânicas que adicionam camadas sob camadas de um material base, muitas vezes algum metal. Esse processo, também chamado de prototipagem rápida, é comumente conhecido como a nova impressora 3D e recentemente tem-se baseado na soldagem a arco para alcançar melhorias.

Apesar de se tratar de uma operação recente, a manufatura aditiva metálica tem alcançado bons resultados, ainda que prematuros no universo de pesquisas (PAMNANI, 2015). Portanto, ainda há muitos desafios a serem estudados, dentre eles, encontra-se o controle térmico do cordão de solda e das propriedades

mecânicas do material base. Muitas vezes, esse controle acontece via simulação computacional.

O objetivo principal deste artigo é explorar as condições de parâmetro e operação do processo, a fim de prever por meio de um software de simulação de fluidos (Ansys), o comportamento térmico do cordão realizado.

## 2. Metodologia

Primeiramente foi feita uma revisão bibliográfica a respeito de manufatura aditiva metálica. Por se tratar de um assunto recente, é necessário um conhecimento prévio a respeito do processo e uma leitura de pesquisas já realizadas deve ser feita. Após a revisão, foi realizado um desenvolvimento do modelo experimental, que se baseou em entender o método de transferência de calor sob o cordão de solda, e desse modo, estudar modelos numéricos referentes a este sistema. Considerou-se a análise térmica transiente da equação de calor de Goldak (FRAGA FELIPE, 2013).

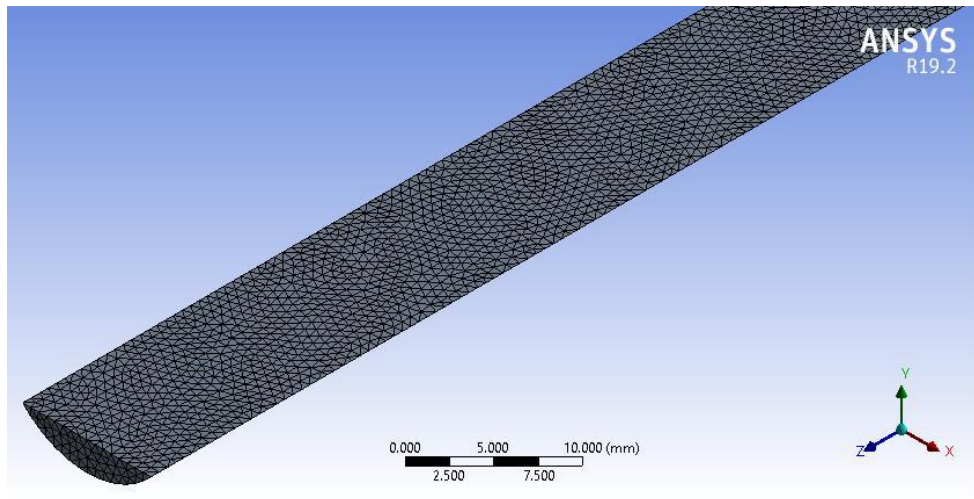
Conhecendo-se o modelo matemático, iniciou-se um estudo sob os tutoriais do programa Ansys 17.0, assim como a realização dos mesmos. Conceitos de malhas, método computacional, geometria, dentre outros foram aprofundados com o objetivo de garantir um domínio no software.

A análise metalográfica dos corpos de prova foi executada com o objetivo de se obter os parâmetros de entrada para a simulação. Velocidade, taxa de deposição, temperatura inicial e final do corpo de prova, dentre outros, foram observados e computados nas primeiras simulações do programa. A ênfase foi no processo de solidificação do aço 1020 no cordão de solda, dessa forma considerou-se, para a análise no programa, os modelos numéricos de troca de calor e mudança de fase.

## 3. Resultados

Na figura 1, é possível identificar um cordão de solda com 80 mm de comprimento como geometria do modelo da simulação. Este foi modelado por meio do

AutoCad 2013 e importado para o Ansys 17.0. Em seguida, utilizando a plataforma Mesh do programa, foi possível desenvolver a malha referente ao objeto. Esta possui 34352 elementos, com tamanho máximo de 0.66872 mm cada um.



Figura

1:

#### Desenvolvimento da malha

Para o desenvolvimento do setup no programa, considerou-se como condições de contorno a base do cordão, que troca calor por meio condutivo diretamente com o suporte, e também, o entorno do cordão, chamado de parede. Nesta, o fluxo convectivo com o ar foi o parâmetro de entrada.

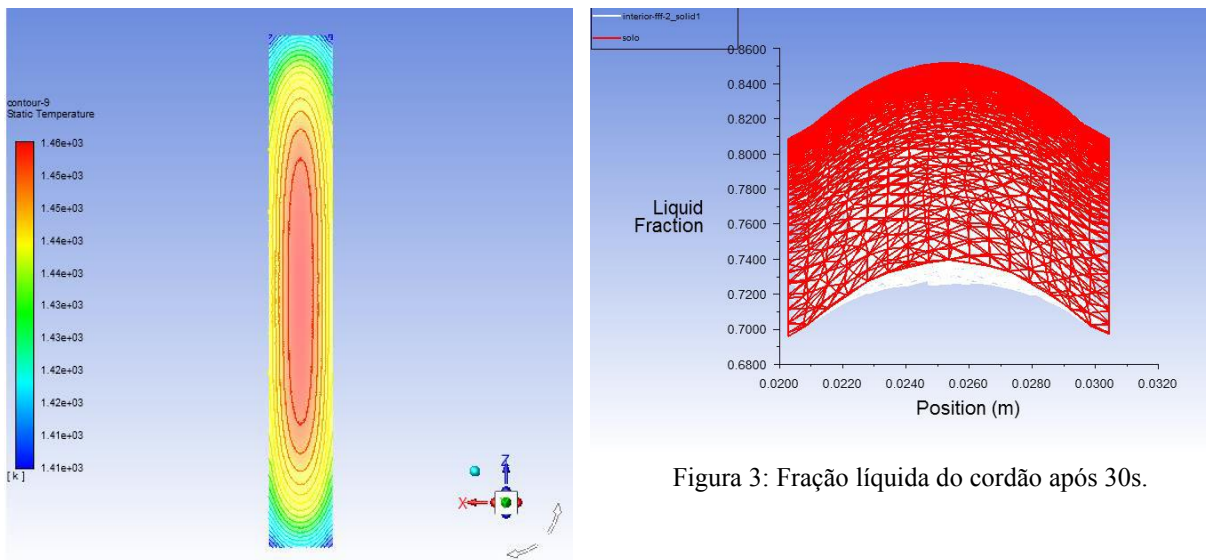


Figura 3: Fração líquida do cordão após 30s.

Figura 2: Contorno de temperatura do cordão após 30s.

Pela figura 2 podemos identificar a geometria do modelo, um cordão de solda com linhas de contorno referentes a temperatura, após 30s de simulação. Sabe-se que o entorno do cordão está em contato direto com o ar e se resfria de maneira mais rápida, alcançando uma temperatura referente a 1420K. O centro do objeto, ainda totalmente líquido, está com uma temperatura média de 1460K.

Pela figura 3, que representa o gráfico correspondente à fração de material líquido na geometria, é possível ver que analisando os contornos vermelhos, referentes ao solo da geometria, pode-se observar que o centro do cordão, por estar a uma temperatura mais elevada, possui maior fração líquida.

A figura 4 representa o cordão de solda após 90s de simulação. É possível observar por meio das linhas de contorno que a temperatura no centro do objeto encontra-se a 864K. Já o entorno da geometria, por se resfriar mais rapidamente, está a 819K.

Já na figura 5, o gráfico representa a temperatura em cada ponto ao longo da posição do cordão. As linhas vermelhas se referem ao solo do cordão, e as linhas brancas ao interior dele.

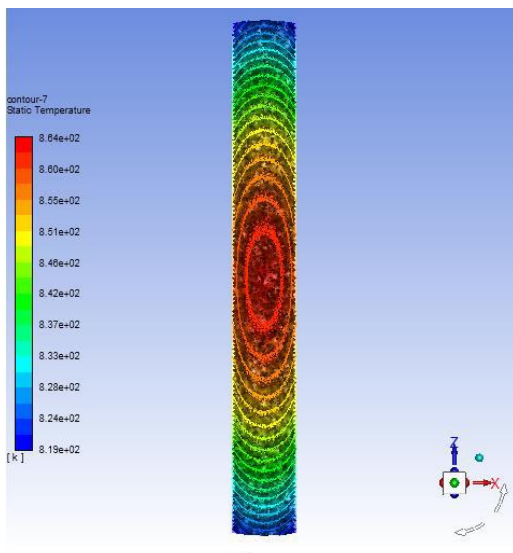


Figura 4 - Contorno de temperatura do cordão após 90s

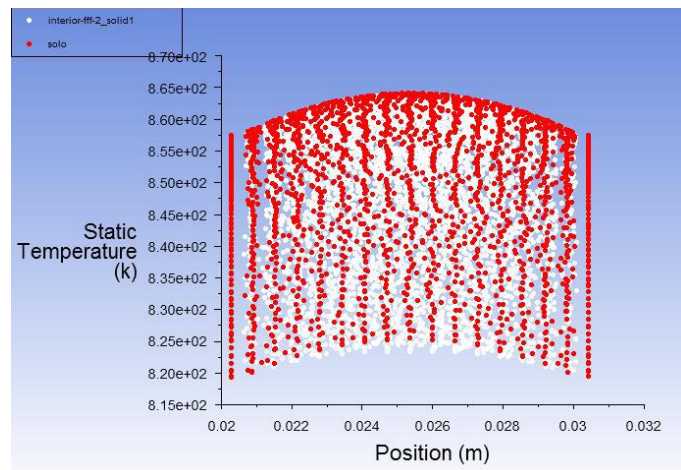


Figura 5 – Gráfico de fração líquida do cordão após 90s

Na figura 6 abaixo, é possível observar que o cordão alcança a temperatura ambiente após 300s de simulação. A imagem 7 demonstra que nessa temperatura, o cordão já se encontra totalmente solidificado, com um liquid fraction correspondente



a 0, ou seja, sem nenhuma porção líquida.

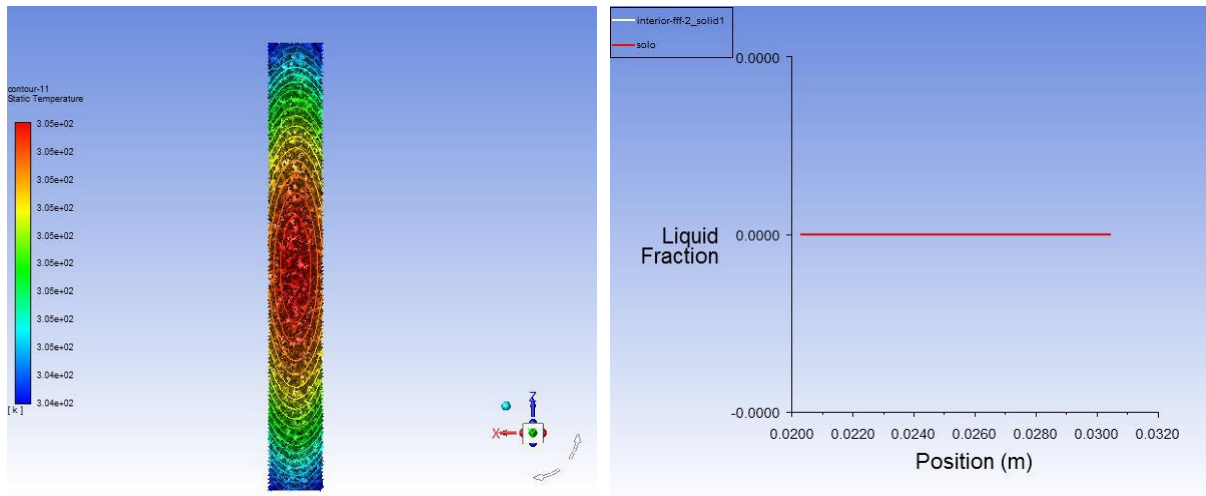


Figura 6 – Contorno de temperatura do cordão após 300s. Figura 7 – Gráfico de fração líquida do cordão após 300s.

#### 4. Discussão

Por meio da simulação realizada via Ansys 17.0, é possível compreender o processo de solidificação de um cordão de solda. Os resultados demonstraram que o cordão, para os devidos parâmetros, demorou 300s para atingir a temperatura ambiente de 300K.

Observou-se que o cordão obteve um comportamento adequado de resfriamento gradual da borda para o interior, ou seja, o centro do objeto caracterizou-se como o ponto mais quente da operação todo o tempo, e foi a última região a se solidificar.

É necessário ressaltar, no entanto, que para a troca de calor, considerou-se somente o processo convectivo entre o ar e o objeto, e o processo condutivo entre a base do cordão e o suporte da estrutura. Assim, era já esperada uma solidificação lenta entre o meio da operação, já que a radiação, por se tratar de um processo mais complexo e com muita margem de incerteza, não foi considerada.

#### 5. Conclusão

O processo de solidificação de um cordão de solda de um aço 1020 foi corretamente retratado pela simulação. Os resultados alcançados foram esperados,



sabendo-se que não foram todos os parâmetros imputados. Assim, podemos destacar a importância da simulação para previsão do comportamento de um processo de prototipação rápida, que muitas vezes não é um processo de visualização a olho nu.

Entretanto, a operação de deposição de massa foi desconsiderada, uma vez que a exigência computacional seria acima do esperado. Assim, para um processo de manufatura aditiva, é importante compreender não só o tempo de solidificação de um cordão, como também, a taxa de adição metálica no objeto. A iteração dessas duas variáveis juntas fazia parte do escopo do projeto, e não foi alcançado como desejado. Dessa forma, o estudo de caso restringiu-se somente ao processo de solidificação de um único passe de solda.

## Referências

BONACCORS, Filippo; CANTELLI, Luciano; MUSCATO, Giovanni. **An Arc Welding Robot Control for a Shaped Metal Deposition Plant: Modular Software Interface and Sensors**. IEE Transactions on industrial electronics. VOL 58, 2011

CHO, Min Hyun. **Numerical Simulation of arc welding process and its application**, The Ohio State University, 2006.

FRAGA, Felipe Ferreira. **Estudo numérico e experimental dos processos de transferência de calor em prototipagem rápida por soldagem a arco**. Universidade de Brasília Faculdade de Tecnologia, 2013.

MURPHY, Anthony B. **Prediction of arc, weld pool and weld properties with a desktop computer model of metal-inter-gas welding**. International Institute of Welding, 2017.

PAMNANI, Rishi; SHARMA, Govind K.; MAHADEVAN, S.; JAYAKUMAR, T.; VASUDEVAN, M.; RAO, B. P. C., **Residual stress studies on arc welding joints of naval steel (DMR-249A)**. Journal of Manufacturing Processes, Volume 20, Part 1, 2015.

UZIEL, Adam. **Looking at large scale, arc-based additive manufacturing**. Welding Journal, 2016.