

DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE INSTRUMENTAÇÃO DE BAIXO CUSTO PARA AUXILIAR NO MONITORAMENTO DE VELOCIDADE DE ALIMENTAÇÃO DE ARAME DE ADIÇÃO EM PROCESSOS DE MANUFATURA ADITIVA POR DEPOSIÇÃO A ARCO ELÉTRICO

Congresso Brasileiro De Manufatura Aditiva, 1ª edição, de 30/11/2020 a 01/12/2020
ISBN dos Anais: 978-65-86861-62-4

NASCIMENTO; LUCAS ALVES DO ¹, SOUZA; Thalita Alves de ², MACHADO; Marcus Vinicius Ribeiro ³, VILARINHO; Louriel Oliveira ⁴

RESUMO

Resumo: A verificação da qualidade e rastreamento da fabricação de produtos por manufatura aditiva a arco elétrico mediante monitoramento dos dados, se faz necessário e está em sintonia com os conceitos da indústria 4.0. O parâmetro de velocidade de alimentação, tema deste artigo, impacta por exemplo na largura final da peça e em outros fenômenos relacionados ao processo de fabricação. Portanto, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de baixo custo para a realização da aquisição do sinal de velocidade de alimentação do arame de adição em processos de manufatura aditiva a arco elétrico, adequando sua grandeza física (movimento linear) em sua respectiva amplitude. Para tal, foi projetado um circuito de condicionamento de sinal, com resposta linear, para mensurar velocidades de alimentação de 0,5 m/min a 30 m/min, ao receber sinais entre 165Hz a 10kHz provindos de um encoder de 2000 pulsos por volta. Para digitalizar o sinal, apresentá-lo em um IHM (interface homem-máquina) e salvá-los, optou-se pelo uso de uma placa de aquisição de sinais da National Instruments®, modelo NI USB-6001, e programação em LabVIEW®. Destaca-se que o sistema foi testado e validado utilizando o processo GMAW (Shielded Metal Arc Welding). Os resultados mostram que a instrumentação desenvolvida é adequada, permitindo o monitoramento do sinal mecânico de velocidade de alimentação do processo de manufatura aditiva. Por fim, o sistema desenvolvido apresenta nível de maturidade TRL 7 (Technology Readness Levels 7).

Palavras-chave: manufatura aditiva, velocidade de alimentação de arame, instrumentação, indústria 4.0

1. INTRODUÇÃO

A verificação da qualidade e rastreamento da fabricação de produtos por Manufatura Aditiva (MA) mediante monitoramento dos dados (SCHWAB, 2017), se faz necessário e está em sintonia com os conceitos da indústria 4.0. A utilização deste rastreamento, por exemplo, pode alertar sistemas automatizados ou o operador, quando a deposição do metal está fora de seus parâmetros normais de fabricação para mitiga-los em tempo hábil ou, ainda, auxiliar algoritmos de aprendizados (Redes Neurais, p.ex.) a prever potenciais problemas que possam ocorrer na deposição do metal. Portanto, deve-se realizar a instrumentação apropriada para medição de variáveis elétricas (corrente e tensão) e mecânicas (velocidades de alimentação e de soldagem e tecimento), perfis térmicos (temperatura do cordão de solda e vizinhança) entre outros aplicadas a MA.

Este artigo trata, em específico, da metodologia utilizada para o desenvolvimento de um sistema de aquisição de sinal de velocidade de alimentação do arame de adição em processos de manufatura aditiva a arco elétrico, adequando sua grandeza física (movimento linear) em sua respectiva amplitude. Ressalta-se a importância de mensurar a velocidade de alimentação neste processo de fabricação, pois além de impactar em parâmetros que controlam o processo, afeta a largura final da peça fabricada e, conseqüentemente a qualidade.

¹ Universidade Federal de Uberlândia - Faculdade de Engenharia Mecânica, eng.lucasalves@gmail.com

² Av. João Naves de Ávila, thalita21as@gmail.com

³ 2121, mvrmachado@ufu.br

⁴ Campus Santa Mônica Uberlândia, vilarinho@ufu.br

2. METODOLOGIA UTILIZADA

A topologia que será apresentada foi projetada para trabalhar de forma genérica com encoders em quadratura ou discos ópticos.

O sistema de aquisição escolhido para uso com esta topologia é uma placa de aquisição de sinais da National Instruments, modelo NI USB-6001, com interface para aquisição de até 8 canais, resolução de conversão de 14 bits em único referencial para sinais de tensão entre -10 e +10 V, e amostragem de até 20 kS/s, distribuídos pelo número de canais utilizados (NATIONAL INSTRUMENTS, 2014).

Assim a proposta é a construção de uma topologia que condicione o sinal, em sinal de saída em tensão, nos limites da placa citada (0 a 10V). Recomenda-se uma taxa mínima de amostragem para fins de acompanhamento de produção de 20 S/s, porém nos testes adquirimos com 5000 S/s.

A Figura 1 mostra um fluxograma, com o esquema das etapas de funcionamento do condicionamento e, a Figura 2, o projeto da placa de circuito impresso.



Figura 1. Fluxograma da etapa do condicionamento do sinal de velocidade de alimentação.

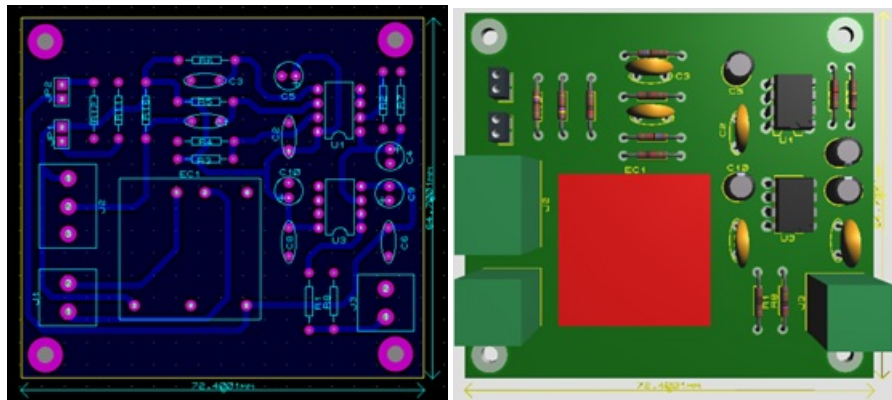


Figura 2. Projeto da placa de circuito impresso executada no programa Proteus®

Para adquirir a velocidade de alimentação, utiliza-se uma montagem mecânica onde o *encoder* é acoplado nos roletes da máquina de soldagem. O *encoder* relativo, pode ser mecânico, magnético ou óptico. Os sinais que saem do mecanismo de medição são duas ondas digitais (fases), sendo trens de pulsos com 90 graus de defasagem entre si (Figura 3). Já a Figura 4 ilustra a montagem do mecanismo de medida proposto na máquina de soldagem.

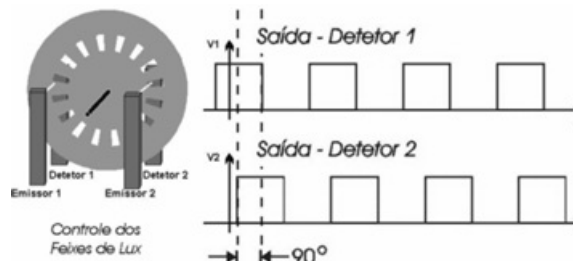


Figura 3. Sinal de saída de um *encoder* relativo

¹ Universidade Federal de Uberlândia - Faculdade de Engenharia Mecânica, eng.lucasalves@gmail.com

² Av. João Naves de Ávila, thalita21as@gmail.com

³ 2121, mvrmachado@ufu.br

⁴ Campus Santa Mônica Uberlândia, vilarinho@ufu.br



Figura 4. Mecanismo físico acoplado para medida de velocidade de alimentação

Os sinais providos do *encoder* de modelo E6B2-CWZ6C 2000P/R 2M, da Omron, apresentam frequência variável de acordo com a rotação de seu eixo. Este sinal então é convertido em tensão através de um circuito conversor de frequência em tensão, baseado no LM331 (TEXAS INSTRUMENTS, 1999), que apresenta excelente linearidade de resposta.

Segundo Texas Instruments (1999), o circuito com LM331 funciona linearmente entre 1 e 10 kHz. Portanto, tem-se que adequar a faixa de frequência que o *encoder* opera linearmente, com os limites de leitura desejáveis de velocidade de alimentação do arame. Assim sendo, as Equações 1, 2, 3, 4 e 5 mostram como fazer este ajuste, a partir do valor do raio do rolete. A Figura 5 traz a representação do mecanismo de mensuração para entendimento do equacionamento.

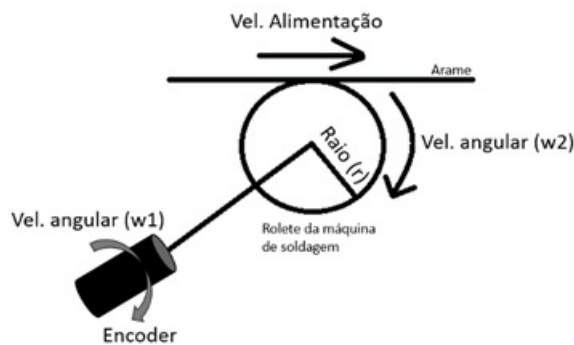


Figura 5. Representação esquemática do mecanismo de medida de velocidade de alimentação

$$\text{Valim} = w1 * R \quad (1)$$

onde, Valim é a velocidade de alimentação em m/min; w1 é a velocidade angular em rad/s e R é o raio em mm.

Para adequar a velocidade de alimentação em m/min, partindo das unidades citadas na Equação 1, temos:

$$\text{Valim} * (1000/60) = w1 * R \quad (2) \qquad \text{Valim} * (1000/60) = 2 \pi f * R \quad (3)$$

onde, Valim é a velocidade de alimentação em m/min; f é a frequência em Hz e R é o raio em mm.

Isolando a frequência na Equação 3, temos:

$$f = [\text{Valim} (1000/60)] / 2\pi R \quad (4)$$

A Equação 4 representa a frequência para um *encoder* de 1 pulso por volta. Considerando um

¹ Universidade Federal de Uberlândia - Faculdade de Engenharia Mecânica, eng.lucasalves@gmail.com
² Av. João Naves de Ávila, thalita21as@gmail.com
³ 2121, mvrmachado@ufu.br
⁴ Campus Santa Mônica Uberlândia, vilarinho@ufu.br

encoder de “x” pulsos por segundo, temos:

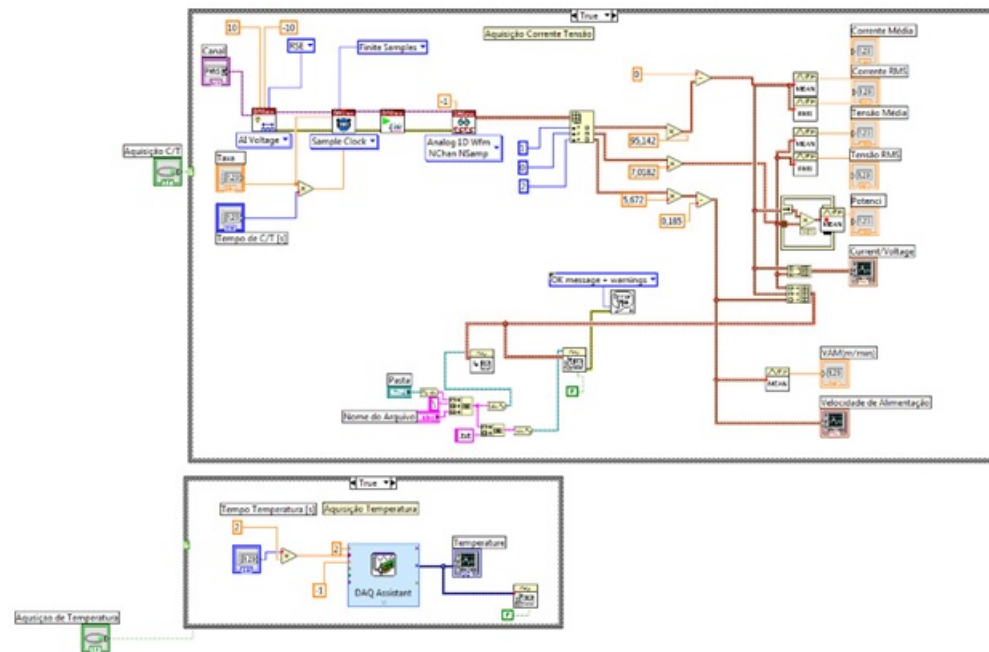
$$f = \{[Valim (1000/60)]/2\pi R\} * x \quad (5)$$

Partindo da Equação 5 e considerando a utilização de um *encoder* de 2000 pulsos por volta, raio do rolete de 16,1 mm e limites de velocidade de alimentação de arame de 0,5 m/min a 30 m/min, a frequência de saída do *encoder* irá variar de 165Hz até 9888Hz, ou seja, dentro do permitido pelo LM331.

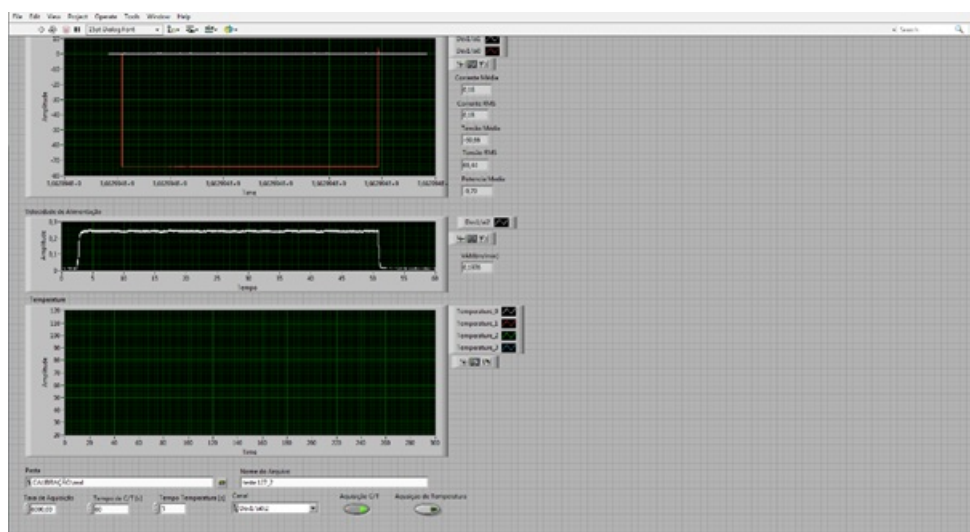
Com relação à aquisição de dados, a Figura 6(a) traz o programa desenvolvido em LabVIEW® até o momento para sinais elétricos e mecânicos (têrmico e velocidade de alimentação).

Para a calibração do sistema é utilizado um equipamento contendo um cronômetro, 1 sistema de disparo e outro de travamento de um cronômetro (chaves fim de curso ou disparo com laser, foto-transistor e relé), um tubo de pequeno diâmetro e de comprimento conhecido para conduzir um arame de soldagem de 1,2 mm. São impostas velocidades lineares conhecidas, impulsionadas por meio da máquina de soldagem, de 0,5 m/min até 30 m/min e, adquirido a tensão de saída do condicionador (Figura 1) diretamente no programa da Figura 6(b), para posteriormente, aplicar a técnica de regressão linear. O procedimento de calibração seguiu a norma EN 50504 (2008).

De posse da regressão linear, os coeficientes são inseridos no programa mostrado na Figura 6(a).



(a)



(b)

Figura 6. (a) Programa em linguagem LabVIEW® desenvolvida; (b) Interface homem-máquina

1 Universidade Federal de Uberlândia - Faculdade de Engenharia Mecânica, eng.lucasalves@gmail.com
 2 Av. João Naves de Ávila, thalita21as@gmail.com
 3 2121, mvrmachado@ufu.br
 4 Campus Santa Mônica Uberlândia, vilarinho@ufu.br

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A curva de calibração final é apresentada na Figura 7. Esta figura comprova que a resposta do sistema implementado é linear e está de acordo com o esperado.

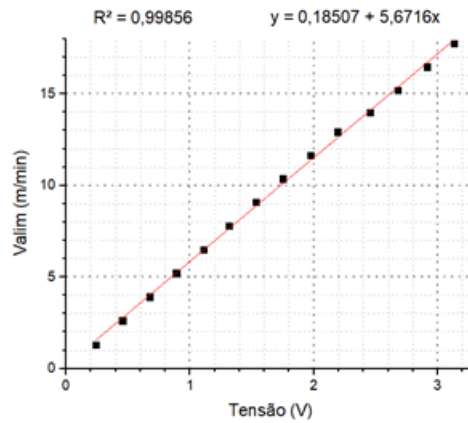


Figura 7. Curva de calibração do sistema de mensuração de velocidade de alimentação

Enfatiza-se que a calibração ou verificação do sistema deve ser realizada em intervalos anuais ou quando o desempenho do equipamento diminuir ou quando intervenções (reparos ou operações) possam afetar a validação (EN 50504, 2008).

O sistema foi testado e validado utilizando o processo GMAW (Shielded Metal Arc Welding). A Figura 8 mostra o sistema desenvolvido em funcionamento e em ambiente operacional, portanto apresentando nível de maturidade TRL 7 (Technology Readness Levels 7).



Figura 8. Circuito em funcionamento - nível de maturidade TRL 7 (*Technology Readness Levels 7*)

De posse da tecnologia implementada é possível agregar valor aos dados adquiridos (em tempo

¹ Universidade Federal de Uberlândia - Faculdade de Engenharia Mecânica, eng.lucasalves@gmail.com
² Av. João Naves de Ávila, thalita21as@gmail.com
³ 2121, mvrmachado@ufu.br
⁴ Campus Santa Mônica Uberlândia, vilarinho@ufu.br

real ou não), além da simples leitura da velocidade de alimentação de arame, como por exemplo, calcular indiretamente a massa de material adicionada a peça fabricada, calcular a quantidade de arame consumido (valor que futuramente pode ser incluído nos custos de produção da peça), auxiliar no cálculo da taxa de deposição ao longo da fabricação (velocidade de alimentação/velocidade de soldagem), utilizar os dados na implementação de sistemas inteligentes preditivos (prever falhas de fabricação) e/ou como entrada de sinal em sistemas de controle, etc.

4. CONCLUSÕES

A partir do procedimento metodológico executado é possível afirmar que a instrumentação desenvolvida é adequada, permitindo o monitoramento do sinal mecânico de velocidade de alimentação do processo de manufatura aditiva.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EN 5004. Validation of Arc Welding Equipment. Norma European Standard. 2008. 25p.

NATIONAL INSTRUMENTS. User Guide and Specifications - NI USB-6001/6002/6003. 27p. 2014.

OMRON. Datasheet Incremental 40-mm-dia. Rotary Encoder E6B2-C. Disponível em: <www.ia.omron.com/>. Acesso em: 20 dez. 2019. 5p.

SCHWAB, K.. A quarta revolução industrial., Ed. Edipro, São Paulo, Brasil, 159p.

TEXAS INSTRUMENTS. **LM331: LMx31x Precision Voltage-to-Frequency Converters.** Disponível em < <https://www.alldatasheet.com/>>. 1999. Acesso em: 20 DEZ. 2019.

PALAVRAS-CHAVE: manufatura aditiva, velocidade de alimentação de arame, instrumentação, indústria 4.0

¹ Universidade Federal de Uberlândia - Faculdade de Engenharia Mecânica, eng.lucasalves@gmail.com

² Av. João Naves de Ávila, thalita21as@gmail.com

³ 2121, mvrmachado@ufu.br

⁴ Campus Santa Mônica Uberlândia, vilarinho@ufu.br