

CARACTERIZAÇÃO POR ANÁLISE DE IMAGENS DO EFEITO DE FLUXOS NA SOLDAGEM TIG

*

Felipe Gabriel Pinheiro Rodrigues¹
Caroline Nazaré Gonçalves²
Paulo José Modenesi³
Neice Ferreira⁴

Resumo

Esse trabalho visa estudar, pela análise de imagens do arco, os mecanismos propostos para explicar o aumento de penetração na soldagem TIG quando é utilizado fluxo ativo na superfície (A-TIG). Foram realizados testes com fluxos de Cr_2O_3 , SiO_2 e TiO_2 para avaliação da ocorrência de alterações na forma do arco que indiquem, por exemplo, a ocorrência de sua constrição. Para tal, foi feita a aquisição de dados de corrente e tensão, bem como fotografias do arco durante a soldagem com uma câmera semiprofissional e uma lente de macrografia, para que fosse possível uma melhor avaliação de quaisquer variações no arco no decorrer do teste. Foi notado um aumento da tensão quando utilizados Cr_2O_3 e SiO_2 como fluxo, entretanto não foi observada variações consideráveis na largura do arco de soldagem, o que seria uma indicação de constrição elétrica do arco.

Palavras-chave: Soldagem A-TIG; Constrição do arco; Fotografia do arco; Sinais elétricos.

CHARACTERIZATION BY ANALYSIS OF IMAGES OF ACTIVATED FLUX EFFECT ON TIG WELDING

Abstract

This paper aims to study, supported by images of the electric arc, the proposed systems to explain the increase of penetration in TIG welding when an active flux is used in the surface (A-TIG). Tests with Cr_2O_3 , SiO_2 and TiO_2 were carried out to evaluate the occurrence of changes in the electric arc that could indicate, for example, an occurrence of its construction. A data acquisition system was used, to evaluate changes in current and voltage. Images of the arc were taken during the welding with a semiprofessional camera and a macrograph lens. This montage would be capable to better evaluate any changes in the plasma column. It was noticed an increase in the voltage when Cr_2O_3 and SiO_2 were used as active flux. However was not noticed major variations in the electric arc width, what could indicate an electric constriction of the arc. It was not noticed any correlation between the increase in the arc voltage and it dimension changes.

Keywords: Activated Flux TIG Welding; Arc Constriction; Arc Photography; Electric signals

¹ Graduando/Engenharia Metalúrgica, DEMET, UFMG, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

² Mestranda/Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas, DEMET, UFMG, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

³ Doutor, Professor titular, DEMET, UFMG, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A soldagem a arco elétrico com eletrodo de tungstênio e proteção gasosa (GasTungstenArcWelding – GTAW), também conhecida como soldagem TIG (TungstenInertGas), é um processo de união de materiais, baseado no aquecimento do material a ser soldado pelo arco elétrico estabelecido entre esse e o eletrodo de tungstênio, não consumível. A proteção da poça de fusão é feita pela injeção de um gás inerte, normalmente argônio ou hélio, ou uma mistura desses gases fornecidos pela tocha[1]. A ionização do gás de proteção pelo aquecimento pela passagem de corrente com a diferença de potencial entre a peça e o eletrodo produz o arco elétrico[2].

Esse processo de soldagem apresenta um excelente controle de energia transferida para a peça, e aliado à eficiente proteção contra contaminação pelo gás de proteção, permite a soldagem de materiais de difícil soldabilidade [3].

A grande limitação do processo TIG se encontra na sua baixa capacidade de penetração em um único passe [2]. A utilização de múltiplos passes aumenta a complexidade do processo, bem como diminui a sua produtividade, aumentando assim o custo. Assim, a aplicação da soldagem TIG usualmente fica limitada a peças de pequenas dimensões, geralmente entre 0,2 e 3,0 mm [4].

Alternativamente, a soldagem a plasma (PAW, Plasma WeldingArc) pode ser usada em detrimento ao processo TIG, permitindo efetuar soldas em um único passe em juntas de espessuras acima de 10 mm[5], porém esse é um processo com maiores custos iniciais e complexidade operacional [6].

A soldagem A-TIG é uma alternativa a soldagem TIG convencional, variando do processo convencional com a simples adição de uma fina camada de fluxo em pó. Óxidos, fluoretos, cloretos e eventualmente pós compostos[7] são depositados sobre a superfície a ser soldada. O cordão resultante da soldagem A-TIG é mais estreito e profundo. Modenesi e colaboradores [4] mostraram que mesmo a adição de um fluxo de um único tipo de óxido pode aumentar a penetração em até 300% se comparado com a soldagem TIG convencional com os mesmos parâmetros de soldagem.

Diversos mecanismos são propostos para explicar as variações no cordão A-TIG. Diversos trabalhos[8-12] propõem que elementos do fluxo vaporizados pelo arco atuariam como um constritor do arco elétrico, similar ao bocal da soldagem a plasma, aumentando assim a densidade de corrente e a força do arco na peça soldada. Esse efeito seria particularmente intenso com elementos muito eletronegativos, que capturariam elétrons do arco, diminuindo a condutibilidade nas regiões mais externas do arco e aumentando a densidade de corrente nas regiões mais internas.

Para estudar a presença de constricção química e seus efeitos no arco, foi proposto [7,13-17] a realização de filmagens e fotografias do processo A-TIG. Diversos desses pesquisadores notaram uma redução das dimensões do arco e da mancha anódica, o que seria explicado pela captura de elétrons nas periferias do arco e o aumento da densidade de corrente no centro do arco.

Atualmente, o mecanismo mais citado como explicação para as mudanças verificadas no cordão durante a soldagem A-TIG em aços inoxidáveis austeníticos com fluxos que contém óxidos é o efeito Marangoni [18]. O mecanismo propõe uma variação na tensão superficial do metal líquido com a temperatura, alterando o sinal de sua variação com a temperatura, e assim, alterando o sentido do movimento do metal líquido aquecido, o direcionando para a raiz da poça de fusão, tendo como resultado um aumento na penetração[19].

Esse trabalho final visa estudar os mecanismos propostos para explicar o aumento de penetração na soldagem TIG quando é utilizado fluxo ativo na superfície (A-TIG), comparadas ao método convencional. Fotografias foram utilizadas para verificar alterações no arco causadas pela presença do fluxo na superfície do material, utilizando de uma câmera com boa resolução, para comparar os resultados obtidos com os reportados na literatura.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1. Materiais e métodos

Nesse trabalho foram realizadas fotografias laterais do arco, para a avaliação de possíveis alterações nas dimensões do arco elétrico quando na presença de um dos 3 fluxos utilizados. A sequência de análise consistiu em uma observação inicial dos dados e imagens, buscando as maiores alterações, e sequente análise mais minuciosa com o auxílio de ferramentas específicas, como o IMAGEJ[®], EXCEL[®] e ORIGIN[®].

Os testes de soldagem foram conduzidos no LRSS da UFMG, com o objetivo de avaliar alterações no arco elétrico por meio de análise fotográficas. Primeiramente, foram feitos testes para definir as configurações adequadas para a câmera Canon Rebel XTi, utilizada nesse trabalho. Nesses testes também foi testado e calibrado o sistema de captação de dados. O sistema de captação de dados consiste em uma combinação de captação analógica de dados e conversão digital desses valores, conforme ilustrado na figura 1.

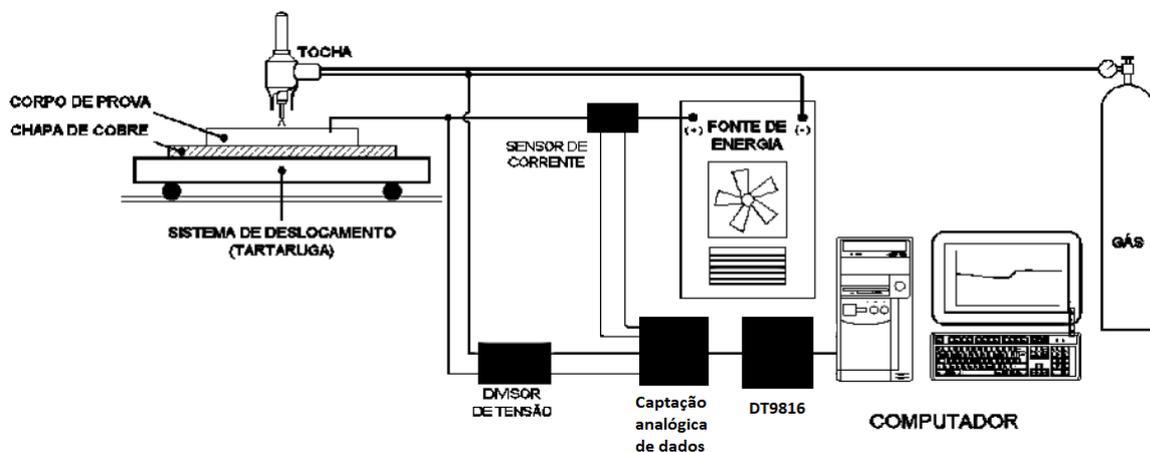


Figura 1: Esquema da montagem experimental para captação de dados. [20] modificado.

Testes prévios foram realizados para obtenção dos melhores parâmetros a serem utilizados nos testes principais. Os parâmetros utilizados nos testes principais foram descritos na tabela 1, em uma placa de aço carbono comum. Também foram realizados testes sem arco elétrico, para realizar a calibração da tartaruga modelo V1 da IMC. A calibração consistiu em marcações no trilho do carrinho, em distâncias regulares de 10cm, e foi medido o tempo gasto pelo mecanismo montado entre essas marcações. A velocidade de calibração utilizada foi de 20cm/min, a mesma utilizada nos testes.

Tabela 1: Parâmetros operacionais

Eletrodo	Tungstênio dopado com Óxido de Tório	Gás de Proteção	Argônio
Diâmetro (mm)	2,4	Vazão (L/min)	12
Ângulo da Ponta	60°	Comprimento do arco (mm)	2
Corrente (A)	200	Polaridade	CC-
Velocidade (cm/min)	20	Posição	Plana

Os testes principais consistiram em 3 níveis de fluxo, Cr_2O_3 , SiO_2 e TiO_2 , e 2 níveis de densidade superficial, 30 e 60g/m^2 , conforme demonstrado na tabela 2, que demonstra o projeto experimental. Os fluxos e densidades foram escolhidos com base nas referências bibliográficas, como Modenesi e colaboradores [4], que mostraram a eficácia nos efeitos de fluxos simples nesses níveis de densidade superficial.

Tabela 2: Matriz de testes utilizada.

Fluxo	Cr_2O_3	Cr_2O_3	SiO_2	SiO_2	TiO_2	TiO_2
Densidade(g/m^2)	30	60	30	60	30	60

O procedimento de testes se inicia com o posicionamento do corpo de prova montado sobre uma base de cobre, com intuito de uniformizar as condições de extração de calor. A tocha refrigerada a água se manteve estacionária ao longo do teste. O arco foi aberto com o auxílio de outro eletrodo de tungstênio, para permitir o curto circuito entre as duas polaridades. Optou-se não utilizar um ignitor para a abertura do arco para evitar danos e interferências ao sistema de captação de dados.

Após a abertura do arco, o sistema de captação de dados é ativado, por meio do programa Low Rate UI, instalado no laptop utilizado nos testes para apoio e armazenamento dos dados do teste. Posteriormente ao início da captação dos dados, o sistema de movimentação é ativado. Por fim, ao chegar na posição pré-programada na tartaruga, a movimentação é encerrada e o arco pode ser extinto, por meio de um gatilho presente no corpo da tocha, e a captação de dados é encerrada.

Para o cálculo da variação de tensão ΔU entre o regime TIG e A-TIG, foi optado por utilizar a diferença entre os valores médios de tensão nos 4 segundos iniciais do regime A-TIG (U_{A-TIG}) e os 4 segundos finais do regime TIG (U_{TIG}) (equação 1). Foi excluído a região de transição, demonstrado na figura 2. Essa metodologia foi utilizada por Pandolfi [21], visto as oscilações comuns de tensão ao longo do teste, mesmo com a utilização do filtro digital de remoção de ruídos.

$$\Delta U = U_{A-TIG} - U_{TIG} \quad (1)$$

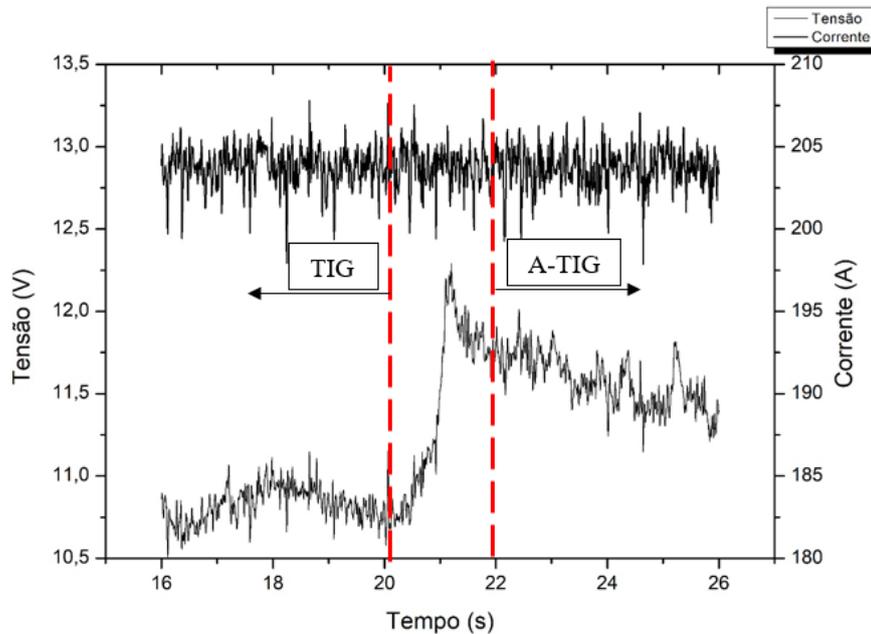
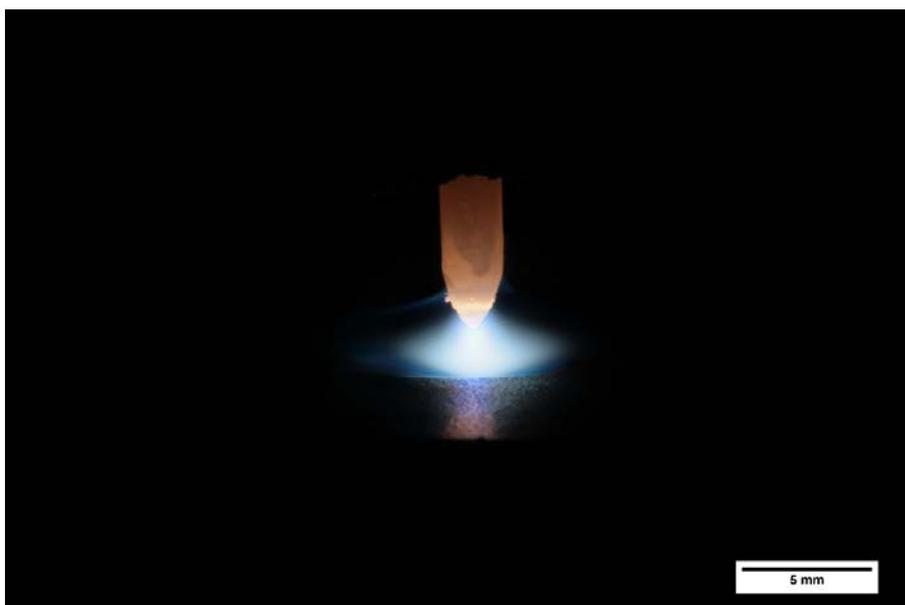
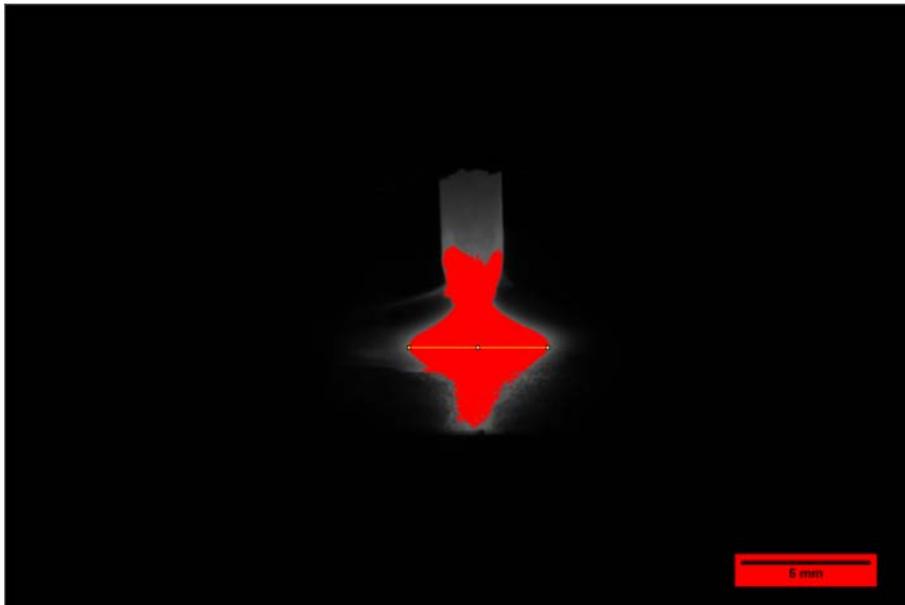


Figura 2: Variações de tensão e corrente na transição TIG – A-TIG, sendo a área entre as linhas tracejadas uma representação da área de transição.

A determinação da largura do arco foi feita com as fotografias laterais da coluna de plasma e com o auxílio software ImageJ[®]. Para se determinar as dimensões do arco, e se realizar medidas padronizadas com possíveis variações de luminosidade, foi utilizado a ferramenta “Threshold”, presente no software. Essa ferramenta foi demonstrada na figura 3(b), em comparação com a figura 3(a), que é a mesma imagem sem tal tratamento. A ferramenta consiste em dividir os pixels da imagem em duas categorias, com um valor determinado para realizar o corte. Nos testes executados, foi determinado o valor de 100 como o cutoff. Para o funcionamento da ferramenta, é necessária a conversão da imagem para o esquema de cores 8 bits.



(a)



(b)

Figura 3: Exemplo da aplicação da ferramenta “Threshold” (b) em comparação a imagem original (a).

Definido a área do arco, é possível determinar a sua região mais larga, realizando ali a medição, conforme ilustrado na figura 3(b), e determinação da largura do arco no processo TIG quando comparado ao regime A-TIG, evidenciando assim, ou não, alterações no arco possivelmente atribuídos a constrição química do arco.

Para o cálculo da variação da largura do arco ΔL entre o regime TIG e A-TIG para cada um dos níveis testados, optou-se por utilizar a diferença entre os valores médios de largura em 5 fotografias do regime A-TIG (L_{A-TIG}) e 5 fotografias do regime TIG (L_{TIG}) (equação 2), sendo as imagens escolhidas pelo critério explicado anteriormente.

$$\Delta L = L_{A-TIG} - L_{TIG} \quad (2)$$

Os valores de L_{TIG} e L_{A-TIG} foram exportados para o Excel[®], onde foi calculado a largura média em cada regime, bem como o desvio padrão.

2.2. Resultados e discussão

2.2.1. Análise dos sinais elétricos

Não foi possível identificar a transição TIG – A-TIG nos testes com TiO_2 como fluxo de soldagem. Variação nula ou negativa quando TiO_2 é utilizado também foi observado por outros pesquisadores [4][16].

Os valores médios de tensão do arco registrado durante os testes se encontram na tabela 3. Os valores e desvios padrão amostral correspondem a um intervalo de 4 segundos no regime TIG e A-TIG para o cálculo de ΔU , exceto para os testes com TiO_2 como fluxo, pela não identificação de variações de tensão entre os regimes TIG e A-TIG. Ainda em relação a esse fluxo, os valores médios de tensão e desvio padrão equivalem a toda a extensão dos testes.

Tabela 3: Tensão do arco elétrico no processo TIG e A-TIG

Fluxo	Densidade (g/m ²)	Tensão TIG (V)		Tensão A-TIG (V)		ΔU (V)	ΔU (%)
		Média	Desvio	Média	Desvio		
Cr ₂ O ₃	30	10,120	0,075	10,618	0,078	0,498	4,92%
Cr ₂ O ₃	60	10,547	0,112	11,152	0,102	0,605	5,74%
SiO ₂	30	10,941	0,109	11,490	0,100	0,549	5,02%
SiO ₂	60	10,829	0,103	11,572	0,155	0,743	6,86%
TiO ₂	30	10,160	0,094	-	-	0,000	0,00%
TiO ₂	60	9,860	0,158	-	-	0,000	0,00%

Para o melhor entendimento da influência de cada um dos fatores, foi construído o gráfico de efeitos principais, que analisa isoladamente o efeito de cada fator no parâmetro de interesse, ΔU . A figura 4 ilustra o gráfico com os efeitos principais.

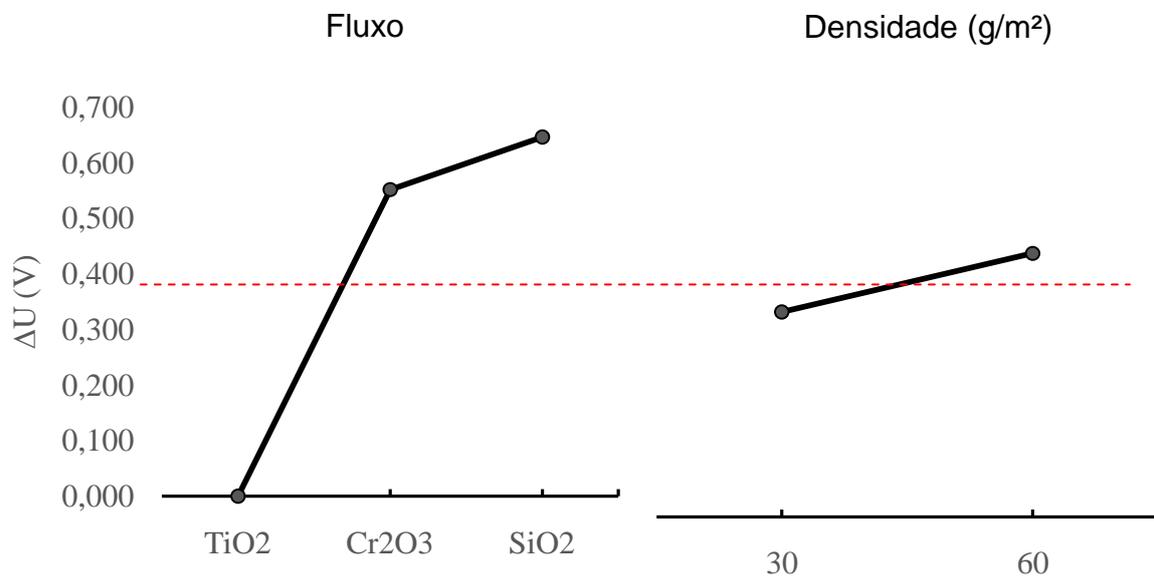


Figura 4: Gráfico do efeito do tipo de fluxo e densidade superficial, isoladamente na variação de tensão ΔU . A linha tracejada vermelha representa a média global dos testes.

Os dados presentes na tabela 3, bem como os presentes na figura 4, permitem afirmar que a presença dos fluxos Cr₂O₃ e SiO₂ causaram alterações positivas nos valores de tensão na transição TIG – A-TIG, não sendo possível perceber tal alteração quando TiO₂ é utilizado como fluxo.

A figura 4 permite ainda notar que, a variação de tensão é maior nos testes realizados com uma densidade superficial de 60g/m² em relação aos testes realizados com 30g/m². É perceptível também que os valores médios de ΔU não variam consideravelmente com o aumento da densidade, com a inclinação da reta ficando próxima da média global dos testes de +0,399V. Essa influência pouco pronunciada com a densidade pode indicar uma saturação da poça de fusão com o fluxo, como foi notado por Modenesi e colaboradores [6], que mostraram que, para valores maiores de que 30g/m², a variação de tensão se estabiliza.

Percebe-se também que, o fluxo de SiO₂ é o que gera uma maior flutuação nos valores de tensão, seguidos pelo Cr₂O₃. No presente experimento, não foi visto

variações de tensão causados pela presença de TiO_2 . Rückerte colaboradores[22] sugerem que a presença de sílica na superfície poderiam mudar a distribuição de portadores de carga no arco, o que causaria o aumento de tensão. Além disso, os autores perceberam uma deflexão para trás do arco, o que aumentaria o comprimento efetivo do arco, levando ao aumento de tensão. Tal deflexão também foi observada por Wang e colaboradores [16], e utilizada para a explicação do aumento da tensão quando SiO_2 é utilizado como fluxo.

Segundo Modenesi [18], o aumento de tensão observado na soldagem A-TIG, em comparação a TIG, é geralmente inferior a 1V. No presente trabalho, a variação média global de tensão observada nos testes foi de +0,399V, sendo a variação máxima observada de +0,743V. O aumento da tensão foi considerado por alguns autores com o mecanismo de constrição do arco. Entretanto, os valores pequenos de variação de tensão obtidos nesse trabalho, bem como a ausência de variação notável quando se utiliza TiO_2 como fluxo, sabidamente capaz de aumentar a penetração do cordão de solda [4], não parecem confirmar tal afirmação. Tal análise também foi feita por outros autores [6].

2.2.2. Análise das imagens do arco elétrico

Para avaliar possíveis alterações no arco elétrico, que poderiam indicar efeitos de constrição elétrica do arco, foram feitos registros fotográficos laterais do arco elétrico, durante todo o teste de todos os testes realizados. Em uma análise prévia não foi possível observar variações consideráveis em nenhum aspecto do arco durante os testes para os fluxos de Cr_2O_3 e TiO_2 .

Para se obter uma avaliação mais cuidadosa das variações do arco, medições foram executadas com o auxílio da ferramenta ImageJ®, em 5 imagens diferentes. A tabela 4 mostra os valores obtidos das medições.

Tabela 4: Largura do arco nos processos TIG e A-TIG

Fluxo	Densidade (g/m ²)	L TIG (mm)		L A-TIG (mm)		ΔL (mm)	ΔL (%)
		Média	Desvio	Média	Desvio		
Cr_2O_3	30	4,565	0,039	4,748	0,052	0,183	4,02%
Cr_2O_3	60	5,307	0,069	5,344	0,043	0,038	0,71%
SiO_2	30	5,426	0,076	5,501	0,058	0,075	1,38%
SiO_2	60	5,369	0,060	5,462	0,057	0,093	1,74%
TiO_2	30	5,284	-	5,335	-	0,051	0,97%
TiO_2	60	5,129	0,044	5,233	0,040	0,104	2,02%

Para o melhor entendimento da influência de cada um dos fatores, foi construído o gráfico de efeitos principais, que analisa isoladamente o efeito de cada fator no parâmetro de interesse, ΔL . A figura 5 ilustra o gráfico com os efeitos principais.

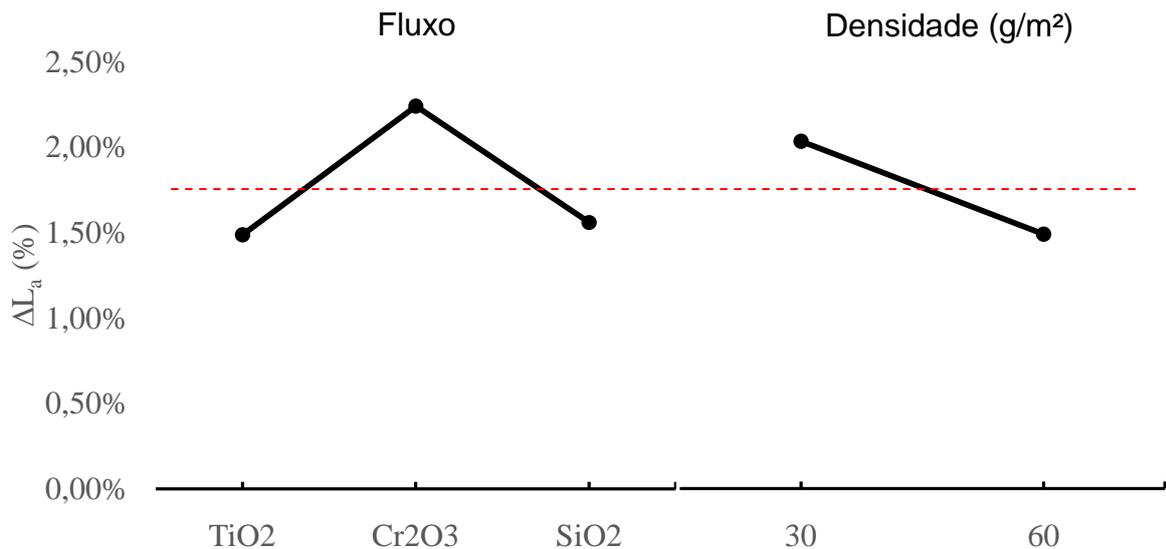


Figura 5: Gráfico do efeito do tipo de fluxo e densidade superficial, isoladamente na variação da largura do arco ΔL . A linha tracejada vermelha representa a média global dos testes.

A análise dos dados presentes na tabela 4, explicitados na figura 5, evidenciam a tendência encontrada de um aumento na largura do arco elétrico na soldagem A-TIG em comparação com a soldagem TIG. A variação média global de L na transição TIG – A-TIG foi de +1,75%, sendo sempre positiva em todos níveis testados. A variação média máxima observada foi de 4,02%, pequena para explicar as alterações típicas de profundidade do cordão quando fluxos de componente único é utilizado, que chegam a até 300% [4].

O aumento registrado da largura do arco se contrapõe a redução do arco, citada na literatura [13], como evidência da constrição do arco elétrico. Aumento ou não variação das dimensões do arco elétrico também foram identificadas por Pandolfi e colaboradores [7] no trabalho de avaliação da constrição mecânica do arco.

Li e colaboradores [16] sugerem que o aumento de penetração observado, quando se utilizam SiO₂ e TiO₂ como fluxos tem razões distintas. No caso da sílica, a constrição mecânica do arco seria o principal mecanismo, enquanto no caso do TiO₂, o efeito Marangoni seria o principal mecanismo. No presente trabalho, se observou menores variações de dimensões do arco, bem como variações não perceptíveis de tensão na transição TIG – A-TIG quando o fluxo de TiO₂ foi utilizado. Segundo Ahmadi e Ebrahimi[23], o uso de SiO₂ e Cr₂O₃ podem ocasionar constrição do arco elétrico, sendo o efeito da sílica o mais acentuado. A explicação fornecida pelos autores seria uma maior resistividade elétrica da sílica em relação aos outros óxidos, dificultando o contato elétrico entre o eletrodo e a superfície do fluxo, formando uma pequena região do metal base em que o fluxo é decomposto, acarretando em um menor diâmetro da coluna do arco, evidenciando sua constrição. É importante notar que, no presente trabalho, o fluxo de cromita foi o que resultou em maiores alterações nas dimensões do arco. E deve-se pontuar ainda que, no caso de todos os fluxos, tais alterações foram positivas.

Com isso, é possível perceber que, apesar de bem estudada e documentada, os autores divergem quanto a existência da constrição elétrica do arco, bem como quanto a ela ser a principal causadora das alterações percebidas na soldagem A-TIG.

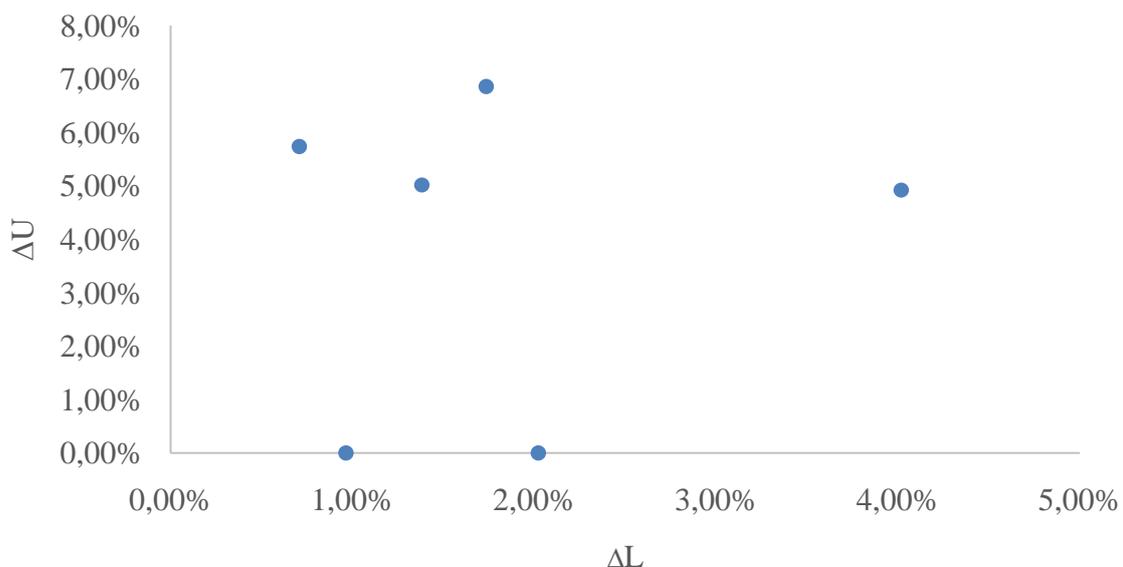
2.2.3. Correlação entre as dimensões do arco e os sinais elétricos

A tabela 5 mostra os valores obtidos de ΔU e ΔL para cada um dos testes realizados. Os valores das variações de tensão foram então plotados no eixo das ordenadas do gráfico presente na figura 6, enquanto os valores de variação da largura do arco foram plotados no eixo das abcissas do mesmo gráfico.

Tabela 5: Valores obtidos de ΔU e ΔL para cada um dos testes realizados e sua correlação

Fluxo	Densidade (g/m ²)	ΔL (%)	ΔU (%)
Cr ₂ O ₃	30	4,02%	4,92%
Cr ₂ O ₃	60	0,71%	5,74%
SiO ₂	30	1,38%	5,02%
SiO ₂	60	1,74%	6,86%
TiO ₂	30	0,97%	0,00%
TiO ₂	60	2,02%	0,00%
Correlação		0,112	

Figura 6: Gráfico da correlação entre os valores de ΔU e ΔL obtidos nos testes.



A figura 6 mostra que os dados obtidos estão distribuídos de maneira aleatória. O coeficiente de correlação obtido, de 0,112, muito próximo de zero, confirma que não foi encontrada uma correlação entre os valores obtidos de variação de tensão e de largura do arco elétrico.

3 CONCLUSÃO

No presente trabalho, foi avaliada a presença de constrição do arco elétrico devido a presença de fluxos ativos de um único componente na superfície soldada, mas especificamente Cr₂O₃, SiO₂ e TiO₂. Com base nos experimentos realizados, as principais conclusões obtidas foram:

- a) Com a presente metodologia e equipamentos utilizados, a fotografia lateral do arco elétrico não identificou indícios da presença de constrição do arco elétrico na transição entre a soldagem TIG e A-TIG.
- b) A tensão do arco elétrico foi afetada positivamente pela presença do fluxo. SiO₂ causou a maior alteração na tensão do arco, com uma variação média de +0,646 V. Essa variação mais pronunciada por ser efeito de uma maior resistividade elétrica desse fluxo, bem como pela maior deflexão causada por ele, aumentando o comprimento efetivo do arco. A presença de Cr₂O₃ causou uma alteração média de tensão do arco de +0,552 V. Não foi notado alterações na tensão do arco com a utilização de TiO₂ como fluxo. Não foi notada grande variação de tensão média para as densidades superficiais de 30g/m² e 60g/m², o que poderia indicar uma saturação de fluxo na poça para tais densidades.
- c) Com a metodologia utilizada, não foi notada correlação entre a variação de tensão e variações na largura do arco elétrico na transição entre a soldagem com e sem fluxo.

REFERÊNCIAS

1. **NETO, Pedro Colen.** *EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DO FLUXO NA SOLDAGEM ATIG DE AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO*. Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas).
2. **AWS - AMERICAN WELDING SOCIETY.** *Welding handbook: welding processes*. 8. Miami : AWS, 1991. p. 955.
3. **MARQUES, P. V., MODENESI, P. J. e BRACARENSE, A. Q.** *Soldagem: fundamentos e tecnologia*. Belo Horizonte : Editora da UFMG, 2005. p. 368.
4. **MODENESI, P. J., APOLINÁRIO, E. R. and PEREIRA, I. M.** TIG Welding with single-component fluxes. *Journal of Materials Processing Technology*. 2000, Vol. 99, pp. 260-265.
5. **MESSLER JR., R. W.** *Principles of Welding*. s.l. : John Wiley & Sons, 1999. p. 56.
6. **MODENESI, P. J., et al.** Efeito da densidade do fluxo e da presença de aditivos na soldagem ATIG de aço inoxidável austenítico. *Soldagem & Inspeção*. 18, 2013, Vol. 2, pp. 116-126.
7. **PANDOLFI, G. S., RODRIGUES, F.G. P. e MODENESI, P. J.** Avaliação da Ocorrência de Constrição Mecânica do Arco na Soldagem A-TIG de Aços Inoxidáveis Austeníticos. *Soldagem & Inspeção*. 2016.
8. **LUCAS, W. and HOWSE, D.** Activating flux-increasing the performance and productivity of the TIG and Plasma processes. *Welding & Metal Fabrication*. Jan. 1996, pp. 11-17.
9. **ANDERSON, P.C. J. and WIKTOROWICZ, R.** Improving productivity with A-TIG welding. *Welding & Metal Fabrication*. Mar. 1996, pp. 108-109.
10. **KAZAKOV, Y.V. et al.** Effect of activating fluxes on the structure of the welding arc in argon. *Svarochnoe Proizvodstvo*. 1991, Vol. 4, pp. 30-32.

11. **ZAMKOV, V. N., PRILUTSKII, V. P. and GUREVICH, S. M.** The effective ionization potential of the arc when titanium is welded by the semi-submerged arc process. *Avtomaticheskaya Svarka*. 1977, Vol. 1, pp. 13-15.
12. —. The effects of the composition of the flux on the process of welding titanium with a non-consumable electrode. *Avtomaticheskaya Svarka*. 1977, Vol. 4, pp. 22-26.
13. **KUANG-HUNG, TSENG and KUAN-LUNG, CHEN.** Comparisons Between TiO₂- and SiO₂-Flux Assisted TIG Welding Processes. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. 2012, 12, pp. 6359-6367.
14. **MISHRA, S., et al.** An experimental and theoretical study of gas tungsten arc welding of stainless steel plates with different sulfur concentrations. *Acta Materialia*. 2008, 56, pp. 2133–2146.
15. **LECONTE, S., et al.** Effects of flux containing fluorides on TIG welding process. *Science and Technology of Welding and Joining*. 2007, Vol. 2, 12, pp. 120-126.
16. **LI, Q, et al.** Effect of activating flux on arc shape and arc voltage in tungsten inert gas welding. *Trans.Nonferrous Met. Soc. China*. I7, 2007, pp. 486-490.
17. **RUI-HUA ZHANG, JI-LUAN PANI, SEIJI KATAYAMA,.** The mechanism of penetration increase in A-TIG welding. *Front. Mater. Sci*. 2011, Vol. 2, 5, pp. 109-118.
18. **MODENESI, P.J.** A química da formação do cordão na soldagem TIG. *Soldagem & Inspeção*. 2013, Vol. 3, 18, pp. 287-300. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-92242013000300011>.
19. **HEIPLE, C. R. and ROPER, J. R.** Mechanism for minor element effect on GTA fusion zone geometry. *Welding Journal*. 1982, Vol. 61, 4, pp. 97-102.
20. **LIBERATO, F.M.** Soldagem A-TIG em Aços Inoxidáveis Ferríticos UNS S41003. *Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica)*. Belo Horizonte : Universidade Federal de Minas Gerais, 2013. p. 93 f.
21. **Pandolfi, G.S.** Avaliação da ocorrência de constrição mecânica do arco na soldagem A-TIG de aços inoxidáveis austeníticos. *Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica)*. Belo Horizonte : Universidade Federal de Minas Gerais, 2016. Vols. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas.
22. *Optimizing the design of silica coating for productivity gains during the TIG welding of 304L stainless steel.* **RÜCKERT, G., HUNEAU, B. and MARYA, S.** Nantes : Elsevier, 2007, Vol. 28, pp. 2387s-2393s.
23. *Welding of 316L austenitic stainless steel with activated tungsten inert gas process.* **Ahmadi, E. and Ebrahimi, AR.** 24, s.l. : Journal of Materials Engineering and Performance, 2015, Vol. 2, pp. 1065-1071.