

DELIMITAÇÃO DA REGIÃO DE TRANSFERÊNCIA POR CURTO-CIRCUITO DE TRÊS ARAMES TUBULARES AUTOPROTEGIDOS¹

Aldemi Coelho Lima²
Rafael Ariza Gonçalves³
Valtair Antonio Ferraresi⁴

Resumo

A compreensão dos modos de transferência metálica tem sido importante para definir o campo de aplicação dos processos, quando da soldagem com eletrodos consumíveis. Poucos estudos, nesse sentido, têm sido feitos com arames tubulares autoprotetidos. Este trabalho tem o objetivo de estudar a transferência de três arames tubulares de ligas FeCrC, FeCrC+Nb e FeCrC+Ti, utilizados para a aplicação de revestimentos duros, de forma a se delimitar a região de transferência no modo curto-circuito. Os testes foram realizados com distância bico de contato peça de 35 mm, variando-se a velocidade de alimentação do arame e a tensão de soldagem. A identificação dos modos de transferência foi feita pela análise das imagens obtidas pela técnica de shadowgrafia (2000 quadros/s) e/ou pela análise dos oscilogramas de corrente e tensão. Conclui-se que a composição química do arame apresenta influência significativa nos valores de corrente de soldagem e nos mapas de transferência. Além disso, o arame da liga FeCrC, apresentou a mais ampla faixa de trabalho na região de curto-circuito e o arame FeCrC+Nb apresentou, para mesma tensão e velocidade de alimentação, a condição de arco mais estável, com a maior frequência de curto-circuito e velocidade de fusão.

Palavras-chave: Processo arame tubular; Arame autoprotetido; Transferência metálica; Curto-circuito.

Abstract

The comprehension of metallic transfer mode has is important to define the application field of welding processes, when of the consumable electrodes welding. Few studies, in this sense, have been being done with self-shielded tubular wires. The aim of this work is to study the transfer mode of three tubular wires of FeCrC, FeCrC+Nb and FeCrC+Ti leagues, used in the hardfacing application, to define the transfer region of short-circuit mode. The tests were going accomplished with contact tube workpiece distance (CTWD) of 35 mm, varying the feed rate and the arc voltage. The transfer mode identification was made by the images analysis obtained by shadowgraph technique (2000 pictures/s) and/or by analysis of current and voltage diagram. It concluded that the chemical composition of tubular wire introduces significant influence in the values of welding current and in the transfer maps. Besides, the FeCrC wire, resulted in the wider band in the short circuit region; the FeCrC+Nb wire resulted, for same feed rate and arc voltage, the stabler arc condition, with the larger short circuits frequency and the fusion speed.

Key words: Tubular wire; Self-shielded electrode; Metal transfer maps; Short circuit.

¹ Contribuição técnica apresentada na 61º Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ

² Prof. M. Sc., Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás – CEFET-GO – Rua 75, no 46, S. Central, CEP 74.055-110, Goiânia-GO. e-mail: acl@cefetgo.br

³ Prof. M. Sc. Universidade Federal de Uberlândia – UFU – FEMEC, Campus Santa Mônica Caixa Postal 593, CEP 38.400-902, Uberlândia-MG. e-mail: lrm-ariza@mecanica.ufu.br

⁴ Prof. Dr., Universidade Federal de Uberlândia – UFU – FEMEC, Campus Santa Mônica Caixa Postal 593, CEP 38.400-902, Uberlândia-MG. e-mail: valtairf@mecanica.ufu.br

1 INTRODUÇÃO

A característica que distingue o processo Arames Tubulares de outros processos a arco é dada pelos ingredientes do fluxo encerrados dentro de um arame alimentado continuamente, cuja queima provê a proteção da solda. O processo oferece duas variações que diferem no método de proteção do arco (arame autoprottegido e com proteção gasosa). No tipo autoprottegido a proteção do metal fundido é feita pela decomposição e vaporização do fluxo do eletrodo pelo calor do arco. No outro tipo, com proteção gasosa, faz-se uso de um jato de gás protetor em adição à ação do fluxo do eletrodo.⁽¹⁾

O processo de soldagem com arames tubulares agrega as principais vantagens do MIG/MAG, como elevados valores de taxa de deposição, rendimento e fator de trabalho do soldador, possibilitando a obtenção de alta produtividade e qualidade de solda. Além disso, apresenta características da soldagem manual com eletrodos revestidos, como a possibilidade de ajustes da composição química do cordão de solda, a facilidade de aplicação em campo e a alta versatilidade. Nesse processo, o anel metálico externo do arame é o principal responsável pela condução da corrente elétrica até o arco provendo, assim, condições menos favoráveis para a fusão do fluxo que no processo de soldagem ao arco submerso.⁽¹⁾

Na aplicação de revestimentos duros, os arames tubulares têm sido preferidos por apresentarem maior produtividade que com eletrodos revestidos e maior flexibilidade que com arco submerso e, além disso, apresentarem menor aporte térmico, menos distorções e Zona Termicamente Afetada (ZTA).⁽²⁾

A forma pela qual o metal fundido transfere-se da ponta do arame eletrodo para a poça de fusão influencia diversos aspectos operacionais da soldagem. Em particular, o nível de respingos e fumos, a capacidade do processo ser utilizado fora da posição plana, o formato do cordão e, enfim, a estabilidade e o desempenho operacional do processo. Dependendo das condições de soldagem e do processo utilizado pode-se observar diferentes modos de transferência metálica. O modo de transferência depende de diversos fatores como, por exemplo, os parâmetros elétricos do arco (tipo e valor da corrente, tensão e polaridade), o diâmetro e composição do metal de adição, tipo e composição do meio de proteção, comprimento energizado do eletrodo, dentre outros.⁽³⁾

Várias técnicas foram utilizadas para investigar os modos de transferência na soldagem, dentre essas a filmagem com câmeras de alta velocidade (1000 a 14000 quadros por segundo) ou osciloscópios, que registram sinais de tensão e corrente simultaneamente. As investigações levaram à classificação de 12 tipos de transferência metálica observadas no processo MIG/MAG, feita pelo IIW - International Institute of Welding. Classicamente, contudo, consideram-se três formas básicas de transferência obtidas com essas combinações: transferência por curto-circuito, globular e goticular ("spray").⁽⁴⁾

A transferência de metal no processo Arame Tubular é mais complicada que no MIG/MAG, devido às interações fluxo/metálica. Como a área metálica da seção transversal de um arame tubular é muito menor que a de um arame sólido, o primeiro é percorrido por uma densidade de corrente muito alta, o que leva a uma grande importância dos parâmetros de soldagem na determinação dos seus modos de transferência.⁽⁵⁾

No modo de transferência por curto-circuito a gota toca a poça antes do destacamento, sendo sugada por esta devido à ação da tensão superficial, formando um fino pescoço entre o eletrodo sólido e a gota que está sendo dragada para a

poça. O arco é curto, com até 2 vezes o diâmetro do eletrodo.⁽⁶⁾ Os oscilogramas de tensão e corrente têm características bem definidas: à medida que a gota se aproxima da poça ocorre uma redução da tensão (tendendo a zero, no momento do contato) e um progressivo aumento da corrente, apagando momentaneamente o arco. Após a transferência da gota, ocorre um pico de tensão para o reacendimento do arco, com conseqüente queda de corrente. Esse modo de transferência possibilita a soldagem em todas as posições, ocorrendo para baixos valores de tensão e corrente de soldagem e podendo caracterizar-se por grande instabilidade no arco e intensa projeção de respingos.⁽⁷⁾

Como citado por Conde,⁽²⁾ na soldagem de revestimentos duros é desejável a obtenção de soldas com baixa diluição para que a composição química e as propriedades do depósito não sejam significativamente modificadas pela diluição do metal de base, de propriedades geralmente inferiores quanto à resistência ao desgaste. A transferência por curto-circuito é a mais desejável nessas situações pelo baixo aporte térmico envolvido, aliado à possibilidade de aplicação fora da posição plana. Isso é muito comum no revestimento de facas e martelos desfibradores de cana-de-açúcar, uma das muitas aplicações desses tipos de arame em usinas de açúcar e destilarias de álcool.

O objetivo deste trabalho é, portanto, delimitar as regiões de transferência metálica pelo modo curto-circuito de três arames tubulares autoprotégidos utilizados em aplicações de revestimento duro. Consiste de uma etapa preliminar de um trabalho no qual se deseja avaliar o desempenho dos três arames citados no que se refere à resistência ao desgaste e, dessa forma, orientar a seleção do arame, bem como, dos parâmetros de soldagem mais adequados para essa aplicação.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dos testes de soldagem, foi utilizada uma fonte eletrônica multi-processo operando no modo de tensão constante. Os testes foram realizados em chapa de aço carbono ABNT 1020 com dimensões de 12,7 x 50,8 x 200 mm. As soldas foram efetuadas na posição plana, sem gás de proteção adicional, com três arames tubulares autoprotégidos de 1,6 mm de diâmetro, de composição química básica FeCrC, FeCrC+Nb e FeCrC+Ti, doravante denominados, respectivamente, de FeCrC, +Nb e +Ti. Quando a operação de soldagem tornava-se estável, os sinais eram adquiridos em um microcomputador conectado à fonte, através do programa de aquisição "Oscilos".

Na realização dos testes de soldagem, foi mantida uma constante de deposição ao longo do comprimento do cordão de solda, ou seja, uma relação entre a velocidade de alimentação do arame eletrodo e a velocidade de soldagem ($V_{alim}/V_{sold}=20$). Isso foi feito com o objetivo de manter um referencial constante entre os testes, bem como evitar que qualquer diferença na quantidade de material depositado por comprimento de solda interferisse na análise dos resultados. Além disso, a indutância de subida (k_s) e indutância de descida (k_d) foi mantida constante para todos os testes, com valor igual a 20, para a fonte de soldagem utilizada (DIGITEC 450).

A escolha da distância bico de contato peça (DBCP) foi feita após a realização de ensaios de soldagem dentro da faixa de extensão de eletrodos recomendada pela AWS^[1] para arames tubulares autoprotégidos. Foram feitos testes preliminares, variando-se a DBCP a partir de 15 mm até o limite máximo possível de soldar com arco estável, com incremento de 5 mm. Para o arame

FeCrC, utilizado inicialmente, a extensão máxima onde se obteve arcos estáveis foi de 35 mm. Para efeito de comparação, os testes com os demais arames foram efetuados com a mesma DBCP.

A construção dos mapas de transferência metálica foi feita a partir da análise dos oscilogramas de corrente e tensão e das imagens da operação de soldagem, obtidas pela técnica de “Shadowgrafia”, a qual foi efetuada com velocidade de 2000 quadros por segundo, permitindo, assim, visualizar os aspectos de formação e transferência da gota metálica. Para o levantamento dos mapas de transferência metálica do arame base (FeCrC) foram realizados 48 testes (mapa completo), para o +Nb, 28 testes e para o +Ti, 22 testes (delimitação da região CC), com DBCP de 35 mm variando-se a tensão e a velocidade de alimentação do arame eletrodo.

3 RESULTADOS

A seguir serão apresentados e discutidos os resultados do mapeamento da transferência metálica do arame da liga FeCrC, a delimitação da região de curto-circuito dos três arames, bem como, uma comparação entre os mesmos quanto aos parâmetros de soldagem, frequência de curto-circuitos e eficiência de fusão.

3.1 Mapeamento da Transferência Metálica do Arame FeCrC

A Figura 1 apresenta o mapa de transferência metálica Tensão “versus” corrente média (I_m) do arame tubular de liga FeCrC, destacando os testes realizados para se efetuar o mapeamento. O mapa foi construído a partir da análise dos oscilogramas, bem como, das imagens obtidas com câmera de alta velocidade. Os testes foram realizados variando-se a tensão e a velocidade de alimentação desde o limite mínimo, quando o calor gerado no arco era insuficiente para fundir o arame (Região I na Figura 1), até o limite máximo, quando o arco era excessivamente longo, tendendo a fundir no bico de contato (Região II) ou, ainda, quando ocorria a projeção de pedaços do arame sob a poça de fusão e superfície da chapa, gerando grande instabilidade do arco. Esse último caso ocorreria, provavelmente, devido à elevada velocidade de alimentação aliada ao grande comprimento energizado do arame que provocava o seu rompimento na altura do bico de contato antes que ocorresse a sua fusão regular.

Observou-se a ocorrência de três modos de transferência metálica distintos, sendo: curto-circuito (CC), globular repulsiva (GLr), e o modo misto, globular repulsiva/curto-circuito (GLr-CC). A região CC foi encontrada com tensões de 18 a 44V, velocidade de alimentação de 3 a 17 m/min e corrente média entre 120 e 450A. A região GLr-CC foi obtida com tensões entre 32 e 42V, V_{alim} de 5 a 13 m/min e I_m de 210 a 370A. A região GLr, com as maiores tensões de soldagem (38 a 48V) apresentou V_{alim} de 5 a 15 m/min e I_m de 230 a 400A. Os modos de transferência GLr e GLr-CC foram amplamente descritos e discutidos em um trabalho anterior⁽⁸⁾, em função do quê dar-se-á maior ênfase ao modo CC, objeto de investigação neste trabalho.

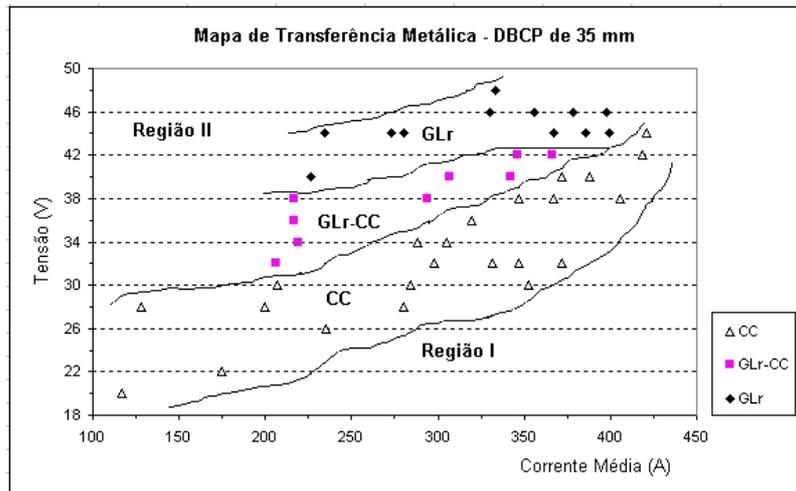


Figura 1. Mapa de transferência metálica do arame de liga FeCrC, tensão x corrente média.

A transferência das gotas no modo curto-circuito ocorre após o contato destas com a poça, devido à ação da tensão superficial, como ilustrado na Figura 2, a qual mostra na seqüência de imagens com intervalos de 5 milisegundos (ms), desde o início da formação da gota até o momento do curto-circuito propriamente dito, quando ocorre, então, o destacamento. Verificou-se que a gota se forma na parte externa do arame eletrodo, no anel metálico, vai crescendo e girando em torno deste até o momento do curto-circuito. Aparentemente, devido ao pequeno comprimento do arco, o fluxo é destacado do arame junto com a gota metálica, o que não ocorre com outros modos de transferência, como descrito por Lima e Ferraresi.⁽⁸⁾

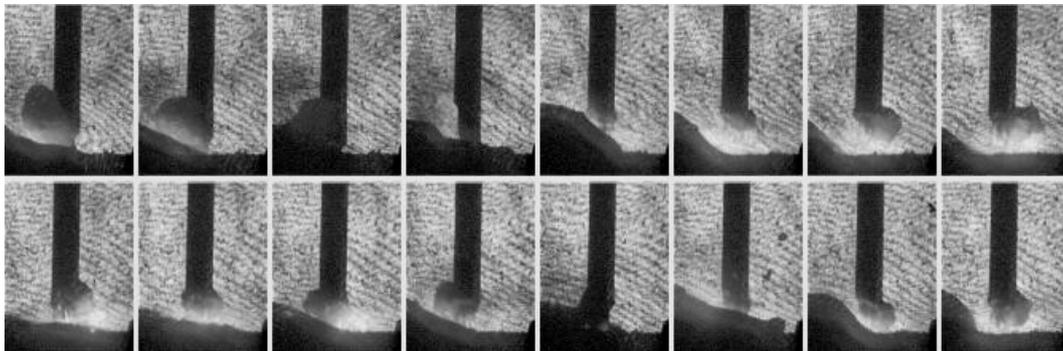


Figura 2. Seqüência de imagens da transferência CC com intervalo de 5 ms entre quadros.

Para o processo Arame Tubular o aspecto de formação da gota difere sensivelmente do arame sólido,^(4, 6, 7) tendo uma relação direta com a presença do fluxo no interior do arame tubular. Devido à característica isolante deste, o arame é percorrido pela corrente de soldagem no anel metálico externo, cuja fusão leva à formação e crescimento da gota em torno do fluxo, sem que este se funda e integre à mesma e acabando por ser absorvido no instante do curto-circuito. Quando o comprimento do arco é maior e ocorre aumento da turbulência dos vapores na região do arco, devido ao maior tempo para a formação da gota, esta atinge um tamanho maior, e apresenta maior movimento de rotação em torno do arame como se observam nos primeiros quadros da Figura 2. A repulsão da gota contrária ao movimento de avanço do arame faz com que, às vezes, o fluxo atinja a poça antes que ocorra o curto-circuito e a transferência propriamente dita. Com menor comprimento de arco (maior velocidade de alimentação em relação à tensão), as gotas são menores e ocorre maior freqüência de curto-circuitos.

3.2 Delimitação da Região de Curto-circuito

Após o completo mapeamento do arame FeCrC, buscou-se delimitar a região de transferência CC dos outros dois arames, tendo em vista que a possibilidade de soldar com baixo aporte térmico e em todas as posições torna esse modo preferido para a aplicação de revestimentos duros na maioria das situações.

A Figura 3 e 4 apresentam, respectivamente, os mapas de tensão “versus” velocidade de alimentação e tensão “versus” corrente média, os quais destacam os limites da região de curto-circuito dos três arames tubulares utilizados. Os mapas foram construídos, após a classificação da transferência metálica, com base na análise dos oscilogramas de corrente e tensão, cuja configuração dos sinais permite identificar com precisão, a transferência CC.

Os testes com os arames +Nb e +Ti foram realizados variando-se a tensão e a velocidade de alimentação desde o limite mínimo, quando a energia de soldagem era insuficiente para fundir o arame com arco estável (Região I, na Figuras 3 e 4, respectivamente), até o limite superior, quando os sinais de soldagem geravam oscilogramas característicos de transferência diferente do modo CC (Região II).

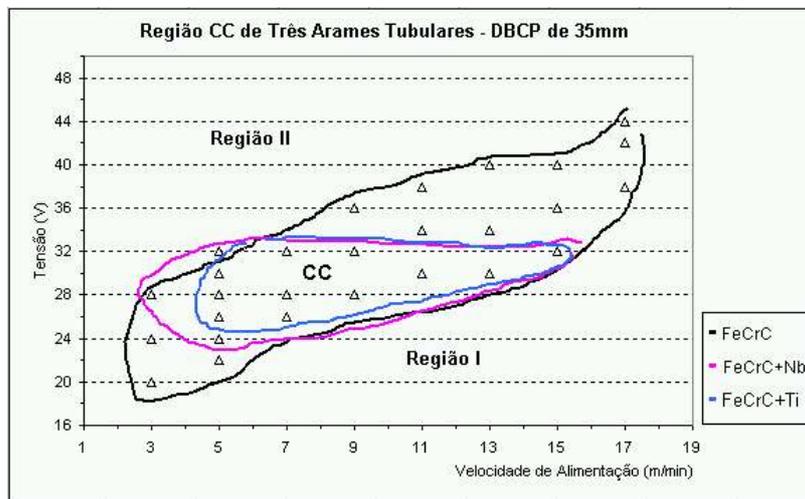


Figura 3. Região CC para os três arames tubulares, tensão “versus” velocidade de alimentação.

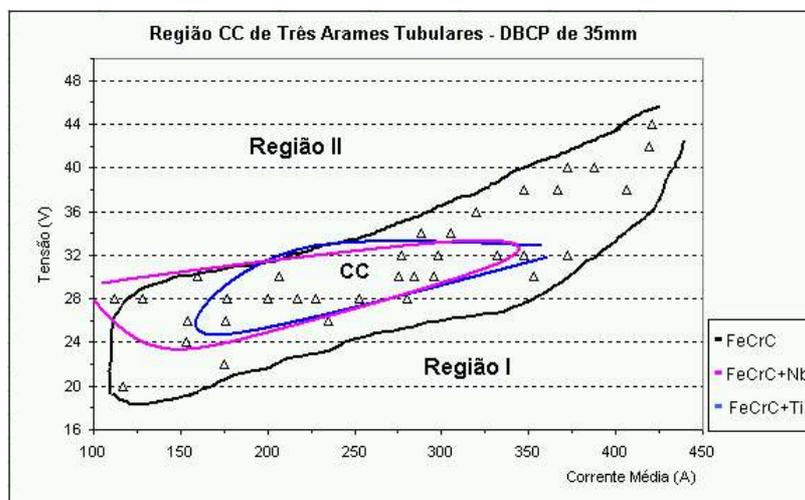


Figura 4. Região CC para os três arames tubulares tensão “versus” corrente média.

A análise das Figuras 3 e 4 permite observar que a região CC mais ampla foi obtida com o arame FeCrC, seguida do +Nb e, a menor região, do arame +Ti. O arame FeCrC permite a soldagem CC em uma faixa de tensão que vai de 20 a 44V, velocidade de alimentação de 3 a 17 m/min e corrente de 120 a 450A. O arame +Nb na faixa de tensão de 24 a 32V, 3 a 15 m/min e corrente de 115 a 325A, enquanto o arame +Ti permite a soldagem CC numa faixa de tensão de 26 a 32V, 5 a 15 m/min e corrente de 175 a 350A.

3.4 Comparação entre os Três Arames

A análise dos oscilogramas dos três arames demonstrou um comportamento diferente dos mesmos durante a soldagem. A Figura 5 apresenta os oscilogramas de três testes realizados com os mesmos parâmetros de soldagem (tensão, V_{alim} e DBCP) com os três tipos de arames. Observa-se que apesar de condições idênticas de soldagem, os arames proporcionaram a obtenção de oscilogramas com características bem distintas. O mesmo também pode ser constatado pela observação da Figura 6a, a qual ilustra comparativamente a frequência de curto-circuitos.

No mesmo período de aquisição de sinais, o arame +Ti apresentou menor frequência de curto-circuitos, seguido pelo FeCrC e com o maior frequência, o arame +Nb (Figuras 5 e 6a). Como os testes foram realizados com mesma V_{alim} conclui-se que a menor frequência de curto-circuitos equivale a um maior tamanho de gota e vice-versa. Esse maior crescimento da gota pode estar relacionado com um maior comprimento de arco aliado a uma maior repulsão da gota, o que contribuiria para um aumento do intervalo entre os curto-circuitos, fato ainda a ser estudado com o andamento da pesquisa.

Por outro lado, quando se analisa o valor da corrente média (em destaque na Figura 5), a relação não se repete, ou seja, o maior valor de I_m foi fornecido pelo arame FeCrC, seguido do +Ti e com um valor menor, o +Nb. Observe-se que se poderiam esperar valores próximos de corrente dada a utilização de mesma V_{alim} e que o valor de tensão média foi similar, tendo em vista que a fonte operava no modo tensão constante.

A Figura 6b apresenta uma avaliação comparativa da velocidade de fusão (V_f) dos três arames. Esse parâmetro foi obtido pela relação ($V_f = V_{alim}/I_m$) entre a velocidade de alimentação (m/min) e a corrente de soldagem (A). Este critério apresentou-se como elemento importante para comparar os três arames, tendo em vista que apesar da mesma velocidade de alimentação e tensão os arames apresentaram valores diferentes de corrente média. Isso implica que com mesmo valor de corrente, os arames apresentarão velocidade de fusão diferente e, conseqüentemente, taxa de fusão também diferente.

Observa-se que a maior velocidade de fusão foi dada pelo arame +Nb, seguida do +Ti e com menor V_f , o arame FeCrC. Essa análise permite concluir que com mesmo valor de corrente média pode-se fundir maior volume do arame +Nb que dos demais. Isso poderá levar a resultados interessantes do ponto de vista da diluição e produtividade do processo.

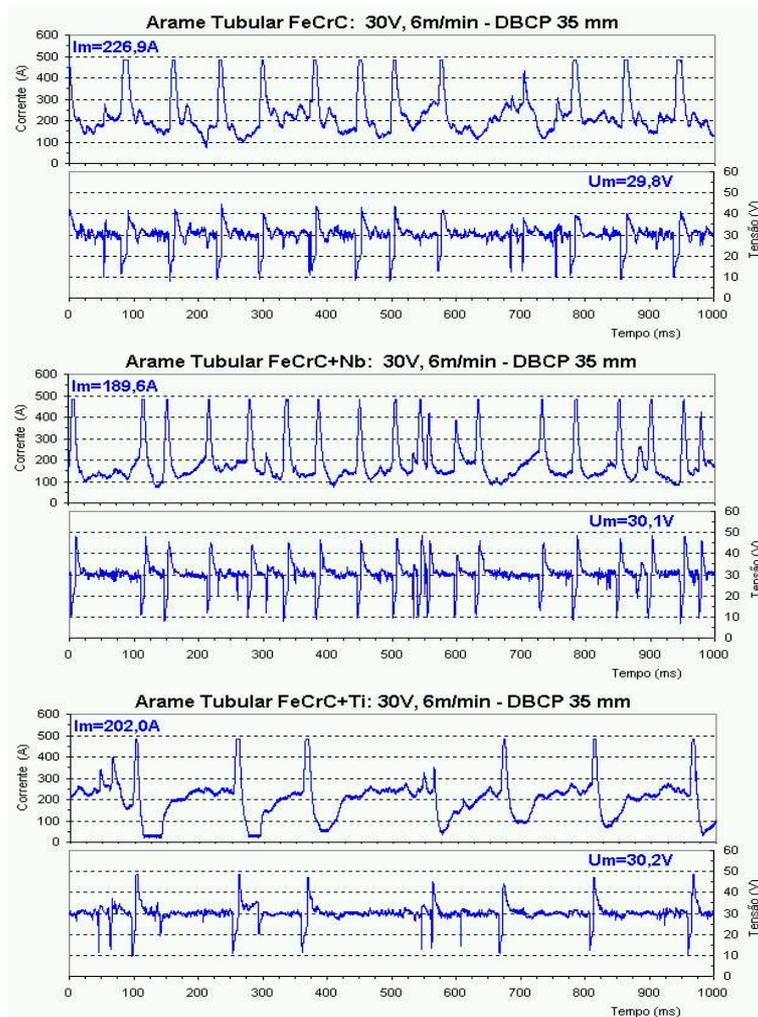


Figura 5. Comparação dos oscilogramas de soldagens efetuadas com três diferentes arames tubulares, com os mesmos parâmetros de soldagem.

Com base nas análises anteriores, verifica-se que a composição química do arame tem fator preponderante e independente, tanto nos valores de corrente de soldagem, na estabilidade do arco, quanto nos modos de transferência metálica. Destaca-se que o critério de estabilidade do arco aqui adotado tem uma relação direta com a frequência de curto-circuito (cc/s) e pela observação dos oscilogramas de tensão e corrente, bastante distintas entre os três arames. Como a aplicação de revestimentos é, em muitos casos, feita de forma manual, acredita-se que a ocorrência de curto-circuitos mais regular e com maior frequência provoca uma oscilação de corrente e tensão mais uniforme (portanto, menor oscilação do arco). Além disso, a formação de gotas com menor volume e a transferência de massa mais regular facilitaria a condução do processo por parte do soldador.

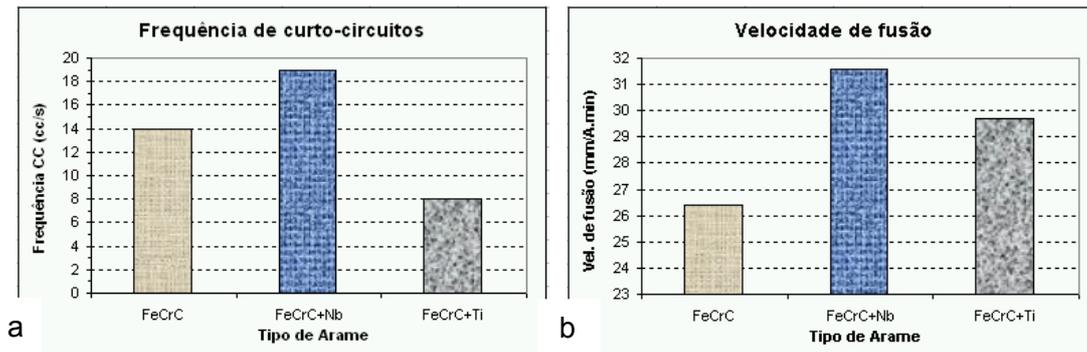


Figura 6. Frequência de curto-circuitos e velocidade de fusão dos três arames tubulares

4 CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos no presente trabalho, pode-se concluir que para a soldagem com arame tubular para revestimento duro nas condições pesquisadas:

- O arame FeCrC, com DBCP de 35 mm, apresentou os modos de transferência CC, GLr e GLr-CC;
- A composição química do arame tubular apresenta influência significativa nos valores de corrente de soldagem e nos mapas de transferência, em especial, na região de curto-circuito;
- O arame da liga FeCrC, apresentou a mais ampla faixa de trabalho na região de curto-circuito, a menor velocidade de fusão e frequência de curto-circuito intermediária;
- O arame +Ti apresentou a soldagem CC com arco mais instável (menor frequência de curto-circuito) e valor intermediário de velocidade de fusão; e
- O arame +Nb apresentou, para mesmos parâmetros de soldagem (tensão e velocidade de alimentação), a condição de arco mais estável (maior frequência de curto-circuitos) e, além disso, o maior valor de velocidade de fusão.

Agradecimentos

Os autores expressam o seu agradecimento à Eutectic+Castolin pelo fornecimento do consumível, ao programa de pós-graduação da UFU, em especial ao LAPROSOLDA, pelo apoio técnico, bem como, ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás - CEFET/GO, pelas condições materiais, com destaque ao Núcleo de Pesquisas em Fabricação e à equipe do laboratório de soldagem desse Centro.

REFERÊNCIAS

- 1 AMERICAN WELDING SOCIETY - AWS, **Welding Handbook - Welding Processes**, vol.2; 8ª edição, USA, 955p, 1991.
- 2 CONDE, Raúl H., “**Recubrimientos Resistentes al Desgaste**”, Boletim Técnico Conarco, Buenos Aires, Argentina, Año 12, nº 85, 40 pp, Diciembre de 1986.
- 3 MODENESI, P. J. **Introdução à física do arco elétrico e sua aplicação na soldagem dos metais**. 100p. Apostila Didática - Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2000.
- 4 FERRARESI, V. A.; FIGUEIREDO, K. M. & HIAP ONG, T., Metal Transfer in the Aluminum Gas Metal Arc Welding. **Revista: Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**. ISSN 1678-5878, vol. XXV, Nº 3, 2003.
- 5 WANG, W., LIU, S. and JONES, E. J., Flux Cored Arc Welding: Arc Signals, Processing and Metal Transfer Characterization, **Welding Research Supplement**, p. 369s a 377s, nov., 1995.
- 6 SCOTTI, A. (1998), “A Review on Especial Metal Transfer Modes in GMAW”, **RBCM – J. of the Braz. Soc. Mechanical Sciences**, vol. XX, nº 3, September, pp 465 – 478, 1998.
- 7 NORRISH, J. and RICHARDSON, I. F. (1988), “Metal Transfer Mechanisms”, **Welding and Metal Fabrication**, pp 17-22, Jan/Feb, 1998.
- 8 LIMA, A. C. & FERRARESI, V. A., “Influência da Distância Bico de Contato Peça no Mapa de Transferência Metálica de um Arame Tubular Autoprottegido para Aplicações de Revestimento Duro”. **XXXI CONSOLDA – Congresso Nacional de Soldagem**, 08 a 10 de novembro de 2005, São Paulo, SP.