

Caracterização e Análise dos Parâmetros de Correção e Programas Sinérgicos em Fonte de Soldagem CMT

Characterization and Analysis of Correction Parameters and Synergic Programs on CMT Welding Power Source

Ramon Natal Meller¹, Cleber Marques¹, Régis Henrique Gonçalves e Silva¹, Jair Carlos Dutra¹
¹LABSOLDA - UFSC, Departamento de Engenharia Mecânica, Florianópolis, SC, Brasil
ramonmeller@labsolda.ufsc.br, c.marques@labsolda.ufsc.br

Resumo

As modernas fontes de soldagem a arco com suas diferentes versões dos processos convencionais cada vez mais têm por objetivo simplificar a regulagem de parâmetros por parte do operador ou soldador. Por esse motivo, a utilização de programas ou curvas sinérgicas para cada combinação de arame, bitola e gás de proteção surge como necessidade para operacionalidade daquela versão. Para que seja possível a utilização adequada de uma curva sinérgica do processo, utilizando todo o potencial disponível, é importante que esta seja conhecida de maneira aprofundada. Dessa forma, este trabalho tem por objetivo avaliar o comportamento das variáveis de soldagem no MIG/MAG CMT, em função de ajustes realizados no parâmetro denominado de “correção dinâmica”. Para a realização das análises, o trabalho conta com recursos de filmagem em alta velocidade sincronizada com sinais medidos de tensão e corrente de soldagem. Foi verificado que o modo de atuação da fonte é diferente de acordo com a curva sinérgica utilizada. Para o programa correspondente ao arame ER70S-6, o parâmetro atua sobre o valor da corrente imposta durante o curto-circuito, e isso altera a velocidade de arame fornecida pela máquina, independentemente do valor configurado pelo operador.

Palavras-chave: MIG MAG; Cold Metal Transfer; Curva Sinérgica; Parâmetros de Correção.

Abstract: The modern power sources and its different versions of processes came to simplify the control of welding parameters by the operator/welder. Improving this tendency, the usage of defined programs or synergic curves for combinations between wire (material and diameter) and shielding gas becomes necessary. To be possible the usage of the available potential of a synergic curve it is important to know how it works deeply. Thereby, this paper aims to evaluate the behavior of the GMAW - CMT due adjustments in a gain called "dynamic correction". For the analysis, high speed films with synchronized measured signals of voltage and welding current were made. It has been verified that the actuation of the power source is different according to the synergic curve selected. When the gain "dynamic correction" is modified, the program of the wire ER70S-6 changes the current during the short circuit and also the wire speed. The value of the wire feed defined by the operator is changed.

Key-words: GMAW; Cold Metal Transfer; Synergic curve; Correction Parameters.

1. Introdução

A versão CMT do processo MIG/MAG está, fundamentalmente, baseada na transferência metálica por curto-circuito, onde as faixas de corrente médias aplicadas são geralmente baixas. Diferentemente da versão convencional, no CMT as fases de curto-circuito e abertura do arco voltaico não ocorrem tão espontaneamente. Além de controlar a corrente de soldagem, a fonte controla diretamente o movimento de avanço e recuo do arame, fazendo com que estes eventos ocorram de forma suavizada, sem elevações abruptas da corrente de soldagem durante o curto circuito e geração demasiada de respingos [1].

O CMT, de desenvolvimento da empresa austríaca FRONIUS, pode então ser caracterizado como uma versão do processo MIG/MAG com transferência metálica por curto-circuito e controle de corrente. Outras versões do processo estão nessa categoria, como é o caso do STT (Surface Tension Transfer – Lincoln Electric), RMD (Regulated Metal Deposition - Miller), CCC (Curto-Circuito Controlado - IMC), SpeedPulse (Lorch), Control Weld (Cloos), MTS (Metal Transfer Stabilization - Industrial Panasonic), FastRoot (Kempfi), ColdArc (EWM). A principal diferença entre o CMT e as demais citadas é essa possibilidade de controle sobre o avanço e recuo do arame, em uma frequência de inversão de movimento que pode chegar até 130 Hz [2,3]. Para alcançar resultados

melhorados em termos de estabilidade, operacionalidade, geração de respingos e fumos, algumas das outras versões desta categoria utilizam-se de recursos para tentar prever o instante da reabertura do arco, no rompimento da ponte metálica. De modo geral, o monitoramento é feito com base na leitura de variáveis elétricas do processo, como a tensão ou a resistência [4,5]. A dificuldade associada a isso é que a leitura desses parâmetros é altamente dependente das condições do processo e do equipamento e a previsibilidade de abertura do arco pode ficar comprometida em alguns instantes.

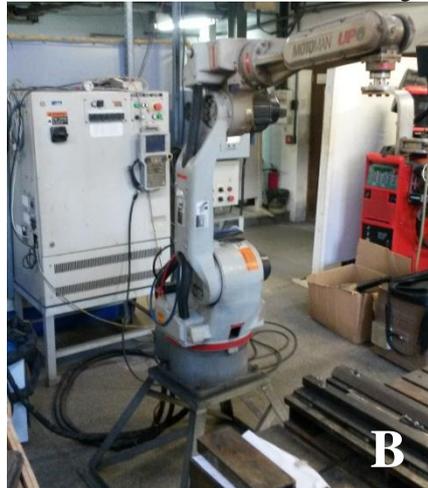
Com a atuação mecânica sobre o processo, o CMT possibilita um ótimo controle do comprimento do arco, independentemente de variações de distância do bico de contato à peça (DBCP). Vale lembrar que, em uma soldagem por curto-circuito, o comprimento do arco é constantemente alterado. Nesse caso, o conceito de controle do comprimento do arco está ligado à manutenção da maior distância obtida entre o arame e a peça durante a fase de arco aberto. Manter essa distância é uma premissa do controle intrínseco ao CMT, o que pode ser constatado em informações e vídeos divulgados pelo fabricante [6,7]. E com isso, a variação na velocidade média de alimentação de arame é inevitável, uma vez que o processo mantém constante os patamares de corrente impostos nas fases de arco e curto circuito.

Apesar de esta ser uma versão do processo com diversos parâmetros que poderiam ser configuráveis como, por exemplo, a velocidade de avanço do arame durante o arco ou o tempo que demora para puxar o arame depois da detecção do curto, o programa sinérgico disponível pela máquina facilita a sua configuração. De um modo simplificado, após o usuário selecionar o tipo de arame, bitola e gás de proteção, o parâmetro de entrada principal é dado pela velocidade de arame. Para este, a fonte relaciona valores de referência em termos de corrente e tensão informando para o usuário no display da máquina. Além disso, como possibilidades de refinamento do procedimento, estão disponíveis dois parâmetros de correção denominados “correção de altura do arco” e “correção dinâmica” (CD).

Para que seja possível a utilização deste processo de maneira adequada, utilizando todo o potencial disponível, é importante que se compreenda a atuação da fonte de acordo com as possibilidades de regulagem. Dessa forma, com o intuito de expandir o conhecimento sobre o processo, este trabalho tem por objetivo avaliar o comportamento das variáveis de soldagem impostas pela fonte no MIG/MAG CMT, em função de alterações realizadas no parâmetro denominado de “correção dinâmica”. Este parâmetro tem uma faixa de regulagem com valores de -5 até +5, com incremento de 0,1.

2. Materiais e Métodos

O trabalho foi realizado em bancada de soldagem composta por uma fonte CMT Fronius TransPuls Synergic 3200 equipada com a interface de configuração modelo RCU500i [8], um robô antropomórfico Motoman, modelo UP6, para a movimentação da tocha, um sistema de aquisição de dados portátil (SAP) [9] e uma câmera de filmagem em alta velocidade IDT modelo Y4S2, conforme verificado na Figura 1.



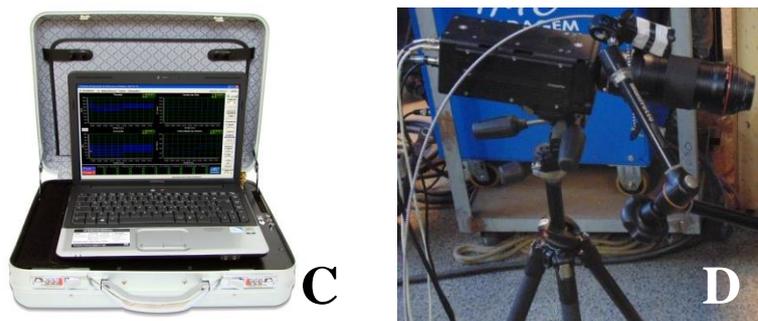


Figura 1. Principais elementos componentes da bancada de testes; A – Fonte de soldagem CMT; B – Robô para manipulação da tocha; C – SAP; D – Câmera de alta velocidade

Com o objetivo de avaliar qual a influência do ganho “correção dinâmica” para o processo foram propostos ensaios experimentais do tipo depósito sobre chapa, sem a premissa de avaliação do resultado dos depósitos em termos de geometria do cordão. A única preocupação neste sentido era de que o cordão tivesse uma continuidade pois, do contrário, as instabilidades associadas ao arco poderiam interferir nos resultados.

O trabalho foi conduzido inicialmente com depósitos de aço carbono, com o arame ER70S-6, em chapas de 6 mm de espessura. A DBCP foi mantida em 15 mm para todos os ensaios, assim como o gás de proteção na mistura de 75% Argônio e 25% CO₂ e vazão 15 l/min. O deslocamento da tocha foi do tipo linear, com velocidade de soldagem de 50 cm/min. Na fonte, utilizou-se o programa sinérgico do CMT para arame G3Si, 1,2 mm de diâmetro e gás 82% Argônio e 18% CO₂. Fixou-se o parâmetro de entrada “velocidade de arame” (Va) em 4 m/min e parâmetro “correção de altura de arco” em 0 (zero). A variável foco da análise, “correção dinâmica”, foi variada em três níveis: (CD = - 5; CD = 0 e CD = +5). Para cada ensaio foram feitas aquisições de tensão corrente e velocidade de arame média (medida na saída do rolo de arame).

Em seguida, como forma de avaliar também se o parâmetro tem atuação em termos de velocidade de avanço e recuo do arame, foram realizados ensaios visando o monitoramento dos roletes tracionadores instalados na tocha de soldagem. O ensaio foi repetido para as três configurações de CD (CD = - 5; CD = 0 e CD = +5). Como forma de provocar uma atuação no controle de correção do comprimento de arco, a movimentação relativa da tocha e peça foi feita com variação cíclica da DBCP. Para isso, configurou-se um movimento de tecimento no robô utilizando o plano XZ, conforme demonstrado na Figura 2. A amplitude do movimento foi de 6 mm, para uma frequência de 2 Hz. A velocidade de soldagem foi mantida em 50 cm/min. De modo a viabilizar a filmagem, optou-se ainda por manter a tocha fixa e movimentar a peça.

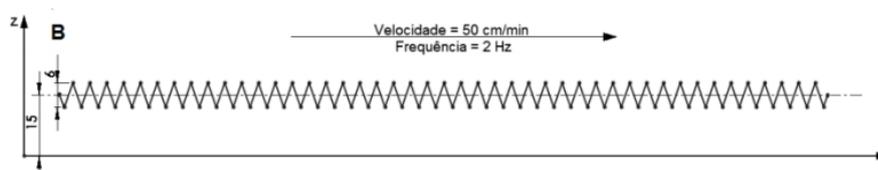


Figura 2. Representação da movimentação relativa entre tocha e peça em ensaio de avaliação de avanço e recuo de arame [1]

3. Resultados e discussões

Para o melhor entendimento das atividades desenvolvidas e dos resultados alcançados, elas foram subdivididas em tópicos os quais serão abordados e descritos detalhadamente a seguir.

3.1. Ensaios com movimentação linear da tocha

Conforme descrito anteriormente neste trabalho, a primeira etapa de ensaios consistiu na realização de depósitos com três configurações distintas para o parâmetro CD. O resultado da aquisição de dados com o SAP está apresentado, em primeira forma, na Tabela 1. As colunas do ensaio com DBCP variável se referem ao item 4.2 deste trabalho. Analisando os dados, fica evidente uma redução no valor da corrente média com o aumento no valor de CD. Na variação de CD = -5 para CD = +5, o valor de corrente média sofre uma queda de cerca de 22%. Com essa redução, a velocidade de arame média, que é aquela medida na saída do rolo de arame, também seguiu a tendência e sofreu uma redução de 3,2 m/min para 2,6 m/min. Em termos de período de transferência, pode se

considerar que os valores se mantiveram praticamente inalterados. Como houve uma redução na velocidade média do arame, o diâmetro de gota teórico (D_g) foi menor para a condição $CD = +5$.

Tabela 1 - Dados de avaliação para programa sinérgico de aço

	DBCP Constante			DBCP Variável		
	cd = -5	cd = 0	cd = +5	cd = -5	cd = 0	cd = +5
Uméd (V)	13	12,7	12,9	14,3	14	13,7
Iméd (A)	133	121	104	131	118	100
Va(m/min)	3,2	3	2,6	3,1	2,8	2,5
Uef(V)	16,9	16,9	17,9	18,5	18,6	18,5
Ief(A)	155	147	137	153	144	133
P(W)	2156	2060	1831	2299	2178	1936
T (ms)	14	15	14	--	--	--
D_g (mm)	1,17	1,17	1,09	--	--	--
T_{arco} (ms)	8	8	8	--	--	--

Em seguida, a Figura 3 apresenta os resultados obtidos na forma de oscilogramas de tensão e corrente. Nela constatou-se uma redução significativa nos valores de corrente impostos durante o tempo de curto, indicados pelas setas na figura. O valor variou de 100 A na condição $CD = -5$ para aproximadamente 25 A para um $CD = +5$, ou seja, uma redução de 75%.

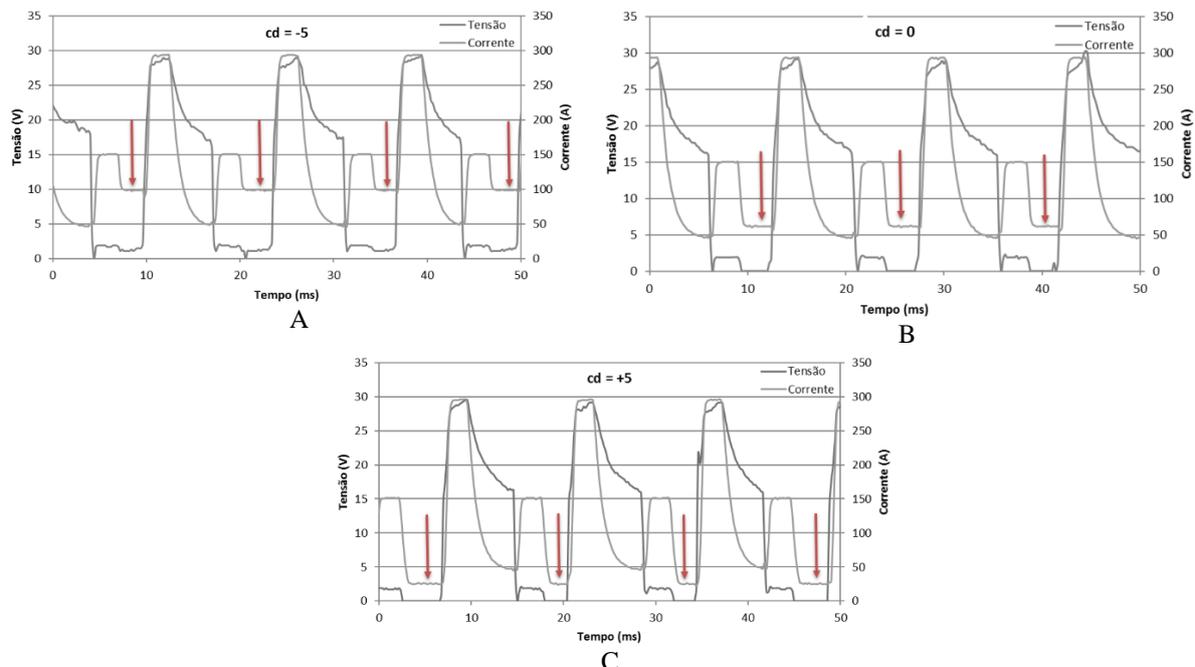


Figura 3. Alteração da corrente de curto-circuito para diferentes valores de “correção dinâmica”, programa sinérgico para ER70S-6; A) $CD = -5$; B) $CD = 0$ e C) $CD = +5$

Para fins comparativos da atuação da fonte em outro programa sinérgico, foram feitos também depósitos em alumínio, com o arame ER5183 de 1,2 mm, DBCP de 17 mm, gás Argônio na vazão de 15 l/min. Na fonte, utilizou-se o programa do CMT para arame AlSi5, 1,2 mm de diâmetro e gás Argônio. O resultado da aquisição de dados com o SAP está apresentado, em primeira forma, na Tabela 2. A Figura 4 apresenta os resultados obtidos na forma de oscilogramas de tensão e corrente.

Tabela 2 - Dados de avaliação para programa sinérgico de alumínio

	cd = -5	cd = 0	cd = +5
Uméd (V)	14,4	14	14,2
Iméd (A)	86	88	87
Va(m/min)	5,9	6,1	6,2
Uef(V)	17,5	16,9	17,2
Ief(A)	97	99	98
P(W)	1625	1602	1621
T (ms)	21	19	19
Dg (mm)	1,7	1,65	1,66

No caso do programa sinérgico utilizado para alumínio, não surgiram diferenças significativas entre os parâmetros medidos que foram apresentados na tabela. Observando também os dados na forma de oscilogramas que estão mostrados na Figura 4, constatou-se que não há alteração no mesmo patamar de corrente anteriormente afetado. É notável um maior período de transferência na configuração CD = -5, que foi medido em 21 ms. Para as outras configurações, o período foi mantido em 19 ms. Apesar disso, diferentemente do que foi observado para aço, todos os patamares de corrente não sofreram alteração para as três configurações de CD.

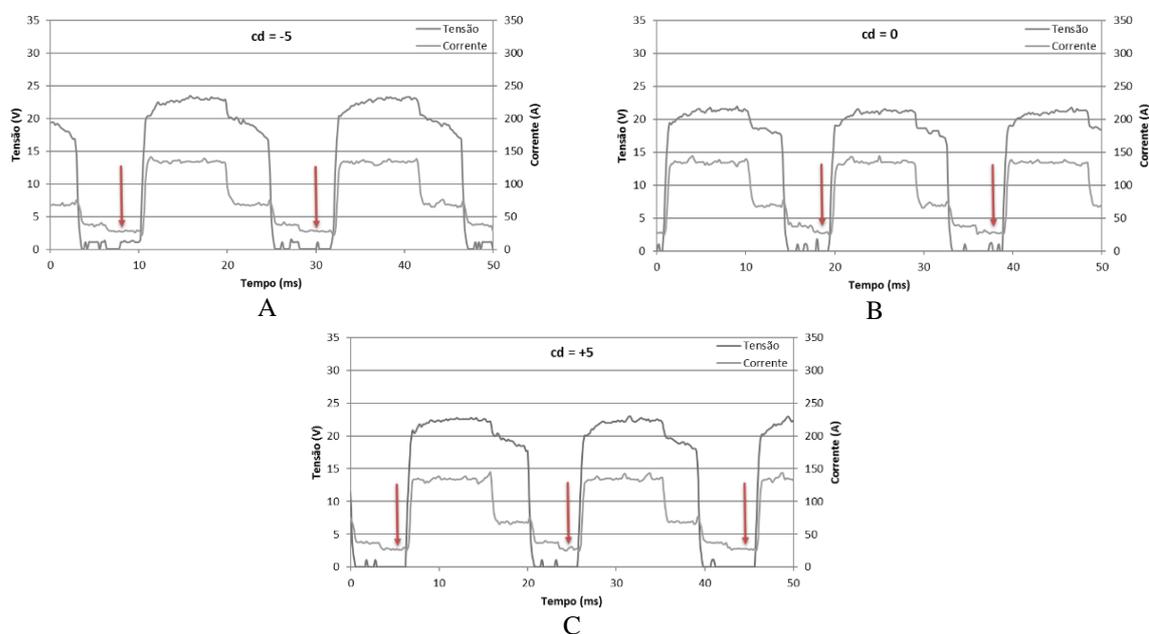


Figura 4. Alteração da corrente de curto-circuito para diferentes valores de “correção dinâmica”, programa sinérgico para alumínio; A) CD = -5; B) CD = 0 e C) CD = +5

3.2. Ensaios com variação da DBCP

A sequência dos ensaios previu a realização dos depósitos com mesmo arame de aço carbono e as mesmas condições de CD anteriormente citadas, com a diferença de estarem agora submetidos à uma alteração proposital da DBCP. Em primeira avaliação dos dados já apresentados na Tabela 1, observa-se a mesma tendência de alteração dos valores de corrente média e velocidade de arame com a mudança no valor de CD. Nos oscilogramas de tensão, corrente e velocidade de arame (medida no cabeçote) ressalta-se a resposta dinâmica do cabeçote alimentador de arame em função da variação da DBCP. Constata-se que a curva de Va, em verde na Figura 5, apresenta uma frequência de oscilação compatível com o tecimento realizado, que foi de 2 Hz.

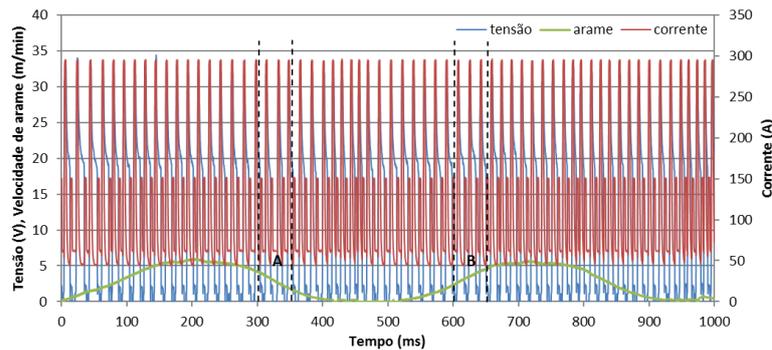


Figura 5 – Oscilogramas de tensão, corrente e velocidade de arame, com destaque para a resposta dinâmica em V_a para variações na DBCP. Soldagem com ER70S-6, 1,2 mm de diâmetro, V_a regulada em 4/min e $CD = 0$

A Figura 6 mostra em detalhe as regiões marcadas por A e B na Figura 5. Nela é possível se verificar o comportamento da forma de onda de tensão e corrente em função dos transitórios de aproximação e afastamento da peça. Pode-se aqui fazer uma análise em termos de velocidade relativa entre a tocha e peça. Em A, quando a peça está sendo aproximada da tocha, a velocidade de avanço do arame é somada com a velocidade de aproximação da peça, o que faz com que o tempo de arco aberto (t_a) diminua. Durante o curto-circuito (t_c), quando o arame começa a ser recuado, a velocidade de recuo é subtraída da velocidade de aproximação da peça, fazendo com o curto-circuito seja mantido por mais tempo. A situação contrária é observada em B, quando a peça está sendo afastada da tocha. Foram analisados os momentos de transição para as três configurações de CD, e os dados de t_a e t_c medidos em uma determinada região da curva estão apresentados na

Tabela 3. Fica evidente que os tempos de arco e de curto mudam em função da aproximação ou afastamento da peça.

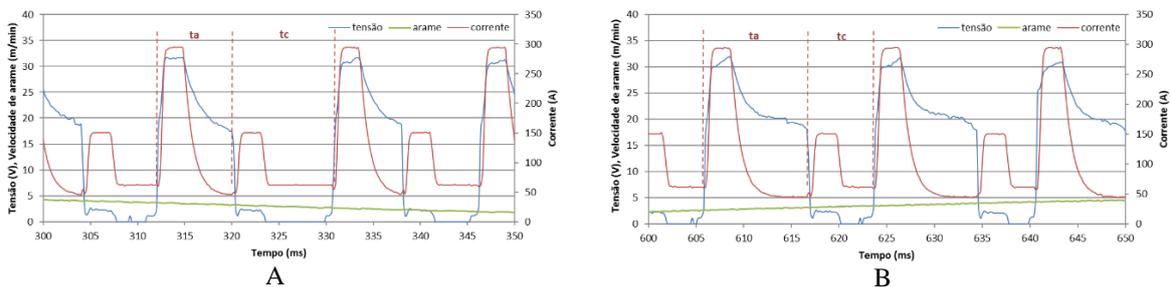


Figura 6. Oscilogramas de tensão, corrente e velocidade de arame em ensaio com variação de DBCP para regulagem de $CD = 0$; A – peça aproximando da tocha e; B – peça afastando da tocha

Tabela 3 – Tempos de arco e de curto em ensaios com variação da DBCP

	Va média diminuindo (tocha aproximando)			Va média aumentando (tocha afastando)		
	cd = -5	cd = 0	cd = +5	cd = -5	cd = 0	cd = +5
T (ms)	14,9	16,5	16	15,9	17,3	16,9
t_a (ms)	7,2	7,9	7,7	9,9	10,8	10,5
t_c (ms)	7,7	8,7	8,3	6,0	6,5	6,4

O monitoramento da resposta da fonte também foi feito com auxílio de uma câmera para filmagem em alta velocidade sincronizada com os sinais de tensão e corrente. Em todos os ensaios com variação da DBCP foi feita a filmagem do rolete tracionador da tocha. A Figura 7 demonstra uma imagem obtida nesse monitoramento.

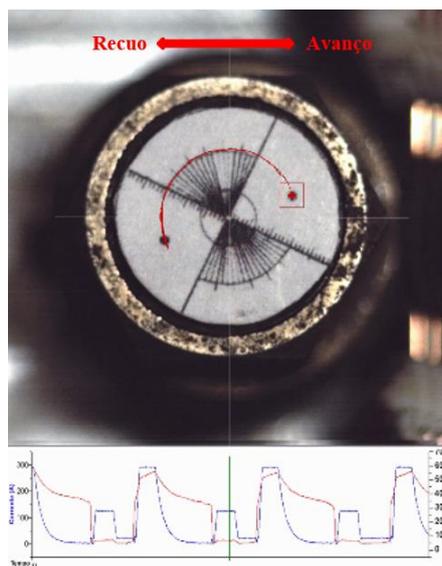


Figura 7. Imagem obtida pela filmagem em alta velocidade do rolete que traciona o arame na tocha

Com base no ângulo de rotação verificado nos pontos de inversão do sentido do motor, foi possível calcular outras variáveis do processo, como por exemplo, o deslocamento e a velocidade de avanço e recuo do arame. A Tabela 4 abaixo apresenta os valores medidos.

Tabela 4. Resultados de deslocamento e velocidade medidos em ensaio com variação de DBCP

	Movimento Tocha/Peça	Arame	Deslocamento (mm)	Velocidade (mm/s)	Velocidade (m/min)
CD = -5	Aproxima	Avanço	2,8	361	21,7
		Recuo	-2,7	-356	-21,3
	Afasta	Avanço	3,5	351	21,1
		Recuo	-2,0	-319	-19,2
CD = 0	Aproxima	Avanço	2,9	372	22,3
		Recuo	-3,0	-368	-22,1
	Afasta	Avanço	3,5	364	21,8
		Recuo	-2,3	-352	-21,1
CD = +5	Aproxima	Avanço	3,2	375	22,5
		Recuo	-3,3	-379	-22,7
	Afasta	Avanço	4,3	373	22,4
		Recuo	-2,7	-358	-21,5

Em condições normais de operação, é razoável afirmar que, para a continuidade de alimentação do processo, o rolete tracionador da tocha deve ter um maior ângulo de rotação no sentido de avanço do que de recuo. Entretanto, para o ensaio aqui realizado, nas situações onde a peça estava aproximando da tocha, foi verificado que o avanço e recuo de arame tiveram praticamente o mesmo deslocamento. Ou seja, na condição testada, a velocidade de fusão do arame foi muito próxima da velocidade com que a peça se aproximava da tocha, fazendo com que os ângulos máximos e mínimos de rotação do rolete fossem praticamente os mesmos. Durante alguns períodos de transferência, o rolete avançou e recuou numa mesma região. Com a tocha se afastando, a situação volta ao que é esperado, onde o avanço de arame tem resultado maior do que o recuo. Analisando ainda os resultados em função da regulagem no parâmetro CD, não é possível evidenciar com segurança qualquer relação com as variáveis calculadas.

A condição de regulagem com $CD = +5$, onde se tinha a menor corrente de curto-circuito, foi aquela em que se encontrou maiores problemas para a manutenção do arco. Em determinados instantes ocorreu de o arame grudar na peça metálica, dificultando a reabertura do arco.

4. Conclusões

A utilização de fontes de soldagem com opção de programas sinérgicos facilita a configuração de parâmetros por parte do soldador. Entretanto, para que seja possível utilizar o máximo potencial do equipamento, deve-se ter o conhecimento sobre as regulagens disponíveis na máquina e sua correspondente atuação no processo. O modelo de fonte de soldagem CMT testado apresenta diversos programas sinérgicos para diferentes tipos de materiais e gases. Cada programa tem características específicas e não se pode aqui generalizar os resultados apresentados para todos os casos.

Para o programa sinérgico de arame de Aço (G3Si) testado, o parâmetro denominado pelo fabricante de “correção dinâmica” altera o valor da corrente durante o curto circuito. A mudança na corrente de curto acarreta em alteração na corrente média e conseqüentemente na taxa de fusão do arame. Caberia ainda uma análise física da contribuição desse aquecimento por efeito Joule para a fusão do arame.

Em alguns programas sinérgicos, o parâmetro “correção dinâmica” assume a função de alterar os instantes de abertura do arco, com a inserção de, por exemplo um tempo inicial com corrente pulsada. Nesses casos o fabricante chama o parâmetro de “tempo de hotstart”. Para o caso verificado do alumínio, apesar de não se ter constatado uma alteração na forma de onda de corrente aplicada durante a solda, e o parâmetro estar sendo chamado de “correção dinâmica”, é possível que o parâmetro esteja de fato atuando nos instantes de abertura, o que ainda precisa ser verificado.

Nos ensaios com variação da DBCP a versão CMT do processo MIG/MAG foi capaz de manter a estabilidade da solda, mesmo com variações bruscas e consecutivas da distância. Apesar de se ter uma pequena tendência de aumento no avanço e recuo do arame quando se aumentou o CD, não é possível concluir que existe uma relação desse parâmetro de correção com o deslocamento do arame. A análise dos deslocamentos com a câmera de alta velocidade se mostrou uma opção viável, mas a etapa de tratamento dos dados ainda requer a uma habilidade manual para a medição dos ângulos, e isso pode ser uma fonte de erros para os resultados encontrados na medição.

Este trabalho configura apenas uma etapa de uma profunda análise sobre o processo CMT que se planeja desenvolver. Os resultados obtidos até então servirão de subsídio para a continuação desta investigação.

Por fim, é uma busca constante do LABSOLDA e sua equipe, estudar temáticas que tenham relevância para a área da soldagem, contribuindo para a comprovação de fatos difundidos no meio científico ou verificando sua veracidade, para que não se sejam dados apenas marqueteiros e/ou inverídicos.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem à toda equipe do LABSOLDA que contribuiu para os resultados alcançados neste trabalho, ao POSMEC e UFSC pela oportunidade de desenvolvimento pessoal, profissional e acadêmico. Também são merecedoras de agradecimentos as agências de fomento à pesquisa que, de alguma forma, contribuíram com a pesquisa: a FINEP, ANP e Petrobras.

6. Referências Bibliográficas

1. MARQUES, C. **Prospecções da Natureza Física da Soldagem MIG Automática de Ligas de Alumínio**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 101 f. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia).
2. GMBH, F. I. Cold Metal Transfer - The Technology. Disponível em: <http://www.fronius.com/cps/rde/xbcr/SID-B154D75F-D7DC98BB/fronius_international/M_06_0001_EN_CMT_leaflet_44211_snapshot.pdf>. Acesso em: 03 setembro 2016.
3. PINTO, H. et al. A Comparative Study of Microstructure and Residual Stresses of CMT-, MIG- and Laser-Hybrid Welds. **Materials Science Forum**, 524-525, setembro 2006. 627-632.
4. DIRENE FILHO, H.; SILVA, R. H. G. E.; DUTRA, C. Comparação do Processo MIG/MAG em Transferência por Curto-Circuito com Controle de Corrente (CCC) com o Processo STT na Soldagem de Passes de Raiz em Dutos. **Anais do XXXVIII CONSOLDA – Congresso Nacional de Soldagem**, Ouro Preto, MG, Brasil, Outubro 2012.
5. SILVA, R. H. G. **Soldagem MIG/MAG em transferência metálica por curto-circuito controlado aplicada ao passe de raiz**. Universidade Federal de Santa Catarina, p. 127. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia).

6. KAZMAIER, J. **CMT Advanced Technology - An Arc Process Revolution**. FRONIUS International GMBH. Wels-Thalheim, Austria. 2010.
7. FRONIUS WELDING INTERNACIONAL. vídeo disponível em canal da empresa. **Fronius: Cold Metal Transfer (CMT) Stick Out**. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=2tm5qhSwX1o>>. Acesso em: 05 setembro 2016.
8. FRONIUS INTERNATIONAL GMBH. **Manual de instrução de operação - Controle Remoto RCU5000i**. [S.l.], p. 241. 2010.
9. IMC Soldagem. **SAP-4 - Sistema de Aquisição Portátil**. Disponível em: <http://www.imc-soldagem.com.br/sap_4.html>. Acesso em: 03 jan. 2012.