

**CT-05 SOLDAGEM MIG/MAG EM CURTO-CIRCUITO CONTROLADO (CCC)
APLICADA AO PASSE DE RAIZ**⁽¹⁾ **Régis Henrique Gonçalves e Silva**⁽²⁾ **Raul Gohr Jr**⁽³⁾ **Jair Carlos Dutra**⁽⁴⁾ **Moisés Alves de Oliveira****RESUMO**

O trabalho consiste no estudo e desenvolvimento do Processo de Soldagem MIG/MAG em Curto-Circuito Controlado (CCC), aplicado em passes de raiz na construção de *pipelines*. Atualmente, esta operação é realizada com o processo Eletrodo Revestido (ER) ou TIG, que apresentam características inferiores de produtividade. Objetivou-se, então, a geração de conhecimento sobre a transferência metálica por curto-circuito e o desenvolvimento de uma variante do MIG/MAG, consistindo numa operação semi-automática e sem escória, conferindo boa produtividade e propriedades satisfatórias ao passe de raiz. Como resultado, obteve-se conhecimento sobre a transferência metálica por curto-circuito no processo MIG/MAG, indispensável para o desenvolvimento do CCC. Determinaram-se uma forma de onda e métodos de controle, produzindo soldas com nível reduzido de respingos e produtividade superior ao ER. Assim, o CCC obtém as vantagens da transferência metálica por curto-circuito e evita seus inconvenientes (sobretudo com alto CO₂ no gás de proteção), aliados a baixo tempo de treinamento.

Palavras-chave: transporte de petróleo, dutos, transferência metálica, construção de linhas dutoviárias

ABSTRACT

This work deals with the R&D of the Controlled Short-Circuiting MIG/MAG Welding Process (CCC), applied to root passes in pipelines construction. Currently, such operation is conducted by means of the Coated Electrode (CE) or TIG processes, which have lower productivity characteristics. Thus, the objective was the generation of knowledge on short-circuiting metal transfer and the development of a MIG/MAG variant, a semi-automatic, slag free process, providing good productivity and satisfactory properties on the root weld. As a result, advanced knowledge about short-circuiting metal transfer aspects were obtained, which was fundamental for further developing the CCC. A current waveform and control methods were determined, producing low spattering and higher productivity than the CE. Thus, the CCC features short-circuiting metal transfer advantages, avoiding its inconveniences (mainly in high CO₂ atmosphere), together with low training time.

Key-Words: oil transport, pipes, metal transfer, pipelines construction

⁽¹⁾ M. Eng. Mecânico, LABSOLDA - UFSC CP 476, CEP 88040-900 –Florianópolis - SC

⁽²⁾ Dr. Eng. Mecânico, LABSOLDA - UFSC CP 476, CEP 88040-900 –Florianópolis – SC

⁽³⁾ Prof. Dr. Eng. Mecânico, LABSOLDA - UFSC CP 476, CEP 88040-900 –Florianópolis – SC

⁽⁴⁾ M. Eng. Mecânico, LABSOLDA - UFSC CP 476, CEP 88040-900 –Florianópolis – SC

1. INTRODUÇÃO

A aplicação vislumbrada do resultado desse trabalho consiste no passe de raiz em soldas de topo de dutos chanfrados para construção de *pipelines*. A eficiência na execução deste passe é considerada um fator chave, que determina a velocidade na qual a linha dutoviária é construída. Uma vez que a soldagem e a inspeção de juntas em dutos exercem influência significativa sobre o cronograma físico e, como decorrência, no custo das obras, otimizações em produtividade provenientes de ganhos em rapidez, qualidade e confiabilidade nesta operação se tornam deveras atrativas para as empresas contratantes e executoras de serviços. Não obstante a inerente menor produtividade, o ER (algumas vezes, também o TIG) vem sendo o processo de escolha para o passe de raiz. Razões para isso se mostram, principalmente, a tradição, o desconhecimento em relação à possibilidade de aplicação do MIG/MAG e a falta de uma interação eficiente entre o soldador e o engenheiro que tenta emplacar um novo processo. Outras variantes do MIG/MAG, a transferência por escoamento goticular axial (spray) e energia pulsada, têm limitações para essa aplicação, seja por excesso de energia (spray), ou por dificuldade de acesso das gotas ao fundo do chanfro (pulsado).

Ressalta-se que a produtividade tem grande importância, também, no caso de recuperação de tubulações danificadas, restaurando o abastecimento para os clientes da maneira mais rápida possível.

Outras aplicações consideradas são aquelas onde o controle da corrente, encontrado no CCC viabiliza ou, pelo menos otimiza o uso do MIG/MAG.

Técnicas, métodos e equipamentos para o controle da corrente na soldagem MIG/MAG em modo de transferência metálica por curto-circuito não constituem uma novidade, pois há referências acerca desse tema que datam de 1983 [1]. Inclusive, o tema já foi estudado no LABSOLDA/UFSC, no âmbito de duas teses de doutorado [2,3]. Os objetivos, porém, permanecem, basicamente, os mesmos para as diversas abordagens: maior regularidade na transferência metálica, redução de respingos e fumos e características geométricas e metalúrgicas homogêneas. Também os fundamentos do curso da solda, ou seja, das formas de onda adotadas, são similares. A partir daí, e, aproveitando-se das possibilidades de controle hoje disponíveis, os sistemas se tornam mais eficientes e surgem novas funções, como o controle da penetração e controle do chamado aporte térmico.

Este trabalho visa, então, a obtenção de conhecimento e de um sistema real com a tecnologia CCC. A meta futura é desenvolver procedimentos que permitam a solda em diversas configurações (posições de soldagem, materiais, espessuras...), inclusive ao longo do duto, e disponibilizar essa tecnologia, de maneira otimizada e a baixo custo, ao mercado nacional.

2. O PROCESSO MIG/MAG EM TRANSFERÊNCIA METÁLICA POR CURTO-CIRCUITO COM CONTROLE DE CORRENTE (MIG/MAG TMCCC)

2.1 Fundamentos

No início, as pesquisas com o MIG/MAG TMCCC buscavam um processo com as vantagens da transferência metálica por curto-circuito (menor aporte térmico e menor nível de tensões residuais, menor gasto de energia, menor custo de gás, menor nível de hidrogênio difusível, solda fora de posição), suprimindo os inconvenientes do processo convencional, como excesso de respingos e irregularidade na transferência metálica [4,5]. Com o refinamento das técnicas, novos objetivos foram sendo almejados, como controle do aporte térmico e controle da penetração independentemente da velocidade de arame.

Existem inúmeros métodos de controle e formas de onda de corrente adotados comercialmente e em pesquisa (l x t) [1,6,7,8,9].

De uma forma geral, consistem em uma forma de onda de corrente que pode ser descrita como sendo composta por fases, abordadas por vários autores [5,6,9,10]. Esta é, também, a concepção do CCC.

A Figura 1 abaixo mostra, esquematicamente, essas fases.

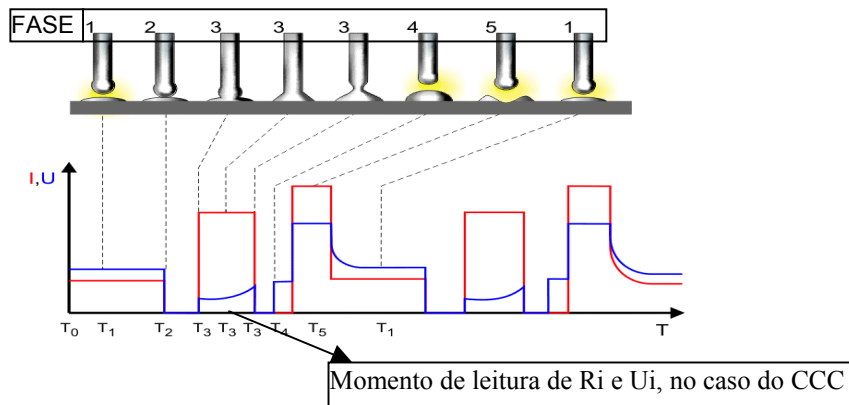


Figura 1 - Fases básicas de sistemas MIG/MAG TMCCC modernos (I=corrente, U=tensão).

A fase 1 é a fase de arco aberto. A corrente é mantida em patamar baixo, porém garantindo o aquecimento dos eletrodos (gota e poça) e a fluidez dos mesmos, assim como a manutenção do arco [5].

O processo vai para a fase 2 quando há o curto-circuito. Nesta fase, de tempo regulável, a corrente é reduzida ainda mais, reduzindo a tendência a respingos, pois a gota se assenta suavemente sob ação da tensão superficial, força preponderante no início do curto [11].

A fase 3 é caracterizada por uma alta corrente, que gera as forças magnéticas que atuarão no destacamento da gota. Nesta fase, ocorre a aquisição dos sinais que traduzirão a situação momentânea da solda, e que serão realimentados ao sistema, o qual atuará no intuito de manter a estabilidade. Um desses sinais reflete a situação da ponte metálica, e tem como função informar a iminência da reabertura do arco. Quando esta iminência for detectada, a corrente deve ser reduzida à da fase 4, reduzindo a tendência a respingos, inerente a esse momento. O sistema comercial mais conhecido utiliza o sinal de variação de tensão (dU/dt) para isso. (Como será visto, o CCC utiliza o sinal de resistência inicial, R_i .) Quando esse valor ultrapassa um valor estipulado, é detectada a iminência de reabertura [5,6]. O outro sinal adquirido reflete a DBP (distância bico de contato-peça), podendo ser de tensão ou de resistência. (Como será visto, o CCC utiliza o sinal de tensão inicial, U_i .)

A fase 4 também tem um tempo estipulado e é nela que deve ocorrer a reabertura do arco, em corrente baixa.

A fase 5 é composta por um pulso de corrente, destinado à formação de uma nova gota metálica na ponta do arame-eletrodo e fusão das faces. A energia deste pulso deve corresponder à necessária para que se forme uma gota de mesmo tamanho que a anterior. Para isso, o sistema utiliza a informação de DBP lida na fase 3. Cita-se que a fase 5 também seria responsável pelo controle do aporte térmico, ou então apenas pela penetração [5,12], ou por ambos [13], além de causar uma depressão na poça, evitando contato prematuro desta com a gota em formação [6,7].

À forma da transição da fase 5 para a fase 1 são atribuídas as funções de amortecimento da poça, pela redução suave da corrente, e de “controle grosseiro” do aporte térmico [5] e fluidez do material fundido.

2.2 Aplicações

O processo CCC é destinado, em princípio, a operações que requerem as características presentes no processo MIG/MAG convencional, em transferência metálica por curto-circuito, ou que extrapolam a faixa de aplicabilidade do segundo. Pesquisas recentes, p. ex., com um sistema MIG/MAG TMCCC alemão, obtiveram boas soldas em espessuras de 0,2 mm, em aço [14]. Um outro exemplo de versatilidade é mostrado em [8], na soldagem de ligas de Magnésio.

O passe de raiz tanto semi-automaticamente, como totalmente mecanizado na união de topo de dutos de parede espessa consiste em uma das aplicações mais freqüentemente

citadas do MIG/MAG TMCCC [5,12,15]. Existem citações de aplicação também em aço inoxidável, vasos de pressão, trocadores de calor, etc... Também são citados ED e END comprovando a confiabilidade do MIG/MAG TMCCC [12].

2.3 Experiência do LABSOLDA

Gohr [2] descreveu a primeira tentativa prática de gerar o CCC, objetivando, principalmente, a redução do nível de respingos. Este primeiro conceito utilizava um circuito eletrônico, o qual monitorava a tensão e, de acordo com a mesma, estipulava a passagem ou não de corrente pelo circuito de soldagem. Problemas surgiram devido à ausência de corrente na reabertura, à baixa taxa de redução da corrente e erros na detecção da iminência de reabertura.

Em face desses inconvenientes, e devido a maior flexibilidade do controle por *software*, esse foi o caminho adotado em diante.

Baixo [3] abordou o processo de soldagem em si, os aspectos da transferência metálica, adotando, nos ensaios, várias configurações possíveis. Utilizando uma forma de onda em três níveis, obteve bons resultados, no que tange a regularidade do processo.

3. EQUIPAMENTOS, MATERIAIS E ENSAIOS

A fonte de soldagem utilizada é uma INVERSAL 600, transistorizada, cujo controle é realizado por um micro-computador no qual roda o *software* de controle. Ao lado do “micro de controle”, opera o chamado “micro de monitoração” que, dotado da placa de aquisição de dados INTERDATA e dos *softwares* dedicados OSCILOS e MIG/MAG, realiza a aquisição e tratamento de dados de soldagem. O TC-1 é o instrumento que adquire e trata os sinais dos transdutores de corrente e tensão. Foi aplicado o robô industrial de 6 eixos UP6, da marca japonesa MOTOMAN. A Figura 2 mostra o aparato.



Figura - 2 Bancada de ensaios.

À exceção do robô de 6 eixos, todos os equipamentos e *softwares* citados foram desenvolvidos pelo próprio LABSOLDA. Isto conferiu alta flexibilidade ao desenvolvimento, fator fundamental quando se almeja um objetivo como o proposto.

Considerando custos e rapidez, Pellizzaro [16] concluiu ser tecnicamente viável a utilização de barras chatas, em aço SAE 1020, de espessura 12,7 mm e largura 50,8 mm, as quais são chanfradas com uma chanfradeira manual. Que simula a situação real. Para os depósitos sobre chapa foram utilizadas chapas de aço SAE 1020, com 12,7 mm de espessura. A geometria do chanfro, mostrada na Figura 3, está de acordo com recomendações da norma API 1104.

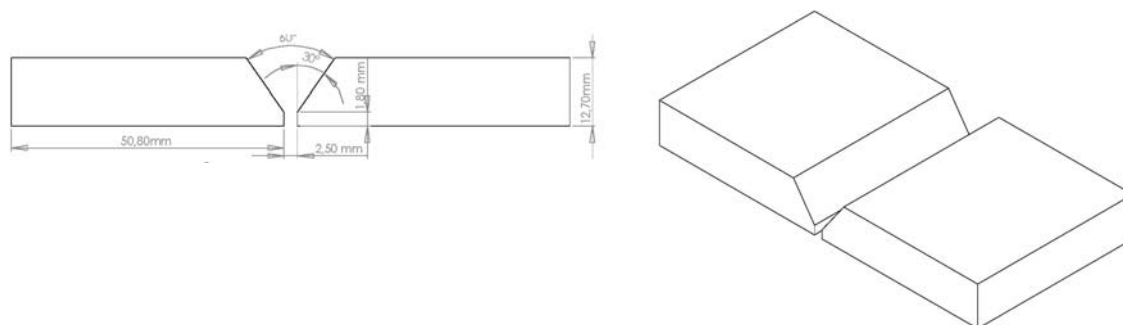


Figura 3 - Geometria da junta adotada.

O arame-eletrodo utilizado foi o AWS A5.18 ER70S-6, de 1,2 mm de diâmetro. Os gases utilizados nos testes foram a mistura 75 % Ar e 25 % CO₂ e o CO₂ puro e o ER, o E 8010 G, (celulósico), de 3,25 mm de diâmetro, usado em campo.

O desenvolvimento do CCC envolveu ensaios de solda mecanizados e semi-automáticos.

Foi adotada uma programação para realização da calibração dos sistemas envolvidos, sendo feita uma calibração ao início dos ensaios e outra aproximadamente na metade dos trabalhos.

4. CURTO CIRCUITO-CONTROLADO CCC

Como ponto de partida, o comportamento do processo MIG/MAG convencional na realização do passe de raiz deveria ser determinado, a fim de se obter um embasamento adequado para o desenvolvimento do CCC. De posse dessas informações e as angariadas da literatura, partiu-se para os ensaios aplicando o CCC, no intuito de se gerar conhecimento sobre o processo e estipular um procedimento para a realização do passe de raiz em questão.

4.1 Forma de onda

Com a flexibilidade oferecida pelos equipamentos, e de acordo com informações da literatura, uma forma de onda, Figura 4 foi gerada e comparada com a anterior, em três níveis de Baixo [3], obtendo melhor estabilidade do arco.

Como método de determinação da iminência de reabertura do arco, o sistema é realimentado continuamente com o sinal de resistência elétrica do circuito de soldagem durante a fase 3, o qual é comparado com um valor de referência, chamado Krab. Também na fase 3, o sinal de tensão é adquirido, refletindo a DBP atual. Esta informação é utilizada pelo sistema para determinação do tempo da fase 5, que propiciará a energia necessária para a manutenção da regularidade da transferência.

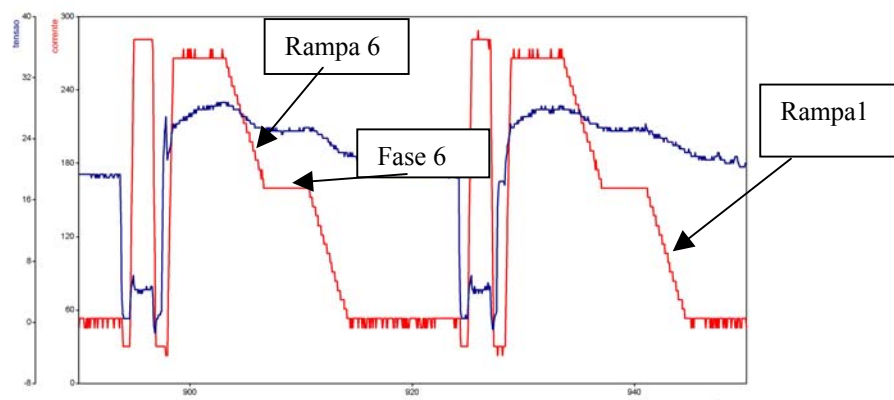


Figura 4 - Forma de onda desenvolvida para o CCC, com as fases adicionais (rampa1, rampa6 e fase 6).

Com o intuito de se melhorar o processo, o programa de controle foi aperfeiçoado. Foram criadas ferramentas incorporadas a ele, que geram diversos arquivos (pacote de arquivos DIGI) contendo dados oscilográficos e estatísticos sobre a solda realizada, exemplificados nas Figuras 5 e 6.

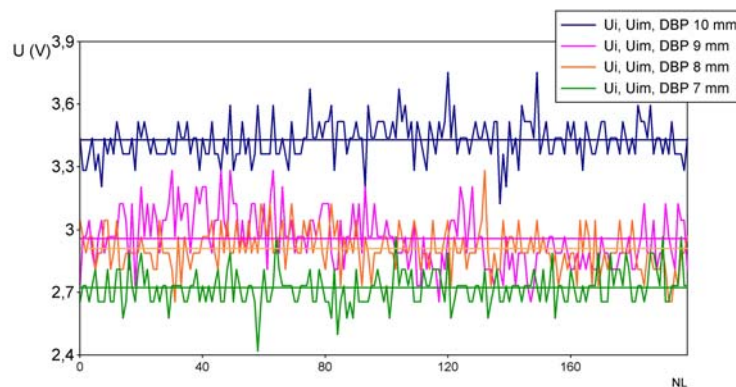


Figura 5 - Dados de U_i , refletindo a DBP

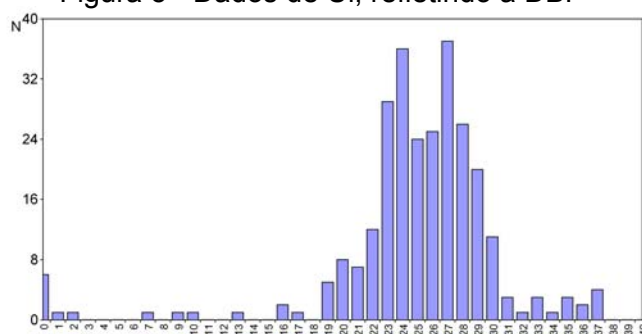


Figura 6 - Histograma de tempos da fase de arco aberto, refletindo a regularidade do tempo de arco. N é o numero de ocorrências dentro do período monitorado.

O gráfico de $U_x I$ também pode ser utilizado para avaliação da estabilidade, como mostra a Figura 7, onde estão dois resultados diferentes.

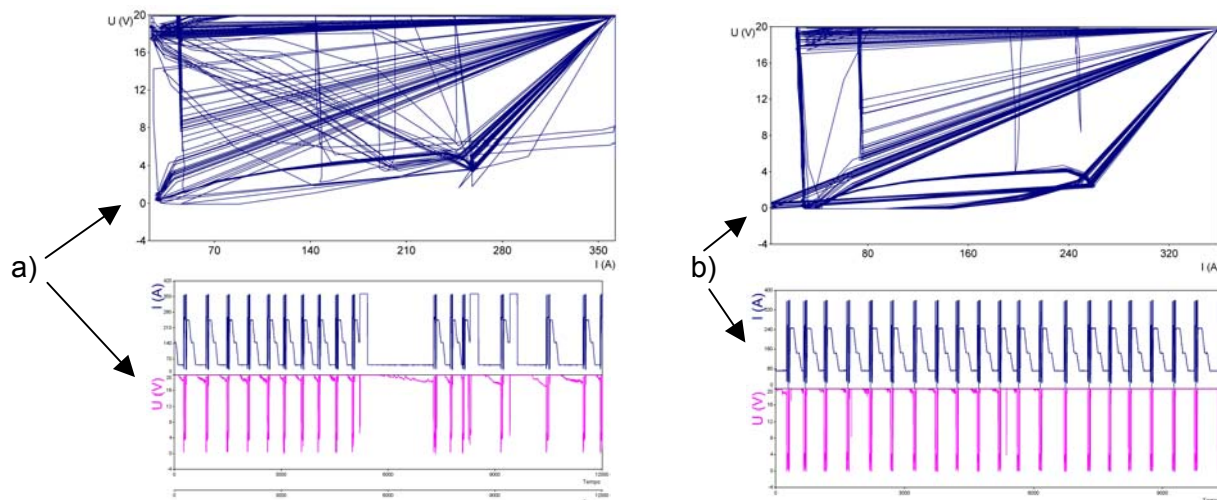


Figura 7 - Gráficos de U por I, proporcionando uma avaliação da estabilidade do processo CCC. Em b) se encontra uma maior regularidade, o que é confirmado pelos oscilogramas correspondentes.

Para a determinação da iminência de reignição do arco, o fator K_{rab} também é fundamental. Ele foi descrito por Gohr [2] e representa percentualmente um valor de resistência em relação a R_i . Quando este valor for atingido pela resistência instantânea, lida continuamente, é determinada a descida da corrente, início da fase 4.

4.2 Estudos sobre a penetração

Uma das vantagens e funções atribuídas aos sistemas MIG/MAG TMCCC é o controle da penetração, independentemente da velocidade de material. A corrente na fase de arco é grande candidata à responsável pela determinação da penetração. No entanto, pequenas alterações na corrente de arco acarretam em grandes alterações no volume da gota fundida, tendo com consequência direta a instabilidade da transferência [3].

Assim, foi decidido que se estudaria a penetração alterando-se o tempo da fase 5 e consequentemente, o volume da gota metálica.

Para isso, de todos os parâmetros e variáveis, apenas o t_{f5} foi alterado. O resultado mostrado abaixo, na Figura 8, revela maiores penetrações para maiores volumes. Em face disso, se levanta a hipótese de que, para maiores volumes, onde há um maior período de arco e maior tempo em corrente alta (I_{f5}), há um maior efeito de *vortex* [3], aumentando a eficiência na transferência de calor para o material de base, tanto pela gota, quanto pelo próprio arco.

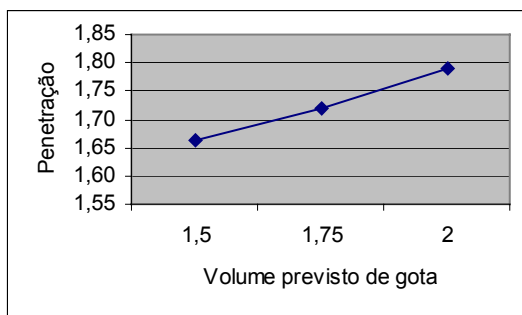


Figura 8 - Efeito do volume de gota (mm^3) sobre a penetração (mm).

4.3 Estudos sobre o Aporte Térmico

É citado na literatura, também, o menor aporte térmico de sistemas MIG/MAG TMCCC em relação ao processo convencional [10,12].

Foi realizada, então, uma comparação entre as potências geradas em ambos os processos. Visualiza-se na Figura 9 (potências geradas em cada processo) e na Tabela 1 (potências médias) a confirmação de que a potência é maior no processo convencional.

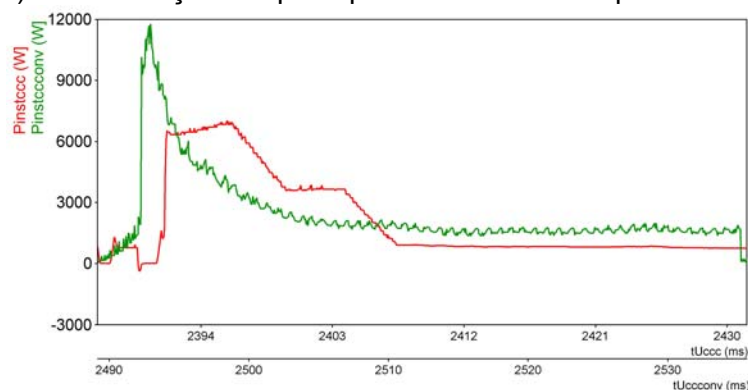


Figura 9 - Potência instantânea ao longo de um período de transferência, incluindo o curto-circuito. $P_{instccc}$: potência do CCC; $P_{instcccconv}$: potência do MIG/MAG convencional.

Mas, por outro lado, não é tão superior como sugere a literatura acima citada. O fato é que o processo MIG/MAG convencional apresenta menor eficiência que o MIG/MAG TMCCC. Explica-se: no primeiro, depois de formada a gota, a corrente continua obedecendo à tensão, se mantendo em um nível onde há sobreaquecimento da gota e vaporização metálica (50 % maior [12]). No segundo, a corrente é controlada, ou seja, depois de formado o volume de gota, a corrente é reduzida a um nível onde há menos sobreaquecimento e

Tabela 1 - Tabela das potências médias nos tempos das duas figuras anteriores, no tempo de arco e no período de uma transferência de gota.

Processo	Potência média (W)
MIG/MAG convencional	2397
CCC	2116

conseqüente menor desperdício de energia por evaporação e menos fumos. Ou seja, teoricamente, também o calor levado à peça pela gota seria menor.

4.4 Determinação do sistema de controle da regularidade da transferência metálica

O CCC utiliza o sinal de tensão U_i , lido no mesmo instante que R_i , para determinação da DBP. Aqui é importante que o sinal seja adquirido num patamar estável de tensão, fornecendo um reflexo mais confiável da DBP.

Assim, através de ensaios robotizados, foi gerada a correlação entre U_i e DBP, para a faixa de DBP abordada no trabalho. Para cada U_i (DBP), foi encontrado o tempo da fase 5, tf_5 , a fim de se manter o mesmo volume fundido. Esta correlação é carregada no *software* de controle, que, então, gera uma curva de tf_5 por U_i , a qual ele utiliza para o controle.

4.5 Testes em chanfros

Estando o CCC disponibilizado, partiu-se para os testes semi-automáticos em corpos de prova chanfrados, simulando a situação real. Logo na primeira solda, após algumas instruções do autor, o soldador realizou um passe de raiz visualmente aceitável, confirmando a literatura, no que tange à facilidade. O nível de respingos foi muito baixo, praticamente inexistente em comparação com ER e MIG/MAG convencional, ocorrendo apenas em rápidos e esparsos momentos de clara instabilidade, não sendo, como nos outros dois, inerentes ao processo. Naturalmente, se efetuaram pequenas regulagens nas variáveis, o que era esperado quando se passasse da solda robotizada à solda semi-automática.

De nada adiantariam as vantagens de estabilidade, se a solda não resultasse num passe de raiz geometricamente aceitável. A foto da Figura 10, seção transversal de um passe de raiz realizado semi-automáticamente pelo CCC, evidencia que esses requerimentos são preenchidos. Na mesma Figura, vê-se a geometria comumente encontrada em um passe de raiz com ER celulósico [15], com mordeduras e baixo ângulo de transição θ .

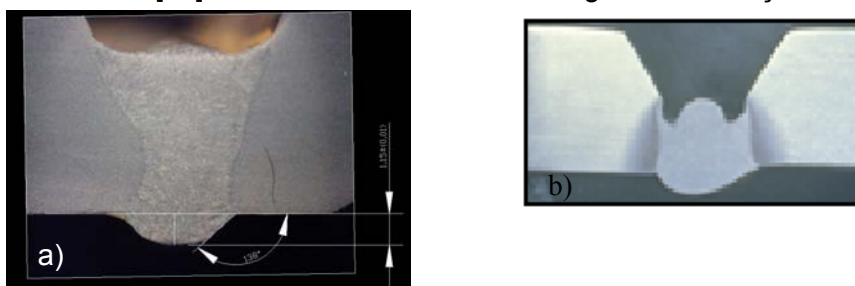


Figura 10 - Geometria da seção transversal de: a) um passe de raiz executado com o CCC e b) o passe de raiz normalmente resultante do ER celulósico [15].

É notável o alto ângulo de transição θ , representando maior resistência à fadiga [17].

Adicionadas às comparações de produtividade entre ER e MIG/MAG convencional, realizadas por Baixo [18], as realizadas preliminarmente entre o ER e CCC confirmaram o ganho que pode ser conseguido neste quesito, ao se substituir o processo atual por um semi-automático, como mostra a Tabela 2. A corrente média de soldagem, para os dois processos, ficou em torno de 120 A.

Tabela 2 - Comparação preliminar entre o CCC e o ER celulósico. Tempos para um passe de raiz de 350 mm de comprimento, na posição plana.

Processo	Tempo para raiz de 350 mm, posição plana
ER celulósico	4 min
CCC	2 min 6 s

Em relação ao nível de respingos a diferença é muito clara, como mostra a Figura 11.

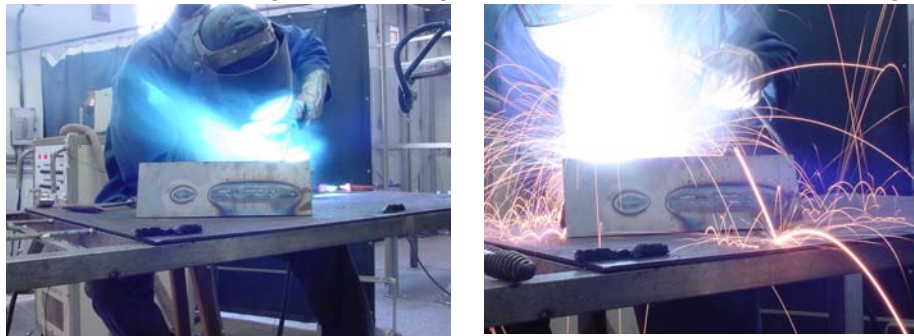


Figura 11 - Avaliação visual do nível de respingos de cada processo, na mesma operação:
a) CCC e b) ER celulósico.

Observou-se, também, que o tempo de treinamento foi maior para o ER. Além disso, é válido mencionar o depoimento do soldador, que relatou a facilidade de se realizar o passe de raiz e o maior conforto, devido à redução de respingos, propiciada pelo CCC.

5. ENSAIOS PRELIMINARES COM CO₂ PURO

Foram realizadas experiências com CO₂ puro, partindo-se dos valores do CCC. O objetivo buscado foi a estabilidade do arco, para apenas uma DBP. Num processo de tentativa e erro, foi alcançada uma situação regular, como mostra o oscilograma da Figura 12. O diâmetro de gota, no entanto, foi considerado alto. Numa tentativa de reduzi-lo, não foi possível encontrar outra situação estável, e não se deu prosseguimento a esse intuito. Ressalta-se que essa interrupção ocorreu por escassez de tempo, sendo a viabilização do CCC para o CO₂ puro um dos passos a serem seguidos.

Uma boa perspectiva foi avistada na comparação de respingos entre o CCC e o MIG/MAG convencional por curto-circuito, reproduzida também na Figura 12 abaixo.

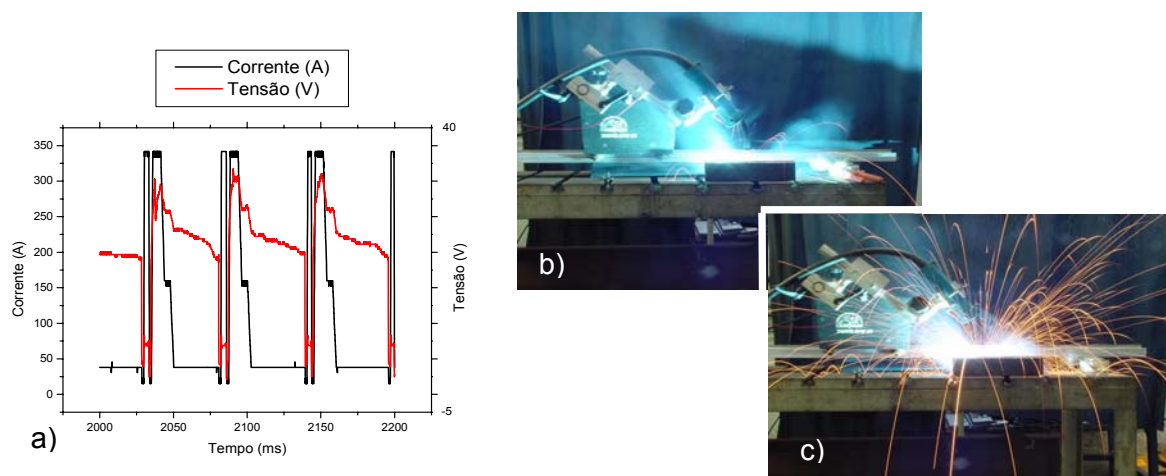


Figura 12 - a) Oscilograma do CCC, mostrando regularidade na transferência metálica, para a regulagem para CO₂ atingida e comparação da geração de respingos para b) CCC e c) MIG/MAG convencional, ambos com CO₂ puro como gás de proteção.

6. CONCLUSÕES

Numa avaliação dos resultados, conclui-se que a aplicação do CCC para o passe de raiz na solda de tubulações petrolíferas em substituição ao ER é, potencialmente, técnica e economicamente recomendável. Naturalmente, para que isso se concretize, é necessário um trabalho junto intenso aos engenheiros das empresas construtoras destas *pipelines*, seus clientes e, por último, mas não menos importante, junto aos soldadores, em aplicações em campo. Ainda é necessária a validação para a posição 5G, sendo que resultados de testes preliminares nas posições 3G (vertical descendente) e 4G (sobre-cabeça) indicaram boa factibilidade. O aperfeiçoamento está em curso no LABSOLDA.

As ferramentas criadas para análise do processo (pacote de arquivos DIGI) consistem num grande salto, fazendo parte de uma metodologia para o desenvolvimento, expansão e evolução do CCC. Aplicações do CCC em atmosfera de CO₂ tem boas perspectivas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] EASSA, H. E. et al. A High Performance Welding Power Source and its Application. **IEEE**. p. 1241-1244. 1983.
- [2] GOHR JR, R. Novos métodos de controle da soldagem MIG/MAG. 2002. 138 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- [3] BAIXO, C. E. I. **Estudo da soldagem MIG/MAG pela técnica hiperbárica a seco**. 1999. 169 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- [4] STENBAKCA, N.; PERSSON, K. Shielding gases for Gas Metal Arc Welding. **Welding Journal**, Miami, v. 8, n. 11, p. 41-47, nov. 1989.
- [5] KVASOV, F. V. Special Features of Mechanized Welding with Controlled Electrode Metal Transfer. **Welding International**. v. 14, n. 2, p. 158-161. 2000.
- [6] STAVA, E. K. A New, Low-Spatter Arc Welding Machine. **Welding Journal**. p. 25-29, Jan. 1993.
- [7] MARUYAMA, T. et al. Current Waveform Control in Gas Shielded Arc Welding for Robotic Systems. **Kobelco Technology Review**. n. 18, p. 10-14, Apr. 1995.
- [8] WOHLFAHRT, H. et al. Metal inert gas welding of magnesium alloys. **Welding and Cutting**, Duesseldorf, v. 55, n. 2, p. 80-84, fev. 2003.
- [9] MILLER'S new, software driven RMD process overcomes short circuit MIG limitations. **MILLER NEWS RELEASES**. Appletown, jan. 2004. Disponível em www.millerwelds.com Acesso em mar. 2004
- [10] DERUNTZ, B. D. Assessing the Benefits of Surface Tension Transfer® Welding to Industry. **Journal of Industrial Technology**. v. 19, n. 4, p. 2-8, Aug. 2003 to Oct. 2003.
- [11] CHOI, S. K. et al. Dynamic Simulation of Metal Transfer in GMAW. **Welding Journal**, Miami, v. 77, n. 1, p. 38-51, Jan. 1998.
- [12] STAVA, E. K. et al. Das GMAW-STT-System: Ein Fortgeschrittenes Schweißsystem für Wurzelrohrschweißen und Blechschweißen. **DVS**. p. 71-79.
- [13] HSU, C.; STAVA, E. Wire Extension Measurement During Short Circuiting Metal Transfer. In: Metal Welding and Applications. 1999. **Proceedings of the Interdisciplinary Symposium**. Met Soc, 1999. p. 351-358.
- [14] SCHUZ, T. Ein Prozessfehler brachte die zuendende Idee. **TU Berlin Medieninformation**. Berlin, n. 199, oct. 2000. Disponível em www.tu-berlin.de Acesso em 25/11/2004.
- [15] **THE AUTOWELD SYSTEM**, Relatório Técnico. Cleveland, 1999. 6 p.
- [16] PELLIZZARO, F. **Relatório de Bolsista ANP**. Florianópolis, ago. 2002. 7 p.
- [17] ALBUQUERQUE, M. C. S. et al. Resistência à fadiga de juntas soldadas de tubulações de aço utilizadas em exploração e transporte de petróleo. In: 2. Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. 2003. Rio de Janeiro. **Anais**. 2003. CD. Adobe Acrobat Reader.
- [18] BAIXO, C. E. I. **Relatório de Atividades**. Florianópolis, 02/06/2002. Relatório 42 p.