



CARACTERIZAÇÃO DE FONTES COMO MEIO DE TRANSPORTABILIDADE DE PROCEDIMENTOS DE SOLDAGEM

Américo Scotti

Pesquisador do Centro Tecnologia Rio - White Martins Gases Industriais
yco@praxair.com – Duque de Caxias, RJ, Brasil

Resumo. Metodologias, procedimentos e um banco de ensaio para caracterizar equipamentos de soldagem são propostos e descritos. Esta caracterização é baseada no levantamento do comportamento estático e dinâmico do sinal de saída das fontes. Para avaliar os resultados, 4 equipamentos diferentes foram submetidos aos ensaios propostos. Os resultados foram avaliados pelo comportamento das soldagens com transferência por curto-circuito realizadas com estes equipamentos. Concluiu-se pela adequabilidade do método, tornando-se um meio para transportabilidade de procedimentos de soldagem entre diferentes fontes, além de ser uma ferramenta para controle de qualidade.

Palavras-chaves: Soldagem, fontes, carregamento estático, indutância, normalização

1. INTRODUÇÃO

Fontes de energia para soldagem a arco voltaico podem ser consideradas simplesmente como o ponto de alimentação da energia elétrica ao processo. Existem três requisitos básicos para uma fonte de energia para soldagem a arco:

- produzir saídas de corrente e tensão a níveis e com características adequadas para o processo de soldagem (baixa tensão e alta corrente);
- permitir o ajuste adequado dos valores de corrente e/ou tensão para aplicações específicas;
- controlar a variação e a forma de variação dos níveis de corrente e/ou tensão de acordo com os requerimentos do processo de soldagem e da aplicação.

Adicionalmente, o projeto de uma fonte para soldagem precisa atender outros requisitos, tais como:

- estar em conformidade com normas e códigos relacionados com a segurança e funcionalidade;
- apresentar resistência e durabilidade à ambientes fabris, com instalação e operação simples e seguras.

Entretanto, o desempenho dos processos de soldagem (qualidade e produtividade) é enormemente influenciado pelas características das fontes de energia. Um mesmo conjunto de

parâmetros que teria comprovado sua eficácia num certo equipamento pode não demonstrar o mesmo desempenho quando ajustado em um outro equipamento. Isto se deve às diferenças construtivas das fontes, que afetam o desempenho das mesmas. A transportabilidade de um procedimento usado com sucesso em um equipamento pode ficar prejudicada. Desta forma, um maior conhecimento das características e princípios de funcionamento das fontes de energia torna-se condição necessária.

Os comportamentos estático e dinâmico do sinal de saída são duas características importantes que determinam o funcionamento de uma fonte de soldagem. A primeira característica é determinada pela curva corrente-tensão (conhecida como Característica Estática da Fonte - CEF) para cada ajuste (regulagem) de trabalho possível na fonte. A segunda característica é influenciada pela indutância da fonte, correspondendo ao tempo necessário gasto pela fonte para permitir alterações das condições de regime (resposta dinâmica).

A determinação destas características das fontes possibilita não só um melhor entendimento do processo de soldagem, como também intercambiar parâmetros entre equipamentos com maiores chances de acerto. Uma padronização desta determinação permite ainda aplicar estes dados em controle de qualidade de fabricação e manutenção dos equipamentos. Desta forma, neste trabalho propõe-se o desenvolvimento e avaliação de uma sistemática para caracterização de fontes de soldagem.

2. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

2.1 Determinação da indutância

A indutância, medida em Henry (H), de uma fonte de soldagem trabalhando no modo tensão constante pode ser obtida colocando-se duas resistências em paralelo na saída da fonte, como esquematizado na Fig. 1. Com a chave em aberto, uma corrente I_i vai circular no circuito, em função da tensão da fonte e da resistência $R1$. Ao se fechar a chave "A", as duas resistências ficam em paralelo, de forma que a resistência equivalente (R_e) torna-se menor e a corrente que passa a fluir (I_f) aumenta de valor. Esta condição do circuito pode ser representada pela Fig. 2, onde L é a indutância característica da fonte. Por se tratar de um circuito indutivo-resistivo, qualquer variação de corrente vai gerar uma força contra-eletromotriz (f.c.em), provocando um atraso no crescimento da corrente. Assim, para cada ajuste de tensão na fonte sob ensaio, o oscilograma da corrente e da tensão tenderá para a forma esquematizada na Fig. 3 (antes e após o fechamento da chave "A").

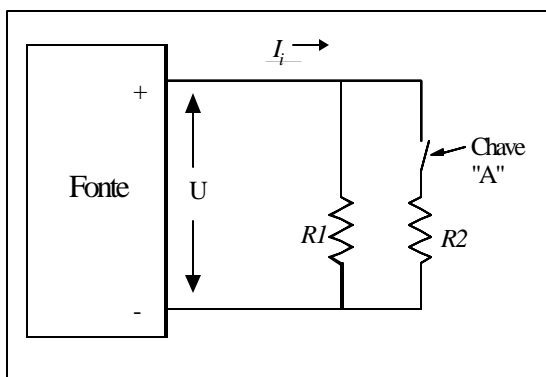


Figura 1 - Circuito proposto para obtenção do valor de indutância em regime de carregamento resistivo

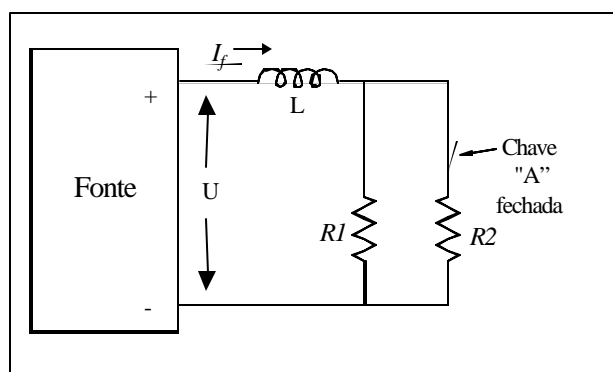


Figura 2 - Representação esquemática do circuito da Fig. 1 para a chave "A" fechada (menor resistência)

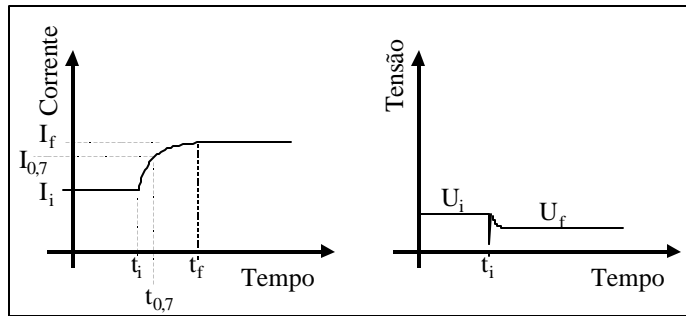


Figura 3 - Representação esquemática dos oscilogramas de corrente e tensão durante o processo de fechamento da chave “A”

A corrente instantânea circulando no circuito em função do tempo, $i(t)$, durante o período de crescimento da corrente (de t_i a t_f), pode ser calculada como a somatória da corrente devido a f.c.em com a corrente devido a resistência equivalente do circuito quando a chave é fechada, como mostra a Eq. 1 (Miranda, 1998).

$$i(t) = \left[I_i - \frac{U_f}{Re} \right] e^{-\ell \cdot \Delta t} + \frac{U_f}{Re} \quad (1)$$

onde Δt é a diferença de valor do tempo no momento da medida da corrente instantânea e no momento inicial da subida da corrente (t_i) e ℓ é uma relação entre a resistência e a indutância do circuito ($\ell = \frac{Re}{L}$). Considera-se que quando $i(t)$ atinge um valor próximo a 70 % do valor de I_f , a corrente já está atingindo o tempo de estabilização ($t_{0,7}$). Desta forma, define-se o parâmetro $I_{0,7}$ como $i(t_{0,7})$ e pode-se, a partir da Eq. 1, calcular a indutância.

A montagem experimental proposta neste trabalho, baseada no esquema da Fig. 1 e ilustrada na Fig. 4, constitui-se basicamente de um tubo de aço inoxidável com refrigeração interna por água corrente, proporcionando uma resistência média de 0,23 Ω .

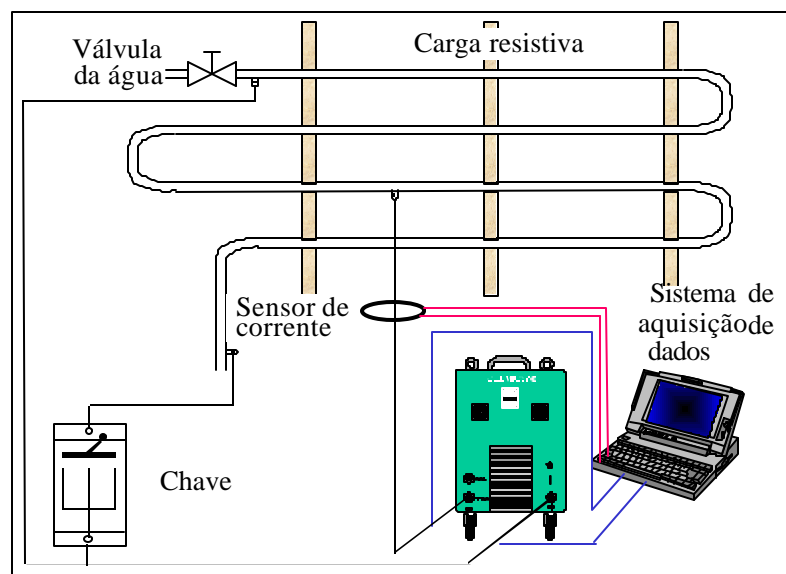


Figura 4 - Esquema da montagem experimental para medição de indutância

de fontes de soldagem

O sistema de aquisição de dados (conversor A/D) mostrado na Fig. 4 deve ser capaz de coletar os valores instantâneos de corrente e tensão a uma taxa mínima de 5 kHz por canal. Deve também exportar os dados (para um visor com recursos de cursor e "zoom" ou arquivo de dados) de tal forma que os valores de $i(t_{0,7})$, I_i , D e U_f possam ser medidos com exatidão.

O ensaio deve ser iniciado com a chave na posição aberta (resistência maior). Deve-se ajustar a tensão de ajuste e indutância na fonte e, em seguida, deve-se acionar a potência da fonte, esperando-se até estabilização. Então, a chave deve ser repentinamente fechada (reduzindo a resistência), esperando-se novamente até a estabilização. Durante todo o período de ensaio, deve-se adquirir os valores de tensão e corrente. Cinco ensaios, no mínimo, são feitos para cada ajuste de indutância, para se tirar uma média.

2.2 Determinação da característica estática

Característica Estática de um equipamento é definida como o comportamento em regime do sinal de saída do mesmo, quando submetido a cargas variadas (resistivas, capacitivas ou indutivas). Este comportamento é quantificado e visualizado em gráficos, onde na abcissa se encontra a corrente e na ordenada se encontra a tensão. Da mesma forma das fontes genéricas, as fontes de soldagem também se identificam por características estáticas, classificando-se como Fontes do Tipo Tensão Constante e Fontes do Tipo Corrente Constante (também conhecidas como fontes tombantes).

Considera-se uma fonte de soldagem como Corrente Constante quando apresenta uma variação maior que 200 mV/A na faixa de 20 a 30 Volts, enquanto uma fonte é dita Tensão Constante quando apresentar variação menor do que 50 mV/A em qualquer condição de regulagem. Estas variações são devidas às limitações construtivas intrínsecas ao eletromagnetismo. Para cada ajuste da tensão existe uma curva, ou seja, uma característica estática.

Nas fontes do tipo tensão constante, é possível ajustar a tensão, enquanto nas fontes do tipo corrente constante, ajusta-se a corrente. Este ajuste pode ser contínuo, quando a posição das curvas características são ajustadas por pequenos incrementos, ou por escalões ("taps"), no qual este incremento é maior e não permite a fixação de valores intermediários a cada escalão.

O levantamento das características estáticas das fontes (CEF) de qualquer equipamento pode ser feito medindo-se os pares de corrente e tensão em função da variação da carga. Esta variação de carga pode ser tanto a própria variação da distância porta-eletrodo/peça (fontes corrente constante), como a variação da velocidade de alimentação do eletrodo (fontes tensão constante). Entretanto, devido à dificuldade de se manter o arco estável quando se variam muito os parâmetros, um método mais preciso é usar cargas resistivas puras ao invés do arco.

A bancada experimental proposta e descrita neste trabalho para levantamento de Características Estáticas de Fontes é basicamente a mesma usada para medir a indutância, exceto pela ligação do cabos, como mostra a Fig. 5. No caso, usa-se o tubo de aço inoxidável como uma única resistência e a variação da carga se dá exatamente pela mudança da posição de um dos cabos. O sistema de aquisição de dados (conversor A/D), ao contrário do procedimento para medir indutância, precisa apenas calcular os valores médios da tensão e corrente.

O ensaio também deve ser iniciado com a chave na posição aberta (resistência infinita) e com o cabo móvel na posição de maior resistência. Deve-se ajustar a tensão de ajuste na fonte no menor valor e, em seguida, aciona-se a potência da fonte. Fecha-se a chave, esperando-se um pouco (aproximadamente 20 s) até estabilização e faz-se ou congela-se a medida de tensão e corrente, anotando-se o resultado. Abre-se a chave e muda-se para outro ajuste de tensão (de

maior tensão de ajuste) para o qual se queira determinar a característica estática. Repete-se para todos ajustes de tensão desejados.

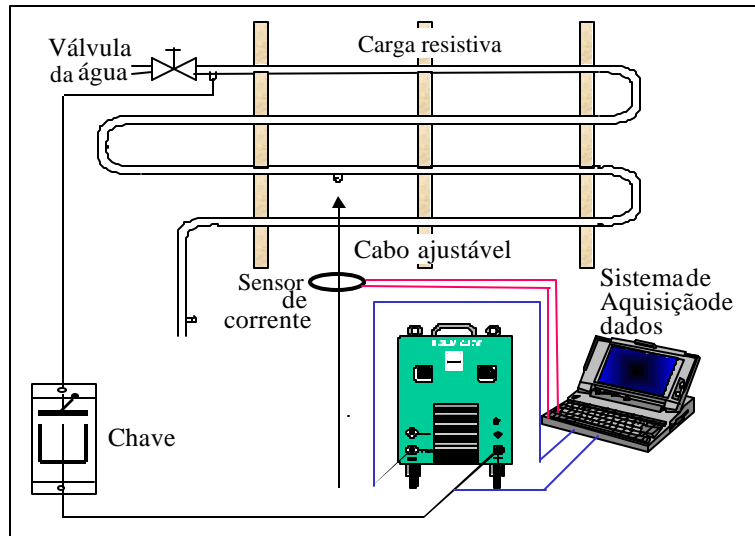


Figura 5 – Esquema da montagem experimental para levantamento da Característica Estática de fontes de soldagem

Deve-se repetir sucessivamente o procedimento, colocando-se o cabo móvel em outras posições, no sentido das resistências menores. Deve-se determinar os pares tensão e corrente para pelo menos 6 valores de resistência (posições do cabo móvel), mas tomando o cuidado de se fazer medidas razoavelmente equidistantes e que cubram toda a faixa operacional possível para a máquina (para valores menores de resistência não se conseguirá valores baixos de corrente para ajustes com tensões de trabalho maiores).

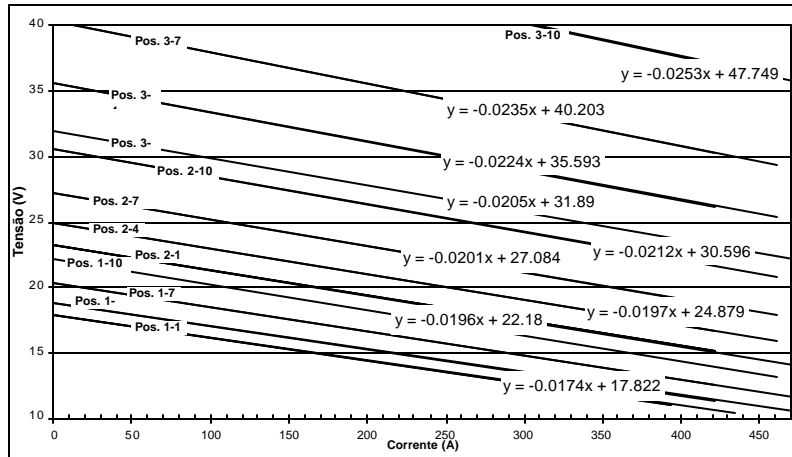
3. AVALIAÇÃO DO MÉTODO

Para avaliar o método proposto acima, foram caracterizados 3 equipamentos convencionais (denominados de A, B e C) e um eletrônico (denominado de E). As fontes não estão aqui identificadas pelos nomes comerciais pois o interesse é avaliar a metodologia e não o equipamento. Os equipamentos que utilizam fontes com comando eletromagnético (convencionais) são projetados para proporcionarem capacidades de corrente nominal (I_n) diferenciadas ($I_n(A) > I_n(B) > I_n(C)$) e possuem ajuste de tensão por escalão (chave comutadora), sendo de 30 posições para o A, 20 posições para o B e 14 posições para o C. Todos eles permitem o ajuste de indutância a dois níveis. Já o equipamento E se utiliza de comando eletrônico e a tecnologia de inversora, com capacidade de corrente nominal semelhante à do equipamento C. O ajuste da indutância é feito continuamente.

As Figs. 6 a 9 ilustram curvas das características estáticas das fontes. Pode-se notar uma tendência das inclinações das características estáticas (CEF) tornarem-se menores para os equipamentos de maior corrente nominal e para ajustes em menores valores de tensão. Já o equipamento E, devido ser de controle eletrônico, demonstra um CEF quase plana (e até poderia ser totalmente plana, se fosse o propósito do projetista). Mas é importante notar que os equipamentos A e B apresentam um maior número de posições de ajuste, com menor espaçamento entre elas, e uma maior faixa operacional de tensão. Naturalmente, o equipamento E consegue com seu ajuste contínuo uma maior liberdade de ajuste de tensão. No caso específico, tanto o equipamento E, como o equipamento C, apresentam valores de tensão em vazio bem menores, o que os tornam adequados para soldagens de arames mais

finos.

As indutâncias medidas para estes equipamentos estão apresentadas na Tabela 1. Para ilustrar o efeito da indutância, a Fig. 10 mostra valores da taxa de subida da corrente (DI/Dt) durante soldagens com curto-circuito realizadas com estes equipamentos. Pode-se perceber a nítida tendência da queda de DI/Dt com o aumento do valor da indutância. Mas pode-se perceber também que a amplitude de DI/Dt é maior para o equipamento E, justificável pelo fato da indutância em fones eletrônicas serem na verdade um controle da corrente, não



obedecendo sozinho as leis do eletromagnetismo.

Figura 6 – CEF do equipamento A

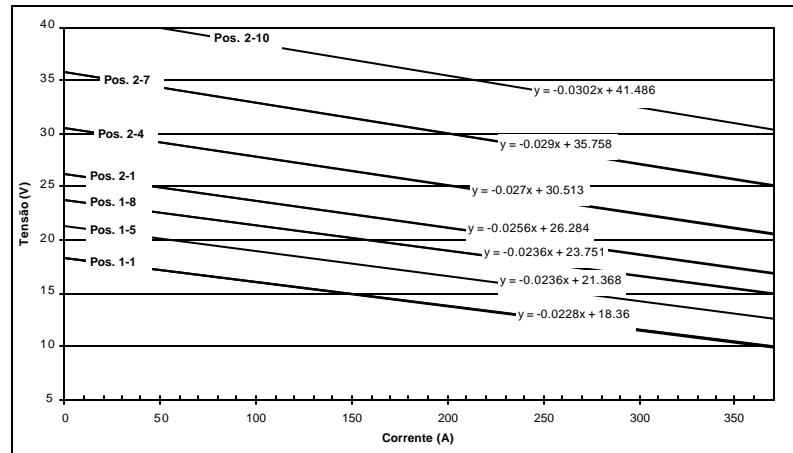


Figura 7 – CEF do equipamento B

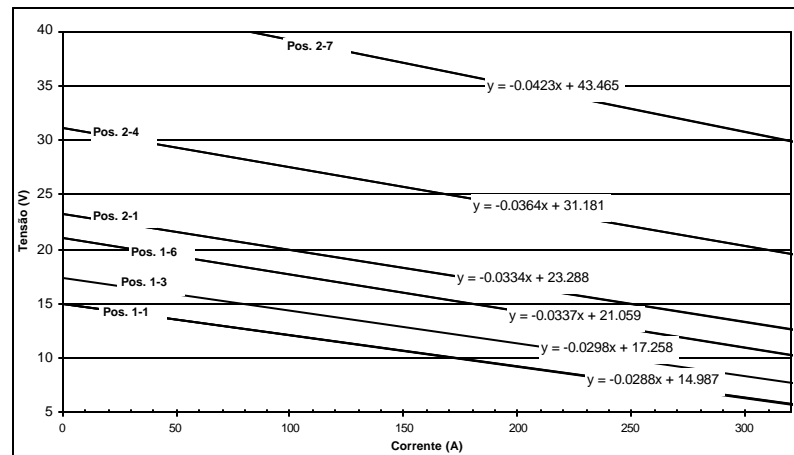


Figura 8 – CEF do equipamento C

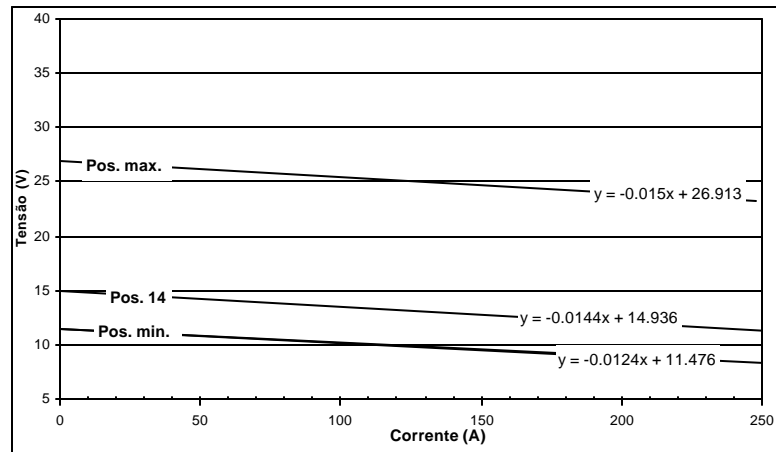


Figura 9 – CEF do equipamento E

Tabela 1 – Valores de Indutância média, em Henrys, medidos conforme procedimento proposto

| Fonte | Ajuste de Indutância. | Indutância Média (H) | Desvio Padrão |
|-------|-----------------------|----------------------|---------------|
| A | Maior | 0.00029 | 0.00001 |
| | Menor | 0.00016 | 0.00001 |
| B | Maior | 0.00026 | 0.00003 |
| | Menor | 0.00016 | 0.00002 |
| C | Maior | 0.00034 | 0.00002 |
| | Menor | 0.00016 | 0.00002 |
| E | 1 | 0,00011 | |
| | 3 | 0,00016 | |
| | 5 | 0,00034 | |
| | 7 | 0,00079 | |
| | 9 | 0,00131 | |

Outros resultados também mostram boa coerência entre o valor da indutância e a frequência de curtos-circuitos, o que corrobora com a aplicabilidade do método proposto. Em função disto, uma norma interna foi elaborada e aprovada (WM, 2000). Assume-se, a partir da utilização desta norma, que a caracterização de equipamentos de soldagem possa servir ao pessoal de assistência técnica, de mercado e de vendas, não só para emissão de “datasheet” técnico detalhado das características de seus equipamentos, mas também para transferir as condições de soldagem de um equipamento para outro, emitir laudos de conformidade pós reforma de equipamentos e criar um sistema de controle de qualidade de expedição de equipamentos.

4. CONCLUSÃO

A bancada, as metodologias e os procedimentos propostos demonstraram capazes de caracterizar equipamentos de soldagem quanto ao comportamento estático e dinâmico do sinal de saída das fontes. A sensibilidade dos ensaios leva a uma caracterização capaz de facilitar a usuários a transportabilidade de procedimentos de soldagem, além de se tornar uma ferramenta de controle de qualidade.

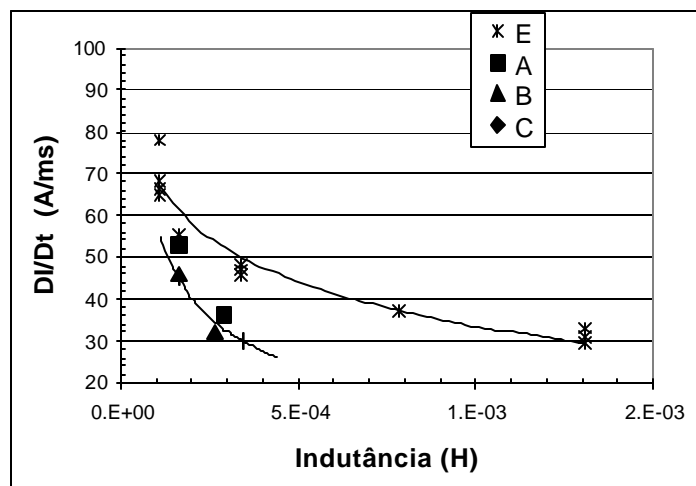


Figura 10 – Variação da taxa de crescimento de corrente durante soldagem por curto-circuito em função do ajuste da indutância nos equipamentos

Agradecimentos

O autor gostaria de expressar o agradecimento à empresa White Martins Gases Industriais, pela permissão para publicação dos dados, e ao engenheiro Eloi Angelo M. Corso, pela ajuda nos ensaios práticos. Também gostaria de agradecer ao Prof. Hélio C. de Miranda, doutorando na Universidade Federal de Uberlândia, pelas discussões sobre o tema.

REFERÊNCIAS

- WM, 2000, Fontes de Soldagem – Ensaio sob Carga Resistiva de Fontes do Tipo Tensão Constante, White Martins Gases Industriais, norma interna WM-ME-2700, Agosto 2000, 12 p.
- MIRANDA, H.C., Influência da Indutância na Soldagem MIG/MAG na Posição Sobrecabeça, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 25 de Fevereiro de 1999.

POWER SOURCE CHARACTERIZATION AS A WAY TO INTERCHANGE WELDING PROCEDURES

Abstract: A methodology, procedures and a test bench are proposed, and described, in this work for welding equipment characterization. This characterization is based on static and dynamic behavior determination of the power source output signals. For the overall outcome evaluation, four different pieces of equipment were submitted to the proposed tests. The results were validated by welding in short-circuiting mode with the four pieces of equipment. The methodology showed to be adequate and prone to be an important tool for interchanging welding procedures between different equipment. In addition, this methodology also showed to be able to play an important role on quality control.

Keywords: Welding, power sources, static loading performance, inductance, standardization