

UMA METODOLOGIA PARA COMPARAÇÃO ENTRE SOLDAGENS AUTOMÁTICAS E MANUAIS UTILIZANDO ELETRODOS REVESTIDOS

**Leonello, Antenor Filho
Costa, Sebastião Carlos**

Escola Federal de Engenharia de Itajubá-MG, Depto de Produção
Av. BPS, 1303 – Itajubá-MG – CEP 37.500.000
e-mail: Costa@iem.efei.br

***Resumo.** Neste trabalho é proposto numa primeira fase uma metodologia para comparação entre soldagens automáticas e manuais baseado na observância da estabilidade do arco obtida da análise do comportamento da tensão dinâmica do arco em soldagens com eletrodos revestidos. Numa segunda etapa é utilizado a mesma metodologia para, através de soldagens automáticas, fazer uma comparação da estabilidade do arco quando são utilizados três diferentes classes de eletrodos revestidos, rutilico, básico e celulósico.*

***Palavras-chave:** Coeficiente de variação, Soldagem, Estabilidade de arco*

1. INTRODUÇÃO

Sabe-se que a estabilidade do arco é um fator importante no controle da soldagem. Esta estabilidade é influenciada por vários fatores, entre eles, o modo de transferência de material de adição, os tipos de gases, consumíveis, etc. Estas modificações no comportamento do arco influenciam no modo de soldabilidade dos materiais (propriedades auferidas pela solda) principalmente aquelas relacionadas com a penetração, a quantidade de respingos, os ciclos térmicos da solda, a posição de soldagem, etc.

Muitos estudos tem sido dedicados à análise de estabilidade de arco no que concerne a vários aspectos, como por exemplo no estudo de novos gases (misturas) de proteção, desenvolvimento de novos eletrodos, análise de desempenho de fontes de soldagem, etc. Face ao uso cada vez mais comum de sistemas de aquisição de dados computacionais, tem se considerado que a análise da característica dinâmica da tensão de soldagem é um dos mais efetivos neste sentido.

É conhecido que a melhor forma de se avaliar um arco em soldagem é pelo controle de seu comprimento de arco. Sabe-se também que o comprimento do arco é proporcional a tensão de soldagem, isto é, quanto mais próximo o consumível estiver soldando do material base, menor será o valor da tensão de soldagem correspondente. Obviamente que nem sempre o registro puro e simples do valor da tensão num instante qualquer traduz o comprimento do arco real, já que outros tipos de influência também ocorrem, como por exemplo o tipo de transferência de gotas. Tais variações são importantes para o estudo da soldagem, porém não se adequam muito bem no caso da avaliação do desempenho de equipamentos onde se pretende observar a sua resposta à estas perturbações.

Várias formas de análise tem sido consideradas a este respeito e principalmente aquelas que abordam novas ferramentas matemáticas e estatísticas. Devido à dificuldade de se filmar o arco voltaico, análises do comportamento do arco através do estudo estatístico das características dinâmicas da tensão de soldagem tem sido freqüentemente utilizadas por autores como Shinoda,(1989), Brandi(1989) e outros. Muitos autores tem considerado a análise de freqüência de curtos para determinar os modos de transferências e consequentemente estabilidade do arco. Outros como Chawla(1992) tem considerado o uso de transformadas rápidas de Fourier para análise da estabilidade do arco quando do uso de diferentes tipos de gases em soldagens MIG/MAG. Santos(1995) por outro lado utilizou análise de modos de transferências para comparação de fontes de energia. Como se nota muitos trabalhos tem sido desenvolvidos nesta área, porém observa-se poucos trabalhos dedicados a análise de desempenho de equipamentos e análise de eletrodos revestidos.

De uma forma geral pode-se afirmar que considerando a característica dinâmica da tensão, (registro das variações da tensão como uma função do tempo) quanto menor for o desvio padrão da tensão média de soldagem, o que implica em menor coeficiente de variação(σ/V_m), teoricamente melhor será a estabilidade do arco resultando em uma soldagem superior. Da mesma forma, poderíamos estender esta análise para a avaliação de desempenho de equipamentos caso submetêssemos este sinal a uma filtragem para eliminar perturbações no arco de soldagem.

Este trabalho procura utilizar novas ferramentas para análise da estabilidade do arco baseadas na análise de transformadas rápidas de Fourier para implementação de filtros digitais e sua aplicabilidade no estudo de desempenho de equipamentos automáticos e manuais, bem como análise do comportamento do arco quando da soldagem com eletrodos revestidos utilizando diferentes tipos de consumíveis.

2. METODOLOGIA DE ANÁLISE UTILIZADA PARA AVALIAÇÃO DE SOLDAGENS

A metodologia empregada para avaliação de soldagens utiliza técnicas de análise do coeficiente de variação da tensão de soldagem e utilização de filtros digitais para eliminação dos picos de tensão(Transformadas Rápidas de Fourier), típicas de transferências metálicas.

2.1 Coeficiente de Variação (CV)

A aplicabilidade da análise no controle da tensão via filtragem dos sinais no domínio da freqüência permite eliminar-se as interferências provocadas pelos tipos de transferências metálicas. O CV é um importante índice estatístico para análise de sinais flutuantes e mede a dispersão dos dados aquisitados em relação à média. Quanto menor for o seu valor, menor será a dispersão dos dados em relação à média. Portanto, um resultado ideal significa ter uma dispersão em relação à média muito pequena, o que significa dizer que a curva é estável, não tendo grandes oscilações e diferenças de amplitude e deste modo o CV tenderia a zero, que é o ideal. No caso da soldagem, de posse da característica dinâmica da tensão, que representa melhor a variação do comportamento do arco que a corrente, tal análise poderia ser feita para se avaliar a soldagem utilizando diferentes eletrodos, onde um menor CV(razão entre o desvio padrão e a média dos valores aquisitados) certamente garante uma melhor estabilidade do arco.

2.2 Utilização de filtragem digital

Os resultados obtidos para o coeficiente de variação, muitas vezes são mascarados pelos tipos de transferências que estão ocorrendo durante a soldagem, devendo portanto serem

eliminadas para ter-se um comportamento preciso da máquina de soldagem. Para ilustrar tal fato, observemos a Figura 1, onde se registra o comportamento dinâmico da tensão de soldagem em uma das janelas durante a aquisição de dados de uma soldagem qualquer realizada por simples deposição.

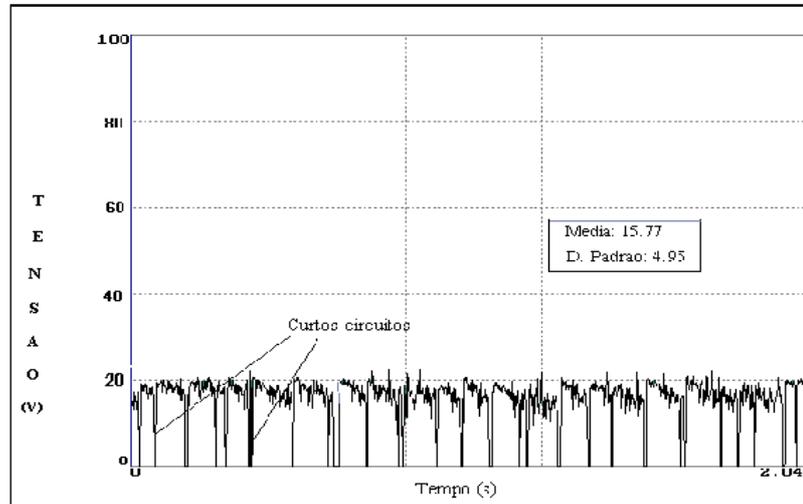


Figura 1-Variação da tensão para uma soldagem - CV=0,31

Neste gráfico notamos uma série de picos de tensão que representam curtos-circuitos ocasionados por variações nos modos de transferências de gotas. Estes picos influenciam no desvio padrão obtido e em consequência no coeficiente de variação, sem entretanto representar o desempenho.

Em função destas considerações, caso se deseje implementar um sistema eficiente para avaliação do comportamento de máquinas de soldagem, será necessário utilizar sistemas de filtragem que possam eliminar tais influências. Isto pode ser realizado através da utilização de filtros digitais obtidos através de transformadas rápidas de Fourier. A utilização de filtros passa baixa com frequência de corte pré-determinada pode eliminar tais desvios nos valores da tensão ocasionados por diferentes tipos de transferências, conforme pode ser visto na Figura 2. A frequência de corte utilizada foi de 4 Hz, sendo esta obtida pelo inverso de Δt entre dois picos máximos consecutivos dos curtos-circuitos (vide Figura 1). Observa-se com a filtragem, um comportamento mais constante da tensão e uma redução substancial no desvio padrão das amostras.

Com base nestas considerações poderíamos até mesmo admitir como sendo uma ótima soldagem aquela cujo coeficiente de variação fosse o mais próximo do valor zero, obtido através das filtragens digitais das características dinâmicas da tensão registradas em medições sucessivas ao longo do cordão de solda. Além disto, este sinal filtrado permite uma análise mais efetiva do desempenho de tipos diferentes de soldagens, como por exemplo na comparação entre aquelas realizadas de forma automática com aquelas realizadas manualmente. Esta será a metodologia aplicada neste trabalho e discutida a seguir.

3. BANCO DE TESTES

Para o desenvolvimento do experimento montou-se dois bancos de ensaios praticamente idênticos, sendo um para soldagem automática e outro para soldagem manual, conforme Figura 3.

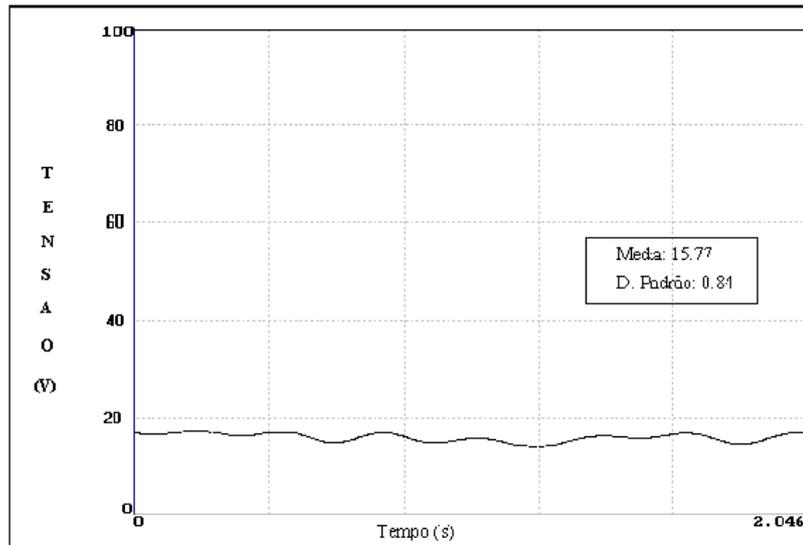


Figura 2- Característica dinâmica da tensão utilizando filtragem do sinal. Freqüência de corte 4Hz; CV=0.05.

A máquina de soldagem automática é composta por um motor de corrente contínua de 12V com redutor de 1:40 acoplado (Figura 3), um alicate porta eletrodos e uma fonte de tensão variável de 0 a 25 V com ajuste fino para controle de velocidade do motor de 12V.

O banco de ensaios para soldagem manual é o mesmo da soldagem automática, apenas substituindo-se a máquina automática pelo soldador.

Foi utilizado um sistema de aquisição de dados para monitorar as variáveis de tensão e corrente de soldagem. Para registrar estes valores, o sistema foi conectado a um divisor resistivo que transformará a tensão a ser medida (na faixa de 10 a 70V) em uma tensão menor que 5 Volts permitidos na entrada do conversor AD (analógico digital). Além disso, o sinal vindo do divisor resistivo também passará por um amplificador diferencial com a finalidade de rejeitar ruídos e acondicionar o sinal. Para se medir a corrente de soldagem foi utilizado um sensor por efeito Hall além de um amplificador diferencial por sua característica de alta rejeição a ruídos.

O sistema possui um gerador de FFT e filtros digitais que permite realizar atenuações de ruídos externos. A utilização de FFT permite decompor o sinal amostrado em suas componentes harmônicas, isto é, senóides e cossenóides de diversas freqüências. Feita esta decomposição podemos então através do espectro de freqüências do sinal amostrado proceder a avaliação dos sinais elétricos no domínio da freqüência. A técnica FFT permite a implementação de filtros digitais para posterior atenuação das freqüências indesejáveis e aplicação da transformada inversa para reconstituição do sinal no tempo.

Foram feitos 8 testes com cada tipo de revestimento de eletrodo (rutílico, básico e celulósico), em dois níveis (alto e baixo), variando-se o comprimento do arco(2 e 6mm), a polaridade(CC+ e CC-) e a corrente de soldagem (70 e 140 A). As soldagens foram do tipo simples deposição em corpos de prova de 150x40x12.5mm. O procedimento utilizado foi colocar os corpos de prova sobre o carrinho tipo tartaruga(Fig.3) e variar sua velocidade em 10 e 14cm/min. A aquisição dos dados de tensão e corrente era iniciada quando o comprimento do arco encontrava-se, na projeção, em 2 ou 6mm. Os dados obtidos foram colocados em tabelas, calculado os valores do C.V.e da energia e plotados gráficos do CV x H, mostrados e analisados no item 4.

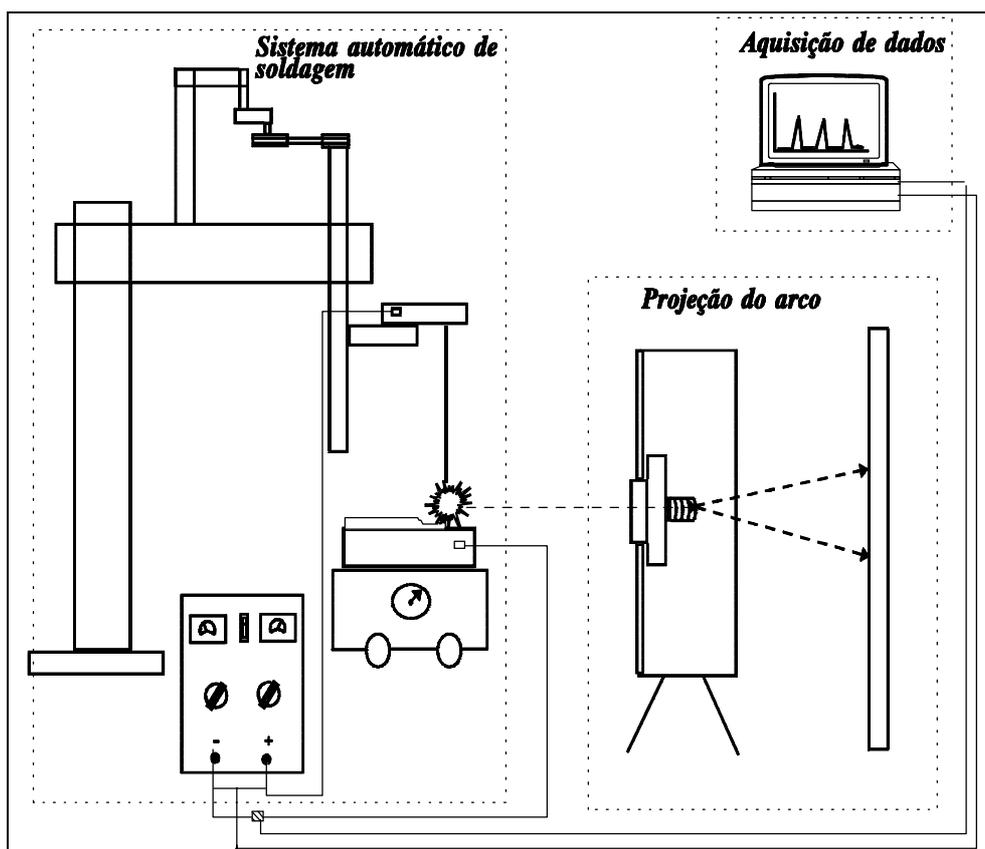


Figura 3-Banco de ensaios

4. RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISES

4.1 Comparação entre soldagem automática e manual

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos experimentalmente na soldagem com os três tipos de eletrodos, e as Figuras 4,5 e 6 mostram a influência do comportamento do coeficiente de variação da tensão de soldagem em diferentes níveis de energia para os três tipos de eletrodos estudados quando soldados manualmente e automaticamente. Percebe-se destes resultados que a soldagem automática apresentou uma melhor estabilidade do arco para os eletrodos celulósicos(E6010) e básicos(E7018). No caso dos eletrodos rútilicos(E6013) o desempenho da soldagem manual apresentou ligeira melhor estabilidade. Acredita-se que isto se deva ao fato que estes eletrodos sejam extremamente fáceis de soldar e devido às dificuldades no controle da soldagem automática, principalmente na abertura do arco, tal resultado tenha beneficiado a soldagem manual. Com relação a soldagem na polaridade direta(CC-), o comportamento mostrou-se similar aos observados na polaridade inversa(CC+).

4.2 Comportamento da estabilidade do arco para os eletrodos estudados

A Figura 7 mostra o comportamento do coeficiente de variação da tensão de soldagem em diferentes níveis de energia para os três tipos de eletrodos estudados utilizando apenas soldagens automáticas. Pode-se observar dos resultados que os eletrodos celulósicos apresentaram uma estabilidade do arco maior, sendo seguido pelos eletrodos rútilicos e básicos. A maior estabilidade dos eletrodos celulósicos, acredita-se, seja devido ao tipo de transferência com

predominância por spray a qual resulta numa soldagem mais constante. O mesmo resultado foi obtido na polaridade direta. Embora os eletrodos celulósicos não sejam recomendados para soldagens nesta polaridade, devido ao seu rendimento extremamente baixo, sua estabilidade foi melhor que nos outros tipos.

Tabela 1- Resultados obtidos para soldagens com diferentes eletrodos, após filtragem de dados.

E6013 – CC+						
Teste	Sold.	V	I	Vs	H	CVtensão
-	-	Volts	Amps	Cm/min	kJ/cm	-
1	Man	25.35	34.78	14	3.78	0.076
2	Man	24.09	34.94	10	5.05	0.077
3	Aut	26.66	76.47	14	8.74	0.069
4	Aut	17.71	109.82	10	9.30	0.082
5	Man	28.6	62.51	10	10.73	0.025
6	Man	29.46	104.24	14	13.16	0.033
7	Aut	22.39	98.57	10	13.24	0.048
8	Aut	34.81	122.97	14	18.35	0.064
9	Aut	24.57	140.34	14	14.78	0.049
10	Aut	27.59	105.15	10	17.40	0.055
E6010 – CC+						
1	Man	30.11	86.43	14	11.15	0.059
2	Aut	36.38	73.36	14	11.44	0.022
3	Aut	36.26	79.75	10	17.35	0.026
4	Man	33.32	98.22	10	19.63	0.029
5	Aut	41.83	113.29	14	20.31	0.014
6	Man	40.55	159.78	14	27.77	0.016
7	Aut	34.24	151.34	10	31.09	0.026
8	Aut	34.13	152.33	10	31.23	0.014
9	Aut	40.88	135.84	10	33.32	0.009
10	man	39.33	171.60	10	40.5	0.029
E7018 – CC+						
1	Man	20.99	100.45	10	10.13	0.085
2	Aut	30.60	59.04	10	10.84	0.078
3	Aut	28.59	91.52	14	11.21	0.032
4	Man	27.32	143.06	10	12.65	0.095
5	Aut	17.93	119.94	10	12.91	0.068
6	Aut	19.62	116.89	10	13.76	0.079
7	Aut	23.65	140.82	14	14.27	0.057
8	Man	24.66	95.86	14	15.02	0.081
9	Aut	26.03	135.98	14	15.17	0.074
10	Man	24.57	142.68	14	23.45	0.100

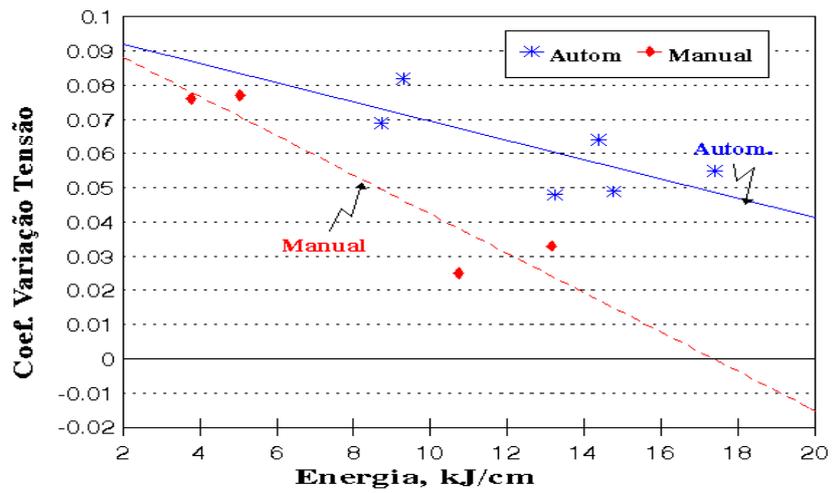


Figura 4-Comportamento do CV em função da energia AWS E6013 CC+

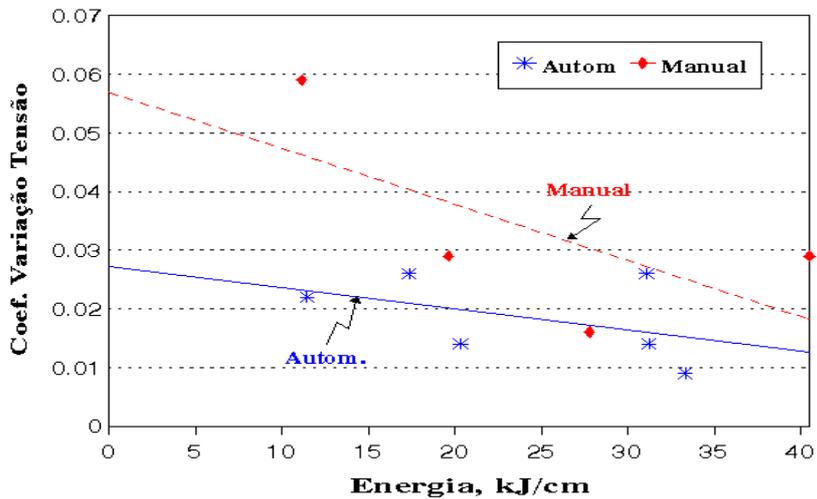


Figura 5-Comportamento do CV em função da energia AWS E6010 CC+

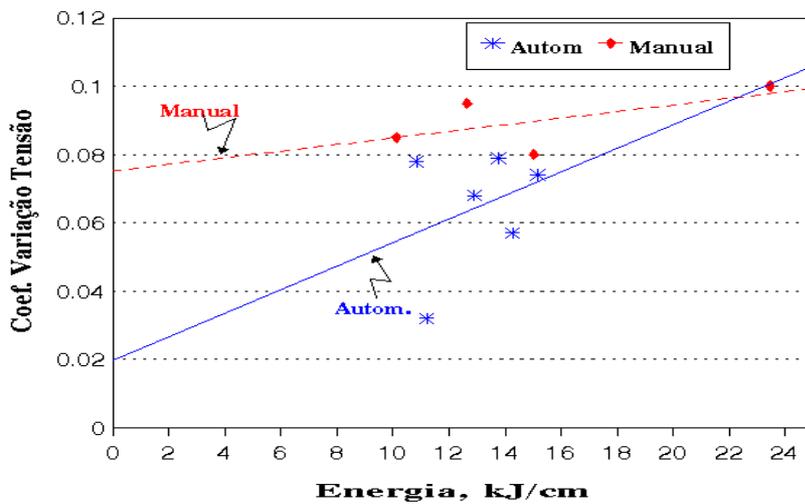


Figura 6- Comportamento do CV em função da energia AWS E7018 CC+

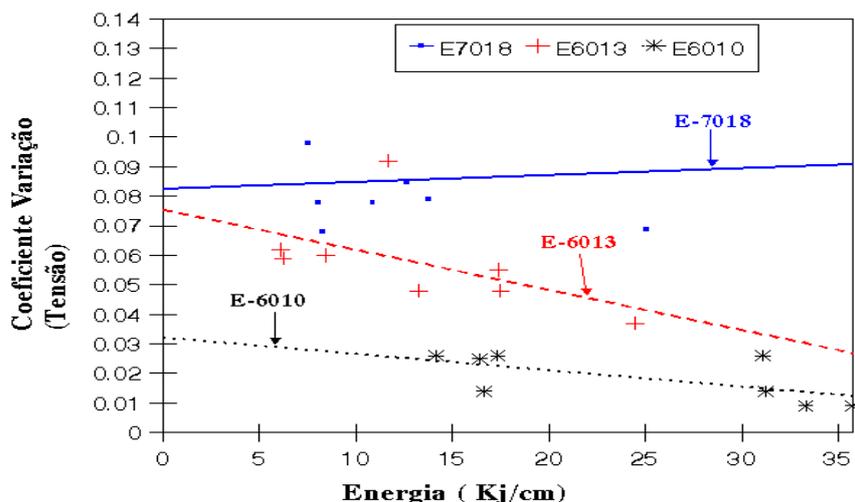


Figura 7-Comportamento do C.V. em função da energia para os três eletrodos em CC+

É interessante ressaltar que Brandi(1988) obteve a mesma tendência para os valores aqui obtidos para a estabilidade do arco dos eletrodos estudados.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho apresenta uma análise da aplicabilidade da utilização de filtragens digitais na variação das características dinâmicas da tensão de soldagem. A metodologia baseada no coeficiente de variação da tensão mostra ser eficiente na avaliação da estabilidade do arco, permitindo uma comparação de desempenho entre soldagens automáticas e manuais para diferentes eletrodos utilizados. Os resultados obtidos para estas análises se aproximam daqueles observados por outros autores, fundamentado desta forma a metodologia proposta.

6. REFERÊNCIAS

- Brandi, S.D., 1988, Análise da transferência metálica na soldagem arco Elétrico com eletrodo revestido. Tese de mestrado, USP.
- Chawla, K.S. and NORRISH, J.N.,1992, Quality monitoring of consumable manufacturing using on-line PC data acquisition and mathematical modelling techniques. Proc. Computer Technology in Welding, paper 16, Cambridge, U.K.
- Santos, M.G.,1995, Metodologia para comparação entre fonte inversora e eletromagnética para eletrodos revestidos, Dissertação de Mestrado, UFU.
- Wegrzyn, J.,1980, Arc properties in manual welding with coated electrodes. Metal Construction.
- Wyant, R. A. , Winsor , L. P., and Schetky, L. M.,1948, An investigation of methods for evaluating welding- arc stability and their application . Welding Journal, october, p. 502s-514s.

A METHODOLOGY TO COMPARE AUTOMATIC AND MANUAL WELDING APPLIED TO SHIELDED METAL ARC WELDING

Keywords: FFT, arc welding stability, shielded metal arc welding

This work is divided in two phases. In the first phase a methodology for analysing arc stability based on the variation coefficient of voltage during welding is discussed. This methodology is applied to compare automatic and manual welding. In the second phase this methodology is extended for the analysis of three types of covered wires.