

# INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES SUPERFICIAIS NA ESTABILIDADE DO ARCO EM SOLDAGEM TIG DE ALUMÍNIO

**Alberto Borges Vieira Júnior**  
**Américo Scotti**

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, FEMEC,  
38400-902, Uberlândia, MG, Brasil, E-mail: [abvieira@mecanica.ufu.br](mailto:abvieira@mecanica.ufu.br)

## RESUMO

O objetivo desse trabalho foi pesquisar a influência das condições superficiais da chapa de alumínio sobre a estabilidade do arco no processo TIG – Onda Retangular. Foram provocadas diferentes condições de rugosidade e graus de oxidação superficial em corpos-de-prova, que foram soldados com simples deposição de calor, mantidos constantes os parâmetros de ajuste iniciais da soldagem. Avaliou-se a estabilidade do arco a partir da medida da largura e da uniformidade do ataque catódico e da análise dos oscilogramas de tensão. Encontrou-se que as chapas na condição “natural” provocam maior estabilidade do arco que as chapas limpas quimicamente ou oxidadas artificialmente. Já a rugosidade leva à instabilidade. Chapas com maior rugosidade demandam um tempo no negativo (t-) muito longo, enquanto as menos rugosas apresentam maior flexibilidade no ajuste.

**Palavras-chave:** TIG; alumínio; estabilidade do arco; condições superficiais

## ABSTRACT

The objective of this work was to find the influence of the aluminum plate surface conditions on arc stability of AC rectangular wave GTAW. Roughness and oxidation conditions at different grades were provoked on testing specimen, which were “bead on plate – no metal feeding” welded under fixed parameter setting. Arc stability was assessed by measurement of width and uniformity of the cathodic etching sputtering zone and by analyses of voltage oscillograms. It was found that plates with “natural” condition lead to more arc stability than chemically cleaned or artificially oxidized ones. Roughness leads to arc instability. Plates presenting higher roughness demand a longer time in electrode negative, while smooth plates accept a wider range of settings.

**Key-Words:** GTAW; aluminum; arc stability; surface conditions

---

(1) Eng. Civil - doutorando - UFU  
[abvieira@mecanica.ufu.br](mailto:abvieira@mecanica.ufu.br)

(2) Phd, Prof. - Depto. Eng. Mecânica - UFU  
[ascotti@mecanica.ufu.br](mailto:ascotti@mecanica.ufu.br)

## 1. INTRODUÇÃO

A mecanização e a automatização permitiriam conciliar uma boa produtividade com o excelente controle de calor e a soldagem mais suave e de melhor aspecto conseguidos com o processo TIG. Um dos principais campos de pesquisa, no sentido de se melhorar as condições para a automatização, usando-se corrente alternada (CA), é o controle em tempo real do tempo de permanência do eletrodo nas polaridades positiva (t+) e negativa (t-).

Sabe-se que durante t+ acontece o ataque ou limpeza catódica, por ocasião da emissão de campo que ocorre da chapa para o eletrodo de tungstênio. A remoção de óxido é muito importante porque a camada de óxido, sendo isolante e refratária, dificulta a soldagem com o eletrodo na polaridade negativa. Por outro lado, durante t+ a maior parte do calor gerado no arco fica no eletrodo, o que não é desejável nem do ponto de vista da eficiência do processo, nem da vida útil do eletrodo. Desse modo, buscaram-se condições que permitam a maior relação (t-/t+) possível, isto é, prolongar ao máximo possível t-, desde que sejam satisfeitos os requisitos de estabilidade do arco e de qualidade final dos cordões. Com isto preserva-se o eletrodo e se obtém maior rendimento térmico do processo.

Alguns dados sobre a influência das condições superficiais sobre os resultados da soldagem TIG em alumínio já são conhecidos. BARHORST <sup>(1)</sup>, por exemplo, relata um grande aumento no índice de aceitação de soldagens com a melhoria das condições de limpeza, obtendo o melhor resultado com a conjugação de limpeza química e catódica antes da soldagem. Considerando que já foi estudada a influência do ajuste de parâmetros e do eletrodo de tungstênio sobre a estabilidade do arco, no LAPROSOLDA-UFU (Scotti et al <sup>(2)</sup>), propôs-se neste trabalho estudar a influência do item restante, ou seja, das condições superficiais mencionadas (rugosidade e limpeza de óxido) sobre a estabilidade do arco e sobre a faixa de ataque catódico (FAC) que se forma ao lado do cordão durante t+.

## 2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Como corpos-de-prova, usaram-se chapas com as dimensões 2,7 x 66 x 280 mm da liga Al-Mg 5052-H32.

Inicialmente, buscou-se conseguir condições de rugosidade e limpeza de óxido que pudessem ser classificadas em faixas bem distintas entre si. Para a rugosidade, verificou-se que seria possível tal diferenciação a partir de chapas com as seguintes condições e respectivos valores médios de rugosidade "rms": "Polido - P" ( $0,37 \pm 0,07 \mu\text{m}$ ); "Natural - N" ( $0,52 \pm 0,24 \mu\text{m}$ ); "Escovado e lixado manualmente - L" ( $1,97 \pm 0,33 \mu\text{m}$ ) e "Escovação mecânica e manual -M" ( $3,54 \pm 0,99 \mu\text{m}$ ).

Quanto à limpeza de óxido, as condições consideradas foram: "Limpeza química - LQ"; "Natural - N" e "Oxidado artificialmente - OA".

A condição de rugosidade P foi obtida com lixamento, usando lixas de granulometria fina (números 600 e 1000) e "buffing", com disco rotativo revestido de pano embebido em suspensão contendo alumina como abrasivo <sup>(3)</sup>. Na condição N as chapas foram usadas como adquiridas de fábrica, apresentando uma nítida textura de laminação no sentido longitudinal. Para se obter a condição L, empregou-se escovação manual com escova de aço inoxidável e, em seguida, lixamento com lixa nº 80. Em ambos os casos (escovação e lixamento), buscou-se obter uma textura o mais isotrópica possível, a partir da variação direcional dos movimentos. A condição M foi obtida submetendo-se as chapas à ação de uma escova rotativa de cerdas de aço, acoplada ao motor de um moto-esmeril. Como se notou a formação

de um certo polimento ou camada refundida superficial (apesar de se conseguirem veios profundos, mas com orientação preferencial), decidiu-se fazer também uma escovação manual com escova de aço.

A condição LQ foi obtida com a aplicação, imediatamente antes da soldagem, de um desoxidante ácido ("Ox Out 536" da Chemclean Corp.). A aplicação se fez com uma esponja embebida com o desoxidante, enxaguando-se a chapa em seguida. Para obtenção da condição OA, algumas chapas foram mantidas sob temperatura 400°C por uma hora em um forno. Após retiradas do forno, enquanto se resfriavam, foram jateadas com oxigênio. As chapas adquiriram um aspecto superficial amarelado.

Condições de sujeira orgânica e outras não foram consideradas no estudo, apesar de sua influência sobre porosidade e outros defeitos do cordão. Como critérios para avaliação da estabilidade do arco usaram-se a largura e a uniformidade da faixa de ataque catódico e os oscilogramas de tensão e corrente adquiridos durante soldagens de corpos-de-prova onde foram provocadas diferentes condições de rugosidade e limpeza de óxido. A Figura 1 mostra a convenção adotada para a medida das larguras ao longo do cordão de solda e de suas regiões adjacentes.

### 3 - RESULTADOS

#### 3.1 - Influência da Rugosidade

Pode-se notar (Figura 2) que tanto para as soldagens em CC+, quanto para aquelas em CA em que a relação  $t-/t+$  é menor (aproximando-se assim de CC+), existe uma tendência das larguras externas "le" e das faixas de ataque catódico restritas "FACr" aumentarem com a rugosidade. Ocorre uma reversão dessa tendência quando se passa da condição L para a condição M (Figura 2). Uma hipótese para essa reversão de tendência é a de que as microrugosidades influam tanto ou mais no fenômeno que as macrorugosidades. Não se pode garantir maior quantidade de microrugosidades na condição M em relação à condição L, embora as macrorugosidades sejam significativamente maiores. Os oscilogramas de tensão referentes às soldagens realizadas sobre chapas nas condições N e L (Figura 5 (a,b)), bem como os maiores valores de tensão necessários no caso da condição L, são coerentes com essa tendência de aumento da FACr e da instabilidade do arco com o aumento da rugosidade.

Para as soldagens em CC-, e para aquelas em CA com maiores relações  $t-/t+$ , a rugosidade influi pouco sobre a largura externa "le" e sobre a "FACr". No entanto, a rugosidade influi sobre o aspecto final do cordão. À medida em que se aumenta a rugosidade, a superfície do cordão vai-se tornando cada vez mais enrugada, denunciando maior presença de óxido (Figura 4 (i)). A camada natural de óxido ( $Al_2O_3$ ) sobre a superfície do alumínio é de pequena espessura (variando de 2 a 5 nm) e, quando removida, regenera-se rapidamente. Estima-se que em 15s esta camada recupere cerca de 1/3 de sua espessura original. Dessa forma, para uma camada de óxido aproximadamente constante com o tempo, a multiplicação da área exposta (com o aumento da rugosidade), provocada por meios mecânicos é o que realmente aumenta a quantidade de óxido por área de projeção. FUERSCHBACH<sup>(4)</sup> e PANG et al<sup>(5)</sup> afirmam que o aspecto enrugado e fosco dos cordões resultantes das soldagens em CC- se deve à presença de óxido não removido da região fundida. O óxido presente na superfície, juntamente com aquele que se forma à frente da tocha, por elevação de temperatura, faz com que a poça, sem a necessária fluidez, se solidifique em uma condição viscosa.

### 3.2 - Influência da Limpeza de Óxido

Comparando-se o aspecto dos cordões e suas regiões adjacentes resultantes das soldagens sobre chapas com diferentes condições de limpeza de óxido, pode-se ver que a largura externa "le" e a "FACr" é sempre menor para a condição N (Figura 3). A condição LQ provoca os maiores valores dessas larguras, bem como a maior instabilidade do arco. Essa maior instabilidade pode ser vista nos oscilogramas de tensão (Figura 5.d) e nos valores de tensão (Tabela 6). No caso em que se empregou  $t_- = 5$  ms, para a condição LQ, ocorreu inclusive o fenômeno da retificação de corrente quando, em vários trechos, não ocorreu o ciclo positivo da corrente (Figura 5.d).

No caso das soldagens em CC-, ou CA com maiores relações  $t_-/t_+$ , existe a tendência de se produzir muita porosidade superficial nos casos das condições N e OA. Justifica-se assim a limpeza química como expediente para prevenção da porosidade, principalmente para maiores relações  $t_-/t_+$ . Observando-se os oscilogramas de tensão (Figura 5.h), pode-se notar também a maior estabilidade do arco na condição LQ, para as soldagens em CA com maior valor de  $t_-$ . No entanto, nesse caso necessitam-se de menores valores de tensão quando a condição é N.

## 4 - CONCLUSÃO

Métodos mecânicos de limpeza produzem maior rugosidade e mais óxido por área de projeção. Se for considerado apenas o critério da estabilidade do arco, deve-se, nesse caso, optar-se por uma maior relação  $t_-/t_+$ . O cordão, no entanto, apresentaria um aspecto mais enrugado. Torna-se então necessário buscar uma solução de compromisso entre o nível de rugosidade provocado e a relação  $t_-/t_+$ .

A limpeza química só é viável quando se trabalha com CC-, ou com CA com grandes relações  $t_-/t_+$ . Nessas condições, evita-se a porosidade e o enrugamento superficial, bem como se melhora a estabilidade do arco, se o critério para avaliação dessa estabilidade for a uniformidade dos oscilogramas ou o desvio-padrão dos valores de tensão (ou dos valores de tensão dos patamares positivos dos ciclos). Se o critério for a largura da "FACr" ou o valor de tensão (ou valor de tensão dos patamares positivos dos ciclos), a condição N é quase sempre a melhor. A vantagem da condição N sobre as outras é mais acentuada para CC+ ou para CA com pequenas relações  $t_-/t_+$ .

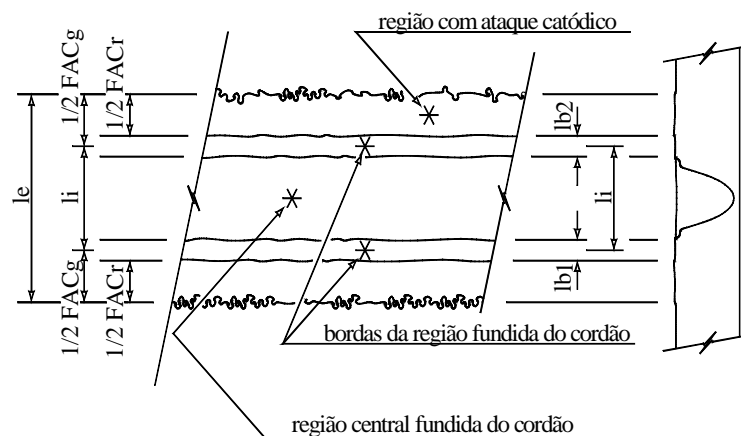
Dessa forma, considerando-se apenas a estabilidade do arco e o aspecto superficial dos cordões, é possível trabalhar-se com chapas com rugosidade e grau de limpeza de óxido na condição N (natural), desde que a relação  $t_-/t_+$  seja menor. A opção pela limpeza química pode permitir que se trabalhe com maiores relações  $t_-/t_+$  mas, nesse caso, uma não uniformidade na condição de limpeza pode provocar enrugamento e porosidade superficial e, se houver alguma falha momentânea, com diminuição de  $t_-$ , pode-se gerar muita instabilidade do arco.

## 5 - AGRADECIMENTOS

Agradece-se ao Conselho Nacional de Pesquisa, CNPq, pelo suporte financeiro, e ao Laboratório de Processos de Soldagem da Universidade Federal de Uberlândia, LAPROSOLDA-UFU, pelo uso de instalações e equipamentos que tornaram possível este trabalho.

## 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- BARHORST,S., The Cathodic Etching Technique for Automated Aluminum Tube Welding, Welding Journal, USA, vol. 64 (n<sup>o</sup> 5): p. 28-31, may 1985.
- 2- SCOTTI, A., DUTRA, J.C. & SANCHES, H.A., The Effect of the Set Parameters on Arc Stability and Bead Geometry of Aluminum GTA Welding using Rectangular Wave AC Output, In: 9<sup>th</sup> Int. Conf. On the Joining of Materials (JOM-9), Helsingor, Denmark, May 1999, JOM Institute, p. 124-129.
- 3- KING,R.G., Surface Treatment and Finishing of Aluminium, 1<sup>st</sup> ed., England, Pergamon, 1988, p. 07.
- 4- FUERSCHBACH, P.W., Cathodic Cleaning and Heat Input in Variable Polarity Plasma Arc Welding of Aluminum, Welding Journal, USA, vol. 77 (n<sup>o</sup> 2): p. 76-85, feb. 1998.
- 5- PANG,Q. et al, Workpiece Cleaning During Variable Polarity Plasma Arc Welding of Aluminum, Journal of Engineering for Industry, USA, vol. 116: p. 463-466, nov. 1994.



**Figura 1 - Larguras Consideradas na Análise dos Cordões e Regiões Adjacentes, onde:**

**$le$  = Largura externa do Cordão ou da Região com Ataque Catódico;**

**$li$  = largura entre os centros das bordas;**

**$lb1$  e  $lb2$  = Bordas que Separam a Região Fundida das Áreas com Ataque Catódico;**

**$FACg$  = Faixa de Ataque Catódico "Geral" ( pode incluir partes das bordas);**

**$FACr$  = Faixa de Ataque Catódico "Restrita" (exclui as bordas);**

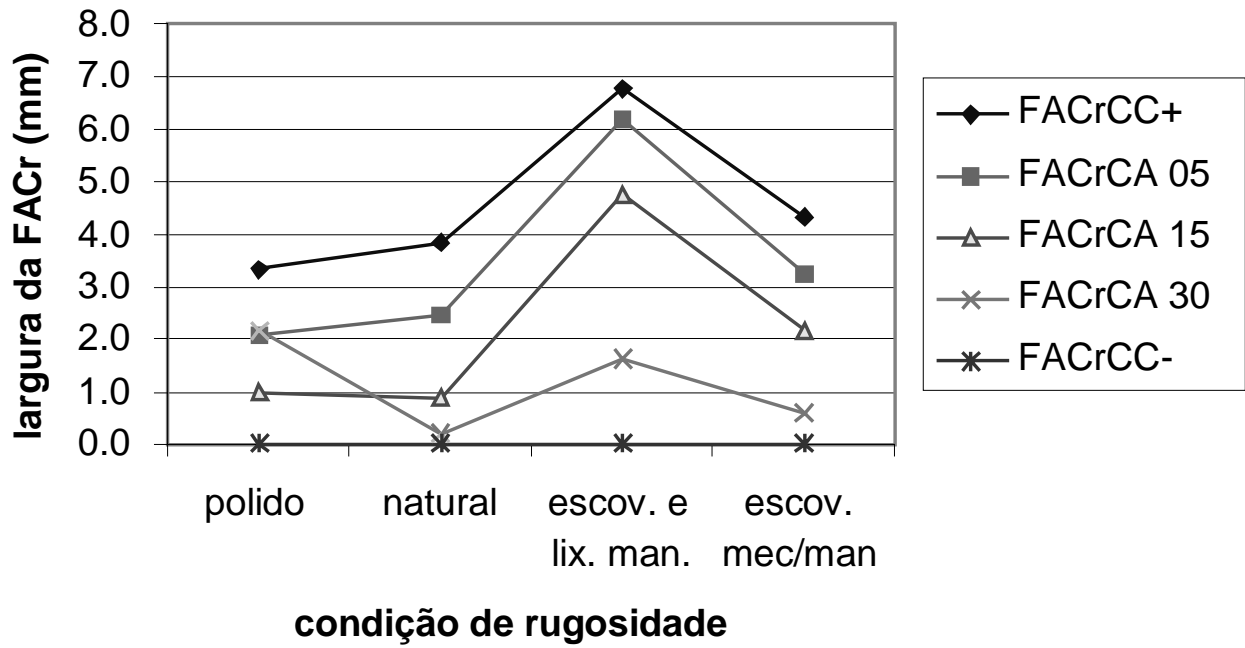


Figura 2 – Largura da Faixa de Ataque Catódico Restrita (FACr) em Função da Condição de Rugosidade

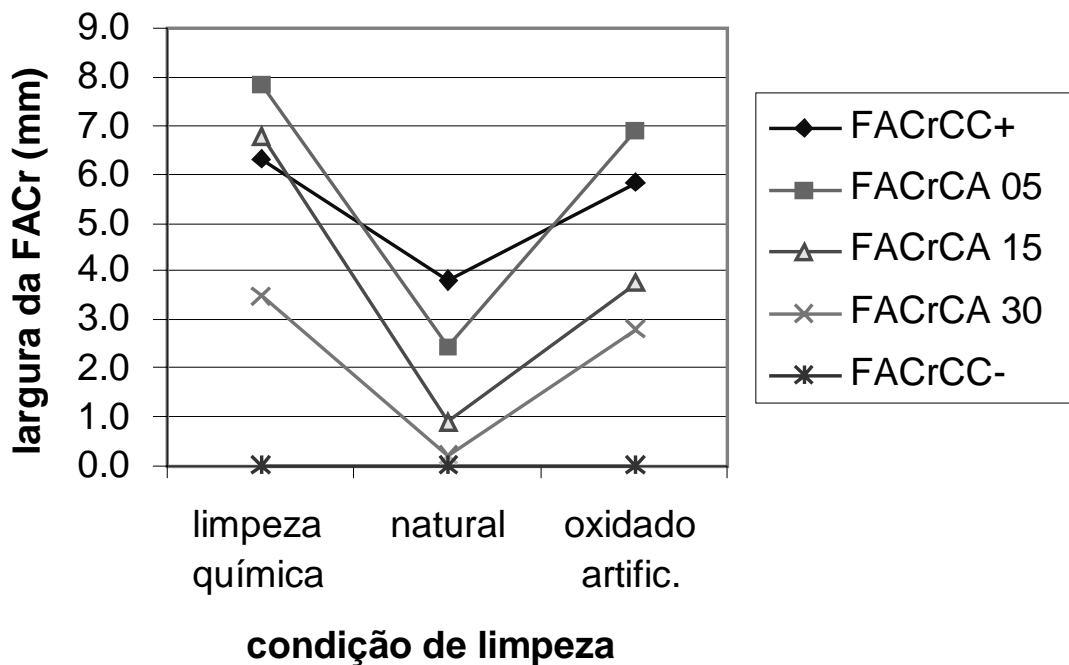
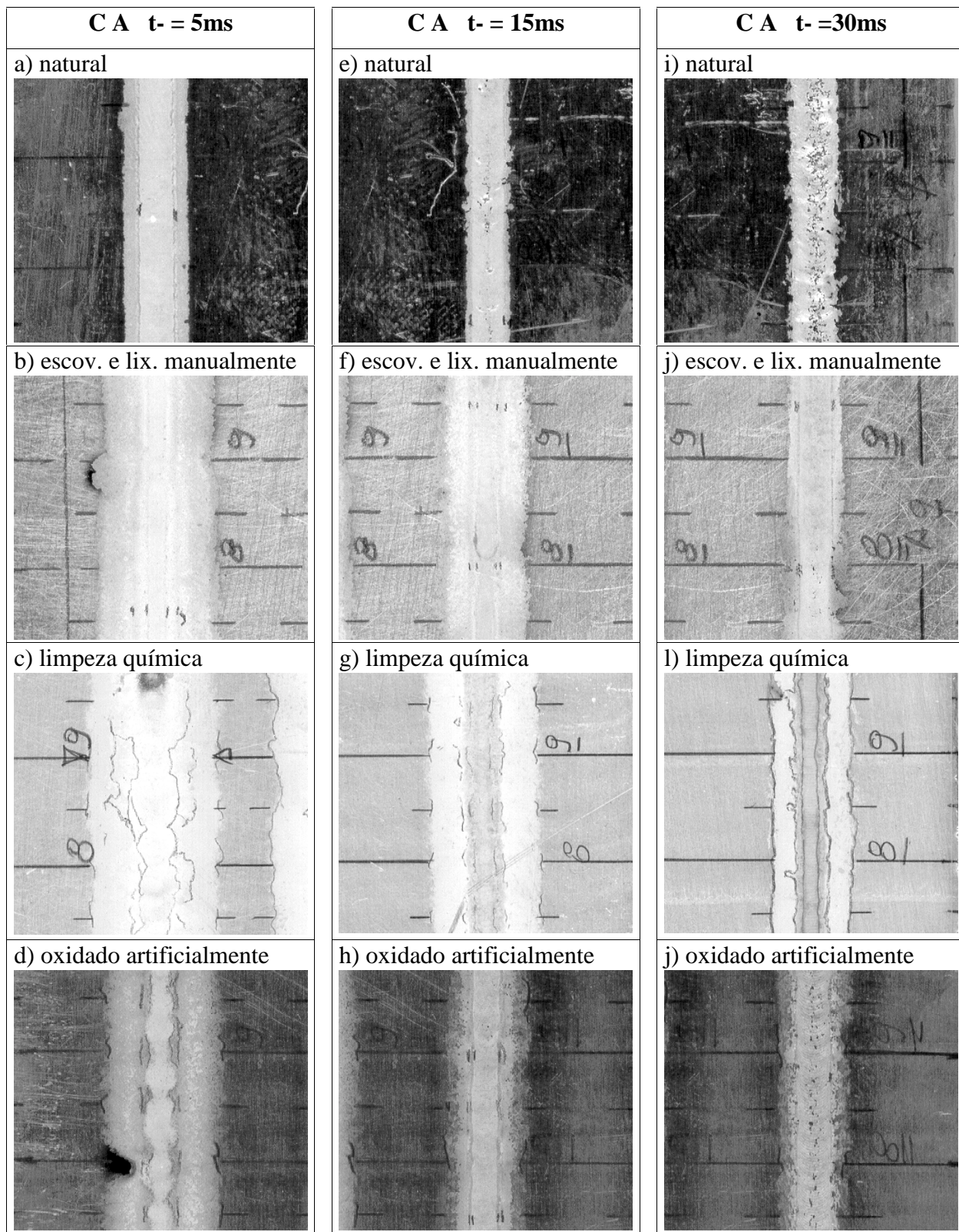
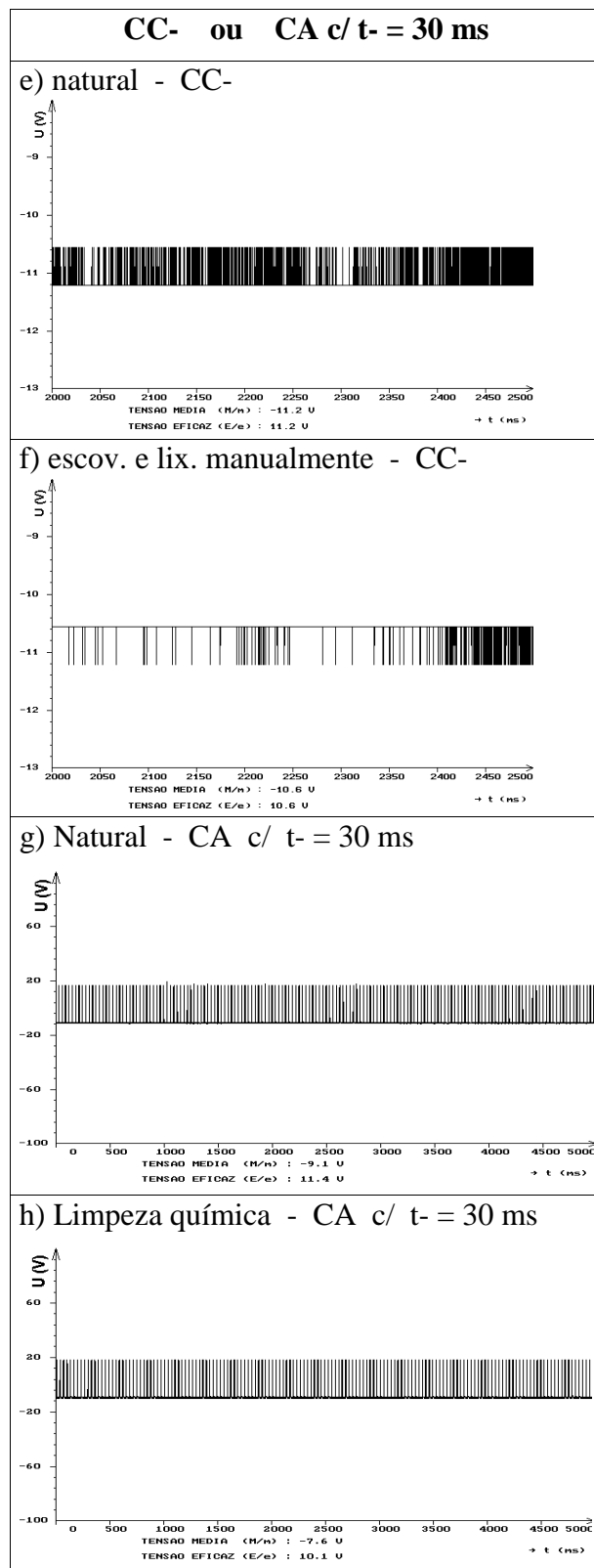
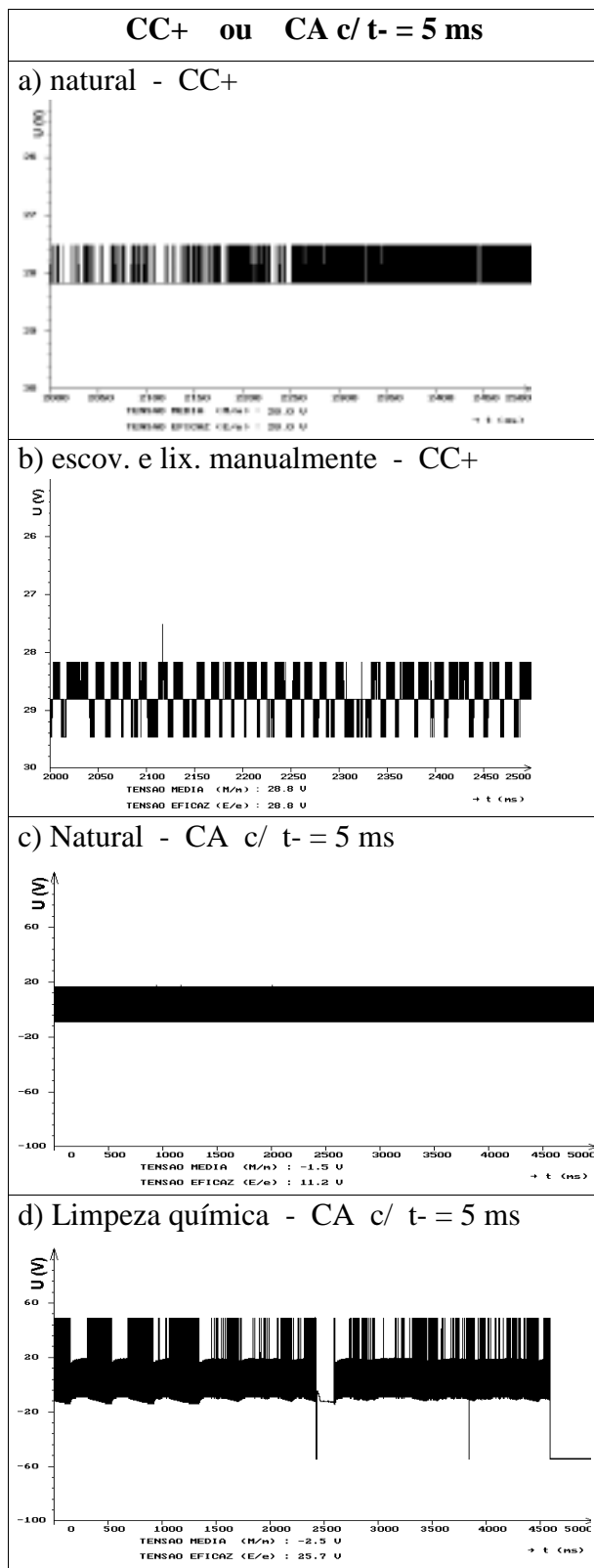


Figura 3 – Largura da Faixa de Ataque Catódico Restrita (FACr) em Função da Condição de Limpeza de Óxido



**Figura 4 - Aspecto Superficial - Soldagens em CA - Influência da Rugosidade**



**Figura 5 - Oscilogramas de Tensão.**