

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO DO REVESTIMENTO DE  
ELETRODOS BÁSICOS SOBRE AS CARACTERÍSTICAS  
ECONÔMICAS E OPERACIONAIS

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA A UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA  
CATARINA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA

YUKIO KOBAYASHI

FLORIANÓPOLIS, SC - JUNHO DE 1987

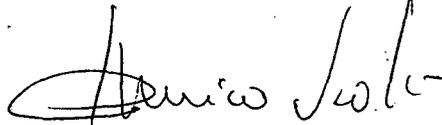
INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO DO REVESTIMENTO DE  
ELETRODOS BASICOS SOBRE AS CARACTERÍSTICAS  
ECONÔMICAS E OPERACIONAIS

YUKIO KOBAYASHI

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO  
TÍTULO DE

MESTRE EM ENGENHARIA

ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECANICA E APROVADA EM SUA  
FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO



-----  
Prof. AMÉRICO SCOTTI, M.Sc. Eng. Mec.

ORIENTADOR



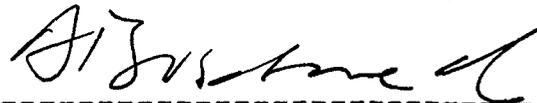
-----  
Prof. ARNO BLASS, Ph.D.

Coordenador da Pós-Graduação em Eng. Mec.

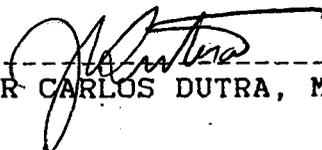
BANCA EXAMINADORA



-----  
Prof. AMÉRICO SCOTTI, M.Sc. Eng. Mec.



-----  
Prof. AUGUSTO J. A. BUSCHINELLI, Dr. Ing.



-----  
Prof. JAIR CARLOS DUTRA, M.Sc. Eng. Mec.

A minha esposa  
e meus filhos,  
pelo carinho,  
compreensão e dedicação.

## AGRADECIMENTOS

Expresso meus profundos agradecimentos a todos aqueles que de uma forma direta ou indireta, contribuíram para a materialização deste trabalho, em especial:

- A UNIVERSIDADE DE BAURU, pelo incentivo e apoio financeiro, que possibilitaram a realização deste trabalho;
- Ao prof. AMÉRICO SCOTTI, pela orientação e participação ativa neste trabalho, como também pelo estímulo e ensinamentos dispensados.
- A CONARCO Alambres y Soldadura S.A., em especial a Lic. VERA RAITER, a Lic. ESTELA SURIAN e ao Lic. RAUL TIMERMAN, pelo apoio técnico e fornecimento dos eletrodos experimentais;
- Aos técnicos JÂNIO SCHEFFER e ALFREDO (LABSOLDA), pela ajuda durante os ensaios experimentais;
- Ao companheiro JESUALDO PEREIRA FARIAS, pela ajuda durante todos os experimentos;
- Aos prof. ALEXANDRE BEHR e IVO BARBI, pela orientação sobre a parte eletrônica utilizada nos experimentos;
- Ao prof. VALFREDO T. FAVERE, pela análise química da escória;
- Ao prof. ALOISIO KLEIN, pela confecção dos corpos de prova e realização dos ensaios dilatométricos da escória;
- Ao prof. WALTER WEINGAERTNER e ao técnico SÉRGIO A. SANTOS, pela usinagem dos corpos de prova para destacabilidade da escória;
- Ao graduando em Engenharia Mecânica, LUCIANO MOREIRA, pelo auxílio no desenvolvimento do Software para o experimento;
- Aos companheiros da Pós-Graduação e professores do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC.;
- A CAPES, pelo suporte financeiro;
- A Prof. MARIA LUCIA RODRIGUES NEVES CÉSAR PINTO, pelo auxílio na correção do texto;
- A MARIKO SATO KOBAYASHI, pela digitação deste trabalho;
- E aos monitores do NUCLEO DE COMPUTAÇÃO da UB., pelo apoio técnico na digitação deste trabalho.

## ÍNDICE

Lista de Quadros.....	ix
Lista de Figuras.....	xi
Resumo.....	xvi
Abstracts.....	xvii

### CAPÍTULO

I - INTRODUÇÃO .....	1
II - INFORMAÇÕES GERAIS SOBRE OS ELETRODOS REVESTIDOS...	3
2.1 - Introdução.....	3
2.2 - Alma do Eletrodo.....	4
2.3 - Constituição do Revestimento de um Eletrodo Revestido.....	4
2.4 - Funções dos Componentes Químicos do Revesti- mento.....	7
III - PROPRIEDADES FÍSICAS DOS FLUIDOS A ELEVADAS TEMPERA- TURAS.....	9
3.1 - Introdução.....	9
3.2 - Processos de Dissociação e Ionização no Arco.	9
3.3 - Condutividade Térmica.....	13
3.4 - Condutividade Elétrica.....	14
3.5 - Tensão Superficial.....	15
3.6 - Viscosidade.....	17
IV - CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS E ECONÔMICAS DE UM ELETRODO.....	20
4.1 - Introdução.....	20
4.2 - Transferência de Metal de Adição.....	20
4.2.1 - Tipo de Transferência.....	20

4.3 - Consumo do Eletrodo.....	26
4.4 - Produção de Material Depositado e Rendimento de Deposição.....	28
4.5 - Geometria e Aparência do Cordão de Solda.....	30
4.6 - Destacabilidade de Escória.....	33
4.6.1 - Introdução.....	33
4.6.2 - Mecanismos de União do Sistema Metal-Escória.....	34
<b>V - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>41</b>
5.1 - Introdução.....	41
5.2 - Soldagem dos Corpos de Provas.....	41
5.3 - Consumíveis.....	48
5.4 - Consumo Convencional do Eletrodo.....	50
5.5 - Produção Específica de Material de Adição.....	51
5.6 - Rendimento Convencional e Rendimento Real do Eletrodo.....	51
5.7 - Geometria do Cordão de Solda.....	52
5.8 - Aparência do Cordão de Solda.....	53
5.9 - Destacabilidade da Escória.....	53
<b>VI - RESULTADOS EXPERIMENTAIS.....</b>	<b>56</b>
6.1 - Tipos de Análises.....	56
6.2 - Consumo, Produção e Rendimentos.....	57
6.3 - Geometria do Cordão de Solda.....	59
6.4 - Aparência do Cordão de Solda.....	72
6.5 - Destacabilidade da Escória.....	82
<b>VII - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>86</b>
7.1 - Influência da Variação do $\text{CaCO}_3$ e $\text{CaF}_2$ .....	86
7.1.1 - Consumo Específico Convencional do Eletrodo.....	86
7.1.2 - Produção Específica de Material Depositado.....	88
7.1.3 - Rendimentos.....	89
7.1.4 - Geometria do Cordão de Solda.....	90
7.1.5 - Aparência do Cordão de Solda.....	93
7.1.6 - Destacabilidade de Escória.....	93

7.2 - Influência da Variação do CaCO <sub>3</sub> e Pó de Ferro	95
7.2.1 - Consumo Específico do Eletrodo.....	95
7.2.2 - Produção Específico de Material Depositado.....	97
7.2.3 - Rendimentos.....	98
7.2.4 - Geometria do Cordão de Solda.....	99
7.2.5 - Aparência do Cordão de Solda.....	102
7.2.6 - Destacabilidade de Escória.....	102
7.3 - Influência da Variação do Fator de Revestimento.....	104
7.3.1 - Consumo Específico Convencional do Eletrodo.....	104
7.3.2 - Produção Específica de Material Depositado.....	106
7.3.3 - Rendimentos.....	107
7.3.4 - Geometria do Cordão de Solda.....	108
7.3.5 - Aparência do Cordão de Solda.....	110
7.3.6 - Destacabilidade de Escória.....	111
7.4 - Influência do Tipo de Pó de Ferro.....	112
7.4.1 - Consumo Específico Convencional do Eletrodo.....	113
7.4.2 - Produção Específica de Metal Depositado.....	114
7.4.3 - Rendimentos.....	115
7.4.4 - Geometria do Cordão de Solda.....	117
7.4.5 - Aparência do Cordão de Solda.....	119
VIII - CONCLUSÕES.....	121
IX - PROPOSTAS PARA NOVOS TRABALHOS.....	123
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	124
ANEXOS	
Anexo 1.....	128

Anexo 2.....	130
Anexo 3.....	133
Anexo 4.....	135
Anexo 5.....	138
Anexo 6.....	139
Anexo 7.....	140

**LISTA DE QUADROS**

- QUADRO 1 - Composição aproximada do revestimento de alguns tipos de eletrodos
- QUADRO 2 - Funções dos ingredientes do revestimento de um eletrodo
- QUADRO 3 - Primeiro potencial de ionização de alguns elementos e compostos químicos
- QUADRO 4 - Valor da tensão superficial do aço doce influenciado por vários compostos
- QUADRO 5 - Classificação de transferência de metal segundo IIW
- QUADRO 6 - Composição dos eletrodos experimentais
- QUADRO 7 - Tipos de análises realizados com os eletrodos
- QUADRO 8 - Valores médios do consumo, produção e rendimentos do eletrodo E-7018
- QUADRO 9 - Valores médios do consumo, produção e rendimentos dos eletrodos VR/018, VR/019 e VR/020
- QUADRO 10 - Valores médios do consumo, produção e rendimentos dos eletrodos VR/046, VR/047 e VR/48.
- QUADRO 11 - Valores médios do consumo, produção e rendimentos dos eletrodos VR/057, VR/058 e VR/059.
- QUADRO 12 - Valores médios do consumo, produção e rendimentos dos eletrodos com variação do fator de revestimento.
- QUADRO 13 - Valores médios da penetração, largura e reforço do eletrodo E-7018.

- QUADRO 14 - Valores médios da penetração, largura e reforço dos eletrodos VR/018, VR/019 e VR/020.
- QUADRO 15 - Valores médios da penetração, largura e reforço dos eletrodos VR/057, VR/058 e VR/059.
- QUADRO 16 - Valores médios da penetração, largura e reforço dos eletrodos VR/046, VR/047 e VR/048.
- QUADRO 17 - Valores médios da penetração, largura e reforço dos eletrodos com variação do fator de revestimento.
- QUADRO 18 - Índices médios de destacabilidade de escória.
- QUADRO 19 - Coeficientes de contração médios, entre 850 C e 25 C.
- QUADRO 20 - Composição química das escórias.
- QUADRO 21 - Análise comparativa do aspecto do cordão de solda com variação do teor de  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{CaF}_2$ .
- QUADRO 22 - Análise comparativa do aspecto do cordão de solda com variação do teor de  $\text{CaCO}_3$  e pó de ferro.
- QUADRO 23 - Análise comparativa do aspecto do cordão de solda com variação do fator de revestimento.
- QUADRO 24 - Análise comparativa do aspecto do cordão de solda com variação do tipo de pó de ferro.

**LISTA DE FIGURAS**

- FIGURA 1 - O grau de ionização em função da temperatura para alguns elementos.
- FIGURA 2 - A condutividade térmica do nitrogênio em função da temperatura.
- FIGURA 3 - Forças interfaciais entre: (a) três fases em equilíbrio. (b) uma gota sobre uma superfície plana.
- FIGURA 4 - Modos de transferência de metal segundo a classificação IIV.
- FIGURA 5 - Esquemas das forças atuantes no sistema metal-escória  
a-) simples deposição b-) chanfro de 90 c-) chanfro de 30
- FIGURA 6 - Forma geral de uma curva de dilatação.
- FIGURA 7 - Região de bom despreendimento no sistema ternário  $\text{CaO-SiO}_2\text{-CaF}_2$ .
- FIGURA 8 - Fonte de soldagem.
- FIGURA 9 - Controlador eletrônico do simulador de soldagem manual.
- FIGURA 10 - Dispositivo de acionamento do eletrodo e movimentação do corpo de prova.
- FIGURA 11 - Equipamentos utilizados para medição de corrente e tensão de soldagem em CC.
- FIGURA 12 - Equipamentos utilizados para medição de corrente e tensão de soldagem em CA.
- FIGURA 13 - Interligações de equipamentos.

FIGURA 14 - Projctor de perfil.

FIGURA 15 - Corpo de prova padrão para o ensaio de destacabilidade da escória.

FIGURA 16 - Dispositivo para realização do teste de Destacabilidade . (a) posição inicial (b) posição final.

FIGURA 17 - Formato do cordão de solda do eletrodo E-7018.

FIGURA 18 - Formato do cordão de solda do eletrodo VR/018.

FIGURA 19 - Formato do cordão de solda do eletrodo VR/019.

FIGURA 20 - Formato do cordão de solda do eletrodo VR/020.

FIGURA 21 - Formato do cordão de solda do eletrodo VR/057.

FIGURA 22 - Formato do cordão de solda do eletrodo VR/058.

FIGURA 23 - Formato do cordão de solda do eletrodo VR/059.

FIGURA 24 - Formato do cordão de solda do eletrodo VR/048.

FIGURA 25 - Formato do cordão de solda do eletrodo VR/020 com  $f = 1,5$

FIGURA 26 - Formato do cordão de solda do eletrodo VR/020 com  $f = 2,1$

FIGURA 27 - Aparência do cordão de solda do eletrodo E-7018.

FIGURA 28 - Aparência do cordão de solda do eletrodo VR/018.

FIGURA 29 - Aparência do cordão de solda do eletrodo VR/019.

FIGURA 30 - Aparência do cordão de solda do eletrodo VR/020.

- FIGURA 31 - Aparência do cordão de solda do eletrodo VR/057.
- FIGURA 32 - Aparência do cordão de solda do eletrodo VR/058.
- FIGURA 33 - Aparência do cordão de solda do eletrodo VR/059.
- FIGURA 34 - Aparência do cordão de solda do eletrodo VR/048.
- FIGURA 35 - Aparência do cordão de solda do eletrodo VR/020 com  $f = 1,5$ .
- FIGURA 36 - Aparência do cordão de solda do eletrodo VR/020 com  $f = 2,1$ .
- FIGURA 37 - Ilustração de CP. após o impacto, com baixa destacabilidade (ver detalhe do salpico).
- FIGURA 38 - Ilustração de CP. após o impacto, com alta destacabilidade.
- FIGURA 39 - Curvas do ensaio dilatométrico, durante o resfriamento.
- FIGURA 40 - Efeito da variação do teor de  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{CaF}_2$  sobre o consumo específico convencional do eletrodo.
- FIGURA 41 - Efeito da variação do teor de  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{CaF}_2$  sobre a produção específica de material depositado.
- FIGURA 42 - Comportamento do rendimento de deposição com variação do teor de  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{CaF}_2$ .
- FIGURA 43 - Efeito da variação do teor de  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{CaF}_2$  sobre a penetração da solda.
- FIGURA 44 - Comportamento da largura (a) e reforço (b) do cordão de solda com a variação do teor de  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{CaF}_2$ .

- FIGURA 45 - Comportamento da destacabilidade em função da variação de  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{CaF}_2$ .
- FIGURA 46 - Efeito da variação do  $\text{CaCO}_3$  e pó de ferro sobre o consumo específico do eletrodo.
- FIGURA 47 - Efeito da variação de  $\text{CaCO}_3$  e pó de ferro sobre a produção específica de material depositado.
- FIGURA 48 - Comportamento dos rendimentos em função da variação dos teores de  $\text{CaCO}_3$  e pó de ferro.
- FIGURA 49 - Efeito da variação do  $\text{CaCO}_3$  e pó de ferro na penetração da solda.
- FIGURA 50 - Comportamento da largura (a) e reforço (b) do cordão de solda com variação do  $\text{CaCO}_3$  e pó de ferro.
- FIGURA 51 - Comparação da destacabilidade em função da variação do teor de  $\text{CaCO}_3$  e pó de ferro.
- FIGURA 52 - Comportamento do consumo específico convencional do eletrodo com variação do fator de revestimento.
- FIGURA 53 - Efeito da variação do fator de revestimento sobre a produção específica de material depositado.
- FIGURA 54 - Comportamento do rendimento convencional com variação do fator de revestimento.
- FIGURA 55 - Comportamento do rendimento real com variação do fator de revestimento.
- FIGURA 56 - Comportamento da penetração da solda com variação do fator de revestimento.
- FIGURA 57 - Efeito da variação do fator de revestimento sobre a largura (a) e reforço (b) do cordão de solda.

- FIGURA 58 - Comparação da destacabilidade em função da variação do fator de revestimento.
- FIGURA 59 - Comportamento do consumo específico convencional do eletrodo com variação da granulometria e densidade aparente do pó de ferro.
- FIGURA 60 - Comportamento da produção específica de material depositado com variação da granulometria e densidade aparente do pó de ferro.
- FIGURA 61 - Influência variação da granulometria e densidade aparente sobre o rendimento convencional(a) e real(b) do eletrodo.
- FIGURA 62 - Comportamento da penetração em função da variação da granulometria e densidade aparente do pó de ferro.
- FIGURA 63 - Influência da variação da granulometria e densidade aparente do pó de ferro sobre a largura e reforço do cordão de solda.

## RESUMO

Foram feitos estudos na tentativa de se avaliar os efeitos da variação dos teores de  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaF}_2$ , pó de ferro, bem como o tipo de pó de ferro e fator de revestimento sobre algumas características econômicas e operacionais, tais como consumo do eletrodo, produção de material depositado, rendimento, geometria e aparência do cordão de solda e destacabilidade da escória. E, para tais, foram utilizados eletrodos fabricados com variação sistemática de sua composição e da espessura do revestimento.

Os corpos de prova foram soldados com auxílio de um equipamento, controlado eletronicamente, o qual simula a soldagem manual, sendo que tanto a corrente, como a tensão de soldagem foram registrados e medidos em um microcomputador. Quanto à destacabilidade de escória, utilizou-se um teste padrão, e a análise dos resultados foi feita com base em modelos apresentados, tentando-se explicar os mecanismos que interferem na remoção da escória, com ajuda de resultados de análise dilatométrica e química de algumas escórias testadas.

Nos eletrodos com variação de  $\text{CaCO}_3$ , o aumento desse composto propiciou um acréscimo no consumo específico, na dificuldade de remoção da escória e na piora de aparência do cordão de solda, e, ainda, diminuição de rendimento do eletrodo. Com o aumento da granulometria e densidade aparente do pó de ferro, houve acréscimo do consumo e redução no rendimento, mas não ocorreu mudança significativa da aparência do cordão de solda. Quanto ao fator de revestimento, o seu aumento ocasionou uma tendência de elevação do consumo e queda do rendimento do eletrodo, além de melhorar levemente a aparência do cordão de solda e a destacabilidade da escória.

Concluiu-se que não há um fator predominante que supere os demais, mas sim a ação conjunta de vários fatores sobre as características analisadas.

## ABSTRACTS

These studies were done in an attempt to appreciate the behavior of content variation of  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaF}_2$ , iron powder, as well as iron powder type and thickness of covering, on some economical and operational characteristics, such as melting rate, deposition rate, electrode efficiency, geometry and appearance of weld bead and detachability of the slag. For such studies, electrodes made with systematic variation of this composition and thickness of covering were utilized.

The samples were welded with the aid of an electronically controlled equipment, that simulates the manual welding, and both, the current and welding voltage were registered and measured in microcomputer. In relation to the detachability of the slag, it was utilized a standard test, and the analysis of data was made using different theoretical models that try to explain the mechanisms that act upon the removability of the slag, as well as the results of dilatometric tests and chemistry compositions.

In the electrodes with  $\text{CaCO}_3$  variation, the increase of this compound furnished an addition in melting rate and in the difficulty of removing the slag; the appearance of weld bead became worse and the efficiency of electrode decreased. With the increase of granulometry and apparent density of iron powder an addition of melting rate occurred and also a reduction in the electrode efficiency; however a meaningful change in the appearance of weld bead did not occur. In relation to the thickness of covering, its increase caused a tendency to raise in melting rate and a drop of the electrode efficiency, besides slightly improving the appearance of weld bead and the detachability of the slag.

The conclusion tries to point out that there is not a predominant factor that excels the other, but a combined action of many factors upon the analysed characteristics.

## CAPÍTULO I

### INTRODUÇÃO

Entre diversos processos utilizados em soldagem a arco, os eletrodos revestidos tem sido um dos mais empregados, o que pode ser explicado pela sua alta versatilidade, simplicidade dos equipamentos, baixos investimentos etc., conferindo uma grande importância ao seu estudo.

Durante uma soldagem procura-se obter um cordão de solda com características tecnológicas (resistência à tração, resiliência etc.), adequadas às finalidades a que se destina. Mas, para otimizar essas propriedades, é necessário assegurar que os eletrodos tenham características operacionais e econômicas compatíveis. Como a performance de um eletrodo no curso de sua fusão é influenciada, principalmente, pela composição de seu revestimento, sua formulação deve propiciar, além das características técnicas, as seguintes características operacionais e econômicas:

- fácil acendimento;
- boa estabilidade de arco;
- possibilidade de soldagem em distintos tipos de corrente e polaridade;
- fácil remoção de escória;
- geometria do cordão de solda adequada e bom aspecto superficial, para que não haja aprisionamento de escória e concentrações de tensões;
- possibilidade de soldar em várias posições;
- alto consumo do eletrodo e produção de material depositado.

Dentre os vários tipos de eletrodos, os do tipo básico são os empregados em soldagem de grande responsabilidade e em estruturas rígidas, pois o metal depositado por esses eletrodos

apresenta muito boas características mecânicas e possui mínimo risco de fissuração a frio ou a quente. Apesar destas qualidades, os eletrodos básicos apresentam certas deficiências ao se soldar em polaridade diferente da conexão do mesmo no pólo positivo (CC+, corrente contínua polaridade inversa), podendo alterar em muito as características anteriormente mencionadas e desejadas.

Atualmente, não se sabe com precisão como determinados compostos do revestimento influenciam nas características operacionais e econômicas de um eletrodo. Esse trabalho foi idealizado com o intuito de tentar identificar e explicar alguns fatores que atuam sobre as seguintes características: consumo específico do eletrodo, produção específica de material depositado, rendimento convencional e real do eletrodo, geometria e aparência do cordão de solda e destacabilidade da escória, e também, como determinados compostos de um revestimento básico agem sobre esses fatores. Para tal, utilizou-se vários grupos de eletrodos experimentais com variações sistemáticas do  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaF}_2$ , teor e tipo de pó de ferro, e fator de revestimento. Entendendo-se o comportamento, isolado e em conjunto, dos compostos utilizados na fabricação destes revestimentos, pode-se subsidiar a otimização das formulações dos eletrodos, além de ampliar os conhecimentos fundamentais do estudo do arco voltaico aplicado a soldagem.

## CAPÍTULO II

### INFORMAÇÕES GERAIS SOBRE OS ELETRODOS REVESTIDOS

#### 2.1 - Introdução

Os eletrodos revestidos foram desenvolvidos com o intuito principal de melhorar a qualidade das soldas feitas inicialmente com eletrodos nus (sem proteção), os quais perdiam grande parte do carbono, manganês e silício através da oxidação pelo ar durante a fusão, além da redução de algumas propriedades mecânicas da junta soldada pela formação de nitretos e óxidos.

Um eletrodo revestido é composto de um núcleo metálico, em cuja superfície é adicionado um revestimento com certa composição e espessura, conforme a aplicação. No processo de soldagem com eletrodos revestidos, a proteção do metal fundido contra a contaminação do ar é obtida pela decomposição do revestimento, o qual propicia uma proteção por gases e/ou por escória. Na proteção gasosa, o ar é deslocado da região do arco e da poça de solda por intermédio de uma cortina de gás, que em geral é composta, principalmente de CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub> e vapores de H<sub>2</sub>O, formada pela decomposição de materiais orgânicos e/ou carbonatos devido ao do arco[1]; os eletrodos E-XX10 e E-XX15 da norma AWS utilizam esse tipo de proteção. Já na proteção por escória, durante a fusão, determinados compostos formam uma camada protetora que envolve a gota e o cordão de solda por efeito da tensão superficial, prevenindo assim que haja contato com o ar atmosférico; como exemplo de eletrodos que formam esse tipo de proteção estão os da classe E-XX12 e E-XX20.

O revestimento do eletrodo não é responsável somente pela proteção do metal fundido, mas, também, por diversas outras funções que serão comentadas posteriormente.

## 2.2 - Alma do Eletrodo

A alma ou núcleo do eletrodo tem a função de conduzir a corrente de soldagem, além de servir como material de adição que alimenta a poça de fusão.

Os eletrodos para soldagem de aço doce e baixa-liga são fabricados com um arame trefilado de aço efervescente de baixo carbono com a seguinte composição química, segundo a norma AWS A5.1-81[2]:

carbono	0,06 - 0,10%
manganês	0,40 - 0,60%
silício	0,030% max.
enxofre	0,025% max.
fósforo	0,015% max.

Na soldagem com eletrodo cuja alma é de aço efervescente, o oxigênio está dissolvido na forma de gases, como CO e CO<sub>2</sub>, cuja expansão próximo ao arco, facilita a transferência de gotas e a soldagem em várias posições, principalmente na posição sobre-cabeça (5G).

Outras composições de alma, por exemplo: ligados, podem ser utilizados na fabricação de eletrodos para soldas de maior resistência mecânica.

## 2.3 - Constituição do Revestimento de um Eletrodo Revestido

Os eletrodos podem ser classificados, conforme o tipo do revestimento, em quatro grupos principais: ácidos, celulósicos, rutílicos e básicos.

Os eletrodos ácidos são compostos à base de óxido de ferro, óxido de manganês, silício, alumínio-silicato e desoxidantes. A sua designação é determinada por esses elementos que formam uma escória ácida no curso da fusão. A proteção é obtida principalmente pela escória e a desoxidação do metal de solda pode ser assegurada, por exemplo, pelo ferro-manganês e ferro-silício, cuja porcentagem no revestimento deve ser muito alta, para compensar a alta capacidade de oxidação do revestimento ácido (devido à presença dos óxidos de ferro e manganês).

Esses eletrodos produzem uma escória abundante de fácil remoção, porém tornando-os indicados para soldagem somente na posição plana. A penetração da solda é média, e recomenda-se a utilização de corrente contínua em qualquer polaridade ou corrente alternada (CA). De acordo com a norma AWS A5.1-81[2], os eletrodos ácidos são designados pelos códigos E-XX20, E-XX22, E-XX27.

Os eletrodos celulósicos possuem um revestimento que contém grande quantidade de substâncias orgânicas combustíveis, como, por exemplo, a celuloso que se decompõe no curso da fusão do revestimento, produzindo grande quantidade de gases, contendo CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub> e hidrocarbonetos. Estes formam um fluxo de gás com alta energia (entalpia), o que resulta em grande penetração e proteção muito eficiente do cordão de solda. Os revestimentos celulósicos possuem também ferro-manganês como desoxidante. Em virtude dos gases formados não serem de fácil ionização, a soldagem com esse tipo de eletrodo é difícil, produzindo muitos salpicos, e resultando numa solda de mau aspecto. Recomenda-se trabalhar com corrente contínua inversa (CC+), sendo que, em alguns tipos, pode-se usar CA. De acordo com a AWS, esses eletrodos podem ser designados pelos códigos E-XX10 e E-XX11.

Os eletrodos rutilícos são compostos, principalmente, de rutila, alumino-silicatos (mica, feldspatos, caolin, etc.) e carbonatos em pequenas quantidades (carbonato do cálcio, magnetita, dolomita), mas alguns eletrodos desse tipo possuem ainda pequenas quantidades de óxidos de ferro e manganês. A proteção é feita principalmente através de escória e o desoxidante mais usado é também o ferro-manganês. Produz uma escória espessa, compacta, de fácil remoção e cordão de bom aspecto, com penetração de média a baixa. A maioria desses eletrodos pode ser utilizada com qualquer tipo de corrente e polaridade e são designados, de acordo com a AWS da seguinte forma: E-XX12, E-XX13, E-XX14 e E-XX24.

Os eletrodos básicos são compostos, essencialmente, de carbonato de cálcio, fluoreto de cálcio, sílica, pequenas quantidades de rutila e alumino-silicatos; alguns tipos possuindo ainda pó de ferro na sua composição. A proteção é do tipo gasosa e por escória, conseguida pela dissociação do carbonato e demais compostos. Como desoxidante, são utilizados compostos como ferro-manganês, ferro-silício, ferro-titânio etc. Esse tipo de reves-

timento assegura a produção de um metal de solda praticamente livre de inclusões não metálicas e baixo conteúdo de gases, enxofre e fósforo, concomitantemente, com uma introdução de manganês, silício e outros elementos oriundos do revestimento e da alma do eletrodo, possibilitando um material depositado com muito boas características mecânicas. É um revestimento de baixo teor de hidrogênio, porém altamente higroscópico. Pode ser utilizado na soldagem em CC+ ou CA. Segundo a AWS, são classificados das seguintes formas: E-XX15, E-XX16 e E-XX18.

A espessura do revestimento necessária a uma adequada operação varia com a função e tipo do eletrodo. Por exemplo: o revestimento de um eletrodo celulósico E-6010 necessitará de apenas aproximadamente 12% do seu peso total, enquanto um eletrodo de baixo hidrogênio E-7016 pode ser fabricado com até 30% de revestimento. De outra forma o eletrodo básico E-7018 poderá ter mais de 35% do seu peso em revestimento, para possibilitar uma alta produção. O quadro 1 mostra formulações típicas de revestimento de vários tipos de eletrodos. Como se vê, muitos compostos químicos são utilizados em um só revestimento; porém não só a composição química é importante, mas também a forma na qual o elemento químico se encontra nas matérias primas.

COMPONENTES (%)	E-6010	E-6011	E-6013	E-7018
TiO <sub>2</sub>	10-20	10-20	30-55	0-5
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	20-30			0-5
K <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>		20-30	5-15	5-10
K <sub>2</sub> TiO <sub>3</sub>		20-30	30-55	0-5
Celulose	25-40	25-40	2-12	
Pó de ferro				25-40
CaF <sub>2</sub>				15-30
CaCO <sub>3</sub>			0-5	15-30
Asbestos	10-20	10-20		
Argila			0-10	
Níca	0-15	0-15		
Fe-Si				5-10
Fe-Mn	5-10	5-10	5-10	2-6
Teor de Umidade	3 a 6	3 a 5	0,8 a 1,2	0,3 a 0,5
% de Revestimento	10 a 14	10 a 14	14 a 17	30 a 35

QUADRO 1 - Composição aproximada do revestimento de alguns tipos de eletrodos[1, 3]

## 2.4 - Funções dos Componentes Químicos do Revestimento [1, 15 ].

O revestimento dos eletrodos desempenham muitas funções complexas durante a soldagem, entre essas incluem-se:

- a-) Produzir o meio para condução de corrente (meio ionizante).
- b-) Formar uma escória e/ou cortina de gás que proteja o metal de solda durante a solidificação;
- c-) Agir como fluxo purificador, para limpar o metal de base e o metal fundido (desoxidação);
- d-) Melhorar a estabilidade elétrica do arco;
- e-) Formar uma capa isolante, tal que o arco seja estabelecido somente na ponta do eletrodo;

Os ingredientes do revestimento, além de proporcionarem todos os requisitos básicos acima, devem também produzir:

- f-) Metal de solda e escória de viscosidade apropriada às posições nas quais o eletrodo é projetado para ser utilizado;
- g-) Uma escória de apropriada densidade e ponto de fusão tal, que a mesma não seja aprisionada no resfriamento do metal de solda;
- h-) Uma escória de fácil remoção;
- i-) Cordão de solda com desejada aparência superficial, incluindo a forma do cordão ou contorno;
- j-) Arco cuja característica produza pouco salpicos;

O revestimento de determinados tipos de eletrodos pode proporcionar ainda as seguintes funções adicionais:

- k-) Adicionar elementos do liga ao cordão de solda;
- l-) Aumentar a produção de material depositado através da introdução de pó de ferro.

Muitos ingredientes podem ter mais de uma função e mais de um ingrediente pode contribuir para a execução da mesma função. O quadro 2 encerra este capítulo ilustrando as funções dos ingredientes dos revestimentos anteriormente ilustrados.

CONSTITUINTES DO REVESTIMENTO	PROTEÇÃO GASOSA	DESOXIDANTES E FLUXOS	FORMADORES DE ESCÓRIA	CONTROLADOR DE VISCOSIDADE DA ESCÓRIA	ESTABILIZANTE DE ARCO	AGLOMERANTES	AGENTES DESLISANTES	AGENTES LIGANTES	COR DO REVESTIMENTO	BASICIDADE
MATERIAIS ORGÂNICOS	⊗	X					⊗			
CARBONATO DE CÁLCIO	⊗	X	X	X	⊗					⊗
ÓXIDO DE CÁLCIO		X		X	X					
FLUORETO DE CÁLCIO	X	X		⊗						⊗
RUTILA		X	⊗	X	⊗			X		
ÓXIDO DE ZIRCÔNIO					⊗					
ALUMINA			/	X	X					
SÍLICA		X	⊗	X	X					
ÓXIDO DE FERRO		⊗	X	X	X			X		⊗
FERRO-SILÍCIO		⊗	X					X		
FERRO-MANGANÊS		X	X					⊗		
CARBONATO DE MANGANÊS	X	X	X							
ÓXIDO DE SÓDIO		X			X					
SILICATO DE SÓDIO			⊗	X	X	⊗				
CARBONATO DE POTÁSSIO	X				X					
SILICATO DE POTÁSSIO			⊗		⊗	⊗				
<i>Silicato de manganês</i> FELDSPATO			⊗	X	X					
ASBESTOS			⊗	X	X	X				
TALCO		X	⊗	X	X		⊗			
ARGILA			⊗	X	X	X	X			
PÓ DE FERRO					X			⊗		
PIGMENTOS MINERAIS									⊗	
<i>glicina</i> ⊗ FUNÇÕES PRINCIPAIS							⊗			

*Imetata*  
*micu*

QUADRO 2 - Funções dos ingredientes do revestimento de um eletrodo [1, 4]

## CAPÍTULO III

### PROPRIEDADES FÍSICAS DOS FLUIDOS A ELEVADAS TEMPERATURAS

#### 3.1 - Introdução

A fusão dos metais depende, para utilização em soldagem, do uso de uma fonte de calor de densidade de energia na faixa de  $10^6$  a  $10^{13}$  W/m<sup>2</sup> e, na maioria das vezes a fonte de calor é um arco elétrico cuja densidade se encontra entre  $3 \cdot 10^6$  a  $10^{10}$  W/m<sup>2</sup>[5]. A temperatura do arco é maior próximo ao eletrodo, onde ela pode variar de 6.000°K a 20.000°K ou mais e, menor na vizinhança da poça de solda[5]. O metal e revestimento que são fundidos pelo arco podem atingir altíssimas temperaturas, portanto, no estudo do comportamento dos eletrodos, é necessário ter informações das propriedades físicas dos metais e gases na faixa de altas temperaturas de fusão e ebulição.

Algumas propriedades físicas serão discutidas abaixo, podendo ser divididas em duas categorias: a primeira, em propriedades termodinâmicas, tais como dissociação e ionização, e a segunda, em propriedades ligadas aos fenômenos de transporte, tais como a condutividade térmica e elétrica, viscosidade e tensão superficial. Também se analisará como determinados compostos químicos influem nessas propriedades físicas, e como essas propriedades afetam o arco voltaico aplicado à soldagem.

#### 3.2 - Processos de Dissociação e Ionização no Arco

Quando um gás é aquecido, as moléculas individuais adquirem mais energia. Para baixas temperaturas, essa energia é, principalmente, de translação, isto é, a energia associada com a velocidade do movimento[5]. Para temperaturas maiores, moléculas diatômicas, tais como hidrogênio (H<sub>2</sub>), nitrogênio (N<sub>2</sub>) ou oxigê-

nio (O<sub>2</sub>), absorvem energia, primeiramente, pela rotação e, posteriormente, pela vibração em um movimento de vaivém entre os dois átomos. Quando a energia vibracional atinge um nível suficientemente alta, ela pode possibilitar romper a camada de valência que mantém os dois átomos juntos, causando a dissociação para um estado mono-atômico[6]. Para maiores temperaturas ainda, parte da energia é absorvida pelos elétrons da última camada e, eventualmente, causa o destacamento de um dos elétrons. Com isso, o átomo se ioniza, ou seja, libera um elétron e torna-se um íon carregado positivamente. Com o aumento contínuo da temperatura, podem ocorrer múltiplas ionizações, quando o átomo perde mais do que um elétron. Uma região com átomos ionizados é um condutor de eletricidade, diferentemente de uma região gasosa. A energia necessária para ionizar um átomo é conhecida como potencial de ionização.

Num arco de soldagem, os átomos tornam-se ionizados, como o resultado de alta temperatura, gerada, por exemplo, por colisões de partículas e elétrons. Gases di e multi atômicos presentes na soldagem manual com eletrodo revestido, tais como, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, dissociam-se dentro da faixa de 4000 °C a 8000 °C (4273°K a 8273°K) (CO<sub>2</sub> é 90% dissociado a 3800°K; H<sub>2</sub>, a 4575 °K; O<sub>2</sub>, a 5100 °K; N<sub>2</sub>, a 8300°K e H<sub>2</sub>O, aproximadamente, a 3800 °K). Entretanto, na parte central da coluna do arco, pode-se afirmar que esses gases estão totalmente ionizados, isto é, estão em maior temperatura. O grau de ionização aumenta, consideravelmente, com a intensidade do campo elétrico, por causa das partículas, que, ao adquirirem maior energia cinética, fazem com que os gases sejam ionizados mais facilmente pelas colisões.

Não só os gases são capazes de se ionizar, mas também os metais e minerais, que antes da dissociação passam pela transformação de fase. Desta forma, a atmosfera do arco é composta tanto de elementos químicos provenientes do revestimento como do metal fundido

Nem todo elemento do revestimento ou metal se ioniza com a mesma intensidade; o arco é mais facilmente aberto quando o eletrodo contém grande quantidade de compostos com baixo potencial de ionização no revestimento (p.ex. potássio e sódio). O grau de ionização de um gás depende da temperatura e potencial de ionização, como mostra a equação(1) de Saha[5]. Entretanto o po-

tencial de ionização de uma mistura de gases depende, grandemente, do potencial do elemento com menor potencial de ionização [6, 11].

$$\frac{x^2}{1-x^2} \frac{p}{p_0} = C T^{5/2} e^{-E/KT} \quad (1)$$

onde:

- X = grau de ionização
- p = pressão
- p<sub>0</sub> = pressão atmosférica padrão
- T = temperatura
- C = constante
- E = energia de ionização
- K = constante de Boltzmann

Com o aumento da temperatura, aumenta-se o grau de ionização dos gases e vapores metálicos, como mostra a figura 1.

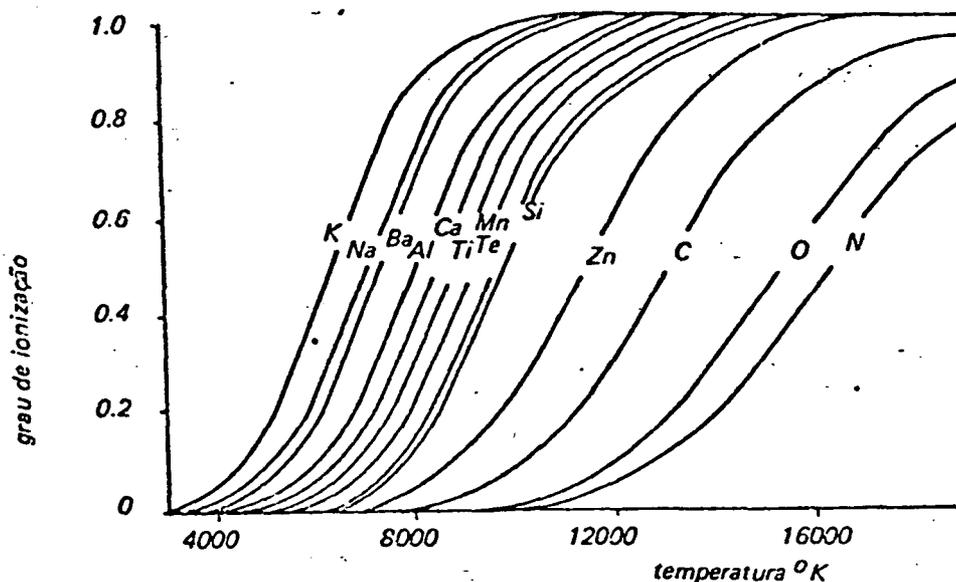


FIGURA 1 - O grau de ionização em função da temperatura para alguns elementos[11].

O potássio (K) e o sódio (Na) são introduzidos no revestimento na forma de silicatos complexos e alumino-silicatos. Eletrodos com revestimentos com predominância de K<sub>2</sub>O (óxido de potássio) são frequentemente utilizados na soldagem em CA, porque na presença destes elementos, o arco se ioniza mais facilmente. É importante destacar que, de acordo com Wegrzyn[6], as energias

livres de formação do  $K_2O$  e  $Na_2O$  são tão grandes que as dissociações térmicas desses óxidos, para a obtenção de potássio, sódio e oxigênio, seguido da ionização que produziria  $K^+$  e  $Na^+$ , são difíceis de se imaginar. Contudo, pelo mesmo autor [6], quando a teoria iônica da escória é levado em conta, os óxidos  $K_2O$  e  $Na_2O$  aparecem na forma dissociada na escória líquida, por exemplo  $K_2O=2K^+ + O^{--}$ . Isso possibilita a presença de alguns ions de  $Na^+$  e  $K^+$  na atmosfera do arco, como resultado da evaporação da escória.

O autor [6] também cita que nos revestimentos que contêm óxidos e fluoretos, alguns ânions podem também estar presentes, ao lado dos cátions na região do arco, principalmente os ânions do flúor ( $F^-$ ). O flúor possui alto potencial de ionização, como se pode notar no quadro 3 (baseado apenas no potencial necessário para liberar o primeiro elétron), e não perde elétrons. Pelo contrário, ele atrai um elétron devido a sua grande afinidade por elétrons ( $F + e^- = F^-$ ) e, também, de acordo com a teoria iônica, o flúor e o cloro aparecem na escória líquida na forma de ions negativos de  $F^-$  e  $Cl^-$ . Portanto, conclui-se que durante o processo de ionização da atmosfera do arco, pode ocorrer tanto ionizações diretas, bem como indiretas, com a presença de ions positivos e negativos, além de elétrons livres.

ELEMENTOS OU COMPOSTOS	POTENCIAL DE IONIZAÇÃO [eV]	ELEMENTOS OU COMPOSTOS	POTENCIAL DE IONIZAÇÃO [eV]
Cs	3,88	$H_2O$	13,2
Rb	4,16	H	13,5
K	4,34	$Cl_2$	13,5
Na	5,14	CO	14,1
Al	5,96	$CO_2$	14,3
Ca	6,11	N	14,5
Nb	6,77	$H_2$	15,4
Ti	6,84	$N_2$	15,6
Fe	7,83	Ar	15,7
$O_2$	12,5	F	18,6
O	13,5	Ar	24,5

QUADRO 3 - Primeiro potencial de ionização de alguns elementos e compostos químicos [6]

### 3.3 - Condutividade Térmica

A energia cinética de uma molécula é identificada com sua temperatura; assim, numa região de alta temperatura as moléculas tem velocidades maiores do que numa região de baixa temperatura. As moléculas estão em movimento contínuo ao acaso, colidindo umas com as outras e, trocando energia e quantidade de movimento. Esta movimentação ao acaso das moléculas independe da existência de um gradiente de temperatura no gás. Entretanto, se uma molécula ou elétron se movimenta de uma região de alta temperatura para uma região de baixa temperatura, tanto a molécula ou elétron transportam energia cinética para a região de baixa temperatura do sistema, perdendo esta energia através de colisões com moléculas ou elétrons de menor energia[10].

Pelo exposto, quando existe um gradiente de temperatura num corpo, a experiência mostra que ocorre uma transferência de energia da região de alta temperatura para a de mais baixa temperatura. Diz-se que a energia é transferida por condução, e que a taxa de transferência de calor, por unidade de área, é proporcional ao gradiente normal de temperatura, como visto na equação 2:

$$q = - k A \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2)$$

onde  $q$  é a taxa de transferência de calor e  $\partial T/\partial x$  é o gradiente de temperatura na direção do fluxo de calor. A constante positiva  $k$  é chamada condutividade térmica, sendo o sinal menos inserido para satisfazer o segundo princípio da termodinâmica.

A condutividade térmica da coluna do arco ( $k$ ) pode ser considerada como a soma de contribuições dos átomos, moléculas e ions (a condutividade térmica clássica  $k_c$ ), dos elétrons ( $k_e$ ), da difusão de energia de ionização ( $k_i$ ) e da difusão da energia de dissociação ( $k_d$ )[11]. Isso é ilustrado na figura 2, onde os diferentes coeficientes de condutividade térmica do nitrogênio são representados como funções da temperatura.

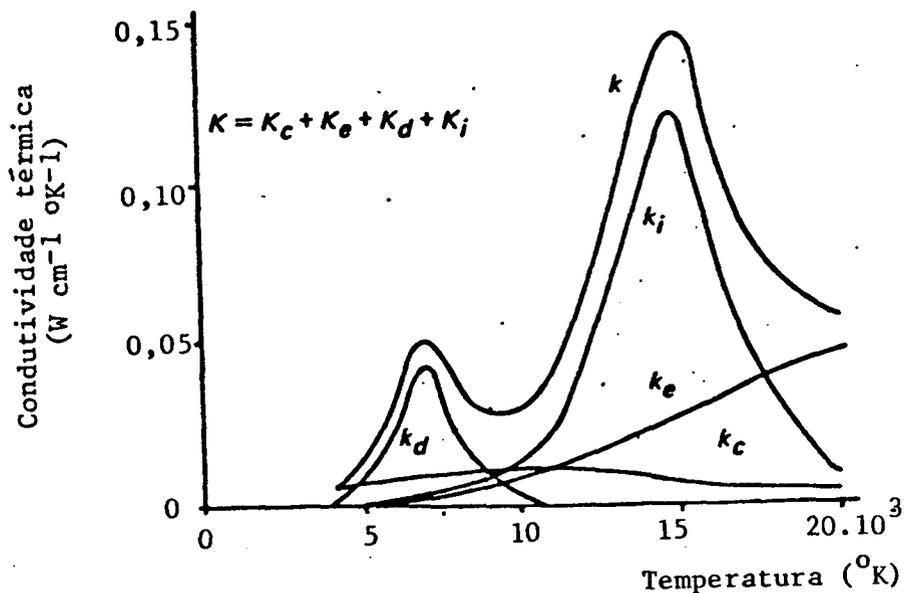


FIGURA 2 - A condutividade térmica do nitrogênio em função da temperatura[11]

Na figura 2 nota-se que  $k_i$  e  $k_d$  são importantes para a condutividade térmica de um gás, o que explica porque o CO<sub>2</sub> tem uma condutividade térmica mais alta que o argônio, que não tem a parte  $k_d$ . Se a atmosfera de um arco troca muito calor com o ambiente, a região que se mantém ionizada é de menor seção. Uma alta troca de calor também requer maior energia (potencial elétrico) para manter o arco ionizado, desta forma, a alta condutividade do CO<sub>2</sub> resulta em um arco de pequeno diâmetro, alta queda de potencial, podendo ainda surgir forças ascendentes, agindo sobre a gota em fusão[11, 12].

### 3.4 - Condutividade Elétrica

Um dos parâmetros mais importante da coluna do arco é a condutividade elétrica. Esse parâmetro é definido pela relação entre a densidade de corrente ( $j$ ) e o campo elétrico ( $E$ ) na coluna.

$$\sigma = j/E \quad (3)$$

A condutividade elétrica da coluna do arco depende do grau de ionização da atmosfera gasosa do arco, e este é influenciado pela temperatura. A temperatura por sua vez é determinada

pela energia de ionização efetiva. Isto é, pode-se obter alta condutividade elétrica a baixa temperatura se a energia de ionização for baixa. Como num arco a temperatura é decrescente do centro para periferia, devido a troca de calor já mencionada, a condutividade elétrica é maior no centro do arco.

O grau de ionização dos gases da coluna do arco pode ser alterado, pela variação ou introdução de vapores de determinados compostos químicos; conseqüentemente, altera-se também a condutividade elétrica do arco. Segundo Lapin[14], com a introdução de  $\text{CaF}_2$  no arco, a taxa de redução da temperatura e da condutividade elétrica do plasma na coluna do arco, no sentido perpendicular ao eixo da coluna para sua periferia, aumenta em proporção maior do que na ausência de  $\text{CaF}_2$ . Isto pode determinar uma coluna de arco mais fina.

### 3.5 - Tensão superficial

A tensão superficial tem importância muito grande na soldagem por fusão, atuando, significativamente, sobre a transferência de metal do eletrodo para a peça, como também na formação e estabilização da poça de solda.

Dentro de um corpo de um líquido ou sólido, a força resultante sobre um átomo ou molécula é relativamente pequena, pois ele é rodeado por um grupo de átomos que exercem forças em todas as direções, de forma que exista pouca ou nenhuma resultante. Entretanto, na superfície, existe uma resultante de atração interna, pelo fato de a densidade molecular ser muito maior no interior do que no exterior. Por causa dessa força dirigida para o interior, a superfície de um líquido tende a contrair para um tamanho menor possível (menor área superficial), tal que as gotas ou bolhas, na ausência de restrição externa, tomam forma esférica[1, 5]. Como um resultado da tendência da superfície contrair, ela pode ser considerado como em um estado de tensão. A tensão superficial pode ser definida como uma força agindo ao longo da unidade de comprimento de uma superfície líquida.

Ao deslocar uma molécula do interior de um líquido para a superfície realiza-se um trabalho contra as forças que são dirigidas para seu interior, e o trabalho necessário para formar

uma unidade de nova área, dessa maneira, é chamado de energia de superfície. De um modo geral, é mais conveniente usar o termo tensão superficial para líquidos e energia de superfície para sólidos[5].

O trabalho necessário para estender a interface entre dois líquidos ou a interface entre um líquido e um sólido é chamado energia de superfície interfacial e a força correspondente é a tensão superficial interfacial. Se três líquidos imiscíveis estão em contato, conforme a figura 3a, os ângulos entre suas interfaces no ponto de contato são tais que as forças interfaciais estão em equilíbrio. Similarmente, se uma gota de líquido é colocada sobre uma superfície plana e sólida, o ângulo de contato é tal que:

$$\gamma_B = \gamma_{AB} + \gamma_A \cos\theta \quad (4)$$

e para uma completa molhabilidade ocorre:

$$\gamma_B > \gamma_{AB} + \gamma_A \quad (5)$$

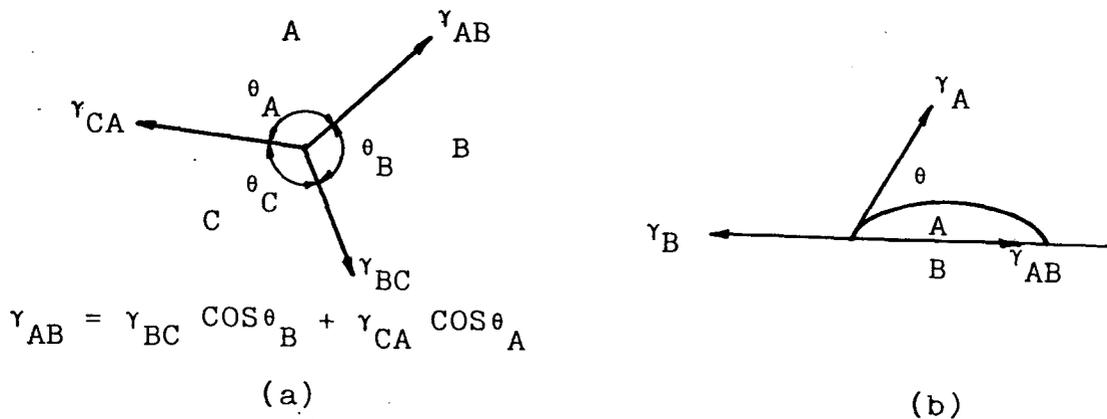


FIGURA 3 - Forças interfaciais entre: (a) três fases em equilíbrio. (b) uma gota sobre uma superfície plana.

Para que haja proteção eficiente do metal de solda, a escória deve ter adequada capacidade de recobrimento (molhabilidade), isto é um contorno da superfície do cordão de solda ade-

quando e uma capacidade de separação do metal de solda. Quanto a intensidade da tensão superficial, ela poderia ser baixa, tal que a escória possa coalescer em grandes partículas e, então, subir rapidamente à superfície do metal fundido.

A tensão superficial do metal fundido pode ser afetada pela escória, devido à dissolução de alguns constituintes da mesma no metal. Hazlett[9] estudou os efeitos de ingredientes comuns de uma escória sobre a tensão superficial do aço nas atmosferas do hélio (He), argônio (Ar), nitrogênio (N) e monóxido de carbono (CO), cujos resultados são mostrados no quadro 4. De acordo com esse quadro, os constituintes da escória, em geral, tendem a diminuir a tensão superficial do aço, sendo que até uma pequena quantidade de impurezas pode alterar, grandemente, a tensão superficial.

COMPOSTO	ATMOSFERA			
	He	Ar	N <sub>2</sub>	CO
Aço	961	956	740	944
MgO	968	961	886	926
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	959	1092	1116	939
MgCO <sub>3</sub>	971	932	886	925
CaCO <sub>3</sub>	959	904	879	993
TiO <sub>2</sub>	951	981	903	900
MnO <sub>2</sub>	945	846	742	842
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	726	714	702	725
CaF <sub>2</sub>	1010	1009	997	1022
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	888	786	807	739
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	970	784	782	939
SiO <sub>2</sub>	915	1018	932	987
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	631	649	554	644
Valores em dyn/cm.				

QUADRO 4 - Valor da tensão superficial do aço doce influenciado por vários compostos[9].

De acordo com Hazlett[9], uma leve camada de óxidos de magnésio, alumina, rutila ou manganês, em atmosfera de CO, diminui a tensão superficial do metal fundido, e a adição de sílica (SiO<sub>2</sub>), carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) ou fluoreto de cálcio (CaF<sub>2</sub>) aumenta a tensão superficial, sendo que o óxido de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) é o reagente que mais reduz essa propriedade em qualquer atmosfera analisada.

### 3.6 - Viscosidade

Em um fluido que se move com velocidade não uniforme, existe um gradiente de velocidade em uma ou mais direções. Pode-se considerar uma região que contenha um gradiente de velocidade como sendo composto de um conjunto de lâminas infinitamente finas, cada uma se movendo com velocidade diferente[5]. Devido à variação de velocidade entre as lâminas sucessivas, aparece uma força de atrito entre as mesmas, como resultante da força de retardo que a lâmina de menor velocidade exerce sobre a de maior velocidade. Essa força pode ser considerada como uma tensão de cisalhamento ( $\tau$ ), atuando paralela à superfície da lâmina de fluido, sendo que, em fluido newtoniano, a tensão de cisalhamento é proporcional ao gradiente de velocidade e pode ser expressa através da equação 6.

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \quad (6)$$

onde  $\mu$  é a viscosidade do fluido.

Durante uma soldagem, a viscosidade tem influência sobre a transferência de metal e sobre as características da escória. Uma escória de soldagem precisa ter viscosidade suficiente, para dar impermeabilidade contra os gases atmosféricos e para evitar que a mesma escorra para fora do cordão de solda; mas ela precisa ser suficientemente baixa, para permitir que os gases sejam retirados do metal fundido. Uma escória que não tem fluidez suficiente, para permitir a evolução dos gases do metal fundido, produzirá solda com superfície esburacada e a quantidade de furos pode variar de pequenos furos a grandes depressões superficiais, abrangendo toda a largura da solda[1].

Uma escória fluídica é desejável para uma rápida absorção das inclusões de óxidos do aço fundido. Contudo uma escória com alta fluidez escorreria para os lados e para frente do arco, aumentando a possibilidade de sobreposição com o metal de solda e subsequente dificuldade na remoção de escórias, enquanto uma escória muito viscosa pode quebrar-se ao ser deslocada pelo metal fundido, (principalmente nas soldas de juntas chanfradas), tendo como consequência, o seu aprisionamento[1].

De acordo ainda com Jackson[11], o fluoreto de cálcio ( $\text{CaF}_2$ ), óxido de ferro ( $\text{FeO}$ ), rutila ( $\text{TiO}_2$ ) e o óxido de manganês ( $\text{MnO}$ ) reduzem a viscosidade, sendo que o  $\text{CaF}_2$  é o mais efetivo e o  $\text{MnO}$  o menos efetivo. O óxido de cálcio também causa considerável decréscimo na viscosidade, mas, ao mesmo tempo, resulta grande aumento da temperatura de fusão. Com relação aos compostos que aumentam a viscosidade, o  $\text{SiO}_2$  é dos mais eficientes[13].

## CAPÍTULO IV

### CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS E ECONÔMICAS DE UM ELETRODO REVESTIDO

#### 4.1 - Introdução

Para a elaboração de um procedimento de soldagem deve-se atentar tanto para as propriedades mecânicas requeridas, bem como para o fator econômico, expresso pelo volume de consumíveis e tempo de soldagem gastos. Estes parâmetros são influenciados pelas características operacionais e econômicas de um eletrodo.

Neste capítulo serão definidas as principais características operacionais e econômicas de eletrodos para soldagem a arco, assim como, através de uma revisão bibliográfica, será mostrada a influência dos compostos químicos de um revestimento sobre essas características. Considerou-se como características operacionais a transferência de metal de adição, geometria e aparência do cordão de solda, destacabilidade de escória, e como características econômicas o consumo do eletrodo, produção específica de material depositado e os rendimentos.

#### 4.2 - Transferência de Metal de Adição

##### 4.2.1 - Tipo de transferência

O fluxo de massa é uma característica essencial de muitos processos de soldagem e é particularmente importante na soldagem a arco, utilizando-se eletrodos consumíveis, onde o eletrodo é ao mesmo tempo, uma fonte de calor e uma fonte de material de adição[5]. A transferência de metal líquido do eletrodo para a peça tem sido assunto de várias pesquisas[1, 2, 3, 5], e esta transferência pode-se dar de diversos modos, como se ilustra na figura 4.

Baseado nas informações obtidas em diversas pesquisas, o Instituto Internacional de Soldagem (IIW) desenvolveu uma classificação da transferência de metal de adição, a qual é reproduzido no quadro 5. Essa classificação é de caráter fenomenológico e não define os mecanismos dos vários modos de transferência.

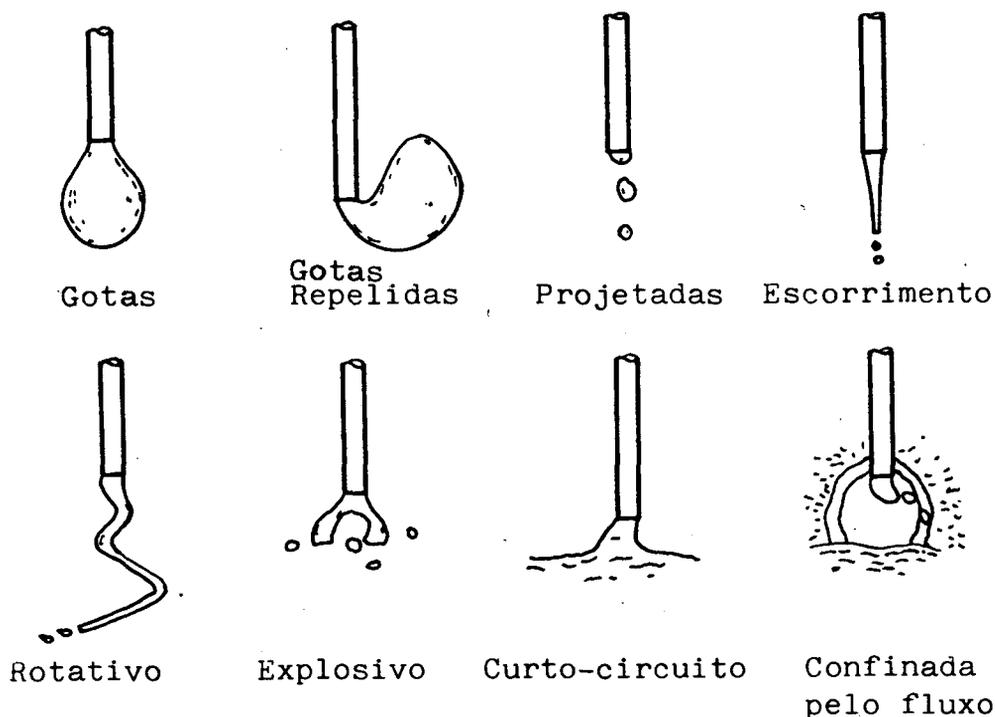


FIGURA 4 - Modos de transferência de metal segundo a classificação IIW[5].

TIPO DE TRANSFERÊNCIA		PROCESSOS DE SOLDAGEM	
TRANSFERÊNCIA LIVRE	GLOBULAR	GOTAS	MIG, MAG com baixa corrente
		REPELIDAS	MAG
	"SPRAY"	PROJETADAS	MIG, MAG com corrente intermediária
		ESCORRIMENTO	MIG, MAG com corrente média
		ROTATIVAS	MIG, MAG com alta corrente
EXPLOSIVO	Eletrodo Revestido		
TRANSF. COM LIGAÇÃO	CURTO-CIRCUITO	MIG, MAG com arco curto	
	LIGAÇÃO SEM INTERRUPTÃO	Soldagem com arame de adição	
TRANSF. PROTEGIDA PELA ESCÓRIA	CONFINADO PELA PAREDE DE FLUXO	Arco Submerso	
	OUTROS	Arco Submerso, Arame Tubular, Eletro-Escória	

QUADRO 5 - Classificação de transferência de metal segundo IIW[5]

O tipo de transferência de metal depende do comprimento, diâmetro e material do eletrodo, da atmosfera do arco, da polaridade, da intensidade e tipo de corrente e do comprimento do arco[15]. Algumas vezes, pode ocorrer uma combinação de vários tipos de transferência.

Algumas condições de transferência são características e influenciadas pelos fatores acima. Por exemplo, observa-se que, quando a corrente do arco é baixa e seu comprimento é grande, a transferência é globular e, quando a corrente excede um certo nível, ou seja, a corrente de transição, passa a ocorrer a transferência por aerossol (spray). Porém, na soldagem MIG-MAG, sempre que for usada a polaridade direta, com eletrodo de aço, dificilmente ocorrerá transferência por aerossol, mesmo em grandes intensidades de corrente, com qualquer gás de proteção. Com proteção de hélio e CO<sub>2</sub>, também é difícil obter-se tal tipo de transferência, qualquer que seja a polaridade[15].

Lancaster[5] e Quites[15] mostraram que, nos processos de soldagem com gás de proteção, existe uma corrente de transição abaixo do qual a transferência é na forma de grandes gotas que parecem ser destacadas pela ação da gravidade, e acima dessa corrente, pequenas gotas são projetadas através do arco. Na soldagem manual com eletrodo revestido, além das forças de origem eletromagnéticas, que facilitam a transferência de gotas, atuam outras, principalmente de origem metalúrgica, que são muito importantes na transferência de material. Nesse tipo de processo de soldagem, as variações no modo de transferência são causadas pelo tipo de revestimento que o eletrodo possa possuir. Por exemplo: grandes gotas, curto-circuito, gotículas ou aerossol (spray). Durante a soldagem, gotas de vários tamanhos são transferidas através do arco, mas o tipo de revestimento determina o modo predominante de transferência[6].

Para se entender o tipo de transferência é interessante estudar os mecanismos de transferência. Entre muitas forças que tem efeito significativo sobre a transferência de metal, as principais são[5, 6, 16]:

- a força gravitacional;
- tensão superficial e viscosidade;
- forças eletromagnéticas;
- pressão hidrostática e ação do jato plasma;
- reações metalúrgicas.

#### a) Força gravitacional

A força gravitacional favorece a transferência de metal no arco, quando a soldagem é feita na posição plana, mas dificulta o fluxo de gotas do eletrodo para solda, quando é realizada em outras posições, particularmente na posição sobre-cabeça.

Comparada com outras forças que atuam na transferência de metal, a força gravitacional é pequena e é praticamente desprezível para gotas de diâmetro menores do que o diâmetro do eletrodo[5, 15].

#### b) Tensão superficial e viscosidade

A intensidade da tensão superficial e a viscosidade do metal líquido e da escória na fusão de um eletrodo revestido tem um efeito marcante sobre o modo de transferência e movimento do metal na poça. A tensão superficial é a maior força que tende a evitar a transferência de uma gota do eletrodo, fazendo com que a gota adote uma geometria crescente e esférica. Porém, ao menor contato com a poça de fusão, esta atrai a gota para si, uma vez que a gota tem menor relação área superficial/volume. Quando a corrente é baixa e não há contato entre a gota e a peça, a força gravitacional e a tensão superficial se opoem, sendo elas as principais forças atuantes.

Se a temperatura aumenta pela elevação da corrente de soldagem, a tensão superficial do metal líquido é reduzida, e as forças que suportam as gotas se tornam menores, facilitando a sua transferência. Isso é favorecido também pela redução da viscosidade do metal líquido, quando a temperatura se eleva.

A tensão superficial, como comentado anteriormente (capítulo III), diminui através da introdução de certos compostos químicos, mesmo em quantidades mínimas, principalmente pela formação de óxido e filme de escória sobre a superfície das gotas.

Alguns fatores inerentes ao fenômeno podem sobrepor o efeito da tensão superficial e viscosidade. Por exemplo, na soldagem com eletrodos de alto hidrogênio, ácidos, celulósicos ou rutilícos, o metal do eletrodo fundido é, geralmente, supersaturado com hidrogênio e, frequentemente, com CO, no que resulta a sua efervescência, afetando, assim, o modo de fusão do eletrodo, mais do que tensão superficial e a viscosidade. Contudo, na soldagem com eletrodos do tipo básico de baixo hidrogênio, o metal da gota é geralmente bem desoxidado. Nesse caso, a tensão superficial e a viscosidade, tanto do metal, quanto da interface escória-metal determinam o modo de transferência. Geralmente, os eletrodos básicos produzem grandes gotas, porque o material produzido por esse eletrodo é acalmado e tem baixo conteúdo de hidrogênio[6].

#### c) Forças eletro-magnéticas

Uma forma simplista de explicar as forças eletromagnéticas é pela analogia de múltiplos condutores paralelos. Quando, em dois condutores paralelos, passa corrente na mesma direção, aparece força de atração entre eles. Uma gota fundida pode ser considerada como um conjunto de condutores flexíveis paralelos por onde passa a corrente, o que causa o aparecimento de força de atração entre eles. Como o formato da gota faz com que a seção junto do eletrodo seja menor do que no restante, as forças naquele local produzem um gradiente de pressão, decrescente no sentido longitudinal da gota. Este gradiente é responsável por um estrangulamento da mesma.

A ação das forças de origem eletromagnética (chamadas forças de Lorentz ou efeito pinch) sobre a transferência de metal no arco é mais pronunciada em processos de soldagem cuja densidade de corrente é elevada (MIG, MAG). Nos processos que utilizam baixa densidade de corrente, como na soldagem com eletrodo revestido, as forças eletromagnéticas resultantes podem ser consideradas desprezíveis[6].

#### d) Pressão hidrostática e ação de jato plasma

A transferência do plasma, metal e escória é também influenciada por maior temperatura e pressão mais próxima do eletrodo do que na vizinhança do metal de base. Se, no eletrodo, a

temperatura é maior, então, da mesma forma, a pressão do gás é maior próximo desse local. Conseqüentemente, isso resulta na transferência de fluxo de gás e de gotas somente na direção da peça e explica por que o arco se propaga para fora do eletrodo na direção da superfície do material[6].

O jato plasma, ou seja, um fluxo de gás também criado pelas forças eletromagnéticas, pode acelerar o destacamento e a transferência das gotas pelo arraste[5, 6].

### e) Reações metalúrgicas

Forças que resultam das reações metalúrgicas e gasosas na fusão do eletrodo e de seu revestimento parecem ser predominantes na transferência de metal e escória no arco[6, 8]. Os eletrodos revestidos, fabricados normalmente para soldagem em todas as posições, frequentemente perdem sua capacidade de soldagem na posição sobre-cabeça após a ressecagem a temperatura acima do 700 C. Desta forma, a remoção de gases do revestimento do eletrodo, isto é, uma eliminação parcial de reações gasosas na escória líquida e reações entre componentes gasosos do revestimento e metal líquido, parece ter um efeito muito maior do que outras forças.

Pela imersão em água desses eletrodos ressecados a alta temperatura, seu revestimento torna-se úmido, e o eletrodo torna-se novamente apto à soldagem sobre-cabeça. Esse efeito mostra, claramente, o efeito das reações gasosas sobre a transferência da fase líquida na soldagem sobre-cabeça.

A presença de gases no metal leva-o a efervescer e evaporar, podendo ocasionar o aparecimento de forças de expansão gasosa que facilita a transferência de metal na soldagem. Os gases envolvidos podem carregar, com eles, partículas metálicas e, quanto menos acalmado do ponto de vista metalúrgico, for o material, maiores são as forças que auxiliam na sua transferência, sendo que as gotas de metal transferido são frequentemente muito leves, porque seu interior está cheio de gases a alta temperatura[6].

Quando a soldagem é feita com arame de aço acalmado, o oxigênio pode formar uma camada de óxido sobre a superfície da gota, afetando a tensão superficial, mas não causando a eferves-

cência do metal, já que o mesmo combina principalmente com o silício em excesso, o que limita a possibilidade da formação de CO. Por outro lado, quando da soldagem com arame de aço efervescente (sem desoxidante), a dissolução do oxigênio favorece a efervescência do metal.

Na fusão dos eletrodos revestidos dos tipos oxidantes e ácidos as reações gasosas produzidas durante o consumo da alma são intensificadas principalmente pela penetração do hidrogênio e oxigênio na gota, os quais aumentam o estado de efervescência, facilitando a transferência.

Durante a soldagem com eletrodo revestido do tipo básico (baixo hidrogênio) uma pequena quantidade de hidrogênio e oxigênio penetram na ponta do eletrodo fundido. Além disso, o silício também pode penetrar na massa fundida e desoxidar, metalurgicamente, o metal. Por isso, esses eletrodos têm uma transferência através de gotas maiores

#### 4.3 - Consumo do Eletrodo

As principais fontes de calor que contribuem para o consumo dos eletrodos são[15]:

- o calor gerado no arco e na conexão arco-eletrodo;
- o calor gerado pela resistência elétrica do eletrodo (efeito Joule).

O aquecimento dos eletrodos, por efeito Joule é dependente da geometria e composição da alma, mas de acordo com Waszink[17], o efeito Joule é a menor parcela de energia térmica necessária para aquecer e fundir o eletrodo. Alguns autores[15, 17] afirmam que a contribuição do calor para fusão do eletrodo por condução e radiação térmica do plasma é pequena. Portanto a variação do consumo é dependente, principalmente, dos fenômenos que ocorrem na região das conexões arco-eletrodo, que podem ter características totalmente diferentes, dependendo da polaridade e do meio ionizante utilizados.

Na soldagem com eletrodos não consumíveis[15], o efeito polaridade é bem caracterizado: na polaridade direta(CC-), o eletrodo aquece menos do que quando o eletrodo está na polaridade

inversa (CC+). O motivo dessa ocorrência está ligado à maior quantidade de energia absorvida pelo pólo positivo, pois o elétron, além de existir em maior número do que ions, pelo fato de sua massa ser bem menor do que o menor cátion, possui uma mobilidade muito grande. Com isso, pode adquirir energia cinética muito maior, a qual é transferida durante as colisões dos elétrons com o eletrodo.

Já na soldagem com eletrodos consumíveis, como MIG, MAG e arco submerso, tem-se verificado o contrário[15], isto é, o consumo é maior quando em CC-. Essa ocorrência pode estar relacionado com uma transferência do tipo gota repelida, normalmente acontecida nessa polaridade. Neste caso, o arco ocorre diretamente sobre a alma do eletrodo, aquecendo uma massa ainda fria, enquanto, em outro tipo de transferência, o arco pode ocorrer sobre a gota já fundida, apenas superaquecendo-a, mas pouco contribuindo para a fusão do metal à montante.

Entretanto este modelo não pode ser considerado como absoluto, pois, em transferência por "spray", pode-se também esperar o arco abrindo diretamente sobre a alma, e, mesmo assim, o consumo em CC- é maior do que em CC+. Outra consideração importante é a influência que o efeito canhão possa ter, por impedir a formação da gota repelida, justificativa que pode ser usada para explicar o comportamento incerto do consumo em relação à polaridade em eletrodos revestidos, uma vez que estes podem apresentar efeito canhão em diferentes graus dependendo da composição do revestimento. A presença de  $\text{CaF}_2$ , no revestimento, pode causar um movimento errático do arco, isso promove uma fusão acelerada do revestimento, tal que nenhum ou um pequeno canhão é formado[18].

Também o tipo de transferência de metal através do arco elétrico afeta o consumo do eletrodo[5]. é de se esperar que transferência em gotas menores facilitem o consumo. O tipo de transferência é influenciada por vários fatores, entre eles:

a) Composição do revestimento

Dependendo da porcentagem e do tipo de elemento químico, pode aumentar ou diminuir a tensão superficial, com isso, pode-se ter uma transferência mais difícil ou mais fácil;

b) Geração de gases

Os gases gerados podem ter elementos de fácil ionização, e isso acarreta um arco mais estável, sendo que uma transferência em condições de instabilidade, pode ocorrer com gotas menores, com maior número de salpicos[8].

Outro fator que pode alterar o consumo é a geometria do arco, fazendo com que a frequência de transferência das gotas seja afetada pelo gradiente de pressão ao longo do comprimento do arco[12]. Quanto menor o diâmetro e/ou comprimento do arco, menor é esse gradiente, diminuindo, assim, a ação de arraste das gotas pelo jato plasma e, conseqüentemente, dificultando a transferência. A alta condutibilidade do meio, por exemplo, CO<sub>2</sub>, resulta em um arco de pequeno diâmetro, podendo surgir forças ascendentes que agem sobre a gota em fusão[11].

Outra fonte de calor podem ser as reações endotérmicas e exotérmicas geradas na ponta do eletrodo, as quais possuem características diferentes de acordo com a polaridade utilizada e com a composição do revestimento.

É importante, ainda, lembrar que, em CA, pode ocorrer uma redução da temperatura do arco durante a transição da corrente; essa redução será tanto maior quanto maior for a condutibilidade térmica dos gases no arco e maior o potencial de ionização[19].

#### 4.4 - Produção de Material Depositado e Rendimento de Deposição

A produção está vinculada aos fatores que afetam o consumo e aos fatores que afetam o rendimento de deposição ou rendimento convencional do eletrodo. Os fatores que influem no consumo já foram detalhados anteriormente; o rendimento de deposição está relacionado ao número de salpicos e à quantidade de metais no revestimento, como, por exemplo, o pó de ferro.

A salpicagem é uma das piores falhas de certos processos de soldagem a arco pois ela é responsável pela redução da produção de material depositado. A formação de salpicos tem sido estudada por vários pesquisadores, que formularam diversas alternativas para a sua formação. De acordo com Jackson[20], existem quatro fontes de salpicagem na soldagem com eletrodos consumíveis e gás inerte:

- a) evolução do gases na gota, causando a explosão da gota, ou da poça de solda, resultando a ejeção da mesma;
- b) efeito de contato ou de fusível, devido ao curto-circuito ou desintegração explosiva da conexão fina entre eletrodo-gota;
- c) instabilidade globular, devido ao tamanho excessivo, resultando a desintegração da gota;
- d) efeito pendular causado pelo movimento oscilatório dos pontos catódicos e anódicos, produzindo uma transferência errática ou multi-partículas.

Para Zaruba[21] e Essers[18], as causas mais importantes dos salpicos são o superaquecimento do metal líquido pela alta corrente de curto-circuito e a explosão da fina conexão entre eletrodo e gota líquida. Já Wegrzyn[6] utiliza a teoria iônica para explicar a salpicagem e, de acordo com o mesmo, os salpicos de metal fundido resultam de transferência comum e repulsiva de um fluxo de elétrons e de matéria carregada negativamente. Por exemplo: materiais com grande quantidade de ânions de flúor, resultam na repulsão do fluxo de elétrons sobre os materiais a seu redor, causando os salpicos que serão tanto maiores quanto mais fácil a dissociação do flúor e a formação de ânions, para o caso de eletrodos do tipo básico.

Quanto à redução da quantidade de salpicos, Zaruba[21] propõe que a mesma pode ser reduzida pela soldagem sem curto-circuito, conseguida pela seleção apropriada das condições de soldagem. Outra proposição feita por esse pesquisador é que os salpicos podem ser quase inteiramente eliminados, se somente parte da corrente ou nenhuma flua através da conexão eletrodo-gota e se o calor necessário para a fusão da conexão for fornecido pelo arco. Neste caso, não existe a possibilidade de explosão elétrica da conexão, ou sua energia é sensivelmente reduzida. Mas, se os pontos ativos (catódicos e anódicos) são bem definidos e concentrados sobre a gota, não existirão desvios, e a corrente romperá a conexão eletrodo-gota. Outra possibilidade é ajustar a indutância da fonte de modo que a taxa de crescimento da corrente no momento do curto-circuito seja tal que não haja o crescimento violento da temperatura.

Outra maneira de se diminuir a salpicagem na soldagem, no caso do eletrodo revestido, é a introdução de pó de ferro no revestimento[12, 16, 22]. Nos eletrodos sem pó de ferro, a corrente é transportada, em sua totalidade, pela alma do eletrodo. Nos eletrodos com pó de ferro, somente parte da corrente passa pela alma, já que o revestimento apresenta condutividade elétrica parcial, podendo surgir um arco secundário (entre o revestimento e o metal de base) em adição ao arco primário entre a alma e o metal de base. Durante o processo de transferência do metal fundido do eletrodo, o módulo da força de explosão, que atua no estrangulamento da gota, é menor, como consequência de somente parte da corrente ser transportada pelo núcleo. Também a formação de um canhão na ponta do eletrodo, facilitada pelo pó de ferro, pode diminuir a salpicagem.

Do exposto, depreende-se que a quantidade de salpicos é influenciada por muitos fatores, podendo-se citar como os mais importantes, no sentido do aumento dos salpicos, os seguintes:

- a transferência da gota do tipo globular e repelida;
- baixa estabilidade do arco;
- diminuição do efeito canhão;
- geração de gases.

#### 4.5 - Geometria e Aparência do Cordão de Solda

A geometria do cordão de solda é característica operacional que pode ser definida através dos seguintes parâmetros: penetração, largura e reforço. Esses parâmetros são influenciados por muitos fatores e os principais serão analisados a seguir.

A penetração da solda é tanto maior quanto maior a concentração e intensidade de energia e, também quanto maior a ação de cratera ou de escavação do arco. A concentração de energia é função do diâmetro do arco plasma e esse diâmetro é tanto menor:

- quanto maior a condutividade térmica dos gases presentes no arco;
- quanto menor o comprimento do arco;
- quanto menor o diâmetro do eletrodo.

Já a intensidade de energia aumenta à medida que:

- aumenta a corrente de soldagem;
- diminui a velocidade de soldagem;
- aumenta o consumo;
- aumenta a temperatura da gota.

No caso do consumo, a massa fundida que é transferida fornece calor latente para a chapa. Se a produção é maior que o consumo, é porque existem elementos de liga no revestimento e, com isso, parte do calor da gota é gasto para fundir os elementos de liga, diminuindo, assim, a temperatura da gota, ou seja, transferindo menos energia. Convém lembrar ainda que, em CC-, nos processos arco submerso, MIG e MAG, o consumo é maior, mas a penetração é menor do que em CC+. Isso provavelmente se deve ao fato de que, em CC+, a gota é superaquecida pela ação direta da conexão do arco sobre a gota que se forma, enquanto em CC- o arco incide sobre o eletrodo.

De acordo com Lancaster[5], é frequentemente assumido que a penetração na soldagem resulta da pressão exercida sobre a poça fundida, que comprime a superfície líquida para uma penetração profunda; portanto essa característica é provocada pela força do arco. Essa força pode ser devida à inércia de um fluxo de gotas metálicas ou a um jato de gás colidindo com a superfície da poça de solda (jato de plasma), ou, ainda, à combinação dos dois mecanismos.

Os mecanismos de formação de cavidade pela colisão de gotas de metais é um pouco diferente: quando uma gota se transfere para a poça de solda, ela cede energia cinética para uma região da superfície, e essa energia cinética pode ser consumida na geração de uma cavidade[5].

Quanto à ação do jato, ela é influenciada pela força e pela energia do jato. A força do jato é tanto maior quanto maior o comprimento do arco, e ou quando a condutividade térmica dos gases no arco é pequena. A energia do jato é aumentada com a entalpia dos gases no arco, pois o mesmo se desioniza, quando encontra a chapa com temperatura mais baixa. Com isso, o calor absorvido durante a sua ionização, é cedido para a chapa; um potencial de ionização maior implica em uma temperatura do arco mais alta.

Na soldagem com eletrodo revestido, tem sido mostrado que a penetração é realmente igual à cavidade formada na poça de solda[5]. Nesse caso, a densidade de corrente é muito baixa para gerar um jato eletromagnético, e o fluxo de gás resulta da decomposição do revestimento e reações químicas com a alma do eletrodo, principalmente o primeiro. A secagem dos eletrodos a uma temperatura alta, suficiente para retirar todos os materiais voláteis, torna-os, então, incapazes para soldagem[6]. É razoável deduzir que, em operação normal, as gotas transferidas são carregadas através do arco no fluxo de gás gerado pela decomposição do revestimento. A intensidade do fluxo de gás na soldagem com eletrodo revestido aumenta com a espessura do revestimento, tal que eletrodos com revestimentos espessos podem ser usados para corte de metal[5].

A penetração da solda é, muitas vezes, diminuída através da obstrução do jato, causado pela interposição da poça entre o arco e o metal de base. Os fatores que podem ocasionar essa interposição são: a velocidade de soldagem baixa e ou uma produção alta de material depositado.

A largura do cordão de solda é tanto maior quanto maior for o diâmetro do arco elétrico e quanto menor a viscosidade e tensão superficial da escória.

De acordo com Lancaster[5], na soldagem, a forma do reforço é determinada:

- pela largura da poça de solda;
- pelo volume de metal adicionado na poça de solda;
- pela pressão hidrostática sobre o cordão fundido;
- pela presença de escória;
- em altas correntes, pela velocidade com a qual o metal flui na direção da poça de solda.

O reforço do cordão de solda é aumentado à medida que o diâmetro do arco diminui, a área adicionada da solda ( $S_{ad}$ ) aumenta, e as propriedades, como tensão superficial e viscosidade, aumentam. O  $CaF_2$  é introduzido no revestimento do eletrodo, para diminuir o ponto de fusão e a viscosidade da escória[6] e o óxido de cálcio proveniente da decomposição do  $CaCO_3$  pode causar, também, uma considerável redução na viscosidade[8]. Quanto à tensão

superficial, ela pode aumentar com o teor  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{CaF}_2$  e ser reduzida pelo óxido de ferro[1].

Com relação à aparência do cordão de solda, ela pode ser influenciada por muitos fatores e, entre eles, pode-se citar:

- tensão superficial do metal de solda: quando alta, pode causar mordeduras[9]
- viscosidade da escória: se for alta, pode evitar a evolução dos gases, produzindo poros e depressões em toda largura do cordão de solda;
- pontos ativos muito móveis; podem ocasionar um arco errático e uma transferência de metal da mesma forma;
- manuseio incorreto, como variação do comprimento do arco.

#### 4.6 - Destacabilidade da Escória

##### 4.6.1 - Introdução

A destacabilidade da escória é uma propriedade muito importante, que pode influir nas condições econômicas e nas propriedades mecânicas de uma junta soldada por eletrodos revestidos ou arco submerso. Do ponto de vista econômico, supõe-se que a operação de remoção de escória ocupe de 12% a 18% do tempo total da soldagem de tubulações na posição horizontal, sem rotação (posição 5G), por eletrodo revestido[23]. Do ponto de vista da deterioração das propriedades mecânicas, no caso de solda com múltiplos passes, pode-se citar a inclusão de escórias na junta soldada.

A facilidade de remoção da escória é um dos fatores que os fabricantes devem analisar, mas acredita-se não ser o mais crítico, pois o objetivo principal, na formulação dos revestimentos e fluxos, é obter uma união soldada de boa qualidade do ponto de vista metalúrgico. Entretanto, como visto, uma difícil destacabilidade de escória pode comprometer o desempenho de um eletrodo ou fluxo.

O estudo dos fatores que afetam a destacabilidade de escória deveria merecer maior atenção. Há dificuldade muito grande em se obter material bibliográfico que trate do assunto sistema-

ticamente, pois, dos poucos autores [13, 24, 25] a que se tem acesso, tratam o assunto mais superficialmente, dando atenção apenas a alguns fatores que interferem nessa propriedade. O trabalho mais completo encontrado sobre o assunto foi uma revisão bibliográfica realizada na CONARCO - Alambres y Soldaduras (Argentina) por Pedreira [23]. Assim sendo, o que se propõe, a seguir, é um apanhado desse trabalho, com pequenas complementações.

#### 4.6.2 - Mecanismos de União do Sistema Metal-Escória

A união no sistema metal-escória se produz como resultante de processos físicos e/ou químicos, envolvendo, simultaneamente, um ou mais mecanismos. A separação desses mecanismos, como se apresenta abaixo, visa facilitar o entendimento.

##### a-) Mecanismos de União Física

A união física pode ser dividida em duas categorias: a união mecânica e a união através das forças de Van der Waals.

##### 1 - União Mecânica

Considera-se como união mecânica a adesão da escória no cordão de solda, devido à penetração da mesma, enquanto líquida, nas reentrâncias da superfície e posterior aprisionamento devido à solidificação. Dois fatores governam esse mecanismo, a molhabilidade e o coeficiente de dilatação.

A molhabilidade representa a propriedade de a escória líquida cobrir toda a superfície metálica, facilitando, então, a penetração nas reentrâncias mencionadas. Essa propriedade é função da tensão superficial entre os meios. Hazlett [9] mediu a tensão superficial de compostos químicos em diversos meios, como já mencionado no capítulo II. Esses dados devem ser olhados com uma certa ressalva, pois a escória é um sistema de vários compostos, podendo apresentar comportamento não necessariamente coerente.

Se a escória tiver menor coeficiente de dilatação que o metal de solda, poderá ocorrer retenção de escória, principalmente no passe de raiz, onde a mesma encontra restrições laterais para sua expansão pelas paredes do chanfro. No caso de solda por

arco submerso, é comum, na prática, fazer o primeiro passe em chanfros profundos com um perfil concavo, para facilitar a remoção da escória. O mesmo efeito pode acontecer, quando não houver restrições das paredes, pois a contração das reentrâncias provoca um efeito semelhante.

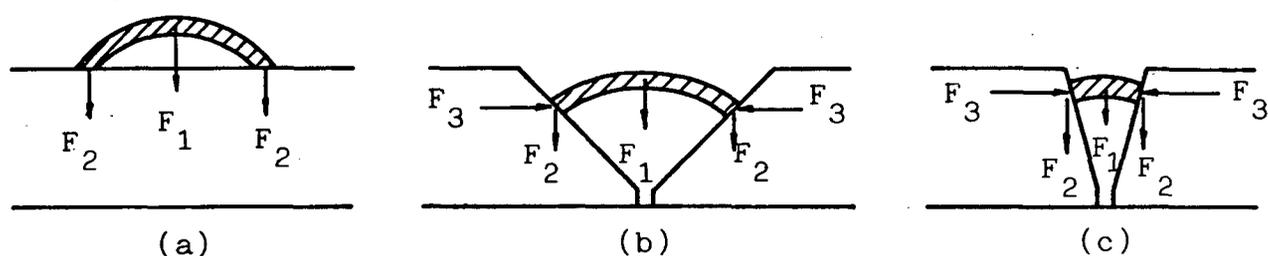


FIGURA 5 - Esquemas das forças atuantes no sistema metal-escória  
a-) simples deposição b-) chanfro de 90 c-) chanfro de 30

A figura 5 representa os sistemas de forças atuantes entre o metal e a escória, em função da geometria da junta. No sistema 5-a, a força atuante que retém a escória é  $F_1 + F_2$  (forças de aderência) e, nos casos das juntas chanfradas, aparece a componente  $F_3$  devido às restrições laterais, a qual está relacionada com os coeficientes de dilatação do metal e escória e com a geometria do chanfro, segundo a equação 7. À medida que o ângulo do chanfro diminui, a força  $F_3$  aumenta.

$$F_3 = \Delta \bar{\alpha} \Delta T \cos \frac{\phi}{2} \quad (7)$$

onde:

$\Delta \bar{\alpha}$  = diferença dos coeficientes médios de dilatação do metal e escória

$\Delta T$  = variação de temperatura durante o resfriamento da junta soldada

$\phi$  = ângulo do chanfro

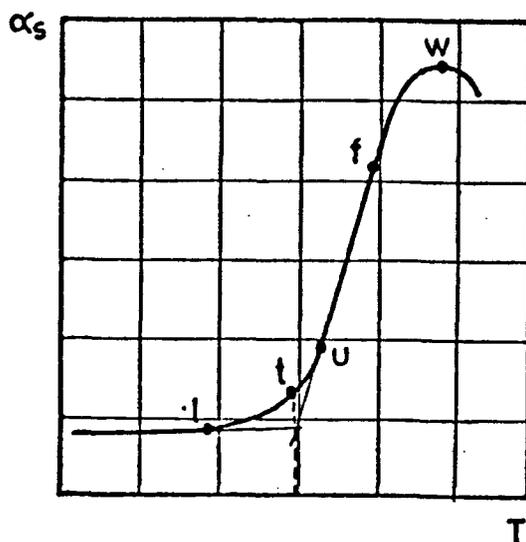


FIGURA 6 - Forma geral de uma curva de dilatação.

A figura 6 mostra uma curva típica dilatométrica com alguns pontos característicos que se associam a transformações estruturais durante o aquecimento e resfriamento do material na faixa de  $20^{\circ}\text{C}$  a  $900^{\circ}\text{C}$ . Abaixo da temperatura  $T_l$  (zona de baixas temperaturas), não é possível relacionar o comportamento da mesma com base nas transformações estruturais. O valor de  $\alpha_s$  pode aumentar ou diminuir em função da composição química, mas as variações são pequenas. No intervalo  $(T_l, T_u)$  a curva varia exponencialmente, evidenciando que a dilatação por transformações estruturais é mais significativa que a provocada pelas oscilações atômicas. A temperatura  $T_t$  é chamada de temperatura de transformação. O ponto característico  $t$  se determina mediante a intersecção das tangentes da curva nos pontos  $l$  e  $u$ .

Acima de  $T_u$ , o coeficiente de dilatação aumenta devido às variações da amplitude de oscilações dos átomos, razão pela qual  $\alpha_s$  é uma função basicamente linear com a temperatura. Quando a temperatura supera  $T_f$ , a escória apresenta propriedades plásticas que dificultam a medição do coeficiente.

Se, de um lado, um coeficiente de dilatação da escória menor que o do metal pode reter a escória, uma diferença entre os coeficientes, independente do sentido, pode criar tensões na interface metal-escória, facilitando seu desprendimento. Portanto é interessante que a diferença seja a maior possível. Para que uma escória seja auto-destacável, é necessário que esse estado de

tensões se oponha e supere as forças de união entre o metal e a escória. A escória deverá ter uma resistência adequada, para poder transmitir o esforço, pois o fato de ela trincar não garante o rompimento das ligações.

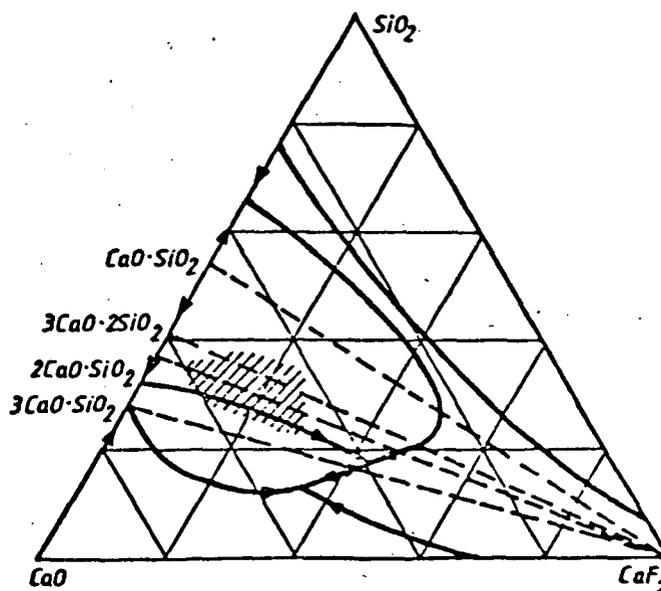


FIGURA 7 - Região de bom desprendimento no sistema ternário CaO-SiO<sub>2</sub>-CaF<sub>2</sub>.

Pode-se, ainda induzir um estado de tensões através de transformações polimórficas, que explicam a facilidade de remoção de algumas escórias de revestimentos básicos. No sistema ternário CaO-SiO<sub>2</sub>-CaF<sub>2</sub> da figura 7 existe uma região cuja composição da escória propicia uma grande facilidade de desprendimento. De acordo com Pedreira[23], durante o resfriamento do produto 2CaO.SiO<sub>2</sub>, ocorre uma transformação de fase com uma alteração de volume de 12%, o que pode resultar um auto desprendimento da escória. Porém, para que ocorra essa transformação é necessário haver tempo, isto pode ser conseguido através de pré-aquecimento, aumento da corrente ou diminuição da velocidade de soldagem.

Naturalmente, é de se esperar que a composição química da escória tenha uma grande influência sobre o coeficiente de dilatação. Davis[25] mostrou como variou o coeficiente de dilatação para diferentes formulações de fluxos para arco submerso. Entretanto, devido à diversidade da composição dos fluxos, não se pode tirar nenhuma correlação individual para cada componente. Pode-se verificar, apenas, que os fluxos básicos mostraram maiores coefi-

cientes, enquanto os fluxos a base de SiO<sub>2</sub> e MnO mostraram menores valores. De acordo com Pedreira[23], o coeficiente de dilatação aumenta com o teor de CaO.

Outras causas da dificuldade de remoção da escória ligada à união mecânica são devidas à fixação da mesma através das descontinuidades ou defeitos do cordão de solda. Os salpicos e mordeduras, por exemplo, podem aumentar o grau de aderência da escória. Para eliminar esses inconvenientes, devem-se utilizar os parâmetros de soldagem mais adequados para o tipo de eletrodo.

#### b-) União através da força de Van der Waals

As forças de Van der Waals são forças que se originam de dipolos elétricos flutuantes, isto é, sob certo intervalo de tempo, o centro das cargas positivas dos prótons no núcleo e o centro das cargas negativas dos elétrons estão no centro de cada molécula. Contudo, os movimentos dos elétrons e a vibração atômica distorcem a simetria elétrica, de tal modo que, em cada pequena fração de segundo, os centros das cargas, positivas e negativas, não coincidem. Estabelece-se, então, um dipolo elétrico, dando à molécula uma extremidade positiva e outra negativa, o que, por sua vez, induz um dipolo nas moléculas adjacentes que têm os seus elétrons deslocados em resposta a esse pequeno campo elétrico. Conseqüentemente, surgem forças atrativas, geralmente de pequena intensidade e que, de acordo com o autor[23], podem ser desprezadas no caso da ligação escória-cordão de solda. Por essa razão, está sendo mencionada apenas a título de ilustração.

## 2 - União Química

Para que haja uma união química, Pedreira[23] descreveu, como condições necessárias, mas não suficientes, os seguintes fatores fundamentais:

- a presença de óxidos entre as superfícies do metal depositado e da escória;
- a semelhança dos parâmetros cristalinos na sucessão "metal-película de óxidos-óxidos na escória" que permita a continuidade da interface.

Durante o período de coexistência da escória líquida com o metal já solidificado, a mesma reage com a superfície do metal depositado, formando uma película de óxidos. Essa película pode crescer devido à continuação da reação, ou pelo fato de a escória líquida conter óxidos do mesmo tipo da película ou mesmo compostos de reação que, presentes na escória líquida, possuam estrutura cristalina com parâmetros de rede similares aos óxidos da película. Desse modo, produz-se, na solidificação da escória um crescimento epitaxial que estabelece uma união química pela continuidade da estrutura cristalina da película dentro da escória.

Porém a simples existência das condições para haver a união química não garante uma ação determinante no grau de facilidade da destacabilidade da escória. A primeira condição necessária para se ter uma união química é a formação de uma película de óxidos devido à oxidação do Fe ou outros elementos de liga de maior afinidade pelo oxigênio, presentes no metal de solda.

O potencial de oxidação da escória tem uma importância muito grande. De acordo com Pedreira[23], pode-se afirmar, em geral, que, quando não se forma a película de óxido (baixa oxidação) a escória tem boa destacabilidade. Por outro lado, quando se forma a película de óxido, pode-se ter ou não boa destacabilidade, de acordo com os tipos de óxidos que compõem a escória.

Para que ocorra uma união forte através do crescimento da película com continuidade cristalográfica, alguns autores propuseram a necessidade da presença de compostos do tipo  $MeO.MeO_3$  (espinelas), mas trabalhos posteriores mostraram que escória altamente oxidante (contendo espinelas) também obtiveram boa destacabilidade. Portanto não basta haver espinelas, para se ter uma união forte, pois o tipo e a distribuição das mesmas alteram as características da união química. Acredita-se que as espinelas devam interfaciar a película de óxidos, para dificultar a remoção da escória.

Pedreira[23] faz referência, ainda, a que Ti, V, Mo e Cr, presentes nos aços, deterioram a destacabilidade pelo efeito da união química. Por outro lado, o Zr, por não formar espinela e ter maior afinidade pelo oxigênio do que os elementos citados, pode ser utilizado, para melhorar a destacabilidade da escória. O uso de  $TiO_2$  no revestimento ou fluxo é também referenciado como

melhorador de destacabilidade, por combinar com monóxidos, evitando a formação de espinelas.

Finalmente, existe a necessidade da semelhança dos parâmetros atômicos para haver o crescimento epitaxial da película de óxido, isto é, a substituição de óxidos para a continuação do crescimento da espinela deve-se dar por outro óxido de parâmetros atômicos semelhantes ao anterior. É importante, ainda, lembrar que a escória é uma mistura de fases amorfas e cristalinas, e, quanto maior a quantidade da primeira, menor o efeito da ligação química. Isso faz com que a energia de soldagem também influa sobre a ligação química, pois é de se esperar que, quanto maior a velocidade de resfriamento, maior a porcentagem de fases amorfas presentes[23].

## CAPÍTULO V

### PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

#### 5.1 - Introdução

O presente trabalho tem como objetivo o estudo da influência da variação de determinados compostos químicos, que fazem parte do revestimento de um eletrodo do tipo básico, sobre as principais características operacionais e econômicas de uma soldagem. E, para tal, utilizaram-se vários grupos de eletrodos experimentais com variações sistemáticas do  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaF}_2$ , teor e tipo de pó de ferro e fator de revestimento.

As características operacionais e econômicas analisadas foram as seguintes:

- consumo específico do eletrodo;
- produção específica de material depositado;
- rendimento convencional e rendimento real do eletrodo;
- geometria e aparência do cordão de solda;
- destacabilidade de escória.

Além dessas características, foram feitas, também, experiências, para tentar quantificar a transferência de metal para a poça de solda em função da variação da composição do revestimento do eletrodo.

#### 5.2- Soldagem dos Corpos de Prova

Na soldagem dos corpos de prova foi utilizada um retificador/transformador de soldagem, do tipo corrente constante. Para garantir a repetibilidade dos ensaios, as soldagens foram feitas por um simulador de soldagem manual[26], o qual permite manter o comprimento do arco praticamente constante e no valor desejado,

através de um controlador eletrônico que compara a tensão da soldagem com uma tensão de referência que é previamente introduzida no controlador. Ao fixar uma tensão de referência, fixa-se na verdade um determinado comprimento de arco, e esse comprimento é controlado pela projeção do arco, através de lentes, em uma tela graduada. Como se sabe, todas as vezes que se altera o comprimento do arco, tem-se uma variação da tensão de soldagem e, no caso de esta diferir da tensão de referência, o controlador emite sinais para o moto-reductor, fazendo com que a velocidade de avanço se altere, corrigindo, assim, o comprimento do arco. A velocidade de soldagem foi mantida constante através de um carro portátil para corte "tartaruga", com as seguintes especificações:

- marca: White Martins
- modelo: MR-510
- faixa velocidade: 80 - 1300 mm/min

As figuras 8, 9 e 10 ilustram os equipamentos utilizados para a execução das soldagens dos corpos de provas

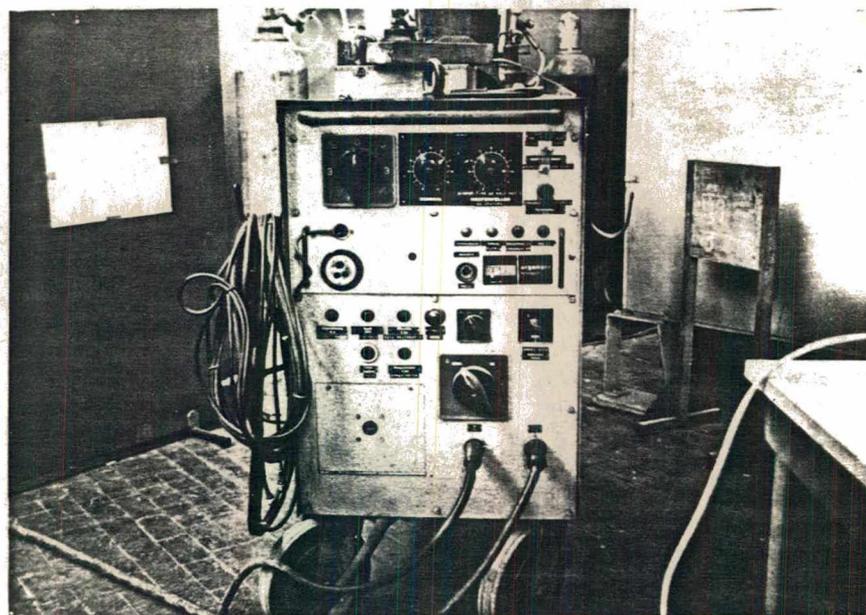


FIGURA 8 - Fonte de soldagem

MARCA: OERLIKON - ARGONARC

TIPO: AD - 360 WR

$\cos \psi = 0,72$  a  $I = 280$  A

Frequência = 60 Hz

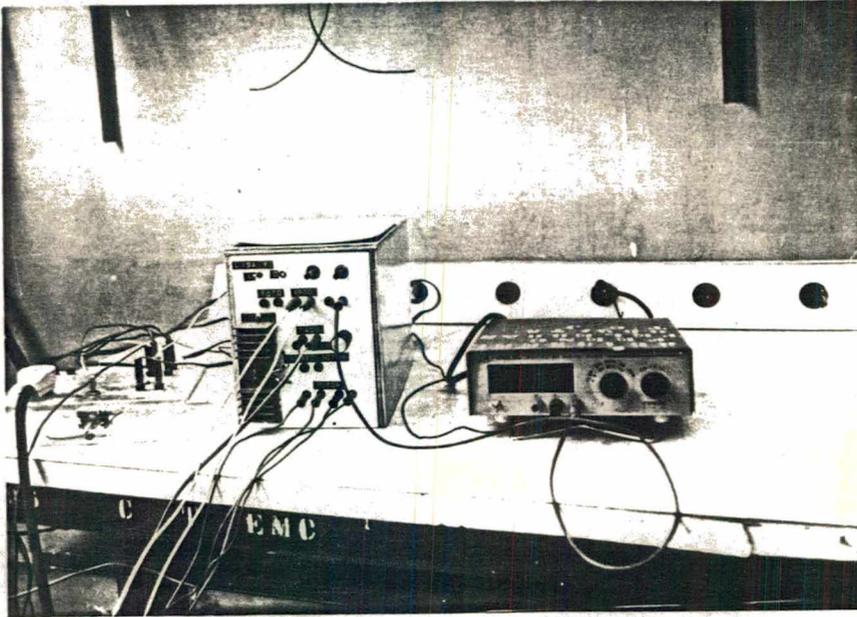


FIGURA 9- Controlador eletrônico do simulador de soldagem manual

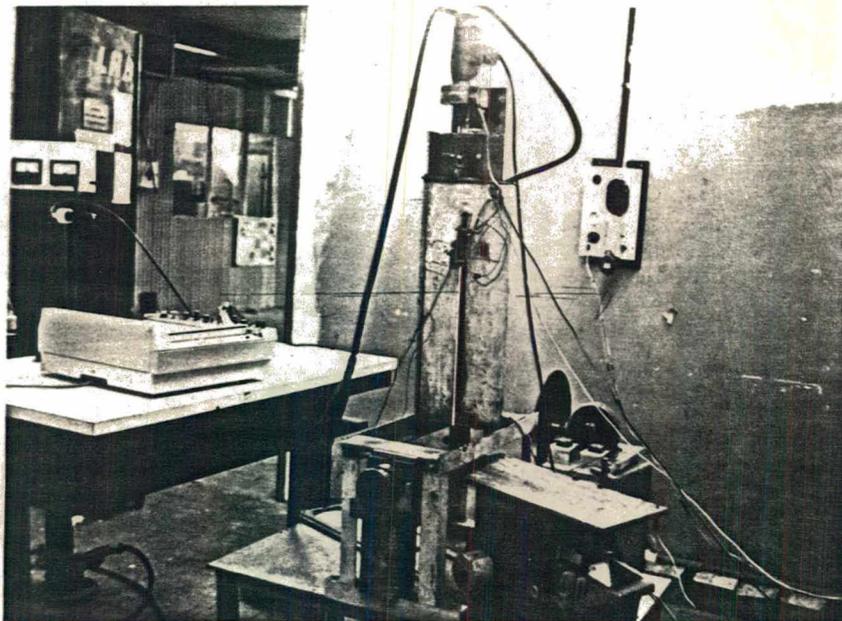


FIGURA 10 - Dispositivo de acionamento do eletrodo e movimentação do corpo de prova

Todos os ensaios, com exceção da destacabilidade de escória, foram executados em CC+, CC- e CA, nas seguintes condições de soldagem:

- corrente de soldagem  $I = 160 + 5$  (A)
- comprimento do arco  $a = 4,0 + 0,5$  (mm)
- velocidade de soldagem  $v_s = 12,0$  (cm/min)

Para cada tipo de eletrodo e para cada tipo de corrente, foram soldados três corpos de prova, por simples deposição, em chapa de aço ABNT 1020, com comprimento 250 mm, largura 50 mm e espessura 6,4 mm.

A tensão e a corrente de soldagem foram medidas com um sistema de aquisição de dados (SAD) interfaciado com um micro-computador HP-85, conforme a figura 11. Em corrente alternada, foi utilizado o voltímetro rápido interfaciado ao SAD, para medida da tensão, enquanto a corrente foi medida com um amperímetro analógico, como pode ser visto na figura 12. As características dos equipamentos utilizados são as seguintes:

- micro-computador:
  - marca: HP
  - modelo: 3054 DL DATALOGGER
  
- aquisitor de dados:
  - marca: HP
  - modelo: 3497 A DATA ACQUISITION CONTROL UNIT
  
- voltímetro rápido
  - marca: HP
  - modelo: 3437 A SYSTEM VOLTMETER
  
- amperímetro:
  - tipo: analógico com bobina móvel (CA)
  
- "Shunt":
  - tipo: 300 A - 60 mV (CC)



FIGURA 11 - Equipamentos utilizados para medição de corrente e tensão de soldagem em CC.



FIGURA 12 - Equipamentos utilizados para medição de corrente e tensão de soldagem em CA.

Para que fosse possível a utilização dos equipamentos anteriormente descritos, foi necessário desenvolver "software" para a medição da tensão e corrente de soldagem:

a) Medição de Tensão e Corrente em CC.

Os programas empregados para a medição de tensão e corrente de soldagem estão listados no anexo 1; com frequência de medida = 4/s

b) Medição de Tensão Alternada.

O programa utilizado para a aquisição de dados em CA encontra-se no anexo 2; frequência de medida = 1800/s

c) Registro e Processamento em CC.

Os programas para a listagem dos valores de tensão e corrente de soldagem, assim como os seus valores médios e desvios padrões encontram-se no anexo 3.

d) Registros e Processamento em CA.

Para a confecção dos gráficos de tensão de soldagem em corrente alternada, assim como para o cálculo dos valores eficazes, recorreu-se aos programas listados no anexo 4. É importante destacar que o formato da onda de tensão em CA não é senoidal.

O esquema da figura 13 ilustra a interligação de todos os equipamentos utilizados durante a soldagem dos corpos de provas.

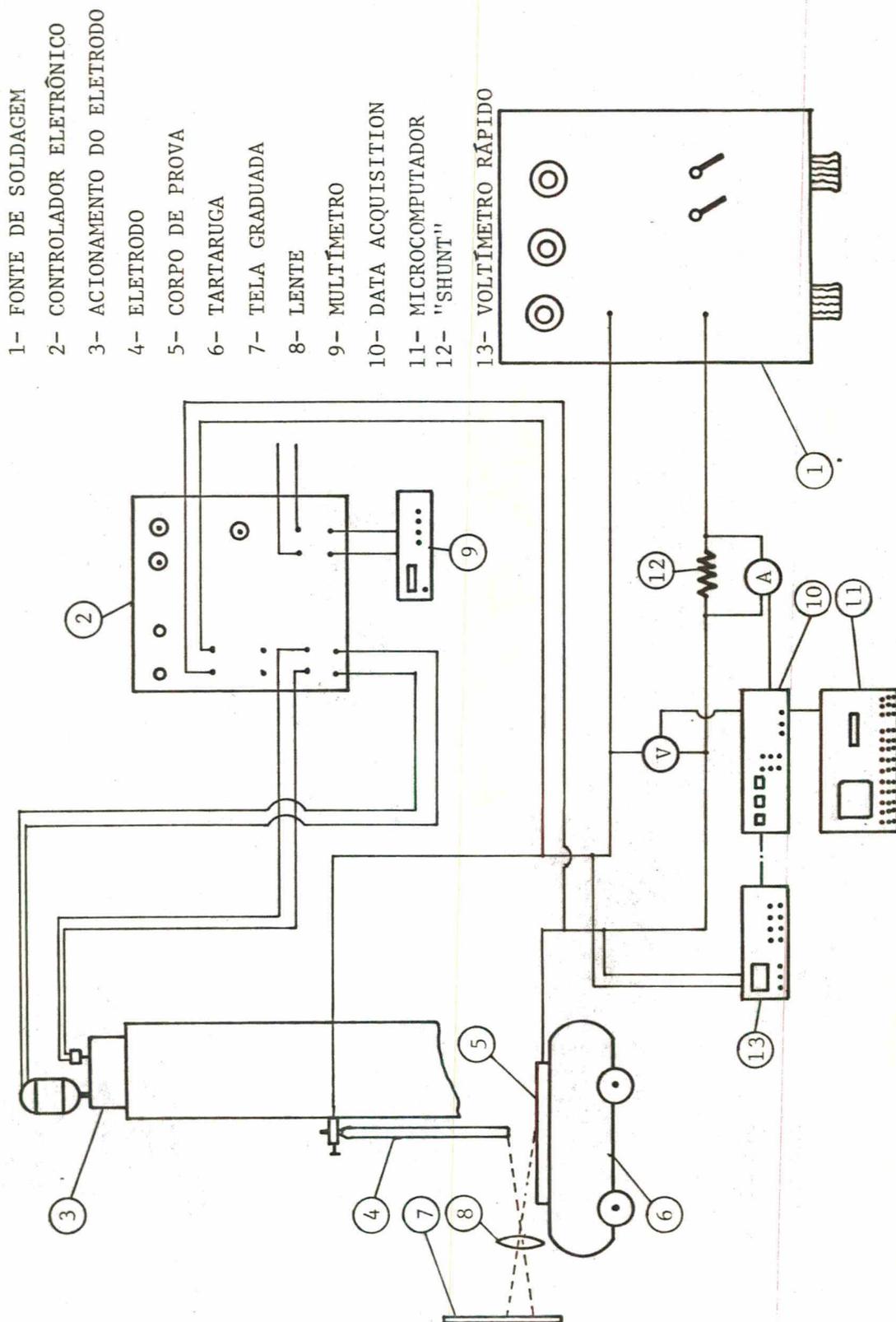


FIGURA 13 - Interligações de equipamentos.

### 5.3 - Consumíveis

O eletrodos utilizados neste trabalho, gentilmente cedidos pela CONARCO - Alambres y Soldadura, foram fabricados com uma alma de 4 mm de diâmetro e 450 mm de comprimento, possuindo nove variações, como é mostrado no quadro 6, de tal forma que foram divididos em quatro grupos:

- grupo I \*      variação do teor de  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{CaF}_2$
- grupo II      variação do teor de  $\text{CaCO}_3$  e pó de ferro
- grupo III     variação do fator de revestimento
- grupo IV      variação da densidade aparente e da granulometria do pó de ferro

De acordo com o quadro 6, os revestimentos de alguns dos eletrodos possuem, na sua composição, pó de ferro do tipo atomizado (ATOMIZED ELTRIX 400) e os outros do tipo Hoeganaes.

O tipo atomizado é obtido através de uma atomização de um fluxo de metal, por meio de uma cortina de água que flui a uma determinada pressão e com ângulo de incidência específico. As partículas obtidas por esse processo são sólidas, de forma irregular, com conteúdo de  $\text{O}_2$  e  $\text{H}_2$  maior do que obtido no outro processo. Uma característica importante das partículas obtidas por atomização é a fina camada de óxido ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) que se forma na sua superfície e exerce diferentes efeitos nos diferentes revestimentos[22], quais sejam:

- aumenta a molhabilidade da escória dos eletrodos básicos.
- em eletrodos com revestimentos rico em  $\text{TiO}_2$ - $\text{SiO}_2$ , a presença de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , na superfície das partículas de pó de ferro, dificulta a inclusão de escória no metal de solda.

Já o pó de ferro do tipo Hoeganaes é obtido através de uma redução da magnetita com um agente redutor, como coque ou outra fonte de carbono, na presença de  $\text{CaCO}_3$ . O exame microscópico do material produzido por esse processo mostra que as partículas são completamente porosas e de aspecto esponjoso.

As características dos pó de ferro utilizados na fabricação dos eletrodos experimentais estão nos anexos 5, 6 e 7.

TIPO DO ELETRODO	FATOR DE REVEST.	CaCO <sub>3</sub> %	CaF <sub>2</sub> %	PÓ DE FERRO %	FERRO SILÍCIO %	FELDSPATO %	QUARTZO %	CELULOSE %	MANGANÊS METÁLICO %	DENSIDADE APARENTE g/cm <sup>3</sup>	TIPO DO PÓ DE FERRO E GRANULOMETRIA
VR/018		25	25	32	4	2	5	2	5		
VR/019	1,7	30	20	32	4	2	5	2	5		
VR/020 VR/046		20	30	32	4	2	5	2	5	3,45	ATOMIZED ELTRIX - - 400
VR/020	1,5	20	30	32	4	2	5	2	5		43 µm
VR/020	2,1	20	30	32	4	2	5	2	5		
VR/048		20	30	32	4	2	5	2	5	2,45	HOEGANAES W-423 A 100 µm
VR/047 VR/057	1,7	20	30	32	4	2	5	2	5		
VR/058		30	30	22	4	2	5	2	5	2,60	HOEGANAES W-100 43 µm
VR/059		40	30	12	4	2	5	2	5		

QUADRO 6 - Composição dos eletrodos experimentais.

Antes da soldagem, os eletrodos foram ressecados a uma temperatura de 250 C por uma hora, atendendo a recomendação do fabricante[27].

#### 5.4 - Consumo Específico Convencional do Eletrodo

O consumo específico convencional ( $C_e$ ) é definido como a quantidade da alma de eletrodo consumido por unidade de tempo e por unidade de corrente, sendo que essa característica pode ser avaliada, para eletrodos com alma de aço, segundo a equação 8.

$$C_e = 0,0222 \frac{d^2 (l_i - l_f)}{t_f \cdot I} \quad (8)$$

onde:

$C_e$ = consumo específico do eletrodo	(kg/hA)
$d$ = diâmetro da alma do eletrodo	(mm)
$I$ = corrente de soldagem	(A)
$t_f$ = tempo de fusão	(s)
$l_i$ = comprimento inicial do eletrodo	(mm)
$l_f$ = comprimento final do eletrodo	(mm)

Como foram utilizado eletrodos com 4 mm de diâmetro, o  $C_e$  foi avaliado através da seguinte equação

$$C_e = 0,355 \frac{(l_i - l_f)}{t_f \cdot I} \quad (9)$$

Os dados foram coletados da seguinte forma: foi feita a medição do comprimento do eletrodo antes e após a soldagem com auxílio de uma escala metálica com resolução de 0,5 mm. Quanto ao tempo, corrente e tensão de soldagem foram registrados no micro-computador, voltímetro e amperímetro.

### 5.5 - Produção Específica de Material de Adição

A produção específica de material de adição ( $P_e$ ) é a quantidade de material depositado pelo eletrodo na unidade de tempo e por unidade de corrente. Nessa quantidade, podem estar também elementos provindos pelo revestimento. Com isso, dependendo da composição do revestimento, a produção pode ser maior que o consumo.

A produção específica foi determinada pela equação 10

$$P_e = 3,6 \frac{(M_f - M_i)}{t_f \cdot I} \quad (10)$$

onde:

$P_e$	= produção específica de material de adição	(kg/hA)
$M_i$	= peso da chapa sem o cordão de solda	(g)
$M_f$	= peso da chapa com o cordão de solda	(g)
$t_f$	= tempo de fusão do eletrodo	(s)
$I$	= corrente de soldagem	(A)

Todas as chapas foram pesadas antes e após a soldagem em uma balança com resolução de 0,1 grama, enquanto o tempo, corrente e tensão de soldagem foram registrados no microcomputador, voltímetro e amperímetro.

### 5.6 - Rendimento Convencional e Rendimento Real do Eletrodo

Rendimento convencional ou rendimento de deposição ( $\eta_c$ ) é a relação entre a produção e o consumo específico convencional, expresso em porcentagem. Esse parâmetro foi avaliado através da equação 11.

$$\eta_c = \frac{P_e}{C_e} \cdot 100 \quad (11)$$

Rendimento real ou rendimento do eletrodo ( $\eta_r$ ) é a relação entre o peso de material depositado e o peso da parte consu-

mida do eletrodo, incluindo o revestimento, expresso em porcentagem. A avaliação foi feita com auxílio da equação 12.

$$nr = \frac{(Mf - Mi)}{(mf - mi)} 100 \quad (12)$$

onde:

Mi = peso da chapa sem o cordão de solda (g)

Mf = peso da chapa com o cordão de solda (g)

mi = peso inicial do eletrodo (g)

mf = peso final do eletrodo (g)

### 5.7 - Geometria do Cordão de Solda

Para análise da geometria do cordão de solda, foram feitas duas macrografias em cada corpo de prova, sendo que os cortes foram efetuados a 30 mm de distância do início e do final do cordão de solda; para o ataque dos corpos de prova, foi utilizado o reativo de Iodo

A quantificação da penetração, largura e reforço do cordão de solda foi feita através de um projetor de perfil, com ampliação de dez vezes, sendo que as medições foram efetuadas com auxílio do deslocamento da mesa do aparelho. A figura 14 mostra o equipamento utilizado para avaliar a geometria do cordão.

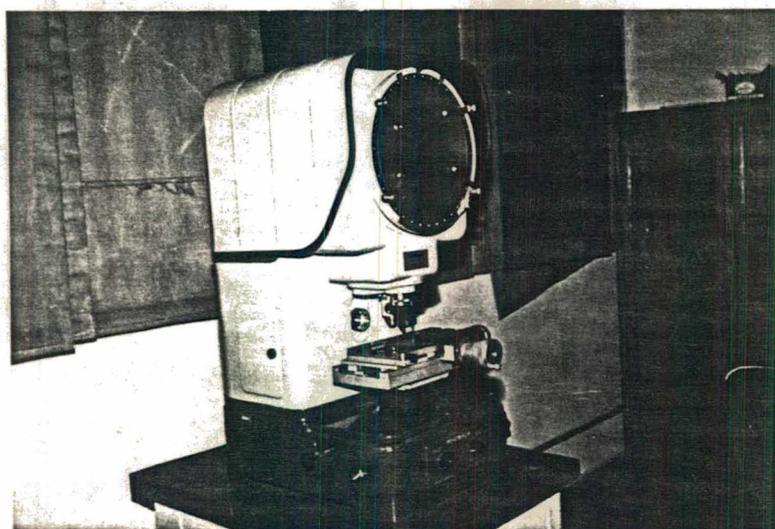


FIGURA 14 - Projetor de perfil

marca: NIKON modelo: 6C

## 5.8 - Aparência do Cordão de Solda

Para a avaliação da influência dos compostos químicos na aparência do cordão de solda, foram feitas somente análises comparativas visuais através de fotografias dos corpos de provas.

## 5.9 - Destacabilidade da Escória

Apesar de haver muitos meios para melhorar a destacabilidade da escória, não se têm meios seguros de quantificar essa propriedade, o que dificulta o estudo sobre o assunto. Entretanto, Vornovitskii et alii[24] propuseram um método que consistia em:

- aplicação de uma carga dinâmica na direção paralela à das forças de adesão da escória depositada em um corpo de prova padrão;
- avaliação da destacabilidade no passe de raiz, já que, nele, a contração é maior que nos passes seguintes; portanto as restrições são maiores.

A avaliação da destacabilidade foi baseada na área de escória destacada para uma certa energia de choque. O índice de destacabilidade proposto, por Vornovitskii et alii[24] é determinado através da equação 13.

$$D = \frac{P \cdot l (1 - \cos \psi)}{A} \quad (13)$$

onde:

D = índice de destacabilidade da escória	(kgf m/cm <sup>2</sup> )
P = peso da massa do pendulo	(kgf)
l = comprimento do pendulo	(m)
ψ = ângulo de queda	(graus)
A = área livre de escória após o impacto	(cm <sup>2</sup> )

O corpo de prova utilizado simula uma junta em V, como mostra a figura 15, e a carga dinâmica é aplicada através de um equipamento construído com formato semelhante ao do teste Charpy,

de dimensões reduzidas de acordo com a figura 16. O equipamento foi construído com um pendulo de 2,0 kgf e um comprimento de 400 milímetros, sendo que foi utilizado um angulo de queda de 165 graus para todos os ensaios.

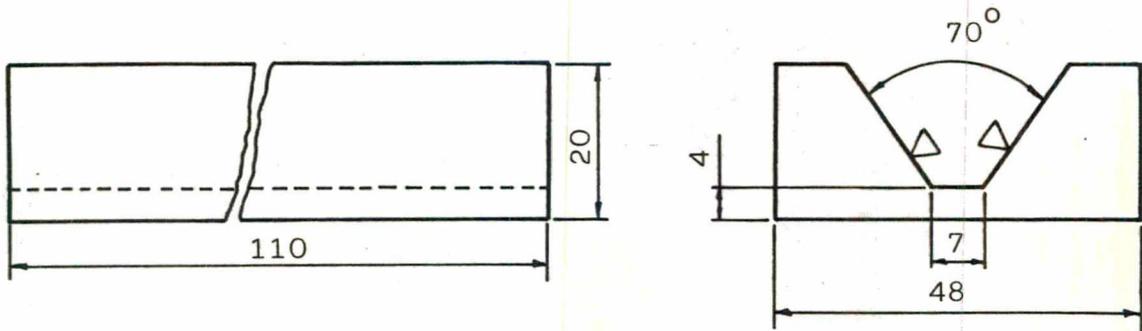


FIGURA 15 - Corpo de prova padrão para o ensaio de destacabilidade da escória[24]

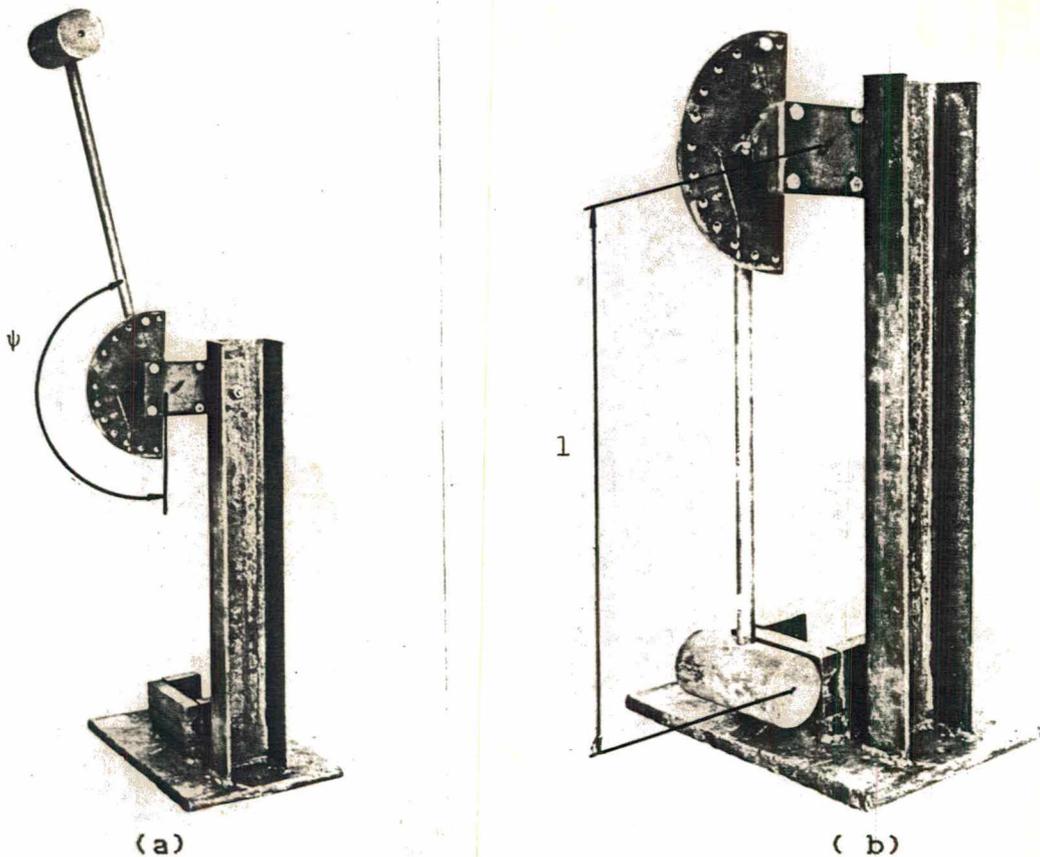


FIGURA 16 - Despositivo para realização do teste de destacabilidade. (a) posição inicial (b) posição final

Na experiência da destacabilidade de escória, foram estudados, somente, a influência da  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaF}_2$ , pó de ferro e fator de revestimento sobre essa característica, e, para tal, utilizaram-se os eletrodos dos grupos I, II e III.

A soldagem dos corpos de provas foi feita através do equipamento automático que simula a soldagem manual. Procurou-se manter um comprimento de arco em cerca de 2mm, utilizando-se da velocidade de soldagem de 12 cm/min e uma corrente de 160 A em CC+.

A avaliação da área livre de escória após impacto foi feita através de medições, com um planímetro, das áreas livres transferidas para um papel vegetal.

Para possibilitar a análise dos resultados mediu-se, ainda, o coeficiente de dilatação de algumas escórias e do material da alma do eletrodo. A preparação dos corpos de prova das escórias foram feitas da seguinte maneira[28]: a escória foi pulverizada e todas as partículas metálicas (salpicos) foram retiradas através de um ímã; em seguida, o pó foi misturado com parafina e prensado no formato de um cilindro de 10 mm de diâmetro por 10 mm de comprimento e, posteriormente, sinterizado a vácuo.

O ensaio dilatométrico foi feito com o corpo de prova sendo aquecido em um dilatômetro diferencial, com velocidade de aquecimento entre  $5^\circ\text{C}$  a  $10^\circ\text{C}$  por minuto, entre as temperaturas ambiente e  $850^\circ\text{C}$ , e o registro foi feito através de um registrador da marca NETZSCH.

## CAPÍTULO VI

## RESULTADOS EXPERIMENTAIS

## 6.1 - Tipos de Análises

Para analisar a influência de determinados compostos químicos e do fator de revestimento sobre as principais características operacionais e econômicas, os eletrodos foram divididos em quatro grupos, como mencionado no capítulo anterior. Mas nem todas as análises foram feitas com todos os eletrodos, sendo que o quadro 7 ilustra os tipos de análises feitos com os eletrodos experimentais e com um eletrodo comercial da classe AWS E-7018, utilizado como referência.

GRUPO	ELETRODO	CARACTERÍSTICAS ANALISADAS					
		CONSUMO	PRODUÇÃO	RENDIMENTOS	GEOMETRIA	APARÊNCIA	DESTACABILIDADE
I	VR/018	X	X	X	X	X	X
	VR/019	X	X	X	X	X	X
	VR/020	X	X	X	X	X	X
II	VR/057	X	X	X	X	X	X
	VR/058	X	X	X	X	X	X
	VR/059	X	X	X	X	X	X
III	f= 1,5	X	X	X	X	X	X
	f= 1,9	X	X	X	X	X	X
	f= 2,1	X	X	X	X	X	X
IV	VR/046	X	X	X	X	X	
	VR/047	X	X	X	X	X	
	VR/048	X	X	X	X	X	
	E-7018	X	X	X	X	X	X

QUADRO 7 - Tipos de análises realizados com os eletrodos

## 6.2 - Consumo, Produção e Rendimentos

Os quadros 8 a 11 mostram os valores médios do consumo específico, produção de material de adição e rendimentos.

TIPO DE ELETRODO	TIPO DE CORRENTE	CONSUMO ESPECÍFICO g/ha		PRODUÇÃO ESPECÍFICA g/ha		RENDIMENTO CONVENCIONAL %		RENDIMENTO REAL %	
		Valor Médio	Desvio Padrão	Valor Médio	Desvio Padrão	Valor Médio	Desvio Padrão	Valor Médio	Desvio Padrão
E-7018	CC <sup>+</sup>	7,25	0,09	7,57	0,07	104,4	2,2	69,3	1,8
	CC <sup>-</sup>	6,35	0,28	6,24	0,47	98,2	3,1	65,6	1,7
	CA	6,40	0,11	7,44	0,11	116,3	1,3	76,8	0,5

QUADRO 8 - Valores médios do consumo, produção e rendimentos do eletrodo E-7018

TIPO DE CORRENTE	TIPO DE ELETRODO	CONSUMO ESPECÍFICO g/ha		PRODUÇÃO ESPECÍFICA g/ha		RENDIMENTO CONVENCIONAL %		RENDIMENTO REAL %	
		Valor Médio	Desvio Padrão	Valor Médio	Desvio Padrão	Valor Médio	Desvio Padrão	Valor Médio	Desvio Padrão
CC <sup>+</sup>	VR/020	7,65	0,11	6,25	1,03	81,5	13,3	50,8	8,3
	VR/018	7,94	0,21	6,80	0,88	85,5	9,1	54,5	5,8
	VR/019	8,24	0,02	7,33	0,77	89,0	9,4	57,4	6,2
CC <sup>-</sup>	VR/020	8,08	0,24	6,50	0,47	80,2	6,0	51,2	3,6
	VR/018	8,38	0,25	6,69	0,44	79,8	2,9	51,0	2,5
	VR/019	8,97	0,16	7,12	0,30	79,4	2,0	51,2	1,1
CA	VR/020	8,03	0,46	9,00	1,00	111,8	5,9	70,1	3,5
	VR/018	7,20	0,22	7,28	0,41	101,2	6,5	64,7	3,4
	VR/019	7,68	0,12	7,64	0,12	99,5	2,5	64,6	1,3

QUADRO 9 - Valores médios do consumo, produção e rendimentos dos eletrodos VR/018, VR/019 e VR/020

TIPO DE CORRENTE	TIPO DE ELETRODO	CONSUMO ESPECÍFICO g/ha		PRODUÇÃO ESPECÍFICA g/ha		RENDIMENTO CONVENCIONAL %		RENDIMENTO REAL %	
		Valor Médio	Desvio Padrão	Valor Médio	Desvio Padrão	Valor Médio	Desvio Padrão	Valor Médio	Desvio Padrão
CC <sup>+</sup>	VR/046	7,65	0,11	6,25	1,03	81,5	13,3	50,8	8,3
	VR/047	7,51	0,25	7,39	0,66	98,2	5,7	61,4	3,7
	VR/048	7,55	0,18	8,36	0,73	110,6	6,9	69,3	4,7
CC <sup>-</sup>	VR/046	8,08	0,24	6,50	0,47	80,2	6,0	51,2	3,6
	VR/047	6,91	0,09	6,57	0,07	95,0	0,7	59,4	0,6
	VR/048	7,39	0,18	7,65	0,55	103,4	5,1	64,5	3,1
CA	VR/046	8,03	0,46	9,00	1,00	111,8	5,8	70,1	3,5
	VR/047	6,99	0,53	7,81	0,75	111,6	2,4	70,7	2,5
	VR/048	7,72	0,64	9,02	0,68	116,5	1,2	72,7	0,7

QUADRO 10 - Valores médios do consumo, produção e rendimentos dos eletrodos VR/046, VR/047 e VR/048.

TIPO DE CORRENTE	TIPO DE ELETRODO	CONSUMO ESPECÍFICO g/ha		PRODUÇÃO ESPECÍFICA g/ha		RENDIMENTO CONVENCIONAL %		RENDIMENTO REAL %	
		Valor Médio	Desvio Padrão	Valor Médio	Desvio Padrão	Valor Médio	Desvio Padrão	Valor Médio	Desvio Padrão
CC <sup>+</sup>	VR/057	7,51	0,25	7,39	0,66	98,2	5,7	61,4	3,7
	VR/058	8,03	0,35	6,74	0,74	84,7	8,3	54,4	6,3
	VR/059	8,63	0,10	7,48	0,45	86,7	4,2	57,3	2,9
CC <sup>-</sup>	VR/057	6,91	0,09	6,57	0,07	95,0	0,7	59,4	0,6
	VR/058	7,99	0,34	6,77	0,91	84,5	9,2	54,8	6,4
	VR/059	8,80	0,05	6,43	0,49	73,0	5,6	48,3	3,9
CA	VR/057	6,99	0,53	7,81	0,75	111,6	2,4	70,7	2,5
	VR/058	7,25	0,24	7,33	0,42	101,1	2,5	65,4	2,3
	VR/059	7,87	0,17	7,03	0,04	89,5	2,5	58,9	1,8

QUADRO 11 - Valores médios do consumo, produção e rendimentos dos eletrodos VR/057, VR/058 e VR/059.

TIPO DE CORRENTE	FATOR DE REVEST.	CONSUMO ESPECÍFICO g/ha		PRODUÇÃO ESPECÍFICA g/ha		RENDIMENTO CONVENCIONAL %		RENDIMENTO REAL %	
		Valor Médio	Desvio Padrão	Valor Médio	Desvio Padrão	Valor Médio	Desvio Padrão	Valor Médio	Desvio Padrão
CC <sup>+</sup>	1,5	9,36	0,48	9,01	1,31	96,0	8,9	70,0	6,1
	1,7	7,65	0,11	6,25	1,03	81,5	13,3	50,8	8,3
	2,1	7,34	0,38	5,71	0,82	78,0	12,0	37,4	6,0
CC <sup>-</sup>	1,5	10,58	0,26	10,11	0,71	95,7	7,5	69,6	5,2
	1,7	8,08	0,24	6,50	0,47	80,2	6,0	51,2	3,6
	2,1	7,92	0,22	9,26	0,62	117,0	9,2	55,4	3,6
CA	1,5	9,62	0,66	10,35	1,07	107,4	3,7	76,3	3,9
	1,7	8,03	0,46	9,00	1,00	111,8	5,9	70,1	3,5
	2,1	7,02	0,17	8,90	0,37	126,8	2,3	60,8	1,3

Quadro 12 - Valores médios do consumo, produção e rendimentos dos eletrodos com variação do fator de revestimento.

### 6.3 - Geometria do Cordão de Solda

Os dados referentes a geometria do cordão de solda são ilustrados nos quadros de 13 a 17 e as figuras 17 a 26 mostram os formatos dos cordões de solda.

TIPO DE ELETRODO	TIPO DE CORRENTE	PENETRAÇÃO p mm		LARGURA b mm		REFORÇO r mm	
		Valor Médio	Desvio Padrão	Valor Médio	Desvio Padrão	Valor Médio	Desvio Padrão
E-7018	CC <sup>+</sup>	2,44	0,39	13,87	0,91	2,22	0,09
	CC <sup>-</sup>	2,33	0,46	12,58	0,82	2,13	0,13
	CA	2,06	0,42	11,54	0,73	2,58	0,19

QUADRO 13 - Valores médios da penetração, largura e reforço do eletrodo E-7018.

TIPO DE CORRENTE	TIPO DE ELETRODO	PENETRAÇÃO p  mm		LARGURA b  mm		REFORÇO r  mm	
		Valor Médio	Desvio Padrão	Valor Médio	Desvio Padrão	Valor Médio	Desvio Padrão
CC <sup>+</sup>	VR/020	2,12	0,37	14,16	0,72	1,97	0,18
	VR/018	2,54	0,26	15,70	0,72	2,07	0,23
	VR/019	3,28	0,49	14,71	0,87	2,33	0,25
CC <sup>-</sup>	VR/020	3,11	0,29	13,99	0,28	1,99	0,26
	VR/018	3,82	0,59	15,26	1,06	1,76	0,23
	VR/019	3,37	0,56	14,35	1,19	2,34	0,17
CA	VR/020	2,62	0,11	12,16	0,52	2,80	0,32
	VR/018	2,74	0,44	12,94	1,15	2,36	0,24
	VR/019	2,16	0,32	12,29	0,35	2,26	0,54

QUADRO 14 - Valores médios da penetração, largura e reforço dos eletrodos VR/018, VR/019 e VR/020

TIPO DE CORRENTE	TIPO DE ELETRODO	PENETRAÇÃO p  mm		LARGURA b  mm		REFORÇO r  mm	
		Valor Médio	Desvio Padrão	Valor Médio	Desvio Padrão	Valor Médio	Desvio Padrão
CC <sup>+</sup>	VR/057	2,39	0,26	14,06	0,60	2,11	0,06
	VR/058	3,08	0,58	13,93	0,94	1,99	0,40
	VR/059	4,40	0,70	14,18	1,00	2,86	0,48
CC <sup>-</sup>	VR/057	3,25	0,24	13,84	0,70	2,25	0,24
	VR/058	3,74	1,01	14,71	1,51	2,33	0,40
	VR/059	3,80	0,49	15,67	1,58	2,21	0,30
CA	VR/057	2,43	0,48	12,35	0,72	2,46	0,19
	VR/058	3,13	0,20	12,33	0,89	2,30	0,17
	VR/059	4,61	0,88	12,30	0,93	2,77	0,43

QUADRO 15 - Valores médios da penetração, largura e reforço dos eletrodos VR/057, VR/058 e VR/059

TIPO DE CORRENTE	TIPO DE ELETRODO	PENETRAÇÃO p  mm		LARGURA b  mm		REFORÇO r  mm	
		Valor Médio	Desvio Padrão	Valor Médio	Desvio Padrão	Valor Médio	Desvio Padrão
CC <sup>+</sup>	VR/046	2,12	0,37	14,16	0,72	1,97	0,18
	VR/047	2,39	0,26	14,06	0,60	2,11	0,06
	VR/048	2,03	0,41	13,79	0,21	2,12	0,19
CC <sup>-</sup>	VR/046	3,11	0,29	13,99	0,28	1,99	0,26
	VR/047	3,25	0,24	13,84	0,70	2,25	0,24
	VR/048	3,18	0,33	13,41	0,87	2,50	0,13
CA	VR/046	2,62	0,11	12,16	0,52	2,80	0,32
	VR/047	2,43	0,48	12,35	0,71	2,46	0,19
	VR/048	1,81	0,47	12,68	0,52	2,64	0,13

QUADRO 16 - Valores médios da penetração, largura e reforço dos eletrodos VR/046, VR/047 e VR/048

TIPO DE CORRENTE	FATOR DE REVEST.	PENETRAÇÃO p  mm		LARGURA b  mm		REFORÇO r  mm	
		Valor Médio	Desvio Padrão	Valor Médio	Desvio Padrão	Valor Médio	Desvio Padrão
CC <sup>+</sup>	1,5	2,27	0,50	13,90	0,93	2,35	0,39
	1,7	2,12	0,37	14,16	0,72	1,97	0,18
	2,1	2,22	0,37	15,19	0,42	1,52	0,33
CC <sup>-</sup>	1,5	2,81	0,31	13,44	0,36	3,16	0,55
	1,7	3,11	0,29	13,99	0,28	1,99	0,26
	2,1	2,24	0,50	17,06	1,05	2,23	0,29
CA	1,5	3,10	0,20	12,17	0,47	3,09	0,22
	1,7	2,62	0,11	12,16	0,52	2,80	0,32
	2,1	1,43	0,11	13,01	0,40	2,80	0,19

QUADRO 17 - Valores médios da penetração, largura e reforço dos eletrodos com variação do fator de revestimento

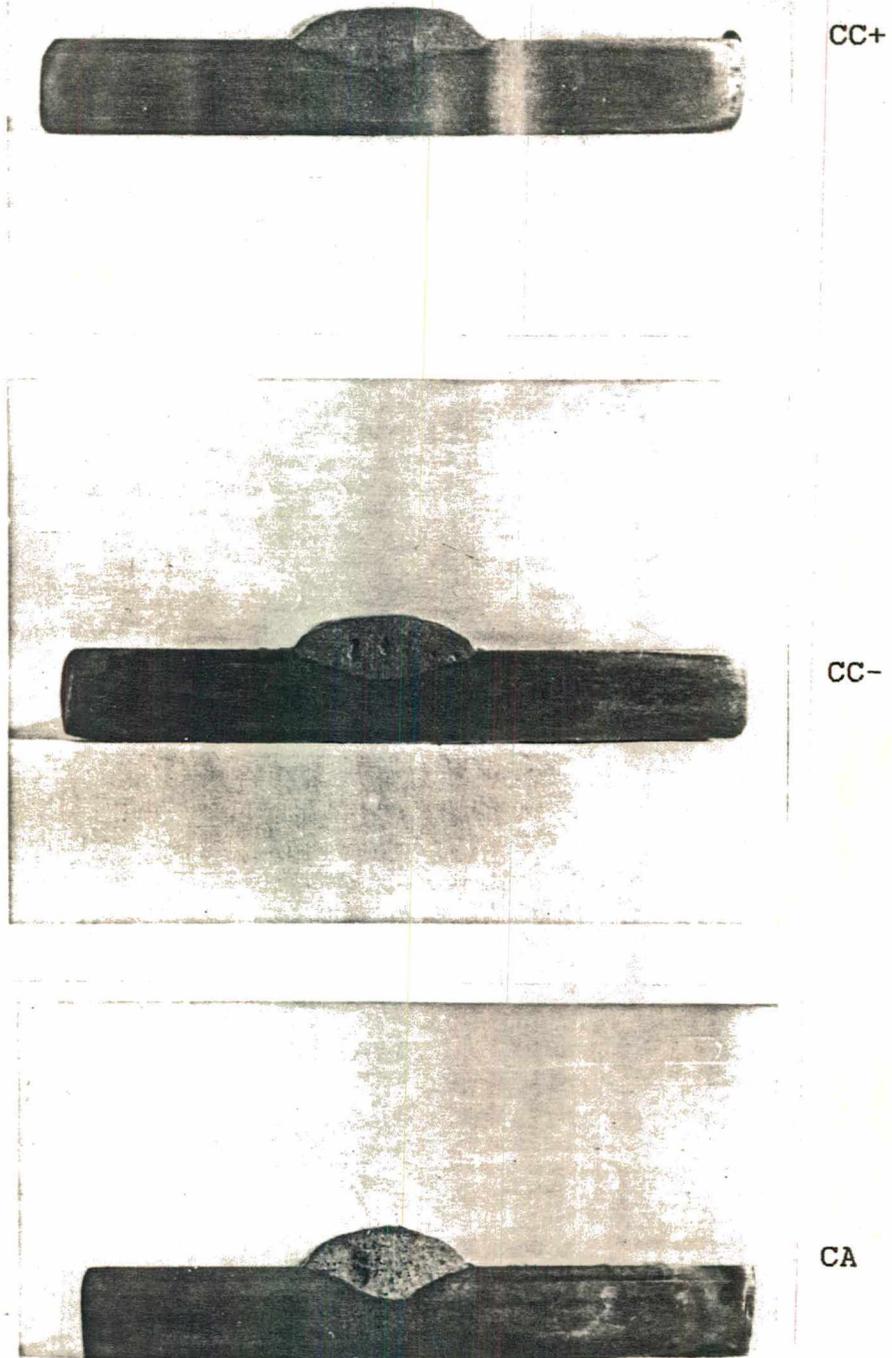


FIGURA 17 - Formato do cordão de solda do eletrodo E-7018

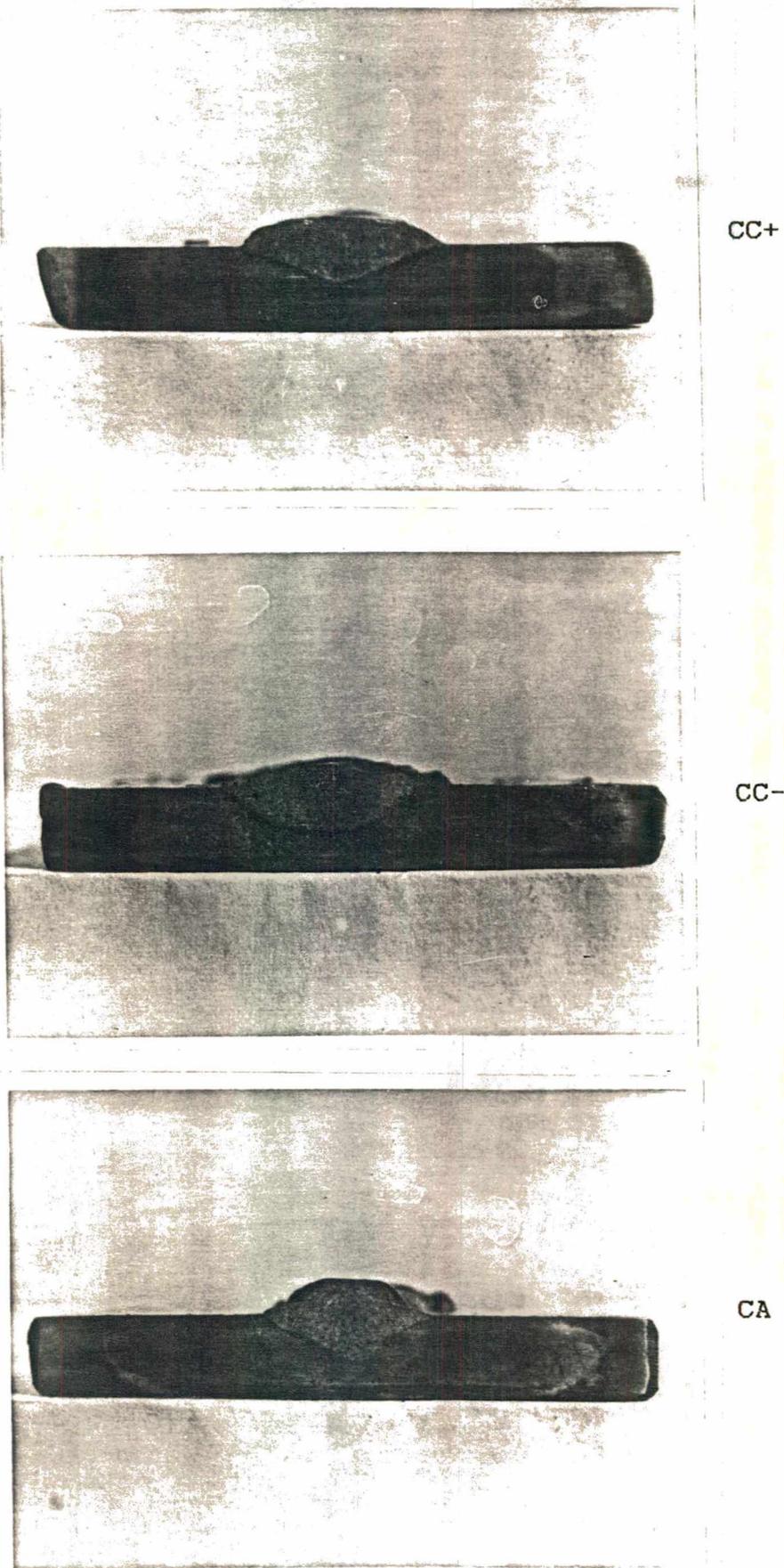


FIGURA 18 - Formato do cordão de solda do eletrodo VR/018

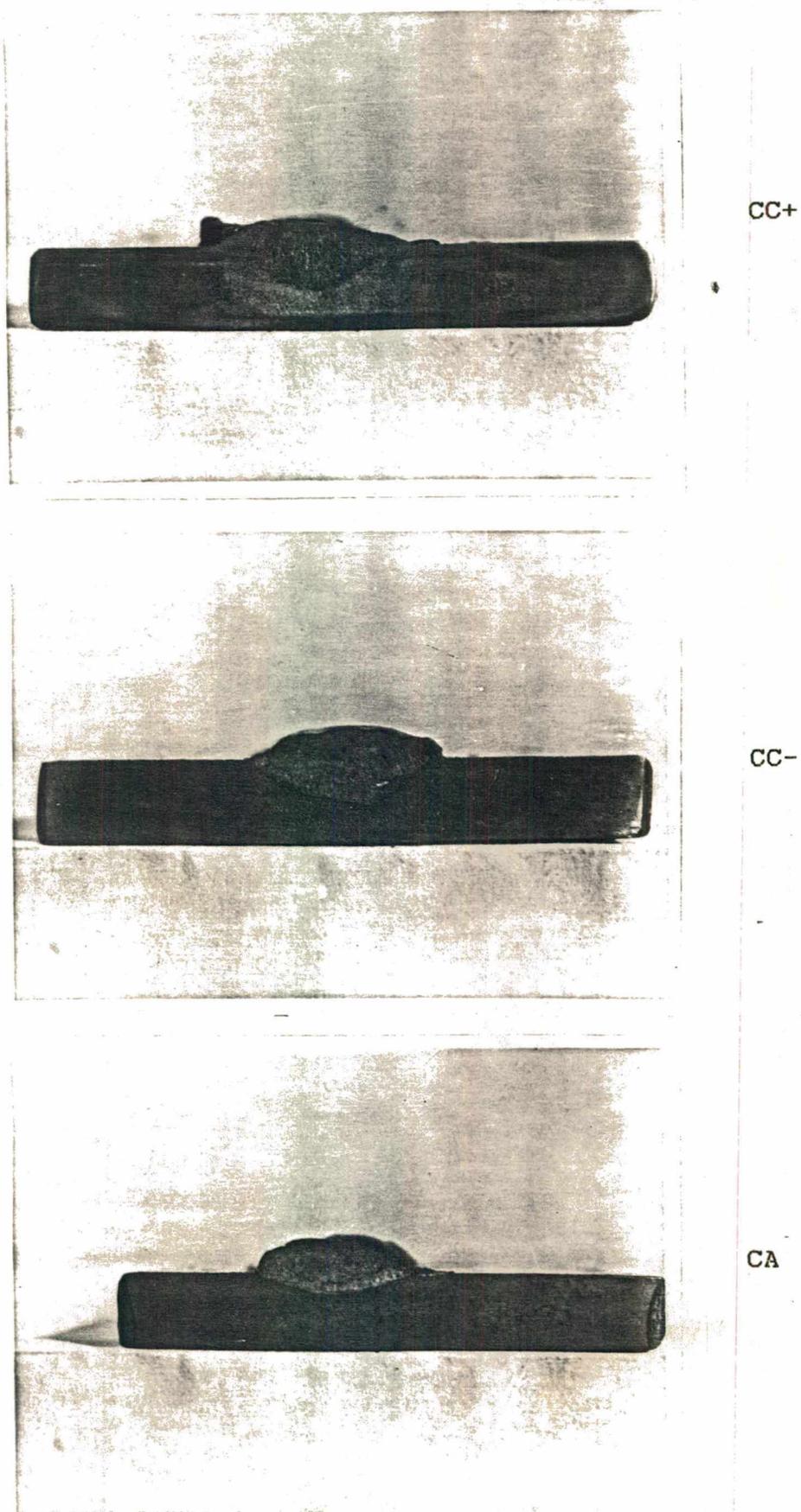
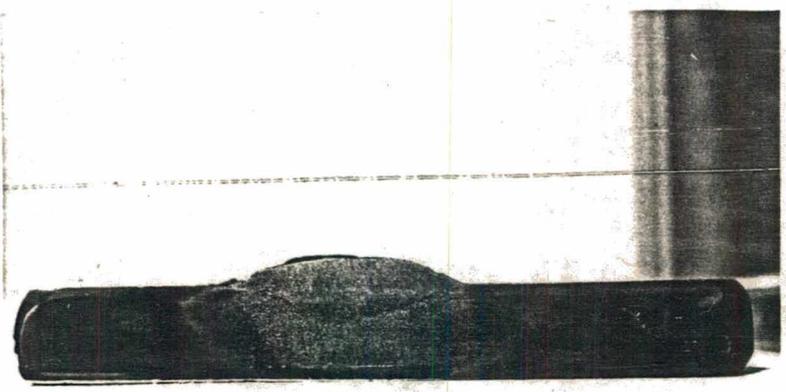
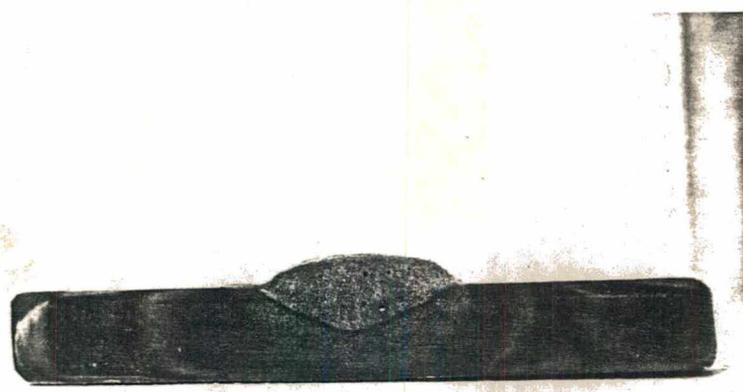


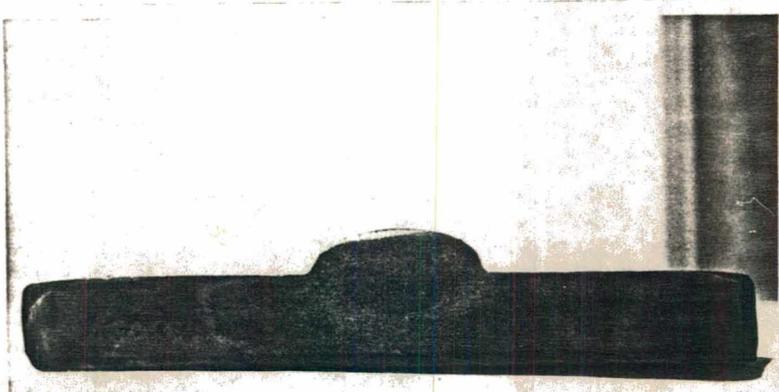
FIGURA 19 - Formato do cordão de solda do eletrodo VR/019



CC+



CC-



CA

FIGURA 20 - Formato do cordão de solda do eletrodo VR/020

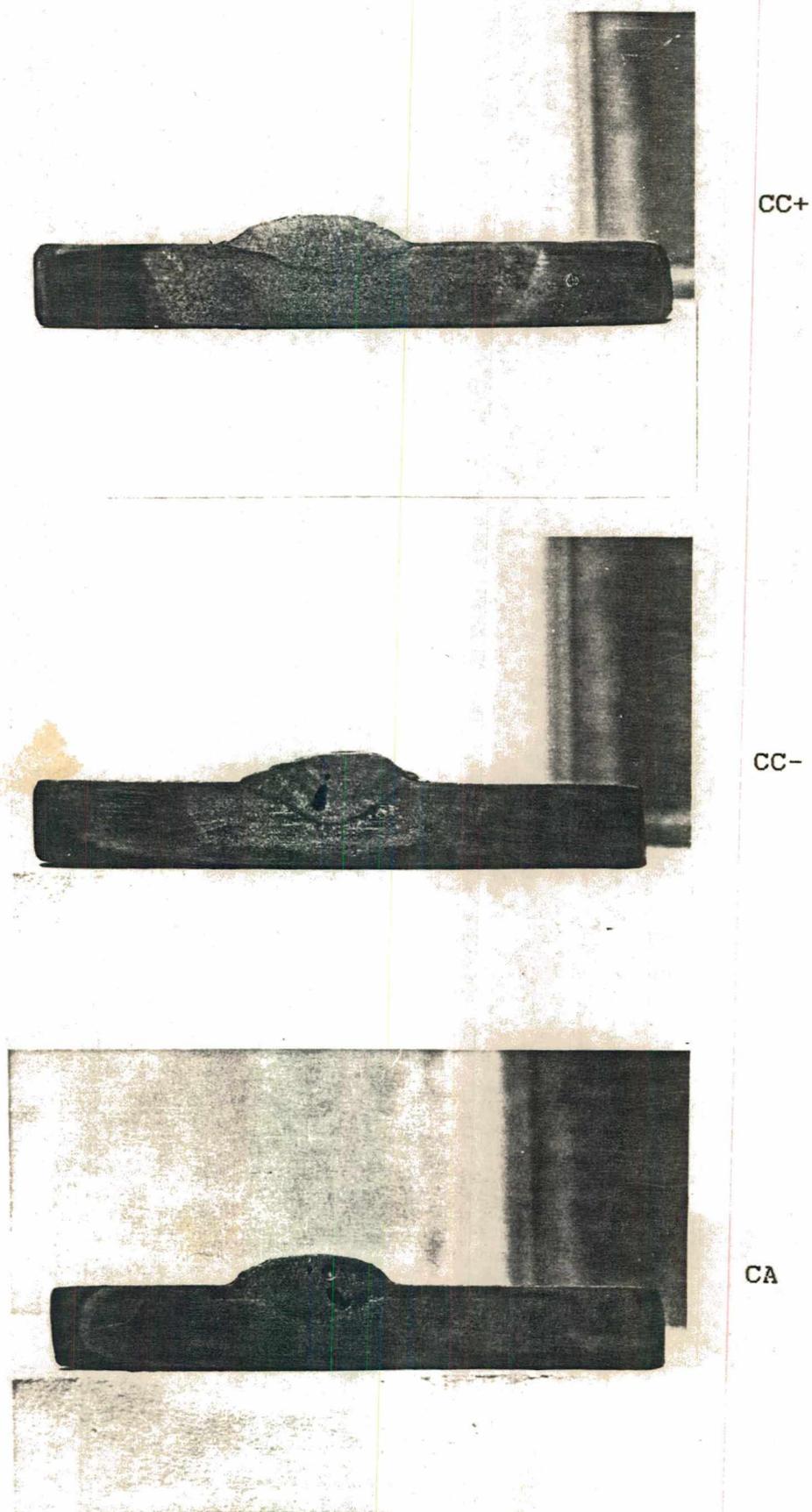
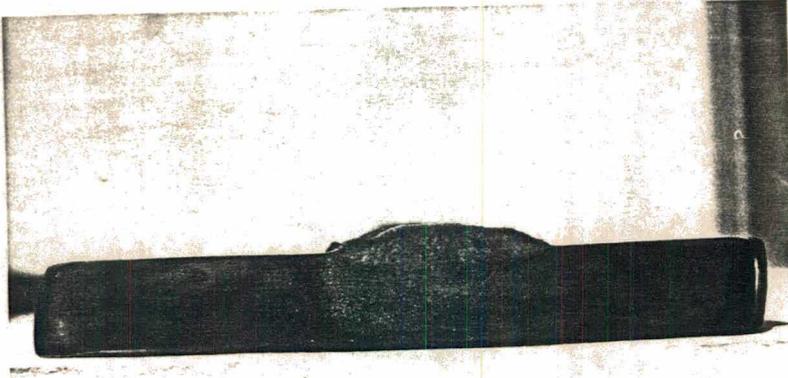
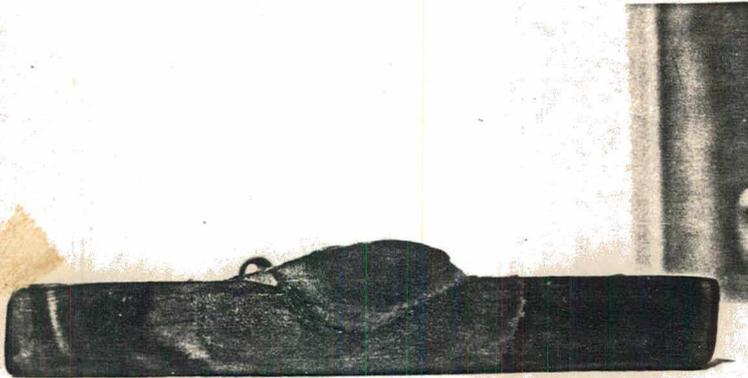


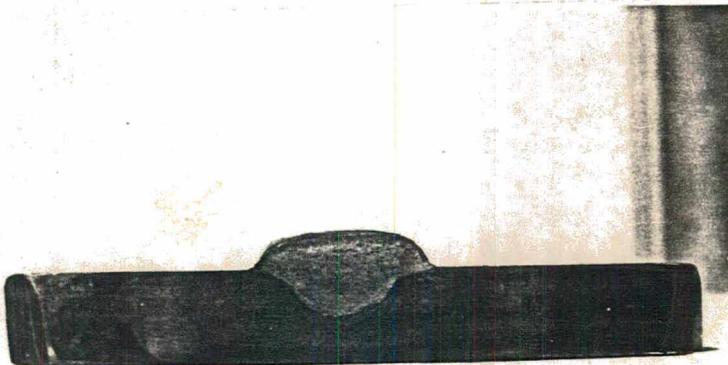
FIGURA 21 - Formato do cordão de solda do eletrodo VR/057



CC+

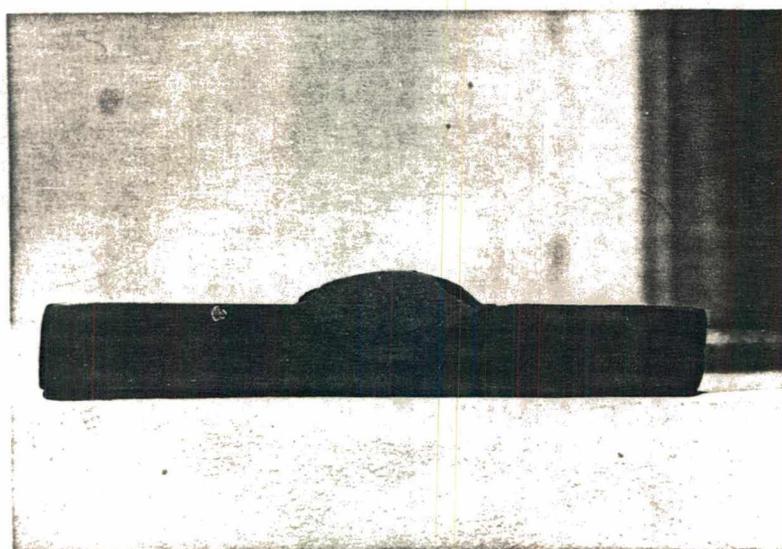


CC-

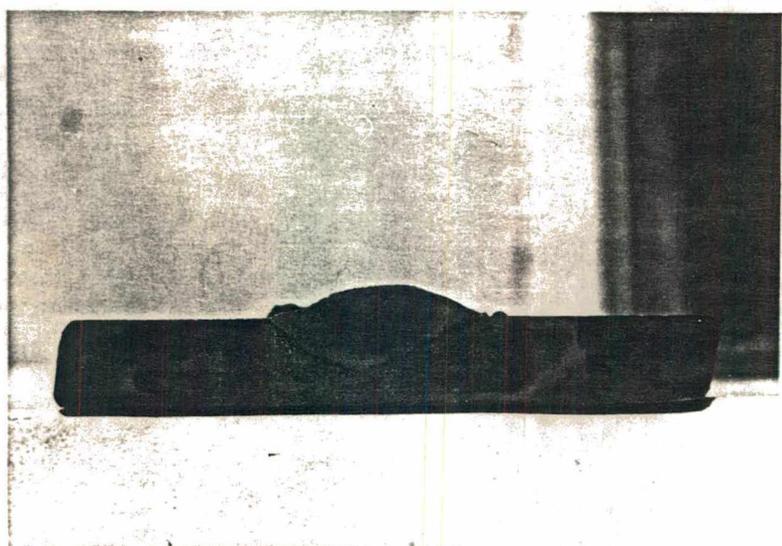


CA

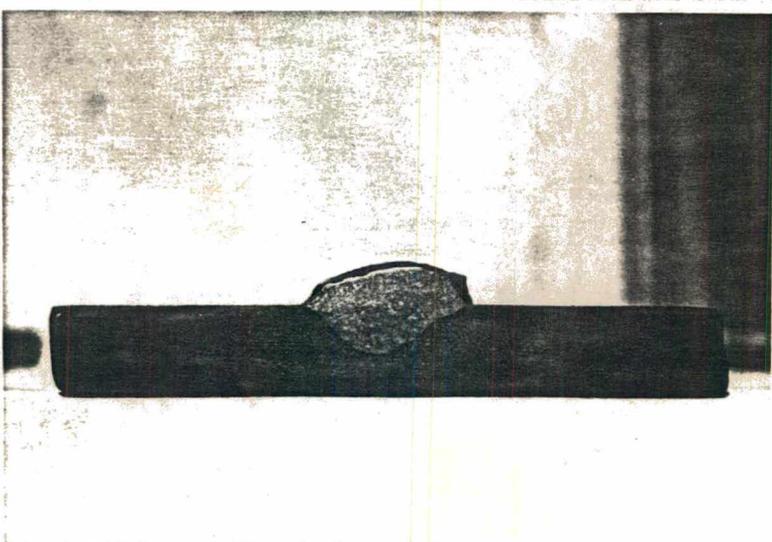
FIGURA 22 - Formato do cordão de solda do eletrodo VR/058



CC+

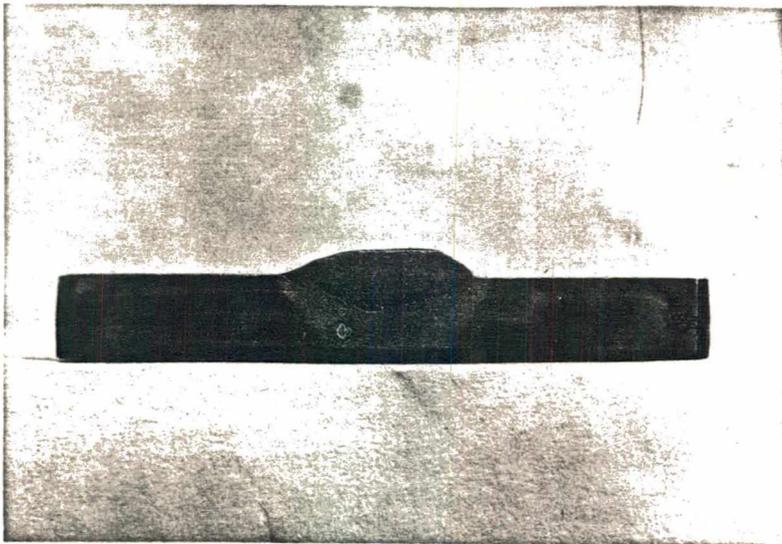


CC-

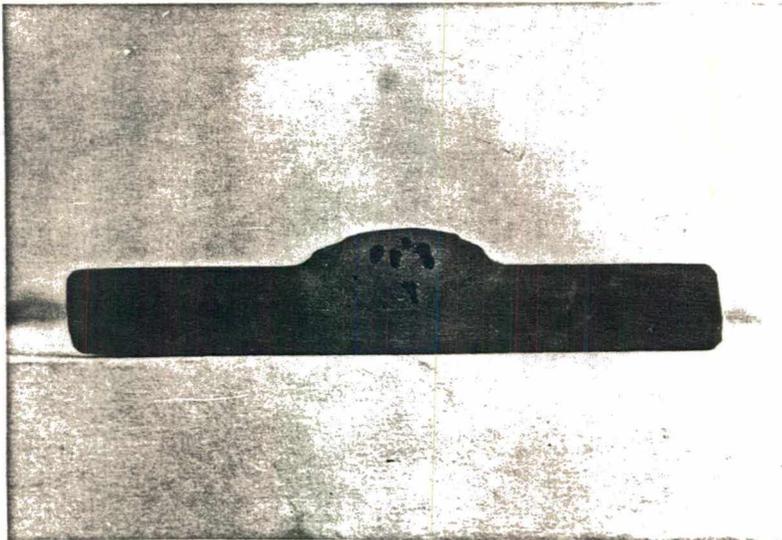


CA

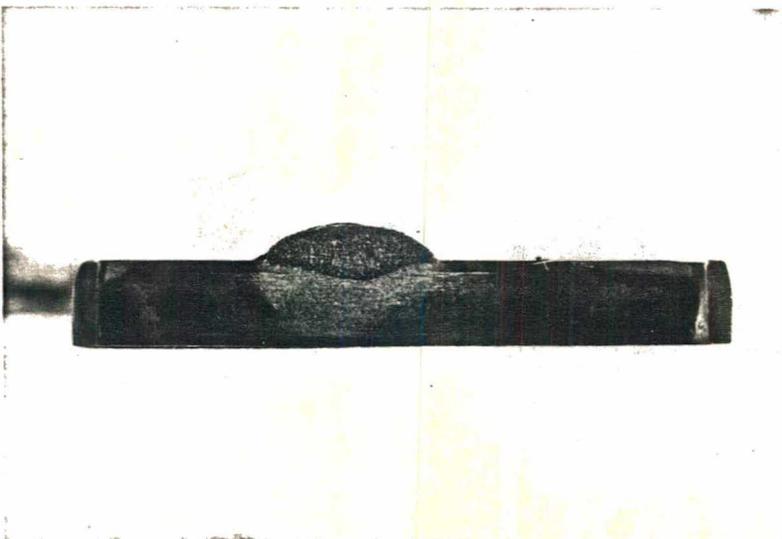
FIGURA 23 - Formato do cordão de solda do eletrodo VR/059



CC+

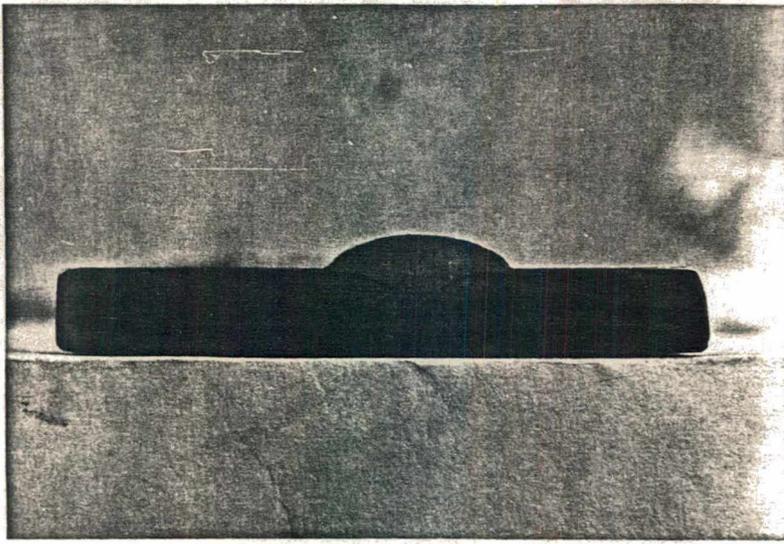


CC-

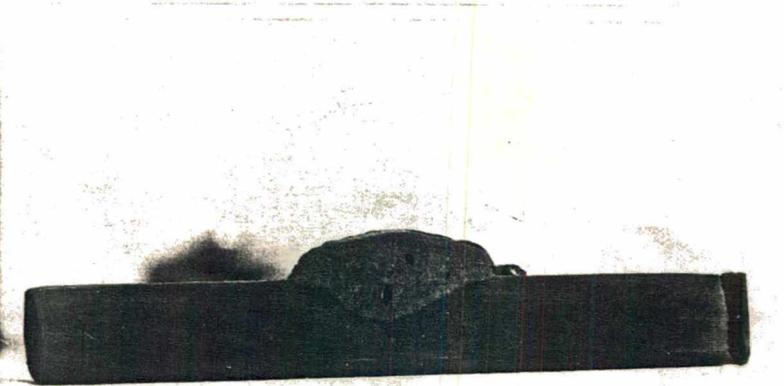


CA

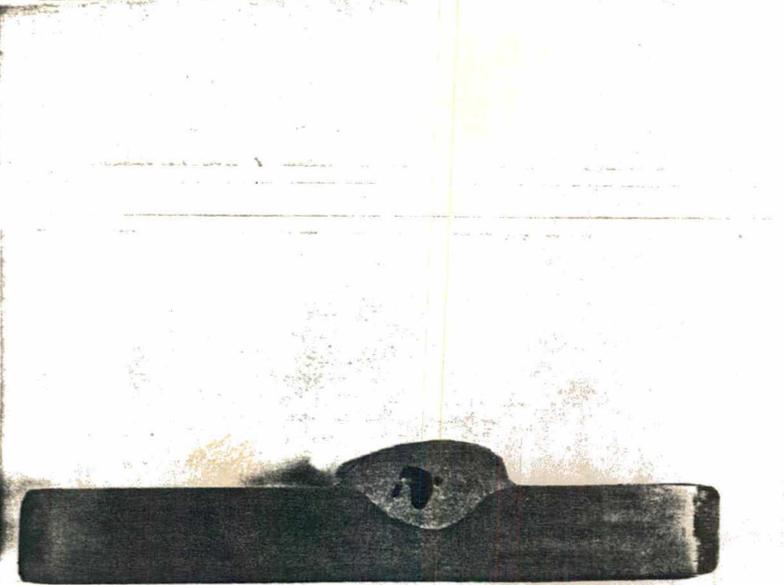
FIGURA 24 - Formato do cordão de solda do eletrodo VR/048



CC+

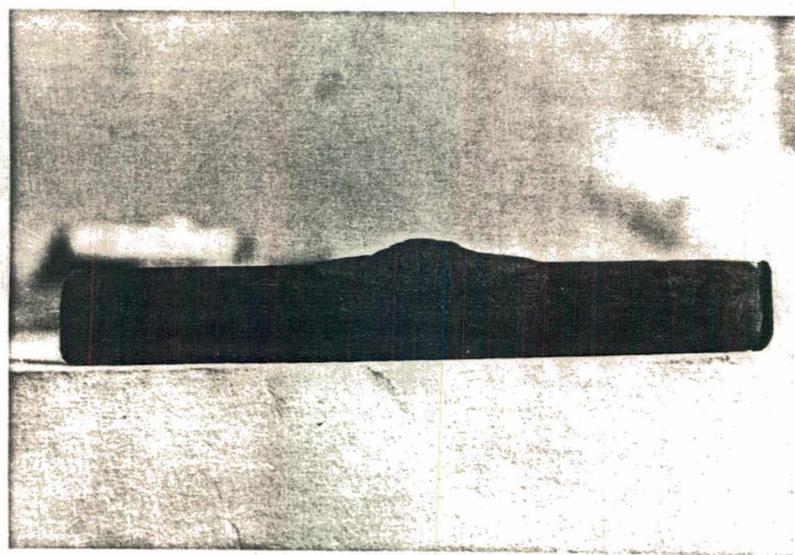


CC-

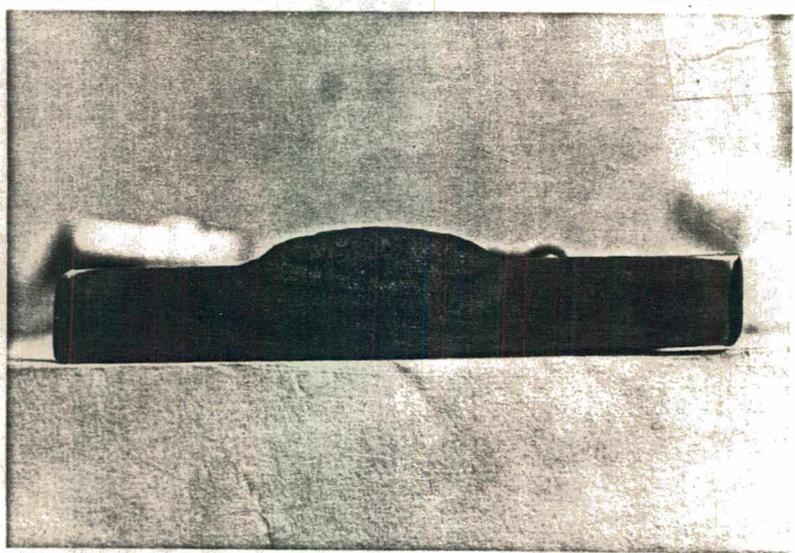


CA

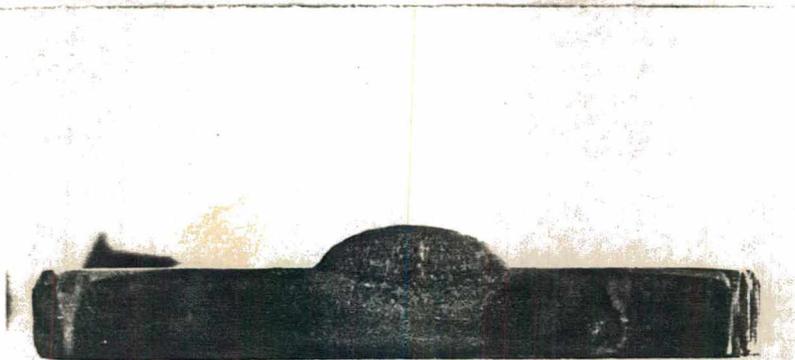
FIGURA 25 - Formato do cordão de solda do eletrodo VR/020  
com  $f = 1,5$



CC+



CC-

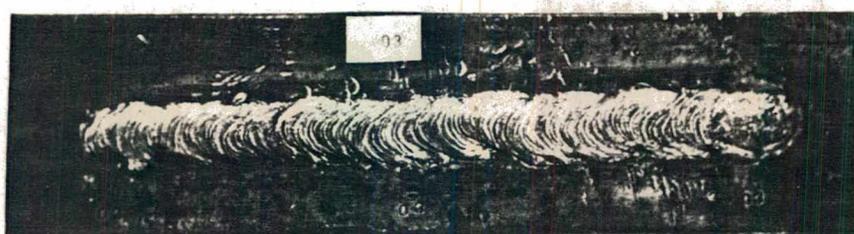


CA

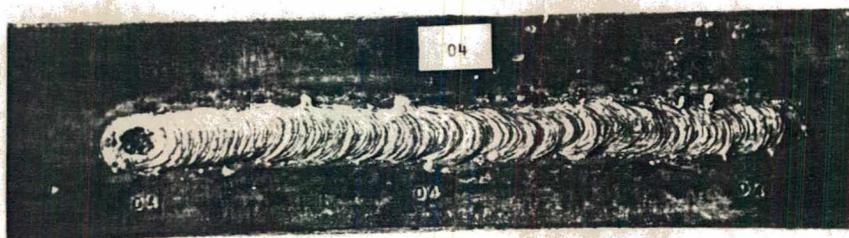
FIGURA 26 - Formato do cordão de solda do eletrodo VR/020  
com  $f = 2,1$

#### 6.4 - Aparência do Cordão de Solda

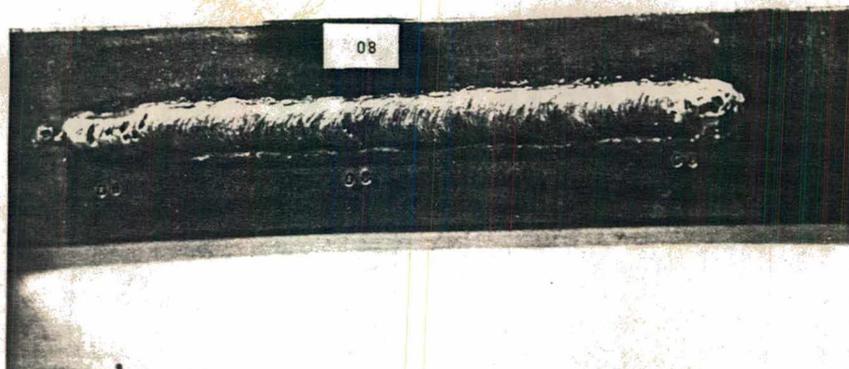
Para a análise da aparência do cordão de solda foram tiradas fotografias de todos os corpos de provas, sendo que as mais representativas são mostradas nas figuras 27 a 36.



CC+

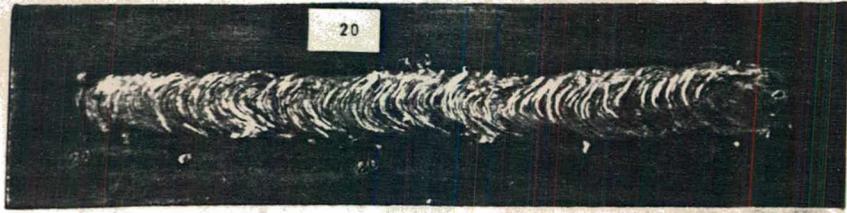


CC-

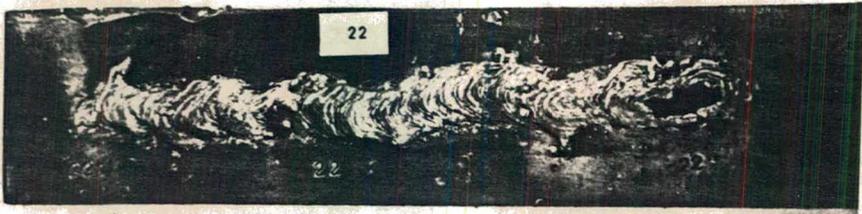


CA

FIGURA 27 - Aparência do cordão de solda do eletrodo E-7018



CC+

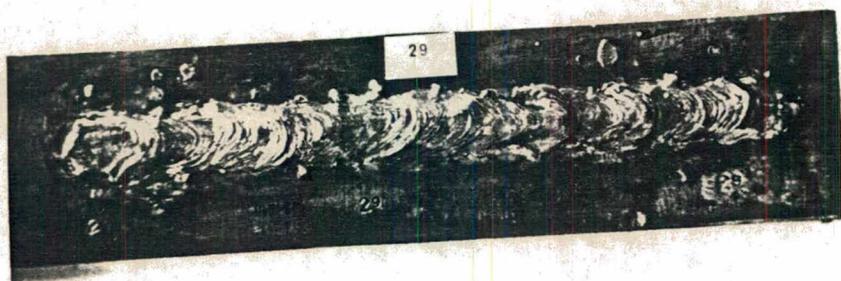


CC-

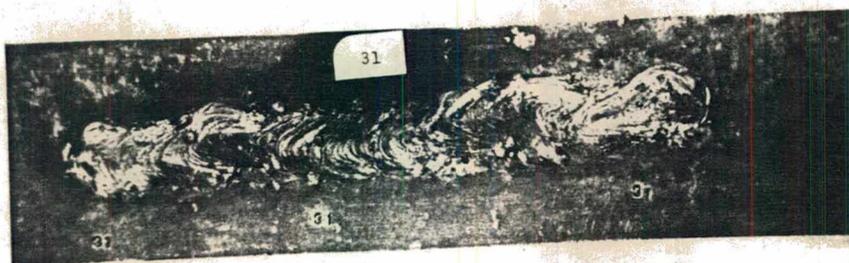


CA

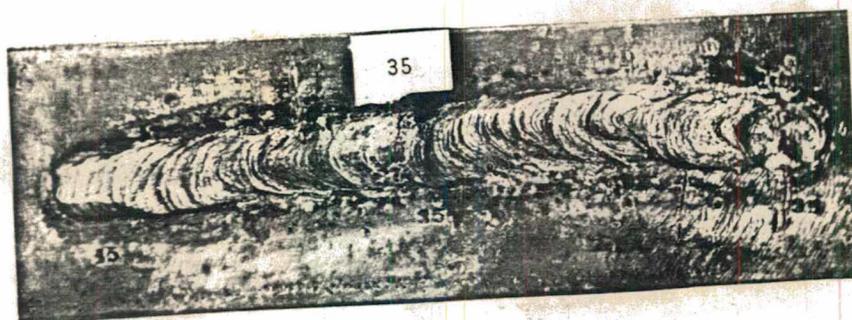
FIGURA 28 - Aparência do cordão de solda do eletrodo VR/018



CC+



CC-



CA

FIGURA 29 - Aparência do cordão de solda do eletrodo VR/019

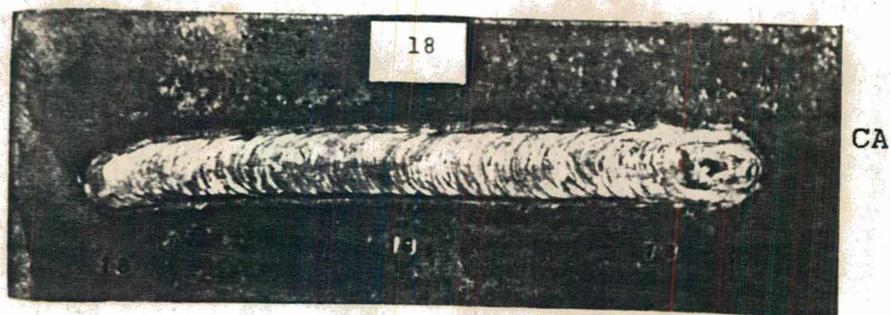
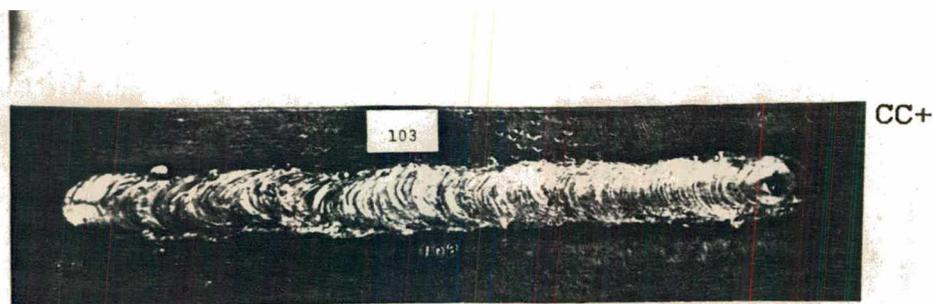
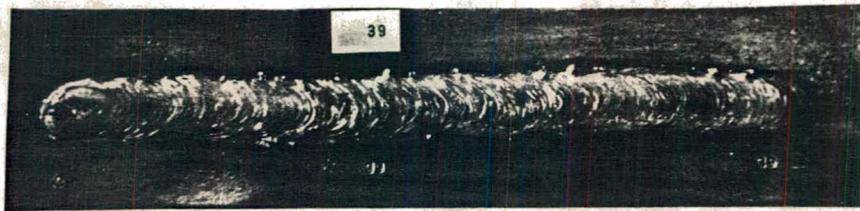
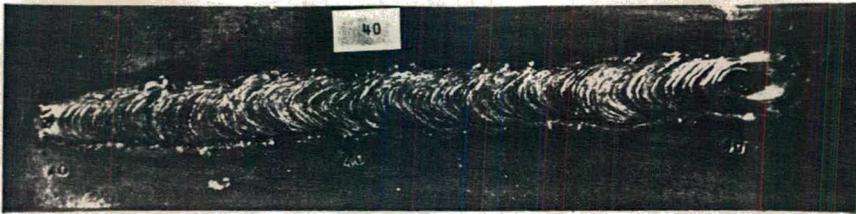


FIGURA 30 - Aparência do cordão de solda do eletrodo VR/020



CC+



CC-

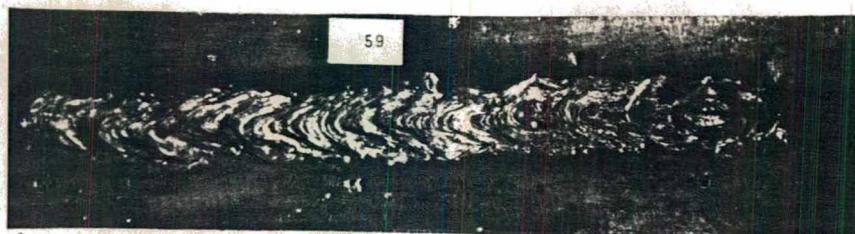


CA

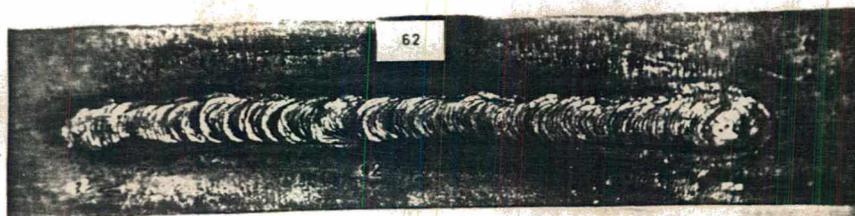
FIGURA 31 - Aparência do cordão de solda do eletrodo VR/057



CC+

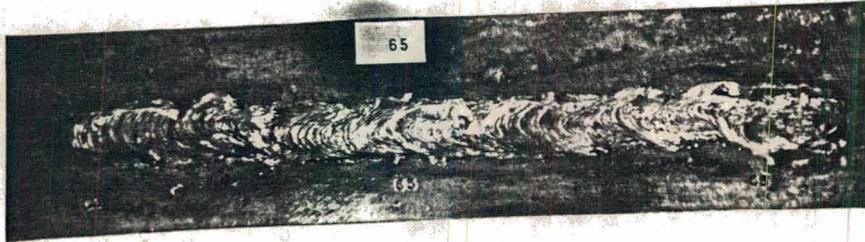


CC-

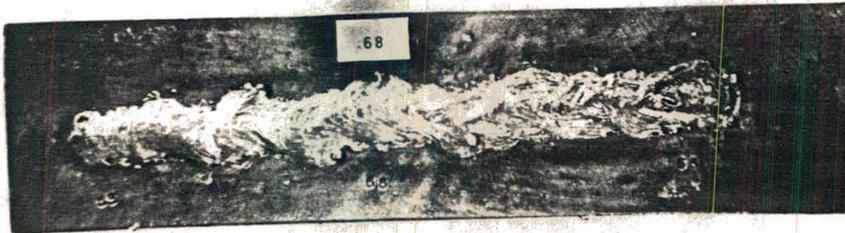


CA

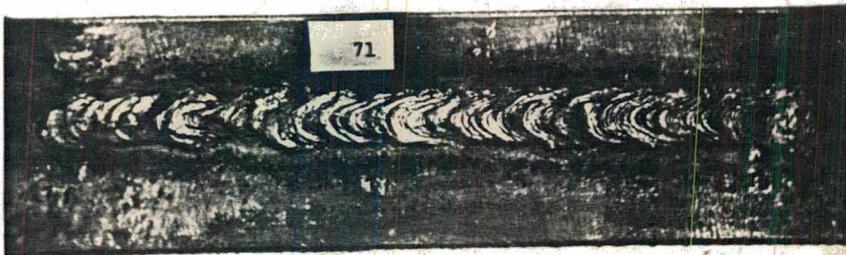
FIGURA 32 - Aparência do cordão de solda do eletrodo VR/58



CC+

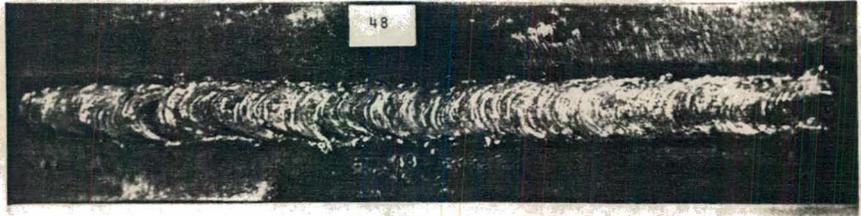


CC-



CA

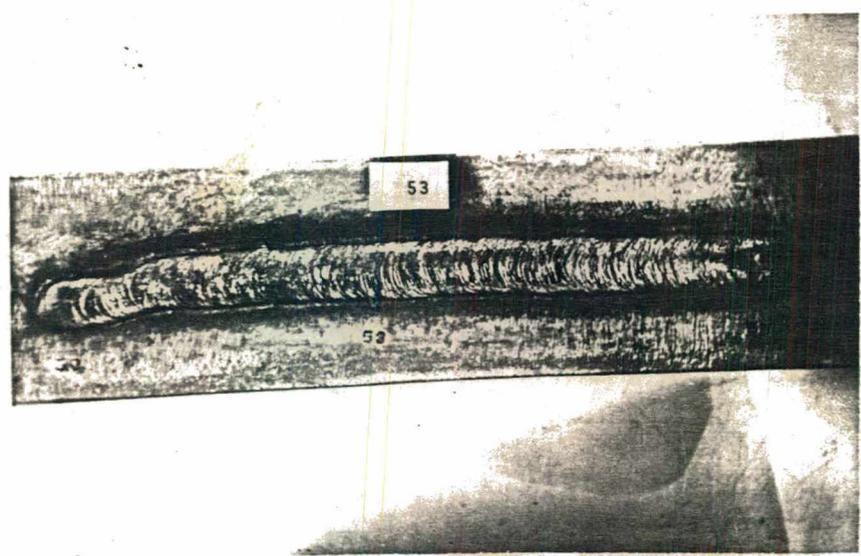
FIGURA 33 - Aparência do cordão de solda do eletrodo VR/059



CC+

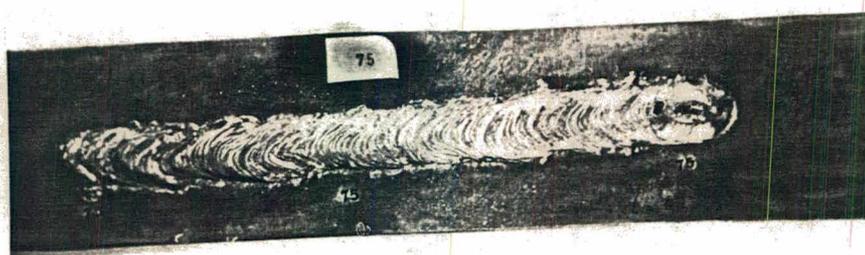


CC-

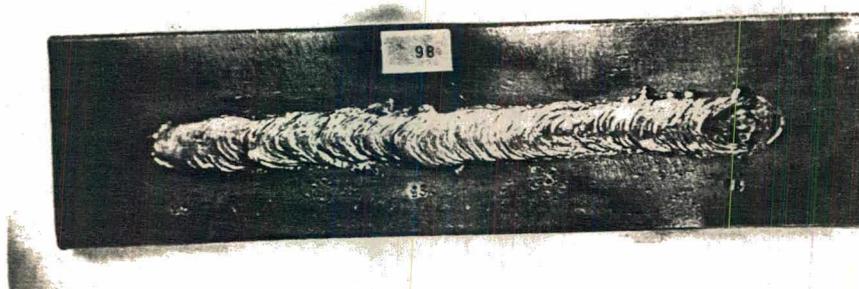


CA

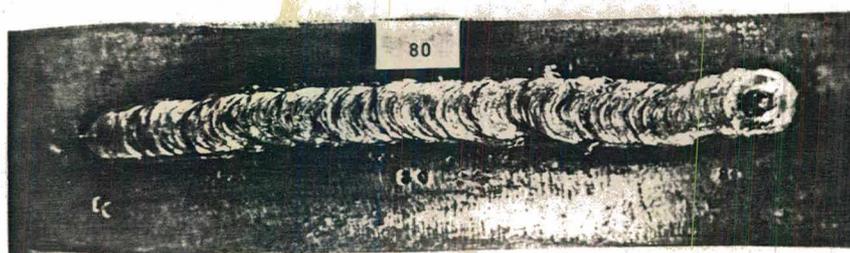
FIGURA 34 - Aparência do cordão de solda do eletrodo VR/048



CC+



CC-



CA

FIGURA 35 - Aparência do cordão de solda do eletrodo VR/020 com  $f=1,5$ .

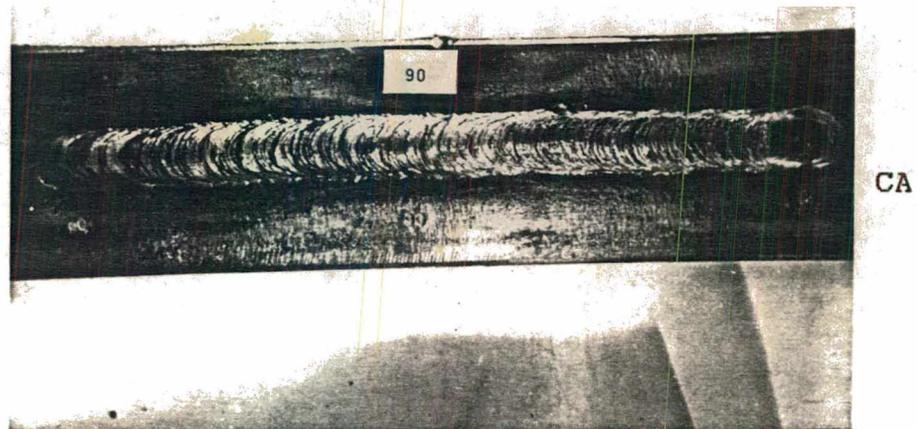
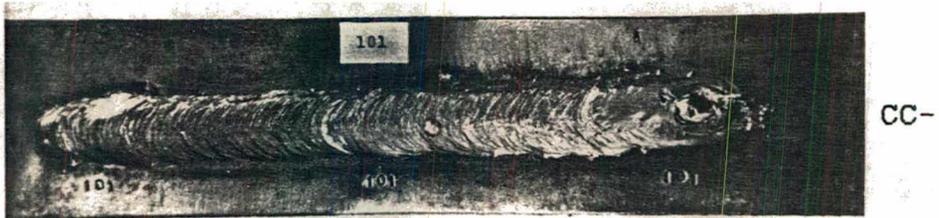
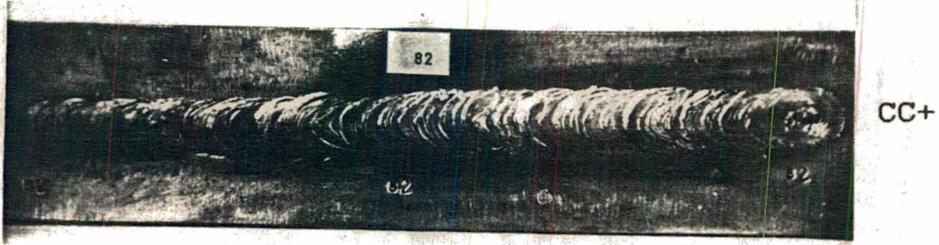


FIGURA 36 - Aparência do cordão de solda do eletrodo VR/020 com  $f=2,1$

## 6.5 - Destacabilidade da Escória

Os índices de destacabilidade representam a média dos índices calculados individualmente para cada amostra. Para efeito de cálculo, eliminou-se os resultados extremos, quando distanciavam mais de 35% dos valores médios esperados.

O quadro 18 mostra os valores médios dos dados colhidos experimentalmente, incluindo um eletrodo comercial da classe AWS E-7018. As figuras 37 e 38 exemplificam corpos de prova que mostraram alto e baixo índice de destacabilidade.

ELETRODOS	ÍNDICE DE DESTACABILIDADE  kgf.m/cm <sup>2</sup>		NÚMERO DE ENSAIOS REALIZADOS	Nº DE AMOSTRAS REJEITADAS PARA CÁLCULO
	VALOR MÉDIO	DESVIO PADRÃO		
VR/046	0,236	0,032	5	1
VR/018	0,931	0,094	5	1
VR/019	1,260	0,490	5	1
VR/057	0,333	0,090	7	1
VR/058	0,347	0,028	5	1
VR/059	2,156	0,866	5	1
f=1,5	0,301	0,056	5	1
f=1,7	0,236	0,032	5	1
f=2,1	0,207	0,013	5	1
E-7018	0,142	0,006	5	0

QUADRO 18 - índices médios destacabilidade de escória

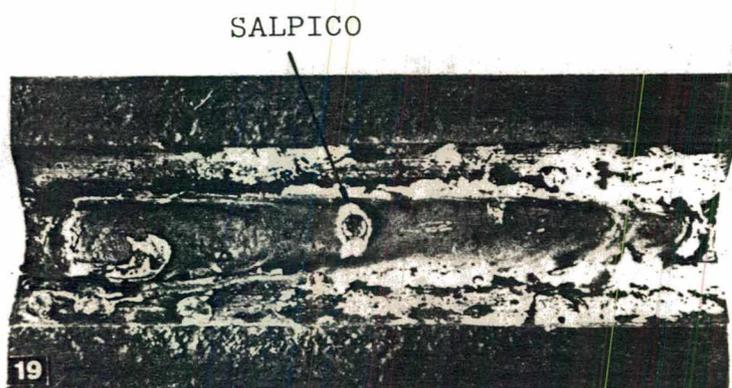


FIGURA 37 - Ilustração de um CP. após o impacto, com baixa estabilidade (ver detalhe do salpico).

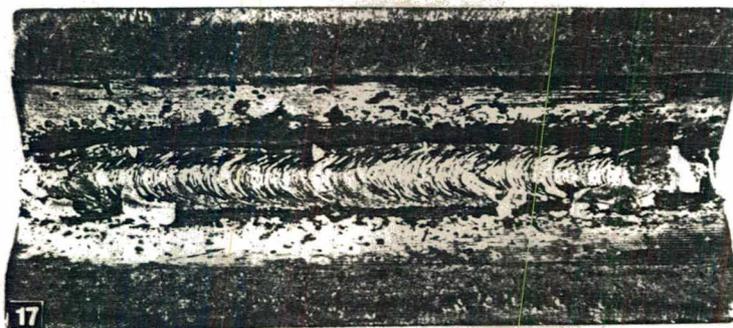


FIGURA 38 - Ilustração de um CP. após o impacto, com alta estabilidade.

A figura 39 ilustra as curvas de dilatação térmica de algumas escórias e de um aço ferrítico (alma do eletrodo) durante o resfriamento. No quadro 19 é expresso o coeficiente de contração média destas escórias, calculadas pela inclinação das curvas dilatométricas.

Foram feitas análises químicas de algumas escórias e os resultados mais confiáveis estão registrados no quadro 20.

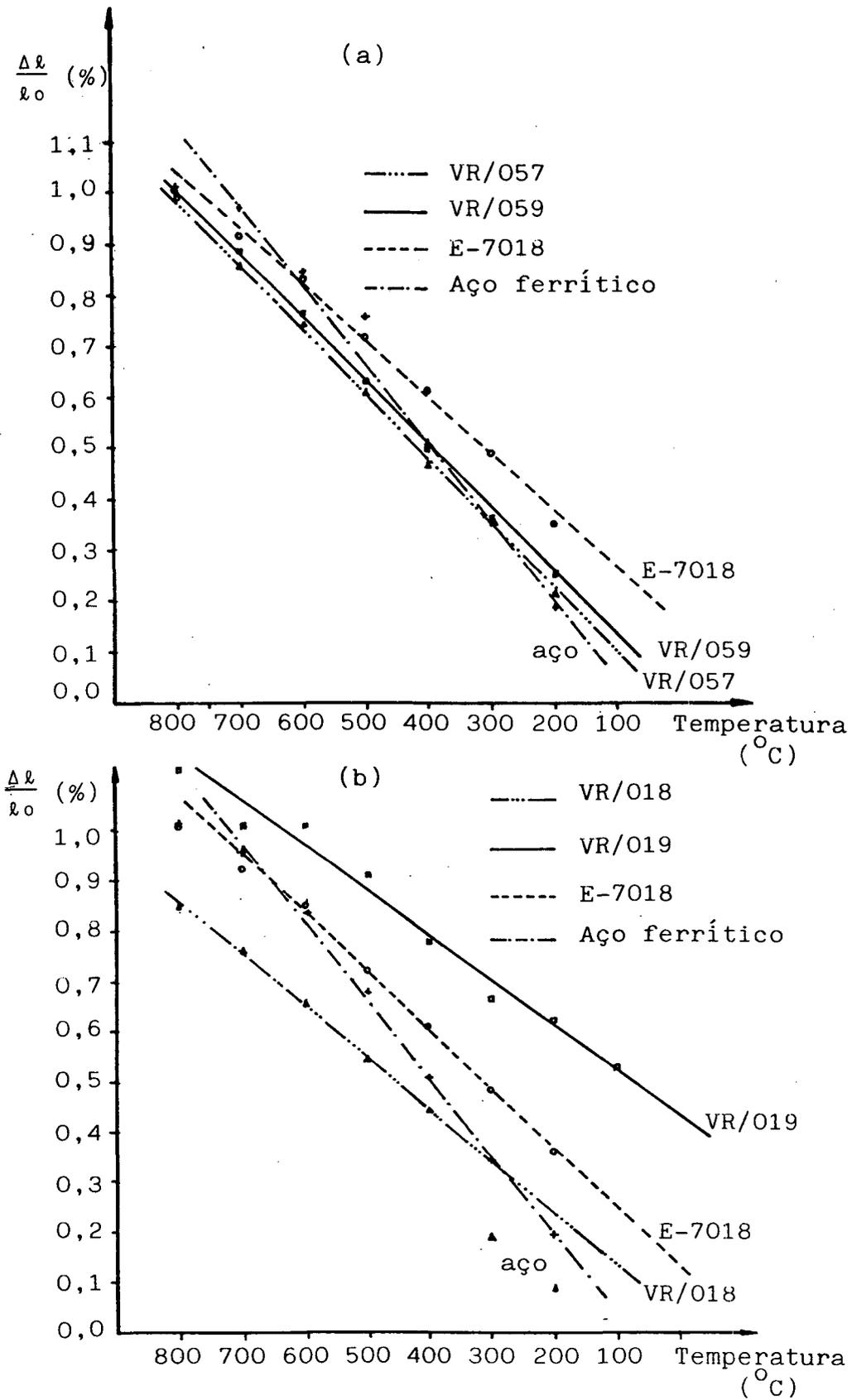


FIGURA 39 - Curvas do ensaio dilatométrico, durante o resfriamento

ELETRODOS	COEFICIENTES DE CONTRAÇÃO MÉDIOS - $\alpha$ (m/m °C)
AÇO FERRÍTICO	$15,0 \times 10^{-6}$
E-7018	$12,8 \times 10^{-6}$
VR/057	$12,8 \times 10^{-6}$
VR/059	$12,9 \times 10^{-6}$
VR/018	$9,75 \times 10^{-6}$
VR/019	$8,73 \times 10^{-6}$

QUADRO 19 - Coeficientes de contração médios, entre 850 - 25 °C

ELETRODO	% COMPOSTOS QUÍMICOS						
	CaO	CaF <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO
VR/058	15,3	38,7	28,8	5,5	5,4	0,91	0,18
VR/059	29,7	32,5	26,5	5,7	4,6	0,97	0,17
VR/046*	16,2	40,2	27,6	6,0	6,0	1,03	0,17
* Composição química esperada igual ao do VR/057							

QUADRO 20 - Composição química das escórias

## CAPÍTULO VII

### DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

#### 7.1 - Influência da Variação do $\text{CaCO}_3$ e $\text{CaF}_2$

Para fazer esta análise utilizou-se os eletrodos VR/020, VR/018 e VR/019 que tinham composições idênticas, exceto no conteúdo de  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{CaF}_2$ , da seguinte forma:

	VR/020	VR/018	VR/019
% $\text{CaCO}_3$	20	25	30
% $\text{CaF}_2$	30	25	20

##### 7.1.1 - Consumo Específico Convencional do Eletrodo

A figura 40 mostra o comportamento do consumo específico com a variação do teor de  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{CaF}_2$ . Nota-se que, em CC+ e CC-, o consumo foi crescente à medida que se aumentou o teor de  $\text{CaCO}_3$  (queda de  $\text{CaF}_2$ ), sendo que, em CC-, o consumo foi maior.

O aumento crescente do consumo do eletrodo, em CC+ e CC-, pode ser justificado pela geração de gases, devido a decomposição do  $\text{CaCO}_3$ , que aumenta a força de arraste, produzindo, assim, gotas menores e, conseqüentemente, aumento no consumo, apesar de que, na decomposição do  $\text{CaCO}_3$ , além de gases, tem-se a produção de  $\text{CaO}$  que aumenta a tensão superficial, diminui a viscosidade e aumenta o ponto de fusão[1]. E também, pelo fato de que com o aumento do teor de  $\text{CaF}_2$ , a transferência torna-se mais globular, pois esse elemento tem a propriedade de aumentar a tensão superficial, dificultando a transferência da gota para a poça de solda. Além disso, mais compostos de flúor presentes no arco fazem com que o diâmetro do arco diminua; sua temperatura e densidade de corrente aumentem. Como resultado, a componente axial da força eletro-magnética e da força hidrostática do vapor, ten-

dem a impedir a transferência da gota[29], diminuindo, com isso, o consumo do eletrodo.

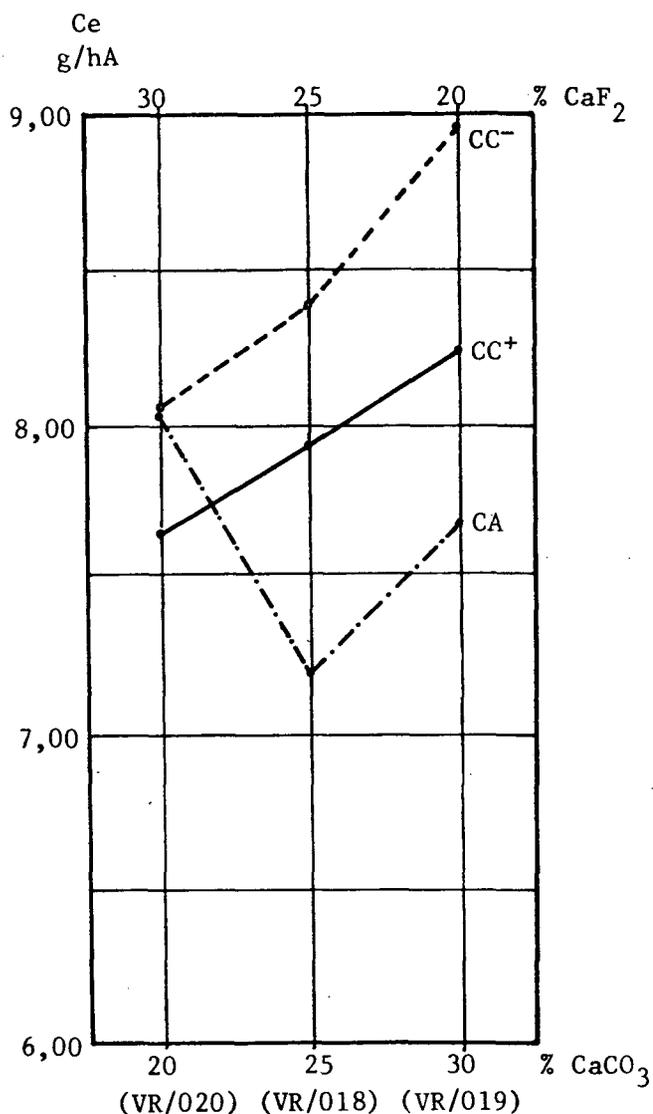


FIGURA 40 - Efeito da variação do teor de  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{CaF}_2$  sobre o consumo específico convencional do eletrodo.

Era de se esperar um consumo maior em CC+, se o efeito canhão impedisse a gota repelida, mas isso não confere com os dados obtidos. Uma hipótese que se pode sugerir é que, em CC-, se tem instabilidade maior, que causa uma transferência através de gotas menores, fazendo com que ocorra um arco entre a alma do eletrodo e a peça, o que resulta, aquecimento maior do eletrodo.

Pode-se notar, na figura 40, que o aumento do teor de  $\text{CaCO}_3$  aumenta a diferença entre o consumo em CC+ e CC-; isso pode

estar relacionado com as reações endotérmicas e exotérmicas na ponta do eletrodo.

Em CA, o eletrodo VR/020 apresentou consumo maior do que os outros dois (VR/018 e VR/019). De acordo com o trabalho de Farias[30], o eletrodo VR/020 apresentou instabilidade de arco muito grande, e essa instabilidade pode provocar gotas menores[8] e, conseqüentemente, consumo maior.

De acordo com Marchenko[12], os eletrodos com a relação de  $\text{CaCO}_3/\text{CaF}_2$  igual a 1, têm sua transferência dificultada, devido à elevação da tensão superficial. Com o aumento do teor de  $\text{CaCO}_3$  de 20% para 25% (VR/18), ocorreu queda no consumo, tendo, aí, sua justificativa.

Com o aumento do teor de  $\text{CaCO}_3$  para 30% (VR/19) houve aumento do consumo, o que pode ser causado pela maior geração de gases, menor tensão superficial e maiores reações endotérmicas.

O menor consumo em CA pode ser justificado pela menor temperatura do arco e eletrodo, devido aos momentâneos cortes de correntes durante os períodos de transição de polaridade. Essa redução de temperatura pode fazer crescer a tensão superficial, dificultando a transferência da gota, além de aquecer menos a ponta do eletrodo.

#### 7.1.2 - Produção Específica de Material Depositado

O conhecimento da produção específica de um eletrodo é de especial importância, quando se trata de estabelecer a quantidade de consumíveis, tempo de soldagem e custos nas construções soldadas, o que justifica a medição do consumo convencional específico e o rendimento convencional do eletrodo.

Nas figuras 40 e 41, pode-se observar que, em CA, sempre houve maior produção, mesmo que seu consumo tenha sido menor. Outra característica é que, em CC+, a produção foi maior do que em CC-, apesar de o consumo ter sido menor.

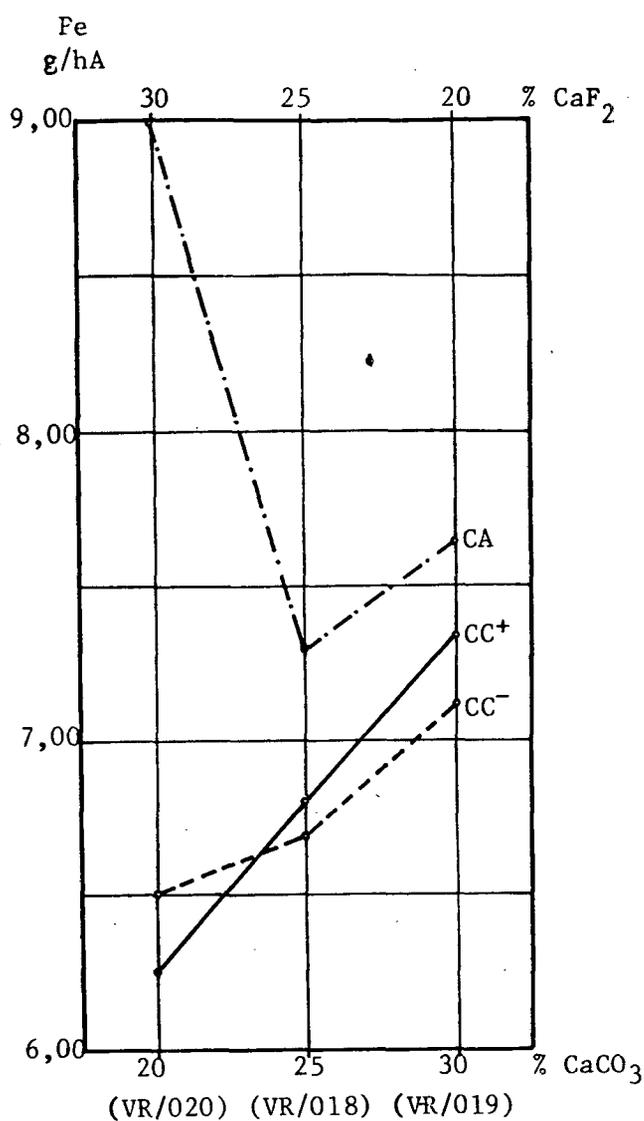


FIGURA 41 - Efeito da variação do teor de  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{CaF}_2$  sobre a produção específica de material depositado.

### 7.1.3 - Rendimentos

Na análise da influência do  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{CaF}_2$ , a porcentagem do pó de ferro foi mantida constante; por isso, tanto faz a análise ser feita pelo rendimento convencional ( $\eta_c$ ), ou pelo rendimento real ( $\eta_r$ ). Os dados apresentados no capítulo VI, sustentam essa afirmação.

Se, por um lado, é esperado baixo rendimento para teores altos de  $\text{CaCO}_3$ , devido à maior geração de gases, por outro lado, o maior teor de  $\text{CaF}_2$  produz menos estabilidade no arco, transferência mais globular e menos efeito canhão.

A figura 42 ilustra a influência do  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{CaF}_2$  sobre o rendimento convencional do eletrodo. Pela análise da figura, nota-se que o rendimento convencional é menor para maiores teores de  $\text{CaCO}_3$  (VR/019) em CA, mas é maior em CC+ e indiferente, em CC-. Além disso, pode-se notar que, analisando só um tipo de corrente, as diferenças de rendimentos são pequenas. Finalmente, pode-se notar que o rendimento foi maior para a corrente onde o consumo era menor. Dessa forma, torna-se difícil encontrar uma justificativa adequada para o ocorrido.

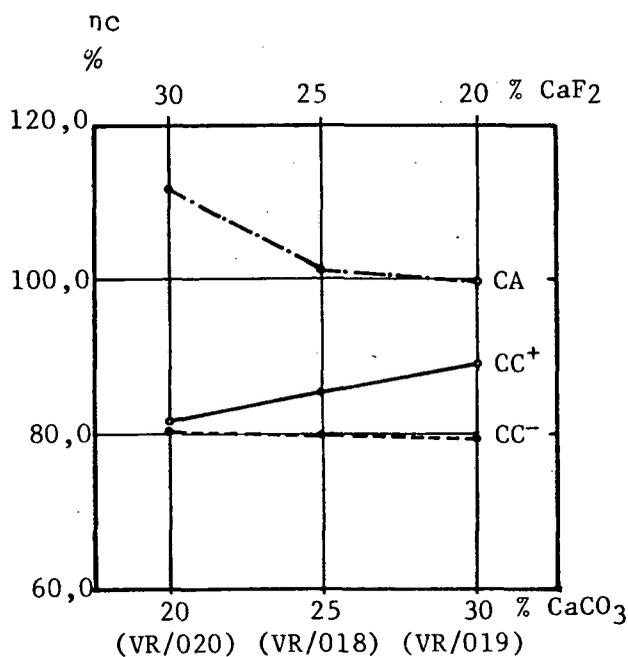


FIGURA 42 - Comportamento do rendimento de deposição com a variação do teor de  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{CaF}_2$

#### 7.1.4 - Geometria do Cordão de Solda

##### a) Penetração da Solda

A figura 43 ilustra o efeito da variação de  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{CaF}_2$  sobre a penetração da solda. Com o aumento do  $\text{CaCO}_3$ , espera-se um aumento da penetração, devido ao aumento da concentração de energia, causado pela dissociação do  $\text{CaCO}_3$  (maior condutibilidade térmica e jato de gás) e aumento da produção de material depositado (este, em menor escala). Entretanto uma produção elevada pode diminuir a penetração, devido à interposição de maior quantidade de material entre o arco e o metal de base. Por outro lado, Pokhodnya[29] verificou que o acréscimo de  $\text{CaF}_2$  também faz con-

centrar o arco. Na polaridade CC+, houve aumento na penetração da solda com o acréscimo do teor de CaCO<sub>3</sub>, o que pode fazer supor que o aumento da produção não foi suficiente para interpor à ação do arco. Também se pode supor que o efeito do CaCO<sub>3</sub> é maior do que do CaF<sub>2</sub>.

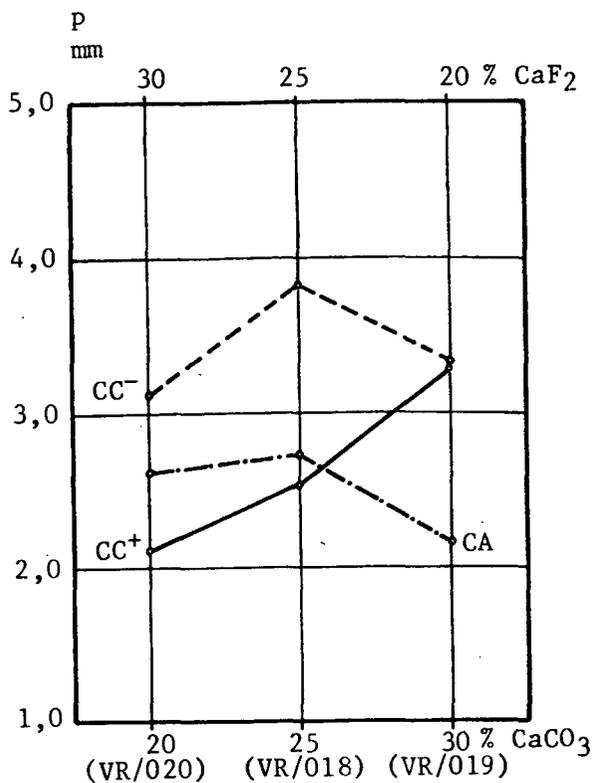


FIGURA 43 - Efeito da variação do teor de CaCO<sub>3</sub> e CaF<sub>2</sub> sobre a penetração da solda.

Para CC<sup>-</sup> e CA, esperava-se, também, um aumento da penetração com o acréscimo do CaCO<sub>3</sub>. Devido à alta produção mostrada pelo VR/020 em CA, poder-se-ia esperar até um comportamento diferente para este caso. Porém, tanto em CA como em CC<sup>-</sup>, houve acréscimo na penetração no sentido do VR/020 para o VR/018, mas uma queda, quando alcançou o VR/019 de mais alto teor de CaCO<sub>3</sub>. Novamente, torna-se difícil explicar o ocorrido, ficando a sugestão da mudança do tipo de transferência que permitiu uma redução da temperatura da gota.

#### b) Largura e Reforço do Cordão de Solda

As figuras 44.a e 44.b mostram, respectivamente, o comportamento da largura (b) e reforço (r) do cordão de solda com a variação do CaCO<sub>3</sub> e CaF<sub>2</sub>.

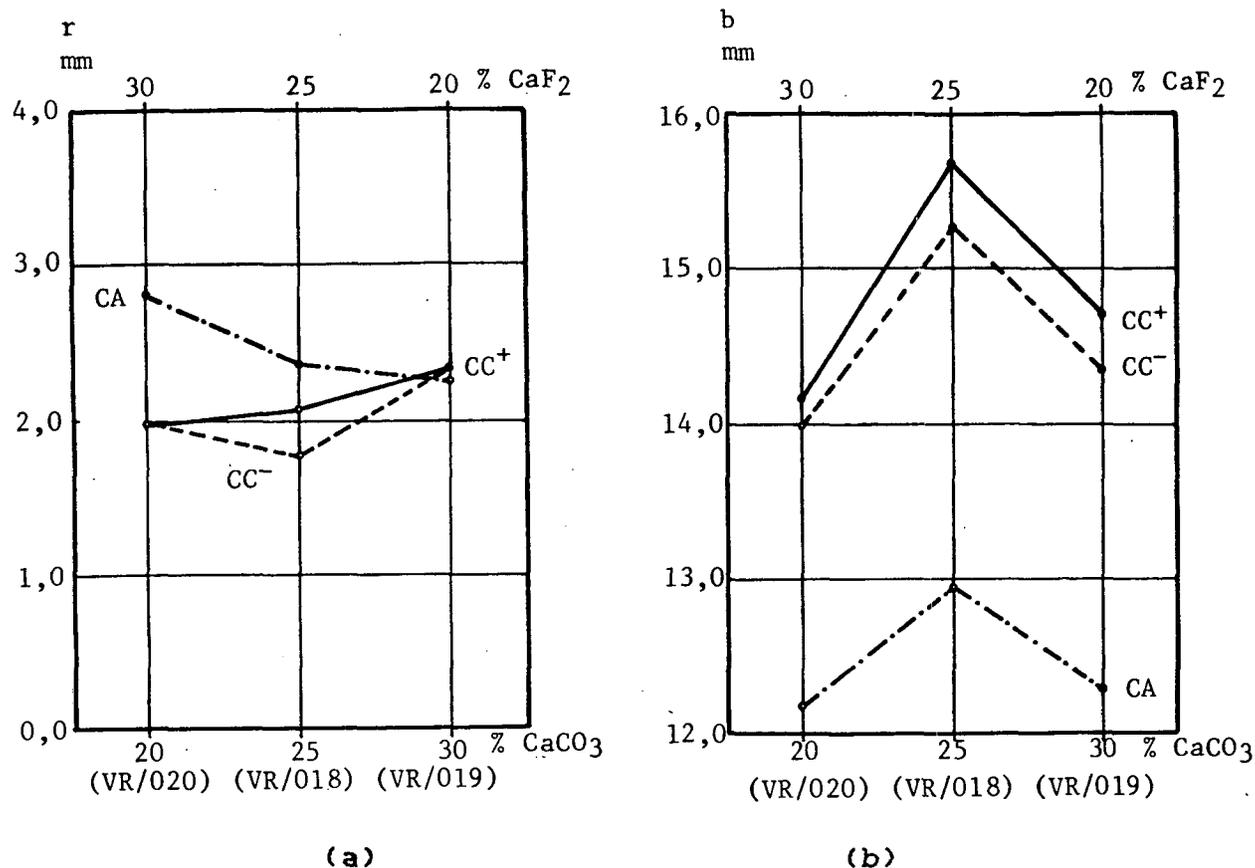


FIGURA 44 - Comportamento da largura (a) e reforço (b) do cordão de solda com a variação do teor de CaCO<sub>3</sub> e CaF<sub>2</sub>.

Com o aumento do CaCO<sub>3</sub>, se a produção fosse a mesma seria de se esperar b menor e r maior, devido ao aumento da condutibilidade térmica dos gases do arco. Entretanto, o mesmo é de se esperar para o aumento do CaF<sub>2</sub>. Já com relação ao aumento da produção, deveria apresentar largura e reforço maior com o acréscimo do CaCO<sub>3</sub>, exceto em CA.

Devido ao comportamento apresentado, pode-se sugerir que a tensão superficial e a viscosidade não têm influência marcante, pois a relação CaCO<sub>3</sub> / CaF<sub>2</sub> = 1 apresenta maior tensão superficial [12], não sugerindo a razão do ponto máximo da largura e mínimo de reforço para o VR/018.

As figuras 18, 19 e 20 ilustram os formatos do cordão de solda dos eletrodos analisados. Nota-se que, em CC<sup>+</sup> e CC<sup>-</sup>, os formatos são semelhantes, com as laterais do cordão terminando de maneira mais suave; mas, em CA, o cordão de solda apresentou re-

forço mais arredondado e largura menor, com as laterais terminando de forma mais brusca, o que evidencia a ação da tensão superficial e da viscosidade sobre a largura e o reforço. Esse fato justifica a menor largura em CA, apesar da maior produção (o formato do cordão leva a uma maior área adicionada, apesar de menor b). Também justifica o maior reforço, principalmente no VR/020, onde a produção foi muito elevada.

#### 7.1.5 - Aparência do Cordão de Solda

O quadro 21 mostra uma comparação quanto à aparência do cordão de solda feita de maneira visual. Nota-se que, à medida que se aumenta o teor de  $\text{CaCO}_3$ , o aspecto do cordão piora nos três tipos de corrente. A justificativa deve estar no volume de gás e na tensão superficial da escória.

	CC+	CC-	CA
VR/020	2	1	3
VR/018	2	1	2
VR/019	1	1	1
1- Péssimo	2- Regular	3- Bom	

QUADRO 21 - Análise comparativa do aspecto do cordão de solda com a variação do teor de  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{CaF}_2$ .

#### 7.1.6 - Destacabilidade de Escória

A figura 45 ilustra a tendência da variação do índice da destacabilidade em função dos teores de  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{CaF}_2$  no revestimento. Observa-se que a queda do teor de  $\text{CaF}_2$  abaixo dos 30% faz com que diminua a facilidade de remoção da escória.

Considerando-se que a ligação mecânica é favorecida por menor coeficiente de dilatação da escória em relação ao metal, era de se esperar que resultasse uma ligação mais forte para os eletrodos VR/019 e VR/018, respectivamente. Os resultados encontrados concordam com o esperado.

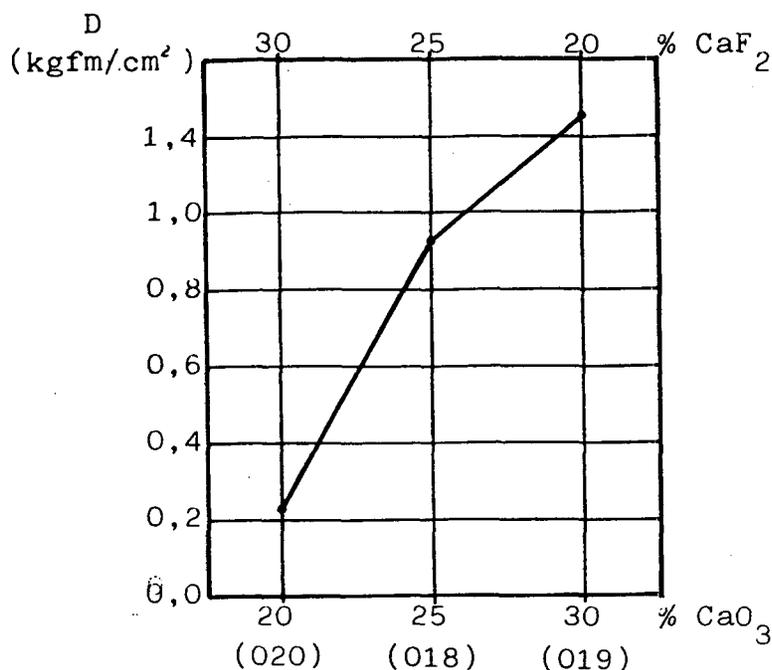


FIGURA 45 - Comportamento da destacabilidade em função da variação de CaCO<sub>3</sub> e CaF<sub>2</sub>.

A ligação mecânica seria também reforçada pelo aumento da molhabilidade entre a escória e metal. A molhabilidade seria tanto maior, quanto menor a tensão superficial entre as fases. Como visto, o CaF<sub>2</sub> tende a aumentar a tensão superficial, enquanto o CaCO<sub>3</sub> e SiO<sub>2</sub> apresentam valor de tensão superficial menores do que o CaF<sub>2</sub> e próximo ao do aço. É esperado que haja um aumento do teor de CaO e decréscimo do CaF<sub>2</sub> para os eletrodos VR/020, VR/018 e VR/019, respectivamente. Dessa forma, uma maior destacabilidade era esperada e foi encontrada no eletrodo VR/020. A molhabilidade mostrou também ser um fator determinante.

Outro fator que deve contribuir para a diminuição da destacabilidade é a existência de salpicos, mordeduras ou outros "pontos de ancoragem". A figura 37 evidencia como salpicos dificultam a destacabilidade. Devido à composição desfavorável dos revestimentos experimentais (pouco estabilizante de arco), todos os eletrodos mostraram alto índice de salpicos, porém não foi possível correlacionar o rendimento de deposição com o índice de destacabilidade. Presume-se que os salpicos foram, neste caso, mais responsáveis pela dispersão dos resultados do que propriamente pelo valor do índice.

Quanto à ligação química, não foi possível fazer algumas considerações da mesma sobre a destacabilidade, devido à falta de dados para análise.

## 7.2 - Influência da Variação do CaCO<sub>3</sub> e Pó de Ferro

Foram utilizados três tipos de eletrodos de composições fixas, exceto a variação sistemática do carbonato de cálcio e pó de ferro, ou seja:

	VR/057	VR/058	VR/059
% CaCO <sub>3</sub>	20	30	40
% Pó de Ferro	32	22	12

### 7.2.1 - Consumo Específico do Eletrodo

A figura 46 mostra a influência do CaCO<sub>3</sub> e pó de ferro no consumo específico do eletrodo, sendo que o mesmo foi crescente à medida que se aumentou o teor de CaCO<sub>3</sub>.

De acordo com Boniszewski[16], o aumento do teor de pó de ferro, aumenta o consumo de energia para a sua fusão. Segundo Warzink[17], o revestimento é aquecido, por condução térmica da alma do eletrodo, e resfriado, na outra superfície, por radiação e convecção natural; com a introdução de pó de ferro no revestimento, aumenta-se a condutividade térmica, o que ocasiona uma quantidade menor de energia para a fusão da alma e, conseqüentemente, diminuição do consumo. O mesmo autor também sugere que o efeito Joule, pela passagem de corrente no revestimento com pó de ferro, é pouco significativa. Esses argumentos servem como base para explicar a queda do consumo com o aumento do teor de pó de ferro.

Se, por outro lado, a passagem de corrente pelo revestimento for significativa, outra justificativa seria a queda do efeito Joule gerado na alma, pela diminuição da densidade de corrente passando pela alma.

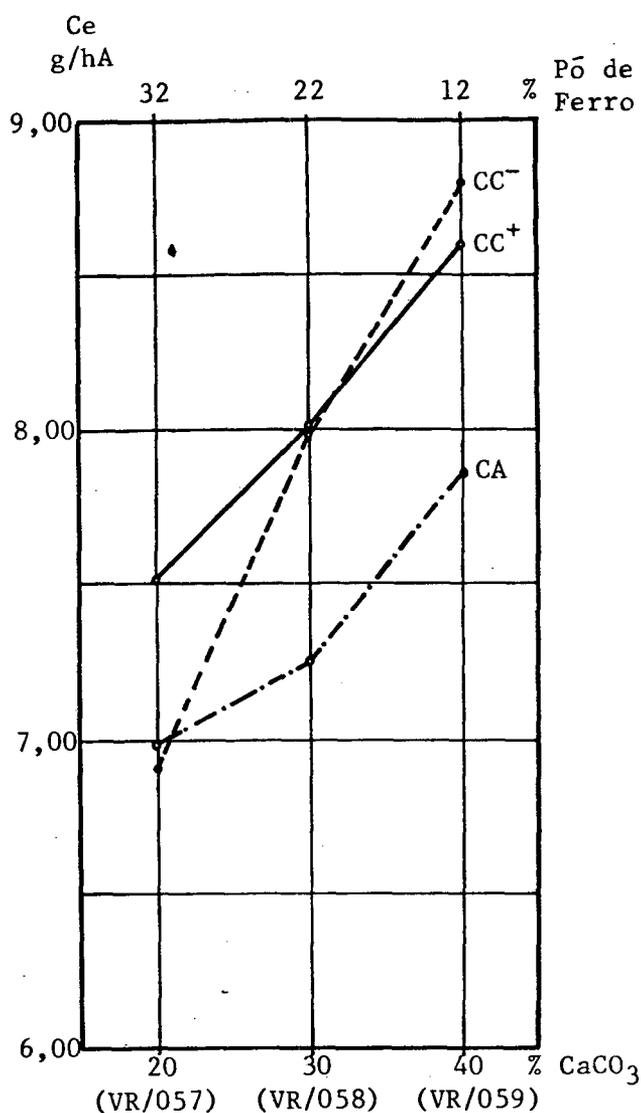


FIGURA 46 - Efeito da variação do  $\text{CaCO}_3$  e pó de ferro sobre o consumo específico do eletrodo.

A tendência crescente do consumo em função do aumento de  $\text{CaCO}_3$  pode ser justificada, ainda, pelo aumento da quantidade de gases (força de arraste) e, também, pela menor estabilidade do arco para o eletrodo VR/059 [30].

É interessante notar a relação de consumo entre  $\text{CC}^+$  e  $\text{CC}^-$ . A justificativa utilizada, baseada na instabilidade do arco para o maior consumo em  $\text{CC}^-$ , pode perder seu caráter predominante no eletrodo VR/057 ao se considerar que, em  $\text{CC}^-$ , a grande quantidade de pó de ferro no revestimento facilita a emissão de elétrons, fazendo com que ocorra menor aquecimento na conexão arco-

eletrodo e, conseqüentemente, a redução do consumo. Em CC+, o eletrodo passa a receber elétrons e não emiti, o que justificaria a não queda de temperatura.

O menor consumo acontecido em CA pode ainda ser baseado na queda de temperatura, como no caso anterior. Para o VR/057, o fato de o consumo, em CA, ficar pouco acima do consumo em CC-, ajuda a justificar a hipótese da facilidade de emissão de elétrons do pó de ferro, pois, em cada ciclo, o eletrodo estará meio período em CC-.

### 7.2.2 - Produção Específica de Material Depositado

A figura 47 ilustra a influência da variação do CaCO<sub>3</sub> e pó de ferro na produção específica de material depositado. Nota-se, novamente, que, em CA, a produção foi maior do que no outro tipo de corrente, apesar de seu consumo ser menor.

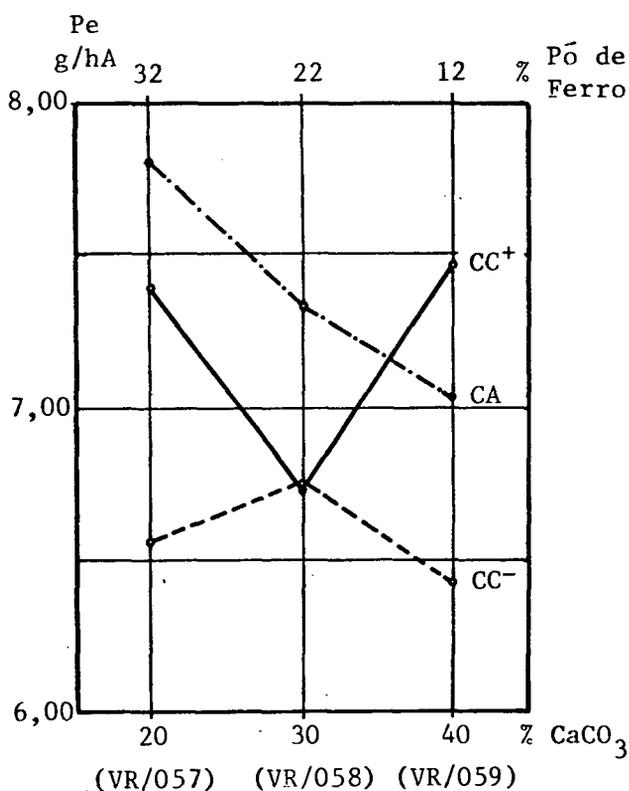


FIGURA 47 - Efeito da variação de CaCO<sub>3</sub> e pó de ferro sobre a produção específica de material depositado.

## 7.2.3 - Rendimentos

Como nesse item será analisada a influência do pó de ferro, as análises serão feitas através tanto do nc como do nr.

As figuras 48.a e 48.b ilustram o comportamento dos rendimentos em função da variação dos teores de  $\text{CaCO}_3$  e pó de ferro. Como era de se esperar, com o aumento do pó de ferro, aumentou o rendimento de deposição.

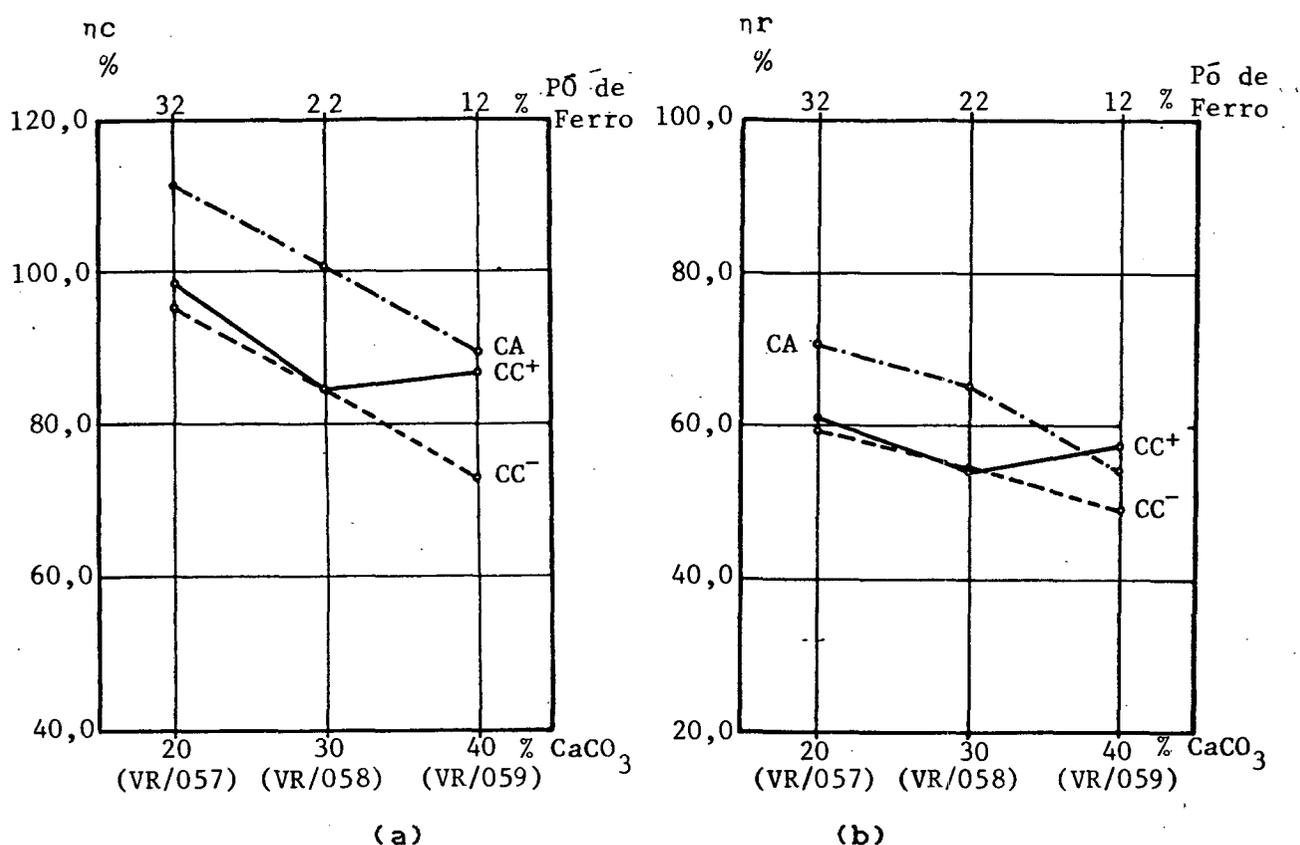


FIGURA 48 - Comportamento dos rendimentos em função da variação dos teores de  $\text{CaCO}_3$  e pó de ferro.

Um fato que se repetiu nesta série de eletrodos foi que, em CA, o rendimento de deposição foi maior (e consumo menor) e o que já havia sido verificado na soldagem com eletrodo básico comercial [31]. Também em CC- foi o que apresentou o menor rendimento de deposição. Justifica-se, pois estão nessa polaridade as condições mais instáveis [32]

Fazendo agora a análise através do rendimento real do eletrodo (nr), observa-se, na figura 48.b, que, quanto mais pó de ferro no revestimento, maior é este parâmetro. Essa ocorrência

está relacionada com uma redução da quantidade de salpicos, pois, de acordo com Marchenko[12] e Raiter[22] um dos meios de se diminuir o número de salpicos é o aumento do conteúdo de pó de ferro no revestimento. Isso implica que o acréscimo de pó de ferro não só é transferido para a solda, como melhora a transferência (menos salpicos) pela melhora da estabilidade, já que o pó de ferro é tido como estabilizante de arco [1, 4, 22].

Somente o eletrodo VR/059 em CC+ mostrou comportamento não esperado, pois teve ligeira melhora do rendimento. Esse fato faz pensar que, como a estabilidade é um dos fatores que aumenta o rendimento, e a mesma é maior nessa polaridade, o efeito maléfico do  $\text{CaCO}_3$  em produzir salpicos é menos significativo.

Outra característica é que a quoda do  $\eta_c$  foi maior do que o do  $\eta_r$ ; isso mostra que a taxa de transferência do pó de ferro diminui com o aumento da porcentagem do mesmo. Neste caso, pode-se explicar que, quando o pó de ferro aumenta e o  $\text{CaCO}_3$  diminui, a basicidade cai, maior é a oxidação.

#### 7.2.4 - Geometria do Cordão de Solda

##### a) Penetração da Solda

A figura 49 mostra o efeito da variação do  $\text{CaCO}_3$  e pó de ferro na penetração da solda. Observa-se que a penetração foi crescente para qualquer polaridade em relação ao aumento de  $\text{CaCO}_3$  (redução do pó de ferro)

Com o acréscimo de  $\text{CaCO}_3$ , o aumento da penetração pode ser causado pelo aumento da concentração de energia e pelo calor da gota que deve ser maior, pois o calor gasto para fundir o revestimento com o menor teor de pó de ferro é menor[16]. Em contra-partida, o aumento da produção que se verificou para CC+ poderia diminuir a penetração. Isso, novamente, confirma que a produção não foi suficiente para a sobreposição.

Novamente, também, notou-se queda na taxa de crescimento de penetração do VR/058 para o VR/059 em CC-. Mas a penetração, em CC-, continuou, de forma geral, maior.

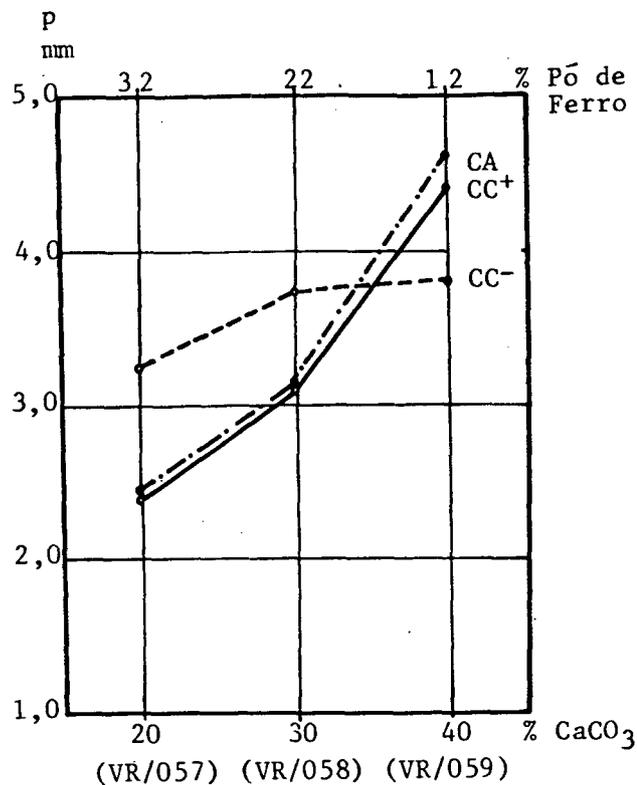


FIGURA 49 - Efeito da variação do CaCO<sub>3</sub> e pó de ferro na penetração da solda.

#### b) Largura e Reforço do Cordão de Solda

As figuras 50.a e 50.b ilustram, respectivamente, o comportamento da largura e reforço do cordão de solda com a variação do CaCO<sub>3</sub> e pó de ferro.

Com o aumento do teor de CaCO<sub>3</sub>, era de se esperar menor largura devido a uma redução no diâmetro do arco, queda da produção (exceto em CC+) e aumento da tensão superficial. Mas, de acordo com as figuras 50.a e 50.b, o comportamento foi diferente: em CC-, a largura foi crescente, enquanto o reforço se manteve praticamente constante e, em CC+ e CA, a largura ficou constante, e o reforço aumentou, do eletrodo VR/058 para o VR/059.

Em CC-, a Sad diminuiu, a largura aumentou e o reforço manteve-se constante, o que propiciou um cordão de solda com a concordância mais suave, como pode ser visto nas figuras 21, 22 e 23. Porém, em CA, com a redução de Sad, a largura ficou constante, enquanto o reforço aumentou, o que resultou um cordão típico

de pico, o qual pode ser causado por alta viscosidade aliada a uma tensão superficial também alta. Já em CC+, com a diminuição da Sad para o VR/058 e aumento posteriormente para VR/059, a largura ficou praticamente constante, e o reforço aumentou, ocorrências essas, que podem ter sido influenciadas pelos mesmos fatores observados em CA, mas com ação menos pronunciada.

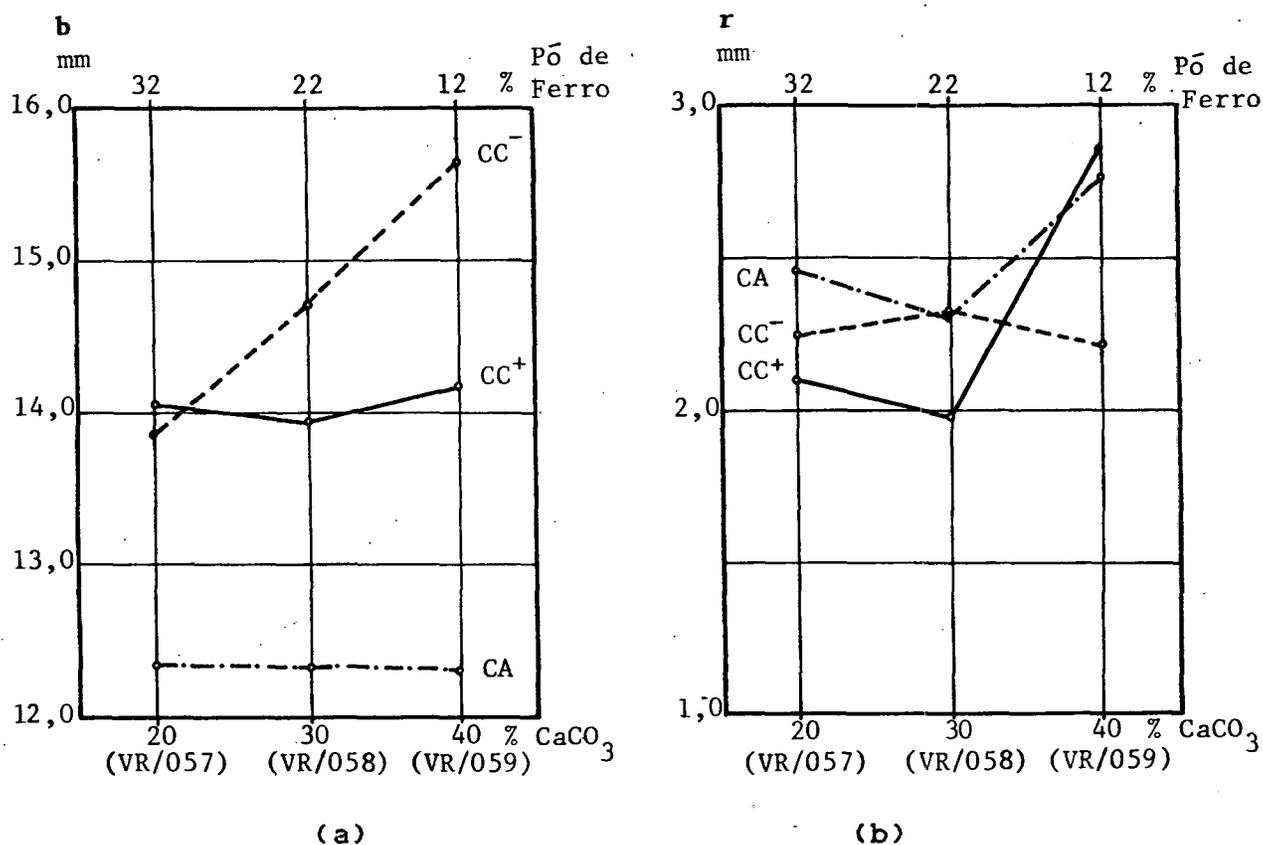


FIGURA 50 - Comportamento da largura (a) e reforço (b) do cordão de solda com a variação do CaCO<sub>3</sub> e pó de ferro.

Do exposto, com o acréscimo do teor de CaCO<sub>3</sub>, a ação da tensão superficial e viscosidade tornam-se mais significativas na formação da largura e reforço do cordão de solda. O CaCO<sub>3</sub> parece não aumentar muito a tensão superficial, pois o aumento da tensão superficial pode ser causado, não pelo aumento do CaCO<sub>3</sub>, mas, sim, pela redução de óxido de ferro, que se forma através da oxidação do pó de ferro, o qual diminui à medida que o CaCO<sub>3</sub> aumenta.

Novamente em CA, a largura foi menor, e o reforço foi maior do que em CC+ e CC-, comportamento, esse, que pode ser causado pela ação de menor temperatura sobre a tensão superficial e viscosidade. A redução de temperatura do arco pode ser causada pela passagem da corrente ponto de transição associada com a alta condutibilidade térmica do CO<sub>2</sub>.

#### 7.2.5 - Aparência do Cordão de Solda

O quadro 22 mostra uma avaliação da aparência do cordão de solda feita de uma análise visual dos corpos de prova

	CC+	CC-	CA
VR/057	3	2	3
VR/058	2	1	2
VR/059	1	1	1
3- bom    2- regular    1- péssimo			

QUADRO 22 - Análise comparativa do aspecto do cordão de solda com variação do teor de CaCO<sub>3</sub> e pó de ferro.

Novamente, nota-se que, com o aumento do CaCO<sub>3</sub>, a aparência do cordão de solda piorou nas correntes analisadas. As justificativas dessa ocorrência podem estar relacionadas com o maior volume de gases, aumento da tensão superficial e da viscosidade e a maior instabilidade do arco do eletrodo VR/059

#### 7.2.6 - Destacabilidade de Escória

A figura 51 ilustra a tendência da variação do índice de destacabilidade em função da variação do teor de CaCO<sub>3</sub> e pó de ferro. Observa-se que o aumento a partir de 30% do CaCO<sub>3</sub>, em função do decréscimo do pó de ferro, tem um efeito marcante sobre a dificuldade da liberação da escória, pouco alterando, porém na faixa de 20 a 30%. Nestes casos, o CaF<sub>2</sub> foi mantido constante, em 30%.

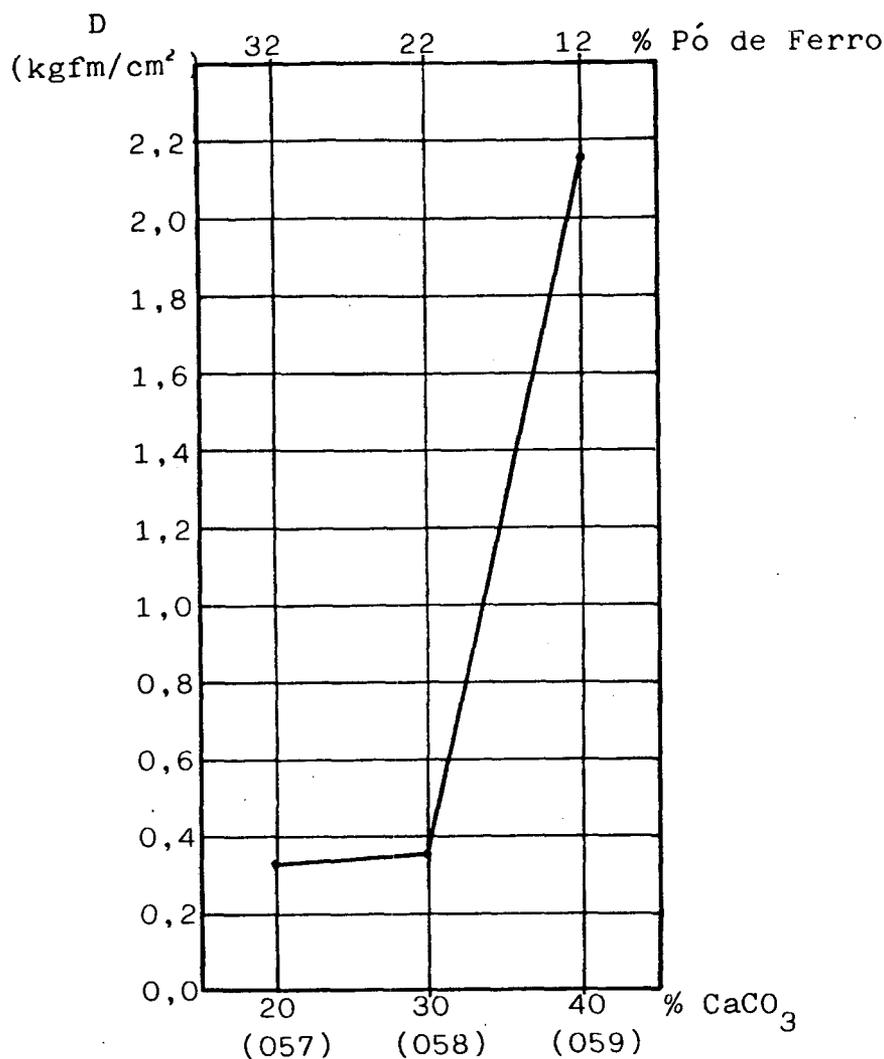


FIGURA 51 - Comparação da destacabilidade em função da variação do teor de CaCO<sub>3</sub> e pó de ferro.

A ligação mecânica é favorecida por um menor coeficiente de dilatação da escória em relação ao metal de solda. Porém o eletrodo VR/059 apresentou um índice de destacabilidade da escória, apesar de o coeficiente de dilatação ser mais próximo ao do aço como mostra o quadro 19. O fato de a escória do eletrodo E-7018 comercial ter um coeficiente de contração do mesmo nível dos coeficientes das escórias do VR/057 e VR/059, aliado a facilidade maior na remoção da escória, mostra que a diferença entre coeficientes de contração não pode ser mencionada, como causa principal ou determinante da maior ou menor facilidade de se destacar a escória.

Uma alta molhabilidade entre a escória e o metal de solda pode aumentar a ligação mecânica, sendo que essa propriedade pode ser aumentada pela redução do  $\text{CaF}_2$ . Supondo-se que quase todo o pó de ferro do revestimento passe para o metal, as escórias dos eletrodos VR/057, VR/058 e VR/059, respectivamente, teriam o teor de  $\text{CaF}_2$  decrescente no sentido do VR/059. As composições químicas das escórias expressas no quadro 20 confirmam essa suposição. Do exposto, maior destacabilidade era esperada e foi encontrada no sentido do eletrodo VR/057.

Além de possíveis considerações do ponto de vista da ligação química que, por falta de condições, não será levada em conta neste trabalho, o elevado valor encontrado do índice para o eletrodo VR/059 apresenta maior dificuldade na sua justificativa. Jackson[1] cita que escórias com grande fluidez escorrem à frente do cordão de solda e dificultam a destacabilidade. Realmente, esse fato foi observado na soldagem com os eletrodos com alto teor de  $\text{CaCO}_3$ , e mais característico no VR/059, quando se observou uma escória escorrendo cerca de 10 mm à frente do cordão. Entretanto radiografias desses corpos de prova não demonstraram inclusão de escória, tornando-se difícil o entendimento desse mecanismo de retenção.

### 7.3 - Influência da Variação do Fator de Revestimento

Nesta, foram utilizados eletrodos com a composição do revestimento igual à do eletrodo VR/020, mas com o fator de revestimento (relação entre o diâmetro externo do revestimento e o diâmetro da alma) variando de 1.5, 1.7, e 2.1.

#### 7.3.1 - Consumo Específico Convencional do Eletrodo

A figura 52 mostra o comportamento do consumo com a variação do fator de revestimento. Nota-se que, à medida que aumenta o fator, cai o consumo.

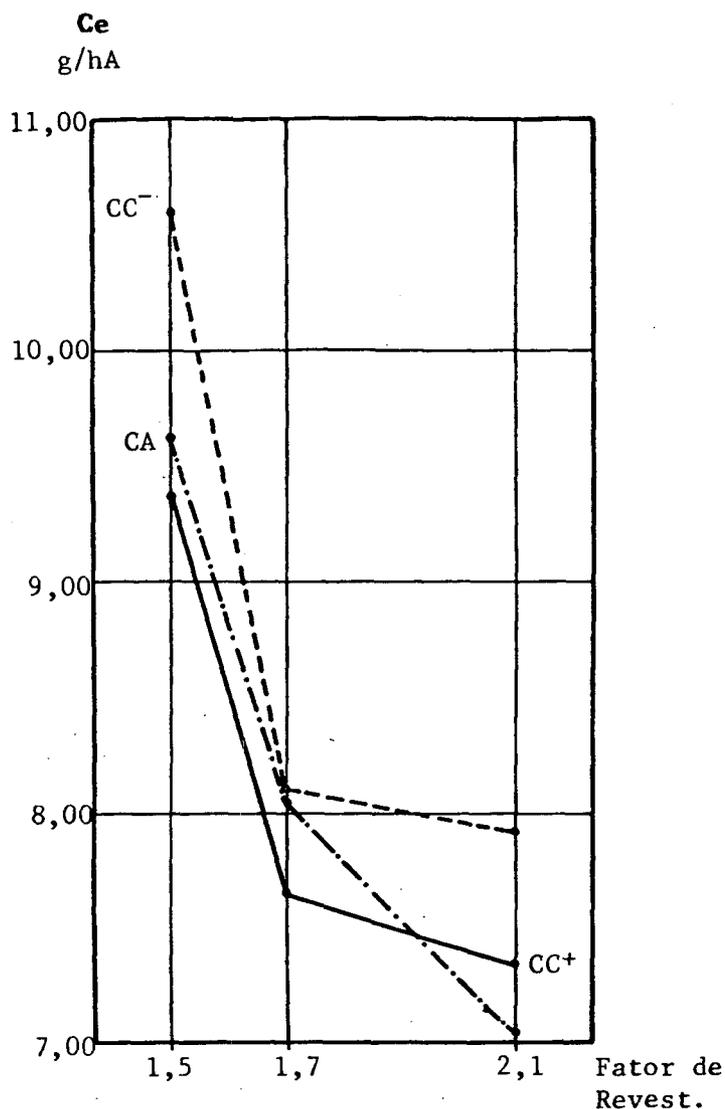


FIGURA 52 - Comportamento do consumo específico convencional do eletrodo com a variação do fator de revestimento.

Uma hipótese para justificar o ocorrido é o maior consumo de energia gasta para a fusão do revestimento, tendo-se, com isso, menos quantidade de energia para fundir a alma do eletrodo. Quanto ao fato de o consumo ser maior, mais uma vez, em CC-, do que em CC+, pode ser justificado pelo fato de que, em CC-, o arco é menos estável [30] e, com isso, existe possibilidade de maior número de explosões e de absorção de oxigênio da atmosfera, diminuindo, assim, a tensão superficial da gota e, conseqüentemente, maior consumo.

### 7.3.2 - Produção Específica Convencional de Material Depositado

A figura 53 ilustra o efeito da variação do fator de revestimento sobre a produção específica. A produção foi decrescente com o aumento do fator de revestimento para todas as condições exceto para o eletrodo com fator igual a 2,1 em CC<sup>-</sup>, cujo comportamento foi crescente em relação ao de fator 1,7.

Como os fatores que influem na produção são os mesmos que atuam sobre o consumo e rendimento, a figura está apenas para ilustrar o comportamento.

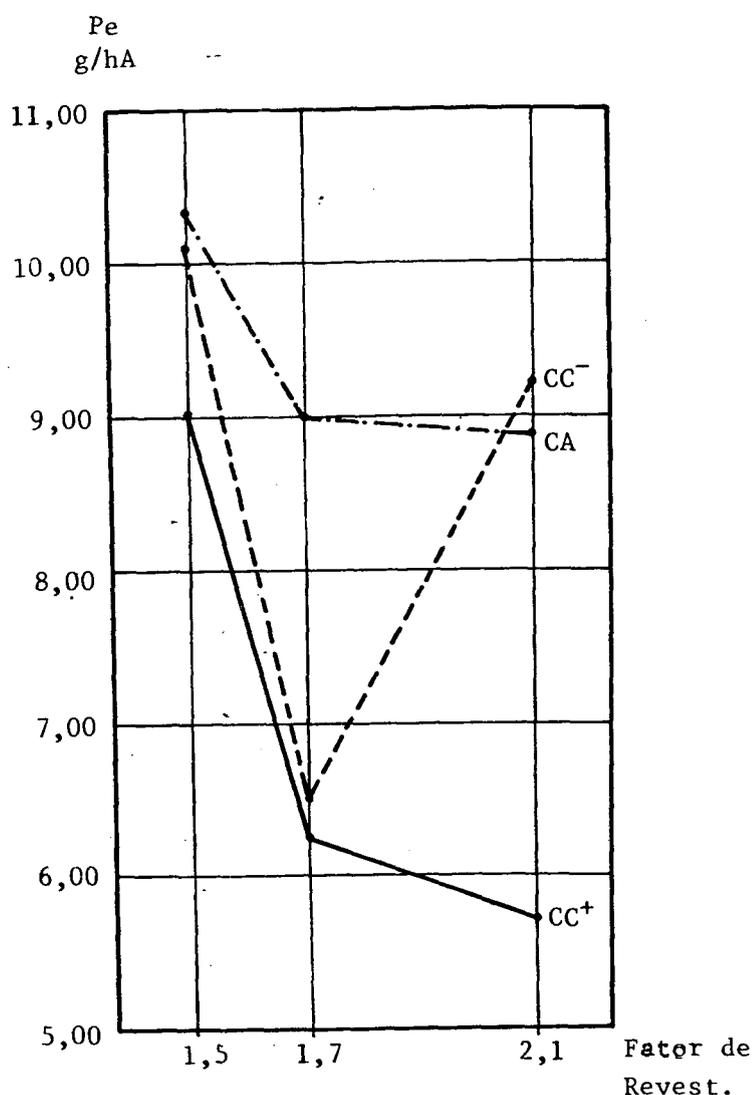


FIGURA 53 - Efeito da variação do fator de revestimento sobre a produção específica do material depositado.

## 7.3.3 - Rendimentos

A medida que o fator de revestimento aumenta, as quantidades em peso dos elementos químicos que compõem o revestimento do eletrodo também aumentam, isto é, a quantidade em peso de pó de ferro aumenta; por isso, a análise será feita através do rendimento convencional e pelo rendimento real do eletrodo.

A figura 54 mostra a influência do fator de revestimento no rendimento convencional do eletrodo. Novamente, esse parâmetro é maior em CA, sendo que, quando o fator passa de 1,7 para 2,1, há um acréscimo mais acentuado em CC-, e decréscimo em CC+.

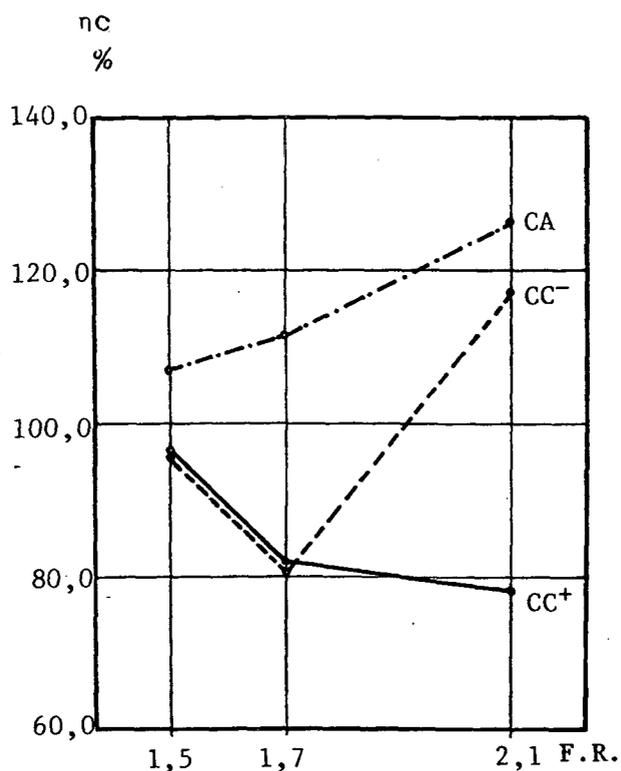


FIGURA 54 - Comportamento do rendimento convencional com a variação do fator de revestimento.

Com o acréscimo do fator de revestimento, a quantidade de pó de ferro aumenta, e era de se esperar que houvesse, sempre, aumento no rendimento de deposição que só foi verificado em CA e, em parte, em CC-. Aliado a isso, o efeito canhão é esperado ser maior em 2,1, o que também beneficiaria um rendimento maior.

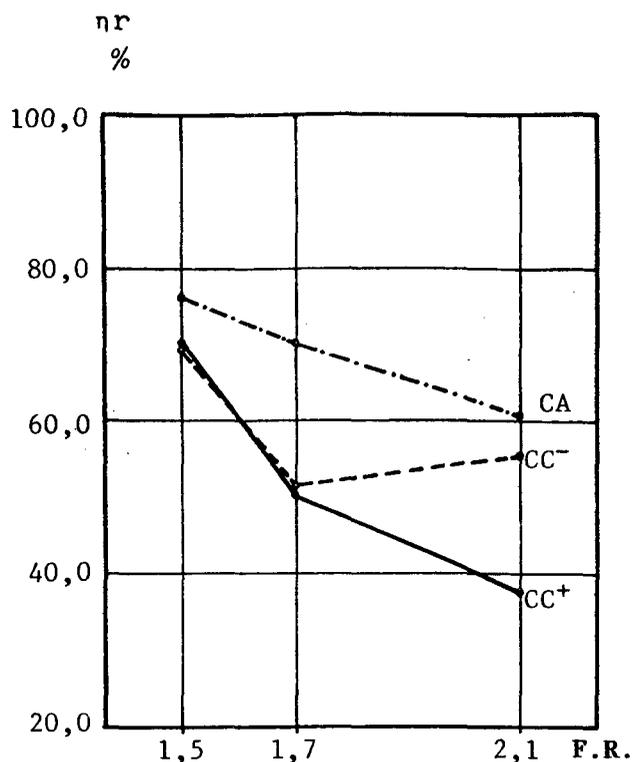


FIGURA 55 - Comportamento do rendimento real com variação do fator de revestimento.

Já na figura 55, nota-se que o  $\eta_r$  cai, exceto por um leve acréscimo em CC-. Isso quer dizer que o fator de transferência diminui, apesar de estar transferindo mais, ou seja, parte cada vez maior do pó de ferro está indo para a escória na forma de  $Fe_2O_3$ , apesar da basicidade ter sido a mesma. Pode-se dizer que o aumento do fator de revestimento não aprimora a proteção.

É interessante notar que o  $\eta_c$  e  $\eta_r$  para CC+ sempre diminui, apesar de se esperar o contrário, uma vez que a estabilidade é maior nessa polaridade. Novamente, sugere-se um efeito marcante do tipo de transferência que está acontecendo.

#### 7.3.4 - Geometria do Cordão de Solda

##### a) Penetração

O comportamento da penetração da solda é ilustrado na figura 56. Como pode ser visto, a penetração, tanto em CC- como em CA, teve um leve acréscimo com a variação do fator de revestimento de 1,5 para 1,7 e, posteriormente, uma queda para o de 2,1. Já em CC+, esse parâmetro ficou praticamente constante. E, novamente, em CC-, a penetração foi maior.

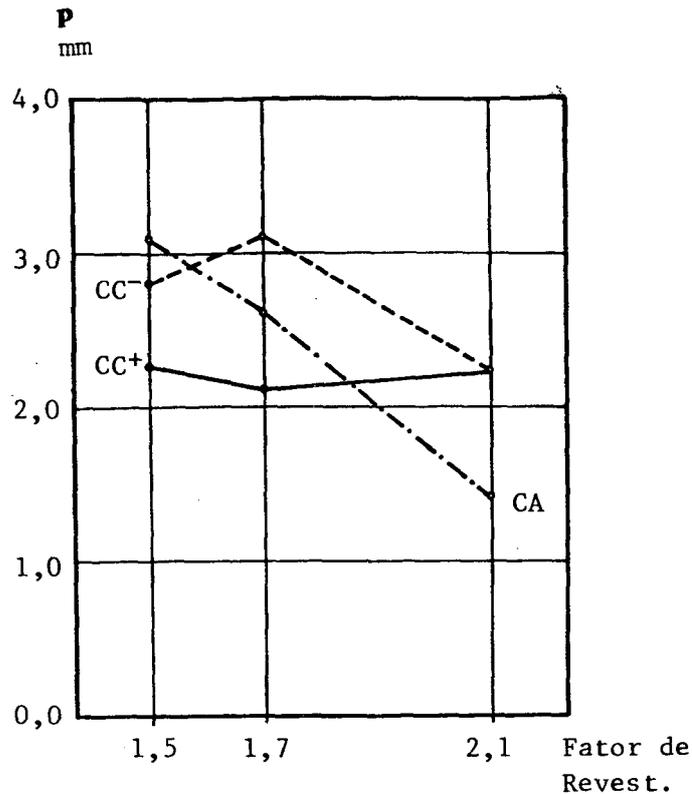


FIGURA 56 - Comportamento da penetração da solda com a variação do fator de revestimento.

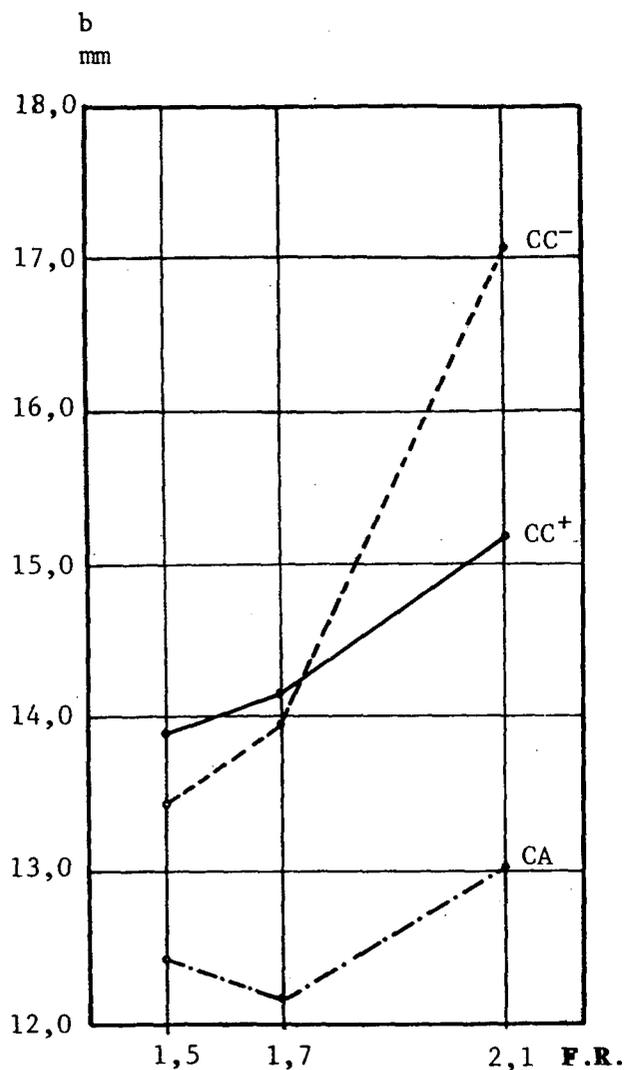
A queda da penetração pode ser favorecida pela temperatura da gota que deve ser menor, pois gasta-se mais energia para fundir o revestimento e, também, pelo fato de que, com o aumento do fator de revestimento, o arco se torna mais largo.

#### b) Largura e Reforço do Cordão de Solda

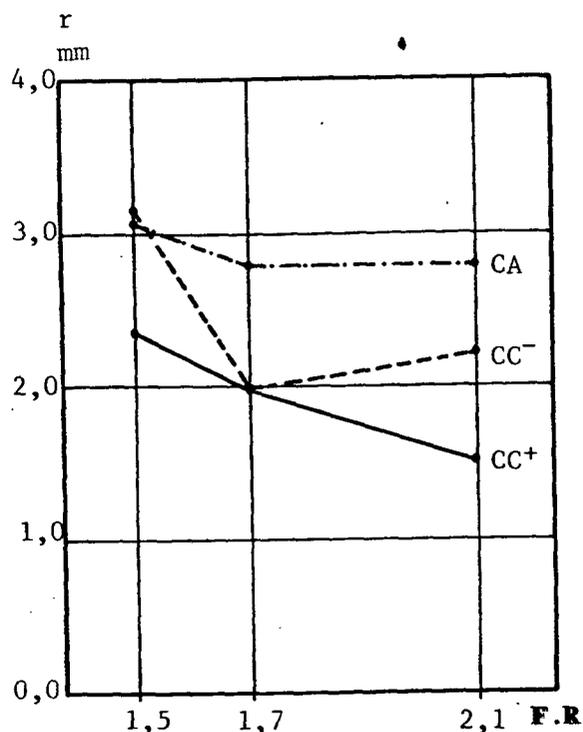
As figuras 57.a e 57.b mostram a influência do fator de revestimento sobre a largura e reforço do cordão de solda. De uma forma geral, à medida que aumentou o fator de revestimento, a largura aumentou, e o reforço diminuiu.

O comportamento desses parâmetros com o aumento do fator de revestimento pode ser causado pela queda da produção ocorrida, exceto em CC-, e ao possível alargamento do arco, hipótese, essa, já sugerida para justificar a queda da penetração.

Com o aumento do fator de revestimento do eletrodo, tem-se uma produção maior de escória, que pode melhorar a molhabilidade (por ser básica) da poça no metal de base, permitindo o alargamento da poça, auxiliado pela força de maior geração de gases.



(a)



(b)

FIGURA 57 - Efeito da variação do fator de revestimento sobre a largura (a) e reforço (b) do cordão de solda.

Por outro lado, era de se esperar uma maior tensão superficial, pela queda da temperatura da gota, justificativa utilizada para a queda do consumo e penetração, e, conseqüentemente se ter uma largura menor e um reforço maior; mas isto não ocorreu. Entretanto, em CA, a largura foi a menor, e o reforço, o maior, o que vem sendo sempre citado: ter, em CA, a menor temperatura.

### 7.3.5 - Aparência do Cordão de Solda

As fotografias mais representativas dos corpos de prova podem ser vistas nas figuras 30, 35 e 36.

A avaliação da aparência do cordão de solda foi feita através da comparação visual das fotografias de todos os corpos de prova ensaiados, e o resultado pode ser visto no quadro 23.

ELETRODO	FATOR REVEST.	CC+	CC-	CA
VR/020	f= 1,5	1	1	2
	f= 1,7	2	1	3
	f= 2,1	1	2	2
1- Péssimo    2- Regular    3- Bom				

QUADRO 23 - Análise comparativa do aspecto do cordão de solda com variação do fator de revestimento.

De uma forma geral, o eletrodo com menor fator de revestimento foi o que apresentou a pior aparência do cordão de solda, mas, de uma forma geral, a diferença entre as aparências dos eletrodos analisados foi pequena, o que pode sugerir que a variação do fator de revestimento não altera, significativamente, aparência do cordão de solda

#### 7.3.6 - Destacabilidade da Escória

A figura 58 mostra a tendência da variação do índice de destacabilidade em função da variação do fator de revestimento. De acordo com a composição do revestimento, era de se esperar que o grau de facilidade de remoção de escória fosse o mesmo. Mas nota-se que o índice diminui levemente, à medida que o fator aumenta

A pior destacabilidade da escória para o eletrodo de menor fator de revestimento pode ser oriunda da maior molhabilidade da escória sobre o metal de solda, ocasionada pela maior temperatura da gota, pois, para esse eletrodo, gasta-se menos energia para fundir o revestimento

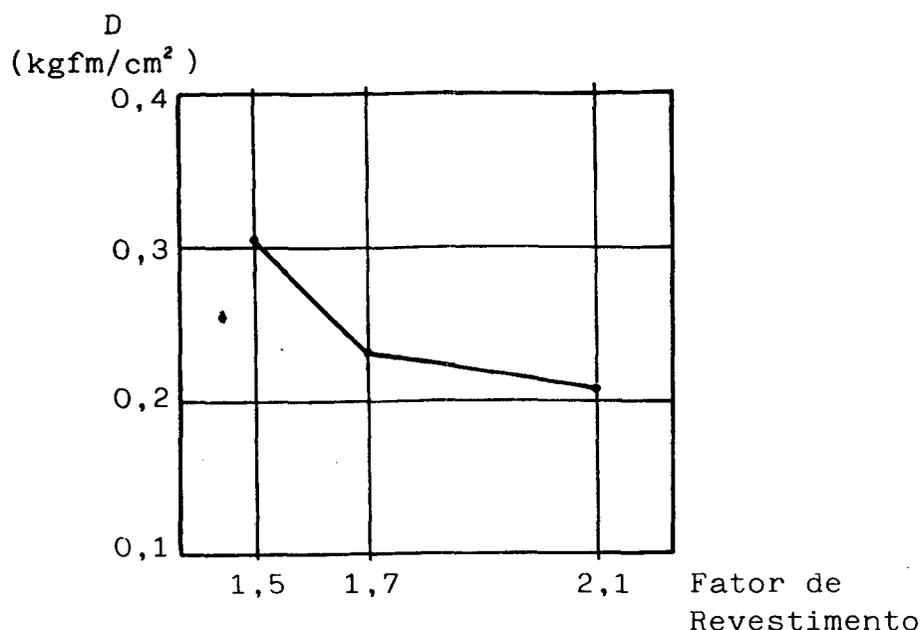


FIGURA 58 - Comparação da destacabilidade em função da variação do fator de revestimento.

#### 7.4 - Influência do Tipo de Pó de Ferro

Para análise da influência do tipo de pó de ferro sobre as características econômicas e operacionais, foi fabricado um grupo de eletrodo com a composição química idêntica ao VR/020, mas variando a granulometria e densidade aparente do pó de ferro. O estudo foi feito em duas etapas: a primeira, analisando a granulometria e a segunda, a densidade aparente do pó de ferro. No primeiro caso, foram utilizados os eletrodos VR/047 e VR/048 e, no segundo, o VR/046 e VR/047 cujas variações são as seguintes:

	Granulometria [ $\mu\text{m}$ ]	Densidade Aparente [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ]	Tipo do Pó de Ferro
VR/046	43	3,45	Atomized Eltrix 400
VR/047	43	2,60	Hoeganaes W-100
VR/048	100	2,45	Hoeganaes W-423A

## 7.4.1 - Consumo Específico Convencional do Eletrodo

## a-) Granulometria

A figura 59 ilustra o comportamento do consumo específico com a variação da granulometria do pó de ferro, sendo que houve, tanto em CC+ como em CC- e CA, uma queda no consumo, à medida que a granulometria diminuiu.

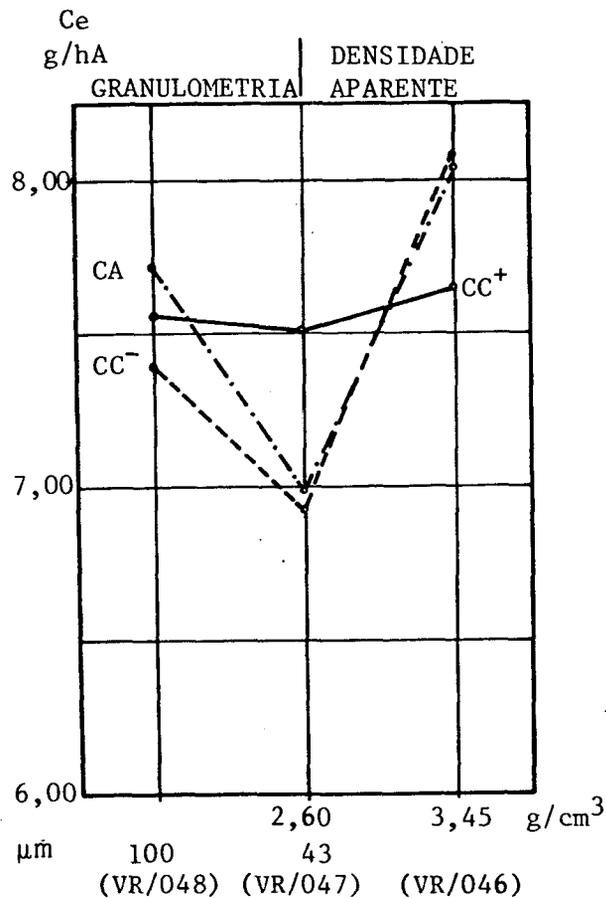


FIGURA 59 - Comportamento do consumo específico convencional do eletrodo com variação da granulometria e densidade aparente do pó de ferro

De acordo com Raiter[29], quanto maior for a granulometria do pó de ferro, maior a condutividade elétrica do revestimento, o que se pode conseguir através de aquecimento maior do mesmo, por efeito Joule, facilitando o seu consumo. Outra hipótese, para tentar justificar o comportamento da granulometria, é que o pó de ferro mais fino possui emissibilidade eletrônica

maior. Por isso, com o eletrodo no pólo negativo, quanto mais fino for o pó de ferro, menor será o aquecimento do eletrodo e, conseqüentemente, o consumo diminui. Sendo o eletrodo positivo, não haverá emissão de elétrons pelo mesmo, o que pode justificar o comportamento do consumo em CC+. Já em CA, o comportamento fica intermediário entre as duas polaridades.

#### b) Densidade Aparente

A figura 59 também ilustra a influência da densidade aparente sobre o consumo específico convencional dos eletrodos VR/046 e VR/047. Pode-se notar que o consumo específico foi crescente nos três tipos de corrente, sendo que, em CC- e CA, o comportamento foi praticamente o mesmo.

Pode-se esperar que o pó de ferro de menor densidade aparente tenha maior emissibilidade eletrônica, aquecendo menos o eletrodo (gerando menos calor) e, com isso resultando menos consumo. Essa hipótese pode ser apoiada pelo fato de que se obteve maior estabilidade de arco [30], ou seja, foi mais fácil ionizar. Também nesse caso, não houve grande alteração em CC+, pois, nessa polaridade, não há emissão de elétrons, mas só a absorção dos mesmos.

Outro fator que talvez contribuía com o ocorrido pode ser a presença de uma fina camada de óxido ( $Fe_3O_4$ ) na superfície do pó de ferro [29], utilizado na composição do revestimento do eletrodo VR/046, que diminui a tensão superficial do metal da gota, facilitando a sua transferência e, conseqüentemente, aumentando o consumo do eletrodo.

#### 7.4.2 - Produção Específica de Metal Depositado

A influência da granulometria e densidade aparente do pó de ferro sobre a produção específica, não será analisada neste item, pois os fatores que atuam sobre esse parâmetro são os mesmos que atuam no consumo e rendimento convencional do eletrodo. A figura 60 está somente para ilustrar o comportamento ocorrido.

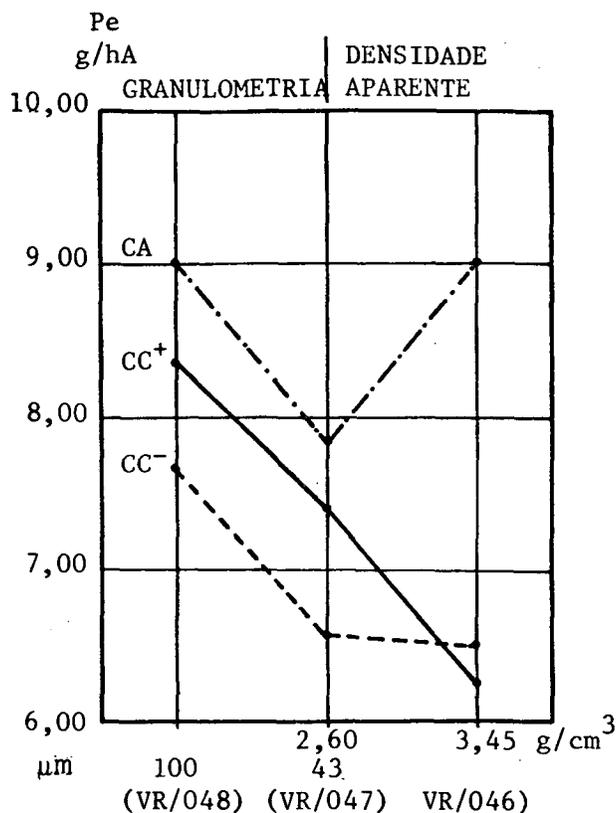


FIGURA 60 - Comportamento da produção específica de material depositado com a variação da granulometria e densidade aparente do pó de ferro.

#### 7.4.3 - Rendimentos

##### a) Granulometria

A figura 61, a e b mostra a influência da variação da granulometria do pó de ferro sobre o rendimento convencional (a) e real (b) do eletrodo. Nota-se, mais uma vez, que, em CA, foram obtidos melhores rendimentos tanto convencional como real, enquanto, em CC-, o rendimento foi o mais baixo.

De acordo com a figura 61, quanto menor a granulometria, maiores são as perdas por salpicos, apesar de o consumo ter caído, o que retira um pouco a validade da relação: menor perda por salpicos menor consumo verificado nos outros casos.

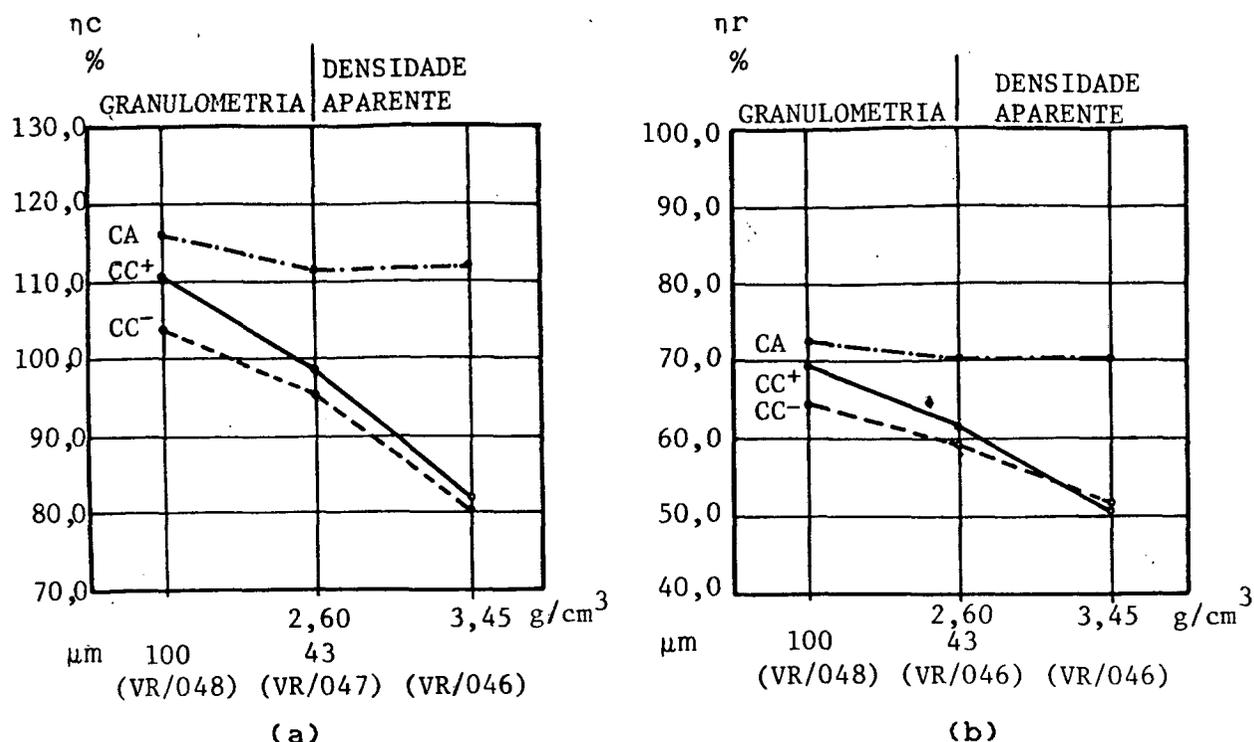


FIGURA 61 - Influência da variação da granulometria e densidade aparente sobre o rendimento convencional (a) e real (b) do eletrodo

Uma hipótese que pode justificar o ocorrido é: quanto mais fino o pó de ferro, mais fácil o mesmo se oxidar (menos área superficial) antes de fundir. Com isso, pode passar para a escória, ao invés de ir para a poça; conseqüentemente, o rendimento convencional cai, o que manteria viável a afirmação da influência do consumo.

#### b) Densidade Aparente

A figura 61 também ilustra a influência da densidade aparente do pó de ferro sobre os rendimentos. Mais uma vez, o rendimento convencional é maior em CA, e de acordo com a figura, quanto maior a densidade aparente, menor foi o rendimento convencional do eletrodo, principalmente em corrente contínua.

Quanto mais denso o pó de ferro, menor é o volume para um mesmo peso, o que poderia acarretar menor oxidação, devido à menor área superficial e, conseqüentemente, menor rendimento de deposição, o que aconteceu.

Por outro lado, o pó de ferro de maior densidade, devido a seu método de fabricação, tem mais oxigênio e hidrogênio, o que

pode fazer com que o pó de ferro se transfira em menos quantidade. Além disso, menor área superficial dificulta sua fusão e, conseqüentemente, a transferência.

#### 7.4.4 - Geometria do Cordão de Solda

##### a) Granulometria

A figura 62 ilustra o comportamento da penetração em função da variação da granulometria e densidade aparente do pó de ferro. Nota-se um acréscimo em CC<sup>+</sup> e CA e pouco acréscimo em CC<sup>-</sup>. Mais uma vez, em CC<sup>-</sup>, deu-se maior penetração.

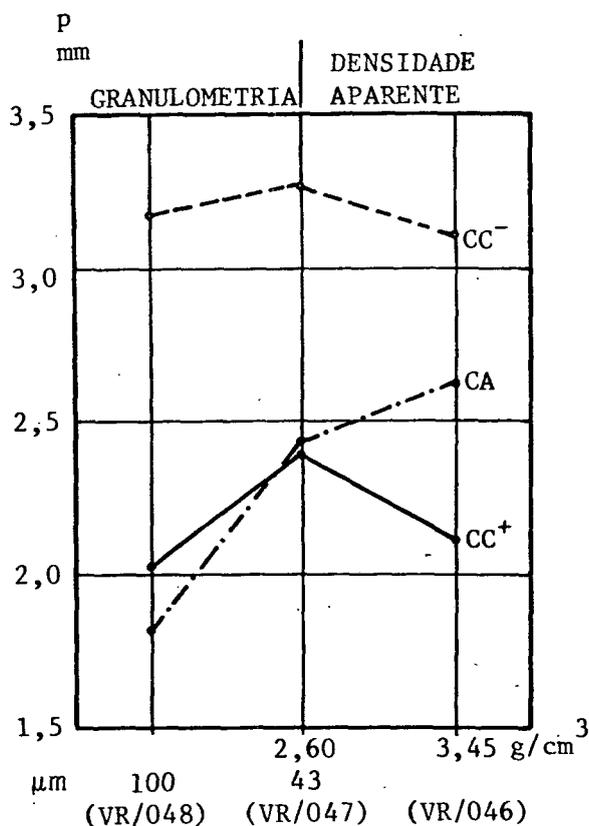


FIGURA 62 - Comportamento da penetração em função da variação da granulometria e densidade aparente do pó de ferro.

O alargamento do arco pela condução mais fácil do revestimento, como apontado no item consumo, não condiz com o aumento da penetração. Pode-se sugerir que, como o pó de ferro mais fino gasta menos energia para fundir, a gota chega mais quente ao metal de base, produzindo um cordão de solda mais profundo.

Quanto à largura e ao reforço do cordão de solda, a figura 63, mostra a influência da variação da granulometria e densidade aparente do pó de ferro sobre esses parâmetros. Na análise da influência da granulometria, a largura foi crescente, enquanto o reforço foi decrescente, exceto em CA onde a largura reduziu, à medida que diminui a granulometria, e novamente em CA, deu-se menor largura e maior reforço.

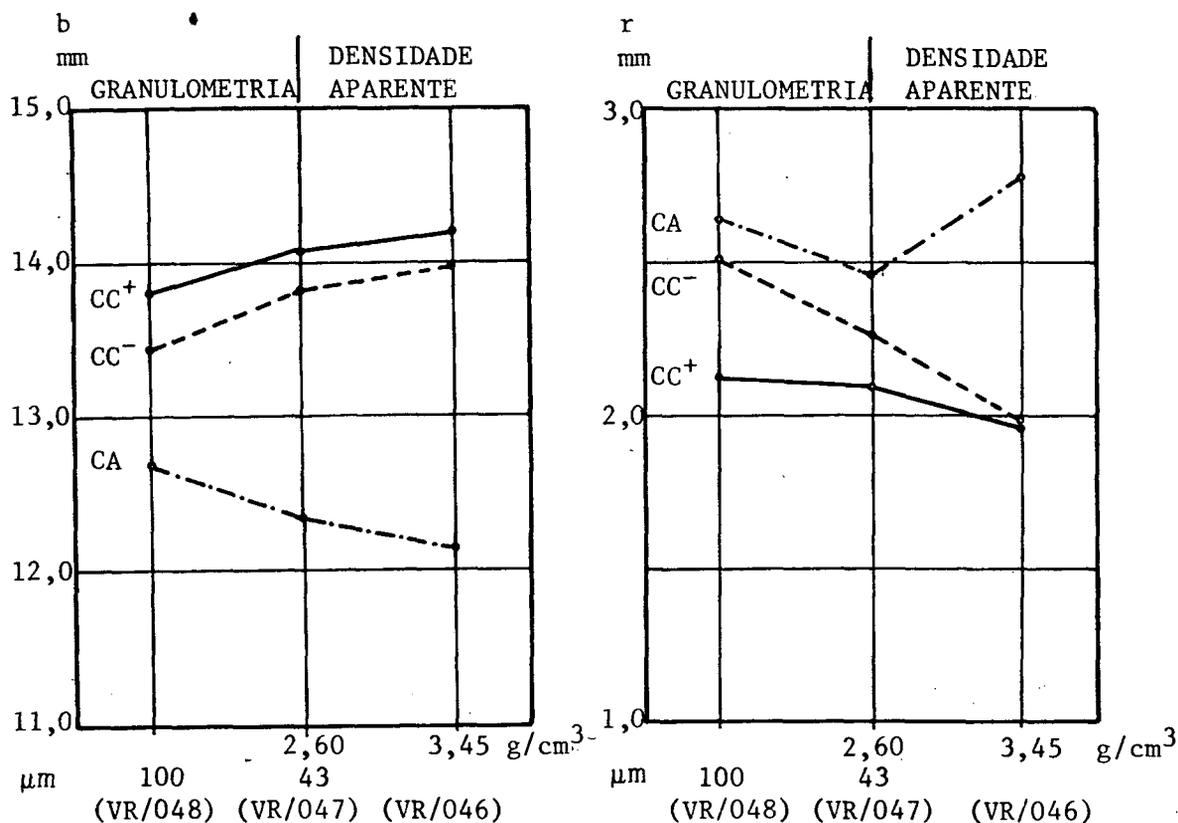


FIGURA 63 - Influência da variação da granulometria e densidade aparente do pó de ferro sobre a largura e reforço do cordão de solda.

A queda da produção pode justificar somente a queda da largura em CA, pois, em CC, a largura foi crescente, à medida que se diminuiu a granulometria do pó de ferro. Quanto ao diametro do arco, era esperado que o mesmo diminuísse para o VR/047, o que explicaria também o ocorrido em CA, mas não em CC.

Para o eletrodo VR/047, acredita-se que, quanto mais poroso e fino, mais fácil de ocorrer uma oxidação; com isso, a tensão superficial do metal de solda pode diminuir, fazendo com que a largura do cordão de solda aumente e, conseqüentemente, o reforço diminua, auxiliado ainda pela queda de produção.

#### b) Densidade Aparente

A figura 62 também ilustra o comportamento da penetração com a variação da densidade aparente do pó de ferro. Nota-se que, com corrente contínua, a penetração caiu com o aumento da densidade do pó de ferro, e, em CA, esse parâmetro aumentou. Novamente, em CC, a penetração foi maior.

O comportamento crescente da penetração em CA pode ser causado pelo aumento da produção específica, que propicia maior entrega de energia (calor latente) ao corpo de prova.

Também nesse caso, podemos dizer que a gota fica mais fria com o aumento da densidade, pois mais energia é necessária para fundir o pó de ferro, justificando a queda da penetração em CC-, onde a produção também diminuiu.

O comportamento da largura e do reforço do cordão de solda em função da variação da densidade aparente do pó de ferro é ilustrado na figura 63, sendo que, em corrente contínua, a largura foi crescente e o reforço, decrescente, à medida que aumentou a densidade. Contudo, em CA, o comportamento foi o contrário.

O pó de ferro do tipo atomizado (VR/046) possui uma fina camada de óxido de ferro ( $Fe_3O_4$ ) na sua superfície, sendo que o mesmo aumenta a molhabilidade da escória [29], podendo, ainda, diminuir a tensão superficial da gota do metal. Esses fatores podem justificar o aumento da largura em CC, sendo que o pequeno acréscimo pode ser atribuído à queda de produção. Quanto ao reforço em CC, a queda do mesmo pode ser justificado pela menor tensão superficial do metal de solda, aliada à queda da produção.

Em CA, novamente, a largura foi menor, enquanto o reforço foi maior em relação a CC. Mais uma vez, a justificativa desse comportamento foi creditado à redução de temperatura que ocorre nesse tipo de corrente, fazendo com que as propriedades, como a tensão superficial e viscosidade, aumentem e, como consequência, a largura diminui e o reforço aumenta.

#### 7.4.5 - Aparência do Cordão de Solda

O quadro 24 ilustra uma comparação feita, de modo visual, da aparência do cordão de solda. Observa-se que a variação

da aparência do cordão dos eletrodos VR/046, VR/047 e VR/048 que foram utilizados para análise da influência, tanto da granulometria quanto da densidade aparente do pó de ferro, não foi significativa, isto é, os cordões de solda eram semelhantes, como pode ser visto nas figuras 30, 31 e 34.

	CC+	CC-	CA
VR/046	2	1	3
VR/047	2	2	3
VR/048	2	2	3
1- Péssimo      2- Regular      3- Bom			

QUADRO 24 - Análise da aparência do cordão com variação do tipo de pó de ferro

## CAPÍTULO VIII

### CONCLUSÕES

A análise das influências de determinados elementos que compõem o revestimento de um eletrodo sobre algumas características operacionais e econômicas é, em muito, dificultada por fatores que são concorrentes ou interdependentes. Além disso, a comprovação de como determinados fatores atuam só pode ser evidenciada com equipamentos sofisticados, como é o caso da ligação química na destacabilidade de escória. Mas, apesar das limitações e da amostragem pequena para cada eletrodo, algumas tendências foram observadas, os quais são mostradas a seguir:

- 1- É muito difícil prever-se o comportamento de um sistema químico, pois o comportamento individual de cada composto, muitas vezes, é concorrente, além do fato de esse comportamento variar, dependendo do teor de outros compostos.
- 2- A influência do tipo de transferência, que está ligada, além dos fatores químicos, ao do tipo de corrente, talvez exerça influência muito grande, merecendo um estudo mais detalhado.
- 3- O consumo manifesta-se maior em CC- do que em CC+, talvez pela menor estabilidade. Pode-se notar que, quando há consumo maior em CC+ do que em CC-, a estabilidade do eletrodo é alta.
- 4- O rendimento apresenta-se sempre maior em CA, apesar de se esperar o contrário, principalmente pelo fato de, normalmente, o menor consumo ter-se dado em CA.

- 5- O aumento do  $\text{CaCO}_3$ , em muitos casos, facilita o consumo do eletrodo e piora a aparência do cordão de solda.
- 6- O crescimento do teor de pó de ferro no revestimento faz aumentar o  $\eta$ , porém a taxa de transferência do pó de ferro não é constante, ou seja, quanto mais pó de ferro, menor é a porcentagem transferida. Também se pode dizer que esse efeito não é só controlado pela basicidade.
- 7- A corrente alternada geralmente reduz a largura do cordão e aumentar o reforço, tornando o cordão mais convexo.
- 8- Houve uma tendência de maior penetração com o eletrodo no pólo negativo(CC-)
- 9- A maior ou menor facilidade da remoção de uma escória é consequência de várias propriedades concorrentes e interdependentes, tais como molhabilidade, coeficiente de dilatação etc. Entretanto, aparentemente, não há uma predominância marcante de uma das propriedades sobre as demais.
- 10- O aumento do teor de  $\text{CaF}_2$  e queda do teor de  $\text{CaCO}_3$  na composição do revestimento acarreta maior facilidade de destacabilidade das escórias.
- 11- A metodologia utilizada pode ser considerado boa, exceto na escolha do comprimento do arco e do tipo de corrente, fora das condições práticas. Seria necessário um número maior de amostras, para melhorar a certeza dos resultados.

## CAPÍTULO IX

### PROPOSTAS PARA NOVOS TRABALHOS

Apesar da boa metodologia utilizada, alguns pontos do trabalho ficaram obscuros e carecem de novos estudos para sua completa explicação. Além disso, com o presente trabalho, foi possível visualizarem-se novos trabalhos, sendo que os principais são enumerados a seguir:

- 1 - Repetir medições para os mesmos eletrodos, com o intuito de aumentar a certeza dos resultados, além de utilizar comprimento de arco mais curto e dispensar o estudo em CC-, condição que nunca será utilizada para esses tipos de eletrodos.
- 2 - Fazer um estudo da influência sobre a transferência e do tipo de transferência sobre as características operacionais e econômicas.
- 3 - Proceder estudos com faixa de variações menores de composição, mas com maior número de variações.
- 4 - Estudar o efeito da variação da composição química do revestimento básico sobre as ligações químicas da escórias.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [ 1] JACKSON, C.E. Fluxes and slags in welding. In: Welding Research Council - Bulletin 190, Dec. 1973
- [ 2] American Welding Society - Filler Metal Specifications: A5.1-81. Mild Steel Covered Arc-Welding Electrodes. 1981.
- [ 3] HOFFMANN, R.L. Electrode coverings - How they work. Welding Journal, 55 (5): 408-410, 1976.
- [ 4] CONARCO - Alambres y Soldadura. Apuntes do curso: Soldadura em mantenimiento.
- [ 5] LANCASTER, J.F. The physics of welding. International Institute of Welding, England, Pergamon Press, 1984. 297p.
- [ 6] WEGRZYN, J. Covered electrodes arcs. In: Weld Pool - Chem and Metall. vol. 1, Abington Hall. Cambridge, 1980. Anais... The Welding Institute p. 241-250.
- [ 7] SHAFRANSKII, L.G. and ABRASHIN, A.V. The de-ionising effect of fluorspar in welding with fluoride-calcium type coatings. Welding Production, (12): 20-22, 1974.
- [ 8] LANCASTER, J.F. The transfer of metal from coated electrodes. Metal Construction and British Welding Journal, 3 (10): 370-373, Out. 1971.
- [ 9] HAZLETT, T.H. Coating ingredients influence on surface tension, arc stability and bead shape. Welding Journal, 36 (1): 18s-22s, Jan. 1957.
- [10] HOLMAN, J. P. Transferência de calor. Editora Mc Graw-Hill do Brasil Ltda. 1983.

- [11] ABELSON, B.e BJORDAHL, S. Resumo de trabalho apresentado no "Welding Gas Seminar 74", 1974.
- [12] MARCHENKO, A.E. and YAVDOSHCIN, I.R. Electrodes for manual arc welding of carbon and low-alloy structural steels - Lectures for welding specialists. Kiev, Naukova Dumks, 1983. 88p.
- [13] DAVIS; M.L.E. and BAILEY, N. Have we the right ideas about fluxes? In: Trends in Steel and Consumables for Welding. Vol.1, Abington Hall. Cambridge, 1978. Anais...The Welding Intitute p.231-247.
- [14] LAPIN, L.L. ; TURKIN, P.S. and SAMSONOV, V.L. Efect of fluorspar on the radial distribution of temperature and electrical conductivity of the electric arc running in air. Welding Production, (4): 17-19, 1983.
- [15] QUITES, A.M. e DUTRA, J.C. Tecnologia da soldagem a arco voltaico. Florianópolis, EDEME, 1979. 248p.
- [16] BONISZEWSKI, T. The effects of iron powder in basic low hydrogen all-positional electrodes. In: Trends in Steel and Consumables for Welding. Vol. 1, Abington Hall. Cambridge, 1978. Anais...The Welding Institute. p.199-215.
- [17] WASZINK, J.H. and PIENA; m.J. Thermal processes in covered electrodes. Welding Journal, 64 (2): 37s-48s, 1985.
- [18] ESSERS, W.G.; JELMORINI, G. and TICHELAAAR, G.W. Metal transfer from coated electrodes. Metal Construction and British Welding Journal, 3 (4): 151-154, April 1971.
- [19] POKHODNYA, I.K.; STARODUBTSEV, L.V. and GORPENYUK, V.N. The emission of electrons and positive ions from a weld pool and the stability of AC arc burn. In: Arc Physics and Weld Pool Behaviour. Vol. 1, Abington Hall. Cambridge, 1980. Anais... The Welding Institute. p.87-92.

- [20] JACKSON, C.E. The science of arc welding. *Welding Journal*, 39 (4): 129s-140s, 39 (5): 177s-190s, 39 (6): 225s-230s, 1960.
- [21] ZARUBA, I.I. Mechanism of metal spatter during arc welding. *Automatic Welding*, (11): 10-14, 1970.
- [22] RAITER, V. Polvos de hierro. CONARCO - Alambres y Soldaduras, 1985. (não publicado).
- [23] PEDREIRA, M. El desprendimiento de escória y su quantificación. CONARCO - Alambres y Soldaduras, 1984. (não publicado).
- [24] VORNOVITSKII, I. N. et al. A method of quantitative appraisal of slag. *Welding Production*, (2): 67-69, 1975.
- [25] DAVIS, M.L.E. Measurement of the physical properties of submerged arc and M.M.A. fluxes. *The Welding Institute Research Bulletin*, 40-48, Feb. 1981.
- [26] SIMULADOR DE SOLDAGEM MANUAL - "Projeto Pioneiro" - LAMEP / LABSOLDA / UFSC; 1980. (não publicado).
- [27] CONARCO - Alambres y Soldadura. Correspondências trocadas, 1984.
- [28] KLEIN, A. Confecção de amostras para ensaios Dilatométricos das escórias de soldagem. UFSC - EMC - LACIMAT - 1985 - Relatório Interno. (não publicado).
- [29] POKHODNYA, I.K. et alii. Research into the especial features of metal transfer and arc running stability in welding using basic-coated electrodes. *Automatic Welding*, (4): 39-42, April 1984.
- [30] FARIAS, J.P. Influência da composição do revestimento na estabilidade e transferência de metal em eletrodos básicos. Dissertação. UFSC 1985.

- [31] FARIAS, J.P.; KOBAYASHI, Y.; SCOTTI, A. e QUITES, A.M. Avaliação da estabilidade de eletrodos revestidos. In: X Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem. Vitória, E.S., Outubro, 1984. Anais...ABM/ABS p.315-335.
- [32] SCOTTI, A.; QUITES, A.M.; KOBAYASHI, Y. e Farias, J.P. Características dinâmicas de eletrodos revestidos. In: X Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem. Vitória, E.S. Outubro, 1984. Anais... ABM/ABS p.297-314.

## ANEXO 1

```

10 ! Ensaio Aquisição ('v';'I')
20 ! "LAB SOLDA"
30 ! YUKIO KOBAYASHI
40 OPTION BASE 1
50 DIM B$(32), M$(32), C$(6), F$(4), T$(3), A$(4), D$(14), E$(3)
60 SEORT V(500), I(500), A, M2, D1, D2
70 LET B$, N$, C$, F$, T$, A$, D$=" "
80 INTEGER J,K,N,W,0
90 N=0 @ T=0 @ C=0
100 ON KEY# 3, "Arquiv" GOSUB 1080
110 ON KEY# 1, "MEDE" GOSUB 210
120 ON KEY# 2, "DISP" GOSUB 1310
130 ON KEY# 6, "GRAVA" GOSUB 350
140 ON KEY# 8, " FIM" GOTO 180
150 CLEAR @ W=0
160 KEY LABEL
170 IF W=1 THEN 150 ELSE 160
180 CLEAR 709 @ LOCAL 709
190 CLEAR @ DISP "** FIM **"
200 END
210 ! mode
220 OUTPUT 709 ; "VR5VD4TEO" @ N=0 @ c=0
230 OUTPUT 709 ; "TE2" @ CLEAR @ DISP "LENDO"
240 N=N+1
250 OUTPUT 709 ; "AC12"
260 ENTER 709 ; V(N)
270 OUTPUT 709 ; "AC10"
280 ENTER 709 ; I(N)
290 IF I(N)<.001 OR N=500 THEN 310
300 GOTO 240
310 OUTPUT 709 ; "TE1TE"
320 ENTER 709 ; T
330 CLEAR 709
340 W=1 @ RETURN
350 ! grava
360 GOSUB 610 ! monta
370 W=1 @ J=0 @ A=0 @ CLEAR
380 DISP "Entre c/ o num. da EXPERIENCIA"
390 INPUT E$
400 A=16*(N-1)/256
410 IF PP(A)<=.5 THEN J=IP(A)+1
420 IF PP(A)>.5 THEN J=IP(A)+2
430 CLEAR @ DISP "Num. de DADOS Coletados:";N-1
440 DISP "Tempo Gasto:";T;"s"
450 DISP @ DISP "Regist. Fisicos brutos:";A
460 DISP "Regist. Fisicos do ARQUIVO:";J
470 DISP ":::::::::::::::::::::::::::::::::::" @ DISP
480 DISP "Deseja continuar ? [S/N]"
490 INPUT B$
500 IF B$#"S" THEN 600
510 CLEAR @ DISP "### CRIANDO ARQUIVO DE DADOS ###"
520 CREATE "Exp"&E$,J
530 CLEAR @ DISP "### GRAVANDO ###"
540 ASSIGN# 1 TO "Exp"&E$
550 PRINT# 1; N$,C$,T$,A$,D$,T,N
560 FOR K=1 TO N-1
570 PRINT# 1; V(K),I(K)
580 NEXT K
590 ASSIGN# 1 TO *
600 RETURN

610 ! monta
620 W=1 @ CLEAR
630 DISP "Executor ? (32cr)" @ DISP W$
640 INPUT B$ @ IF B$="" THEN 650 ELSE H$=B$
650 DISP @ DISP "Eletrodo ? (6cr)"; C$
660 INPUT P$ @ IF B$="" THEN 670 ELSE C$=B$
670 DISP @ DISP "Fator do revestimento ? (4cr)"; F$
680 INPUT F$ @ IF B$="" THEN 690 ELSE F$=B$
690 CLEAR @ DISP "Tipo de corrente ? (3cr)"; T$
700 INPUT B$ @ IF B$="" THEN 710 ELSE T$=B$
710 DISP @ DISP "Comprimento do ARCO ?(4cr)";A$

```

```

720 INPUT B$ @ IF B$="" THEN 730 ELSE A$=B$
730 DISP @ DISP "Entre c/ a data ?"; B$ @ DISP "DD/MM/HH:MM:SS"
740 INPUT B$ @ IF B$="" THEN 75 LSE B$=B$
750 RETURN
760 ! read
770 W=1 @ CLEAR
780 DISP "Entre c/ o num. da EXPERIENCIA"
790 INPUT E$
800 ASSIGN# 1 TO "Exp"&E$
810 READ# 1 ; N$,C$,T$,D$,T,N
820 FOR K=1 TO N-1
830 READ# 1 ; V(K),I(K)
840 NEXT K
850 ASSIGN#1 TO *
860 RETUN
870 ! calc
875 CLEAR @ DISP "*** CALCULANDO ***"
880 E1=0 @ M2=0 @ C=1
890 FOR J=1 TO N-1
900 M1=M1+V(J)
910 M2=M2+I(J)
920 NEXT J
930 M1=M1/(N-1)
940 M2=M2/(N-1)
950 D1=0 @ D2=0
960 FOR J=1 TO N-1
970 D1=D1+(V(J)-M1)^2
980 D2=D2+(I(J)-M2)^2
990 NEXT
1000 D1=SQR(D1/(N-2))
1010 D2=SQR(D2/(N-2))
1020 CLEAR @ RETURN
1030 ! pause
1040 DISP "-----"
1050 DISP "          Pressione [CCNT]"
1060 PAUSE
1070 RETURN
1080 ! Arquivo
1090 CLEAR @ W=1
1100 GOSUB 760 ! read
1110 GOSUB 870 ! read
1120 DISP "Executor:";N$
1130 DISP @ DISP "Eletrodo:";C$
1140 DISP @ DISP "Fator de revestimento:";F$
1150 DISP @ DISP "Tipo de corrente:";T$
1160 DISP @ DISP "Comprimento do Arco:";A$
1170 DISP @ GOSUB 1030 ! pause
1180 K=0
1190 FOR J=1 TO N-1
1200 IF K=13 THEN 1210 ELSE 1220
1210 K=0 @ DISP @ GOSUB 1030 @ CLEAR
1220 K=K+1
1230 DISP USING 1240 ; J,V(),I(J)
1240 IMAGE "#" 3D,3X,M5D.2D,3x,M5d.3D
1250 IF =N-1 AND K#13 THEN GOSUB 1030
1260 NEXT J
1270 CLEAR
1280 GOSUB 1350 ! P1
1290 GOSUB 1030 ! pause
1300 RETURN
1310 ! disp
1320 IF C=0 THEN GOSUB 870 ! calc
1330 GOSUB 1350
1340 RETURN
1350 !P1
1360 DISP USING 1390 ; "V", M1,D1
1370 DISP @ DISP
1380 DISP USING 1390 ; "I", M2,D2
1390 IMAGE 3A,"media="5D.3,2X,"S=",5D.3D
1400 DISP @ DISP "Numero de leituras=",N
1405 DISP @ DISP "Tempo Gasto:";T;"s"
1410 RETURN

```

## ANEXO 2

```

10 | Ensaio Aquisicao ['v']
20 | "LAB SOLDA"
30 |
40 | >>> DIM X$(2108) ## V(300)
50 |
60 OPTION BASE 1
70 DIM B$(32), E$(3), Z$(1)
80 SHORT V(1),A
90 LET B$ = ""
100 INTEGER J,K,W,T
110 T=0
115 CLEAR @ W=0
120 ON KEY#3, "ARQUIV" GOSUB 420
130 ON KEY#1, "MPDE" GOSUB 680
140 ON KEY#7, "PLOT" GOSUB 900
150 ON KEY#2, "PARE" GOSUB 780
160 ON KEY#4, "DISP" GOSU 550
170 ON KEY#5, "PLOTTER" GOSUB 1060
180 ON KET#6, "GRAVA" GOSUB 260
190 ON KEY#8, " FIM" GOTO 230
210 KEY LABEL
220 IF W=1 THEN 115 ELSE 210
230 CLEAR 709 @ LOCAL 709
240 CLEAR @ DISP "** FIM **"
250 END
260 ! GRAVA
270 W=1 @ J=0 @ A=0 @ CLEAR
280 DISP "Entre c/ o numero da EXPERIENCIA"
290 INPUT E$
300 DISP "Tempo gasto: ";T;"s"
310 DISP "::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::::" @ DISP
320 DISP "deseja continuar ?[S/N]"
330 INPUT B$
340 IF B$#"S" THEN 410
350 CLEAR @ DISP "### CRIANDO ARQUIVO DE DADOS ###"
360 CREATE "EX"&E$,10
370 CLEAR @ DISP "### GRAVANDO ###"
380 ASSIGN #1 TO "EX"&E$
390 PRINT#1;T,V()
400 ASSIGN#1 TO *
410 RETURN
420 ! RCAD
430 N=1 @ CLEAR
440 DISP "Entre c/ o numero da EXPERIENCIA"
450 INPUT E$
460 ASSIGN#1 TO "EX"&E$
470 READ#1;T,V()
480 ASSIGN#1 TO *
490 RETURN
500 ! PAUSE
510 DISP "-----"
520 DISP " PRESSIONE [CONT]"
530 PAUSE
540 RETURN
550 ! DISP
560 K=0 @ CLEAR
570 DISP "Tempo gasto: ";T;"s"
580 FOR J=1 TO 150
590 IF K=12 THEN 600 ELSE 610
600 K=0 @ DISP @ GOSUB 500 @ CLEAR
610 K=K+1
620 DISP USING 630; J,V(J), J+150,V(J+150)
630 IMAGE 2 ("#",30;"=" ";M2D,2D,2X)
640 IF J=150 AND K#12 THEN GOSUB 500
650 NEXT J
660 CLEAR
670 RETURN
680 ! mode
690 CLEAR @ CLEAR 724 @ CLEAR 700
700 IOBUFFER Z$
710 OUTPUT 700 ; "TEOTE2TE"

```

```

720 WAIT 5000
730 OUTPUT 724 ; "DOSN9000SR3F1T1"
740 TRANSFER 724 TO Z$ FNS
750 STATUS Z$, 0 ; TO, T1, T2, T3
760 IF T3<>0 THEN 750
770 RETURN
780 ! pare
790 OUTPUT 709 ; "TE1"
800 ENTER 709; T
810 OUTPUT 709 ; "TD"
820 ENTER 709 ; D$
830 J=0 @ DISP "XXCONVERTENDO"
840 FOR I=1 TO 2100 STEP 7
850 J=J+1
860 V(J)=VAL(Z$[I, I+5])
870 NEXT I
880 CLEAR @ W=1
890 RETURN
900 ! plot
910 PLOTTER IS 1
920 GCLEAR
930 PAUSE
940 LOCATE 20, 130, 20, 95
950 SCALE 0, 80, -80, 80
960 FXD 0
970 LAXES 15, 10, 0, -80, 1, 2
980 AXES 1, 0, 0, 0, 5, 0
990 I=0
1000 MOVE I, (1)
1010 FCR K=2 TO 160
1020 I=I+.55
1030 DRAW I, V(K)*11
1040 NEXT K
1050 RETURN
1060 ! plotter
1070 GOSUB 1160 !off key
1080 CLEA @ W=0
1090 ON KEY# 1, "PLOTT" GOSUB 1220
1100 ON KEY# 6, "LABEL" GOSUB 1390
1110 ON KEY# 4, "RET" GO TO 1140
1120 KEY LABEL
1130 IF W=1 THEN 1080 ELSE 1120
1140 GOSUB 1160 !off key
1150 W=1 @ RETURN
1160 OFF KEY# 1 @ OFF KEY# 2
1180 OFF KEY# 3 @ OFF KEY# 4
1190 OFF KEY# 5 @ OFF KEY# 6
1200 OFF KEY# 7 @ OFF KEY# 8
1210 RETURN
1220 ! plot2
1230 PLOTTER IS 705 @ CLERA @ W=1
1240 DISP @ DISP "Defina o local de plotagem !"
1250 LOCATE
1260 SCALE 0, 200, -80, 80
1270 FXD 0 @ CSIZE 3, .5
1280 LAXES 16, 5, 0, -80, 2, 2, 1
1290 AXES 2, 0, 0, 0, 4, 0, 1
1300 CLEAR @ DISP "XX TROQUE A PENA... press.[cont]"
1310 PAUSE
1320 I=0 @ DISP 0, (1)
1330 FOR K=2 TO 300
1340 I=I+.55
1350 DRAW I, V(K)*11
1360 NEXT K
1370 PENOP
1380 RETURN
1390 ! label
1400 CLEAR @ DISP
1410 DISP "Defina a ORIGEM do label ?" @ DISP " press.[enter]"
1415 DISP "Tempo total GASTO: "; T; "s" @ DISP
1420 DIGITIZE X, Y
1430 MOVE X, Y
1440 CLEAR @ DISP "Entre c/ Label, Tamanho, Ldir."
1450 INPUT B$, X, Y
1460 DEG @ CSIZE X, .5 @ LDISP Y
1470 LABEL B$

```

```

1480 W=1 @ RETURN
1500 | calc
1501 | Metodo de Integração:
1502 | TRAPEZIOS
1505 W=1 @ CLEAR @ DISP " ....em processamento..... AGUARDE
|!!!!!"
1510 LET L,A,K,P,N=0 @ I=1
1520 IF V(I)>0 THEN L=1
1530 IF V(I)<0 THEN L=2
1540 IF L=1 AND V(I+1)<0 THEN 1570
1550 IF L=2 AND V(I+1)>0 THEN 1570
1560 I(I+1) @ IF L=0 THEN 1520 ELSE 1540
1570 IF L=1 THEN 1600
1580 IF V(I)<0 AND V(I+1)>0 THEN 1610 ELSE 1630 | P+
1590 |
1600 IF V(I)>0 AND V(I+1)>0 THEN 1610 ELSE 1630 | N-
1610 J=0 @ K=K+1 @ IF K=9 THEN 1680
1620 J=J+1
1630 I=I+1
1640 GOSUB 1720 | area
1650 IF J<20 THEN 1620
1660 IF K=<8 AND L=1 THEN 1600
1670 IF K=<8 AND L=2 THEN 1580
1680 VO=SQR(1/16.666*(A/8))
1690 P=SQR(2/16.666*(A/8))
1700 N=SQR(2/16.666*(N/8))
1710 RETURN
1720 | area
1730 IF V(I)>=V(I+1) THEN A+.555*((V(I+1)*11)^2+((V(I)*11)^2-(V(I+1)*11)^2)/2)
1740 IF V(I)<=V(I+1) THEN A=A+.555*((V(I)*11)^2+((V(I+1)*11)^2-(V(I)*11)^2)/2)
1750 IF V(I)>0 THEN 1760 ELSE 1780
1760 IF V(I)>=V(I+1) THEN P=P+.555*((V(I+1)*11)^0+((V(I)*11)^2-(V(I+1)*11)^2)/2)
1770 IF V(I)<=V(I+1) THEN P=P+.555*((V(I)*11)^2+((V(I+1)*11)^2-(V(I)*11)^2)/2)
1775 GOTO 1800
1780 IF V(I)>=V(I+1) THEN P=P+.555*((V(I+1)*11)^2+((V(I)*11)^2-(V(I+1)*11)^2)/2)
1790 IF V(I)<=V(I+1) THEN N=N+.555*((V(I)*11)^2+((V(I+1)*11)^2-(V(I)*11)^2)/2)
1800 RETURN

```

## ANEXO 3

```

10 | Relatorio Ensaio ['v';'I']
20 | "LAB SOLDA"
30 |
35 PRINTER IS 701,132
40 OPTION BASE 1
50 DIM B$(32),N$(32),C$(6),F$(1),T$(3),A$(4),D$(14),E$(3),I$(1)
60 SHORT V(1),I(1),A,M1,M2,D1,D2,M
70 INTEGER J,K,N,W,T,C
80 ON KEY# 3,"Arquiv" GOSUB 470
90 ON KEY# 8," FIM" GO RO 130
100 CLEAR @ C=0
110 KEY LABEL
120 IF C=1 THEN 100 ELSE 110
130 CLEAR @ DISP " ** FIM ** "
140 END
150 | read
160 C=1 @ CLEAR
170 DISP "Entre c/ o num. da EXPERIENCIA"
180 INPUT E$
190 ASSIGN# 1 TO "Exp"&E$
200 READ# 1; N$,C$,T$,A$,D$,T,N
210 FOR K=1 TO N-1
220 READ# 1; V(K),I(K)
230 EXT K
240 ASSIGN# 1 TO *
250 RETURN
260 | calc
265 CLEAR @ DISP "### CALCULANDO ###"
270 M1=0 @ M2=0
280 FOR J=1 TO N-1
290 M1=M1+V(J)
300 M2=M2+I(J)*5000
310 NEXT J
320 M1=M1/(N-1)
330 M2=M2/(N-1)
340 D1=0 @ D2=0
350 FOR J=1 TO N-1
360 D1=D1+(V(J)-M1) 2
370 D2=D2+(I(J)*5000-M2) 2
380 NEXT J
390 D1=SQR(D1/(N-2))
400 D2=SQR(D2/(N-2))
410 CLEAR @ DISP
420 | pause
430 DISP "ACERTF O PAPEL -----"
440 DISP " Pressione -> [CONT]"
450 PAUSE
460 CLEAR @ C=0
484 DISP "Fator de revestimento ?"
485 INPUT F$
490 GOSUB 150 | read
500 GOSUB 260 | calc
510 GOSUB 420 | pause
520 GOSUB 540 | print
530 RETURN
540 | print
550 N=N-1 @ I$="|"
560 M=N/4 @ J=0 @ W=0
570 GOSUB 840 | Pr1
580 GOSUB 980 | Pr2
590 FOR J=1 TO N STEP 4
600 K=K+1 @ W=W+1
610 IF K=37 AND W=37 THEN GOSUB 980 | Pr2
615 IF K=55 AND W>37 THEN GOSUB 980 | Pr2
620 IF W=IP(M+1) THEN GOSUB 1050 | Pr3
630 IF W<=IP(M) THEN GOSUB 660 | p4
640 NEXT J
650 C=1 @ RETURN
660 | p4
670 I(J)=I(J)*5000 @ I(J+1)=I(J+1)*5000 @ I(J+2)=I(J+2)*5000 @
I(J+3)=I(J+3)*5000

```

```

680 PRINT USING 685 ; J,V(J),I(J),I$J+1,V(J+1),J(J+1),I$,J+2,
V(J),I$,J+3,V(J+3),I(J+3),I$
685 IMAGE 5X,4(X,"|",3D,3X,M3D.2D,5X,3D,2D,4X,A)
686 RETURN
690 ! p3
700 I(J)=I(J)*5000 @ I(J+1)=I(J+1)*5000 @ I(J+2)=I(J+2)*5000
710 PRINT USING 720 ; J,V(J),I(J),I$,J+1,I(J+1),I$,J+2,V(J+2),I(
J+2),I$
720 IMAGE 5X,3(X,"#",3D,/x,M3D.2D,5X,3D.2D,4X,A)
730 RETURN
740 ! p2
750 I(J)=I(J)*5000 @ I(J+1)=I(J+1)*5000
760 PRINT USING 770; J,V(J),I(J),I$,J+1,V(J+1),I(J+1),I$
770 IMAGE *X,2(X,"#",3D,3X,M3D.2D,5X,3D.2D,4X,A)
780 RETURN
790 ! p1
800 I(J)=I(J)*5000
810 PRINT USING 820 ; J,V(J),I(J),I$
820 IMAGE 6X,"#",3D,3X,M3D.2D,5X,3D.2D,4X,A
830 RETURN
840 ! pr1
850 PRINT TAB(5);"Exp"&E$;TAB(30);D$
860 PRINT
870 PRINT TAB(5)"Executor:";N$ @ PRINT
880 PRINT TAB(5);"Eletrodo:";C$ @ PRINT
890 PRINT USING 930 ; F$,T$,A$ @ PRINT
900 PRINT TAB(5);"Tempo Gasto:";T;"s" @ PRINT
910 PRINT USING 940 ; M1,D1 @ PRINT
920 PRINT USING 950 ; M2,D2 @ PRINT
930 IMAGE 4X,"Fator de revestimento:",4A,19X,"tipo de corren-
te:",3A,10X,"Comp. do Arco:",4A,"mm"
940 IMAGE 4X,"TENSAO (media)=",3D.2D,X,"A",4X,"S=",2D.3D
950 IMAGE 4X,"CORRENTE (media)=",3D.2D,X,"A",4X,"S=",2D.3D
960 PRINT @ PRINT
970 RETURN
980 ! pr2
990 IF J#0 THEN GOSUB 420 ! pause
995 DISP " ### IMPRIMINDO ###"
1000 PRINT USING 1010 ; I$,I$,I$,I$
1010 IMAGE 5X,4(X,"num.",2X,"TENSAO(V)",2X,"CORRENTE(A)",X,A)
1020 PRINT USING 1030 ; I$,I$,I$,I$
1030 IMAGE 5X,4(30X,A)
1040 K=0 @ RETURN
1050 ! Pr3
1060 IF FP(M)=.25 THEN GOSUB 790 ! p1
1070 IF FP(M)=.5 THEN GOSUB 740 ! p2
1080 IF FP(M)=.75 THEN GOSUB 690 ! p3
1800 RETURN

```

## ANEXO 4

```

10 | Ensaio Aquisição [V`]
20 | "LAB SOLDA"
30 |
40 | "Processamento dos Dados"
50 | Coletados.
55 |
60 OPTION BASE1
70 DIM B$(32),E$(3)
80 SHORT V(300),A,P,N,VO,V1,I
90 LET B$=""
100 INTERGR J,K,W,T
115 CLEAR @ W=0
120 ON KEY# 3,"Arquiv" GOSUB 420
130 ON KEY# 7,"plot" GOSUB 900
140 ON KEY# 4,"DISP" GOSUB 550
160 ON KEY# 5,"PLOTTER" GOSUB 1060
170 ON KEY# 8," FIM" GOTO 230
190 KEY LABEL
220 IF W=1 THEN 115 ELSE 210
230 CLEAR 709 @ LOCAL 709
240 CLEAR @ DISP "**FIM**"
250 END
420 | read
430 W=1 @ CLEAR
440 DISP "Entre c/ o num. da EXPERIENCIA"
450 INPUT E$
460 ASSIGN# 1 TO "Ex$" & E$
470 READ# 1 ; V()
480 ASSIGN# 1 TO *
485 GOSUB 1500
490 RETURN
500 | pause
510 DISP"-----"
520 DISP" Pressione↑ [CONT]
530 PAUSE
540 RETURN
550 | disp
560 K=0 @ CLEAR
580 FOR J=1 TO 150
590 IF E=12 THEN 600 ELSE 610
600 K=0 @ DISP @ GOSUB 500 @ CLEAR
610 K=K+1
620 DISP USING 630 ; J,V(J),J+150,V(J+150)
630 IMAGE 2("#"3D,"=",M2D.2D,2X)
640 IF J=150 AND K#12 THEN GOSUB 500
650 NEXT J
660 CLEAR
670 RETURN
900 | plot
910 PLOTTER 1S 1
920 GCLEAR
930 FRAME
940 LOCATE 20,130,25,95
950 SCALE 0,80,-80,80
960 FXD 0
970 LAXES 1,0,0,0,5,0
980 AXES 1,0,0,0,5,0
981 MOVE 4,80 @ LORG 2 @ LABEL "V(v)"
982 MOVE -10,-110 @ LORG 2 @ LABEL "Fxr"&E$
983 MOVE 65,-105 @ LORG 2 @ LABEL "t(ms)"
984 MOVE -10,-123 @ LORG 2
985 LABEL USING "6A,2D.2D,2(4A,2D.2D)" ; "Vefc.=",VO," +P=",P,"
-N=" N
990 | N
1000 MOVE 1,V(1)
1010 FOR K=2 TO 160
1020 I=I+.555
1030 DRAW 1,V(K)*11
1040 NEXT K
1045 MOVE 0,VO @ DRAW 80,VO
1050 RETURN

```

```

1060 ! plotter
1070 GOSUB 1160 ! off key
1080 CLEAR @ W=0
1090 ON KEY # 1,"Plot 'V'" GOSUB 1220
1100 ON KEY # 6,"LABEL" GOSUB 1390
1110 ON KEY# 4,"PET" GOTO 1140
1120 KEY LABEL
1130 IF W=1 THEN 1080 ELSE 1120
1140 GOSUB 1160 ! off key
1150 W=1 @ RETURN
1160 ! off key
1170 OFF KEY# 1 @ OFF KEY#2
1180 OFF KEY# 3 @ OFF KEY#4
1190 OFF KEY# 5 @ OFF KEY#6
1200 OFF KEY# 7 @ OFF KEY#8
1210 RETURN
1220 ! plot2
1230 PLOTTER IS 705 @ CLEAR @ W=1
1240 DISP @ LIMIT 0,270,0,200
1250 LOCATE 20,135,20,80
1260 SCALE 0,200,-80,2,2,1
1270 FXD 0 @ CSIZE 3.4,.6
1280 LAXES 16,5,0,-80,2,2,1
1290 AXES 2,0,0,0,4,0,1
1320 I=0 @ MOVE 0,V(1)
1330 FOR K=2 TO 300
1340 I=I+.555
1350 DRAW I,V(K)*11
1360 NEXT K
1361 MOVE 0,VO @ DRAW 200,VO
1362 MOVE 5,100 @ csize 4,.5 @ LABEL "Exp"&E$
1363 LABEL "Eletrodo:"
1364 MOVE -10,65 @ csize 3.5,.7 @ deg @ ldir 90 @ label "V(
volts)"
1365 MOVE 180,-95 @ LDIR 0 @ label "t(ms)"
1366 MOVE -5,-100 @ LORG 2 @ LABEL USING "13A,2D.2D,5A" ; Vofc.
(totalO)=",VO,"volts"
1367 LABEL USING "13A,2D.2D,5A" ; "Vofc.(posit)=",P,"volts"
1368 LABEL USING "13A,2D.2D,5A" ; "Vofc.(negat)=",N,"volts"
1379 BRMUP
1380 RETURN
1390 ! label
1400 CLEAR @ DISP
1410 DISP "Defina a ORIGEM do label?" @ DISP "press.[ENTER]"
1415 DISP " Tempo total GASTO:":T;"s" @ DISP
1420 DIGITIZE X,Y
1430 MOVE X,Y
1440 CLEAR @ DISP "entre c/ Label, Tamanho,Ldir."
1450 INPUT B$,X,Y
1460 DFG @ CSIZE X,.5 @ LDIR Y
1470 LABEL B$
1480 W=1 @ RETURN
1500 ! calc.
1501 ! Metodo de Integração:
1502 ! SIMPSON
1505 W=1 @ CLEAR @ DISP "....em processamento..... AGUARDE
!!!!!"
1510 LET L,A,K,P,N=0 @ I=1
1520 IF V(I)>0 THEN L=1
1530 IF V(I)<0 THEN L=2
1535 V1=V(I+1)
1540 IF L=1 AND V(I+1)<0 THEN 1565
1550 IF L=2 AND V(I+1)>0 THEN 1565
1560 I=I+1 @ IF L=0 THEN 1520 ELSE 1535
1565 I=I+1
1570 GOTO 1610
1580 IF V(I)<0 AND V(I+1)>0 THEN 1610 ELSE 1630 ! P+
1590 !
1600 IF V(I)>0 AND V(I+1)<0 THEN 1610 ELSE 1630 ! N-
1610 J=0 @ K=K+1
1620 J=J+1
1630 IF K=8 AND J=20 AND V(I+1)*V(I+2)<0 THEN 1680
1640 GOSUB 1720 ! area
1650 IF J<20 THEN 1620
1660 IF K<=8 AND L=1 THEN 1600
1670 IF K<=8 AND L=2 THEN 1580

```

```
1680 VO=SQR(1/16.666*(.555/3)*(A/8+(V1*11)^2+(V(I+1)*11)^2))
1690 P=SQR(2/16.666*(.555/3)*(P/8+(V1*11)^2+(V(I+1)*11)^2))
1700 N=SQR(2/16.666*(.555/3)*(N/8+(V1*11)^2+(V(I+1)*11)^2))
1710 RETURN
1720 ! area
1730 IF T=T1 THEN A=A+(V(I)*11)^2*4
1740 IF T<>T1 THEN A=A+(V(I)*11)^2*2
1750 IF V(I)>0 THEN 1760 ELSE 1780
1760 IF T=T1 THEN P=P+(V(I)*11)^2*4
1770 IF T<>T1 THEN P=P+(V(I)*11)^2*2
1775 GOTO 1800
1780 IF T=T1 THEN N=N+(V(I)*11)^2*4
1790 IF T<>T1 THEN N=N+(V(I)*11)^2*2
1800 RETURN
```

# HOJA DE ESPECIFICACIONES DE MATERIAS PRIMAS

**M**

polvos y aglutinantes

POLVO DE HIERRO E 400	Malla	Código
	35 x	4 A

Componente	Mínimo	Máximo
carbono		0.08
manganeso		0.20
silicio		0.05
cobre		0.18
hidrógeno		1.20
oxígeno		1.25
azufre		0.025
fósforo		0.015
dens. aparente	3.3	3.6

Micrones	Malla	Rcu	
		Mínimo	Máximo
2.400	8		
1.680	12		
840	20		0
500	35		3
300	50		
200	75		
150	100		
100	150		
75	200		
60	250		
43	325	80	

Reemplaza: 12-1-76

Distribución: GT - CL - CE - DCCCH - CCCH - CCVL - LQVL - PVL - PCH - IVL - SOU - OER

Observaciones: Tipo ATOMIZED ELTRIX 400, densidad aparente 3,5 gr/cm<sup>3</sup>

Fecha	Realizó	Revisó	Nº	EQUIVALENCIA	
9-5-78	ES/sr Dra. ESTELA VILLAV	<i>[Signature]</i>		SOU 34 L	OER M 10



**HOJA DE ESPECIFICACIONES DE MATERIAS PRIMAS**  
 polvos y aglutinantes

**M**

POLVO DE HIERRO HW - 100	Malla 75x325	Código 4 A1
--------------------------	-----------------	----------------

Componente	Mínimo	Máximo
hierro	97.0	
hidrógeno		0.80
carbono		0.08
azufre		0.020
fósforo		0.020
dens.aparente	2.4	2.7

Micrones	Malla	Rcu	
		Mínimo	Máximo
2.400	8		
1.680	12		
840	20		
500	35		
300	50		0
200	75		1
150	100		
100	150		
75	200		
60	250		
43	325	60	

Reemplaza: 12-1-76

Distribución: GT - CL - CE - DCCCH - CCCH - CCVL - LQVL - PVL - PCH - IVL - SOU - OER

Observaciones: Tipo Hoeganaes W-100; densidad aparente 2,5 g/cm<sup>3</sup>

Fecha 9-5-78	Realizó ES/sr Dña. ESTELA SERIAN	Revisó <i>[Signature]</i>	Nº <i>[Signature]</i>	EQUIVALENCIA SOU 34 G OER M31
-----------------	--	------------------------------	--------------------------	----------------------------------

