

CAPÍTULO V

ANÁLISE QUÍMICA E MICROESTRUTURAL.

O objetivo deste capítulo é analisar a composição química e microestrutural, além da microdureza dos corpos de prova que foram fabricados em várias camadas, conforme Capítulo 3 item 3.3.2.1. O objetivo desta análise é a verificação da influência do gás de proteção nos cordões de solda de cada tipo de arame eletrodo de aço inoxidável ferrítico.

5.1 Cálculo da diluição e composição química baseada no Diagrama de Schaeffler

Para a realização da medição de diluição utilizaram-se os corpos de prova onde se soldou um único cordão. Foram utilizados os mesmos corpos de prova onde se realizou as medidas geométricas, fazendo-se três medições em cada corpo de prova, conforme Capítulo 4, item 4.4, como mostra a Figura 5,1 (a). O objetivo é determinar a composição química (teórica) e comparar com as realizadas em laboratório.

O procedimento para o cálculo da diluição foi realizado conforme a Equação 5.1.

$$\delta = \frac{A_F}{A_T} \cdot 100 (\%) \quad (5.1)$$

Onde:

δ representa a diluição;

A_F representa a área fundida do metal base [Figura 5.1 (b)];

A_T representa a área total do cordão de solda [Figura 5.1 (c)].

A Tabela 5.1 mostra os três valores medidos de área total e os três de área fundida para o arame eletrodo ER430. A Tabela 5.2 mostra a diluição encontrada para todos os gases de proteção utilizados para o arame eletrodo ER430.

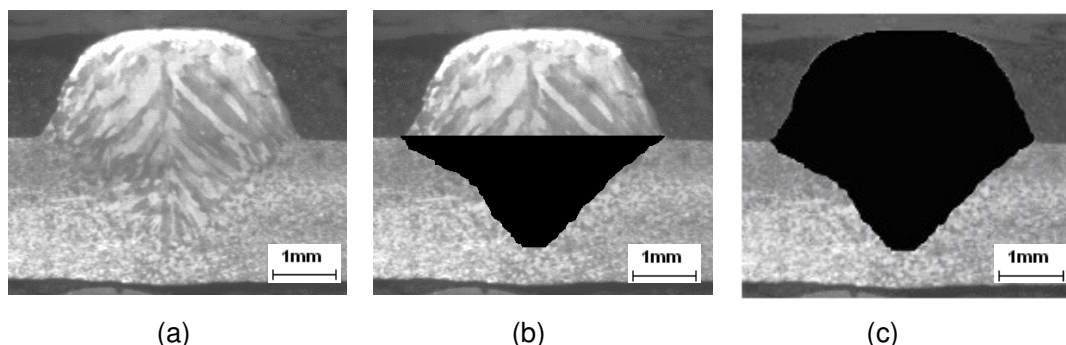


Figura 5.1. Esquema do cordão de solda para as medições da diluição com aumento de 8x
(a) perfil do cordão de solda; (b) área fundida do metal de base; (c) área total do cordão.

Tabela 5.1. Medições das áreas dos cordões de solda do arame ER430

Teste	Gás de Proteção	A _{T1} [mm ²]	A _{T2} [mm ²]	A _{T3} [mm ²]	A _{F1} [mm ²]	A _{F2} [mm ²]	A _{F3} [mm ²]
1	Ar	38,26	35,04	36,10	15,76	7,58	7,56
2	Ar+2%O ₂	45,11	41,20	37,31	19,49	10,65	10,63
3	Ar+4%O ₂	43,00	40,53	36,76	15,09	12,03	9,78
4	Ar+2%CO ₂	42,44	39,43	42,89	16,40	10,14	13,51
5	Ar+4%CO ₂	38,17	42,53	40,05	14,96	10,18	15,73
6	Ar+8%CO ₂	42,79	41,25	38,70	14,33	11,19	13,98

Tabela 5.2. Medições de diluição nos cordões de solda do arame ER430

Teste	Gás de Proteção	Diluição 1 (%)	Diluição 2 (%)	Diluição 3 (%)	Diluição Média (%)	Diluição Desvio (%) ±
1	Ar	41,19	21,63	20,93	27,92	11,50
2	Ar+2%O ₂	43,21	25,84	28,50	32,52	9,36
3	Ar+4%O ₂	35,09	29,67	26,62	30,46	4,29
4	Ar+2%CO ₂	38,65	25,71	31,50	31,95	6,48
5	Ar+4%CO ₂	39,19	38,04	39,29	38,84	0,69
6	Ar+8%CO ₂	33,49	27,14	36,12	32,25	4,62

Observar-se na Tabela 5.2 que as médias da diluição para o arame eletrodo ER430 variaram de 27,92% a 38,84%.

A Tabela 5.3 mostra os três valores medidos de área total e os três de área fundida para o arame eletrodo ER430Ti. A Tabela 5.4 mostra a diluição encontrada para todos os gases de proteção utilizados para o arame eletrodo ER430Ti.

Tabela 5.3. Medições das áreas dos cordões de solda do arame ER430Ti

Teste	Gás de Proteção	A _{T1} [mm ²]	A _{T2} [mm ²]	A _{T3} [mm ²]	A _{F1} [mm ²]	A _{F2} [mm ²]	A _{F3} [mm ²]
1	Ar	39,05	35,68	43,18	11,39	5,28	12,17
2	Ar+2%O ₂	41,81	39,27	41,34	12,28	13,60	13,56
3	Ar+4%O ₂	48,81	39,16	39,99	16,76	6,30	11,77
4	Ar+2%CO ₂	31,48	39,82	38,30	9,76	12,67	11,90
5	Ar+4%CO ₂	41,02	41,44	38,43	13,20	14,92	10,60
6	Ar+8%CO ₂	37,87	38,62	38,10	14,04	9,79	10,20

Tabela 5.4. Medições de diluição nos cordões de solda do arame ER430Ti

Teste	Gás de Proteção	Diluição 1 (%)	Diluição 2 (%)	Diluição 3 (%)	Diluição Média (%)	Diluição Desvio (%) ±
1	Ar	29,15	14,79	28,18	24,04	8,03
2	Ar+2%O ₂	29,37	34,63	32,80	32,27	2,67
3	Ar+4%O ₂	34,35	16,09	29,43	26,62	9,45
4	Ar+2%CO ₂	30,99	31,82	31,07	31,29	0,46
5	Ar+4%CO ₂	32,18	36,01	27,59	31,93	4,22
6	Ar+8%CO ₂	37,08	25,36	26,76	29,73	6,40

Observa-se na Tabela 5.4 que as médias da diluição para o arame eletrodo ER430Ti variaram de 26,62% a 32,27%.

A Tabela 5.5 mostra os valores medidos de área total e área fundida para o arame eletrodo ER430LNb. A Tabela 5.6 mostra a diluição encontrada para todos os gases de proteção utilizados para o arame eletrodo ER430LNb.

Observa-se na Tabela 5.6 que as médias da diluição para o arame eletrodo ER430LNb variaram de 26,74% a 37,49%.

A Figura 5.2 mostra um gráfico que compara as diluições em função do gás de proteção para os três arames eletrodos. Verifica-se que a diluição fica dentro de uma faixa de tolerância para todos os arames eletrodos. Observa-se que para o arame eletrodo ER430Ti há uma tendência de os valores encontrados para a diluição serem menores que os encontrados para os outros dois arames. Esta diminuição na diluição pode ser devido a presença do titânio, que gera mudanças na transferência metálica e na própria poça, como

pôde ser observado com relação a frequência de curto-circuito, que era muito menor para o arame eletrodo ER430Ti, ver Tabelas 4.3, 4.4 e 4.5 no Capítulo IV.

Tabela 5.5. Medições das áreas dos cordões de solda do arame ER430LNb

Teste	Gás de Proteção	A _{T1} [mm ²]	A _{T2} [mm ²]	A _{T3} [mm ²]	A _{F1} [mm ²]	A _{F2} [mm ²]	A _{F3} [mm ²]
1	Ar	40,83	37,84	47,55	13,83	10,22	17,18
2	Ar+2%O ₂	43,73	47,89	44,17	14,08	16,79	12,21
3	Ar+4%O ₂	42,77	38,99	38,63	16,88	11,72	9,62
4	Ar+2%CO ₂	39,08	45,73	43,25	12,92	18,31	14,24
5	Ar+4%CO ₂	43,47	43,59	45,14	14,93	6,26	14,22
6	Ar+8%CO ₂	42,71	43,47	42,45	17,09	12,85	12,97

Tabela 5.6. Medições de diluição nos cordões de solda do arame ER430LNb

Teste	Gás de Proteção	Diluição 1 (%)	Diluição 2 (%)	Diluição 3 (%)	Diluição Média (%)	Diluição Desvio (%) ±
1	Ar	38,75	37,58	36,13	37,49	1,32
2	Ar+2%O ₂	32,21	47,59	27,64	35,81	10,45
3	Ar+4%O ₂	39,45	30,05	24,91	31,47	7,38
4	Ar+2%CO ₂	33,04	40,04	32,92	35,34	4,07
5	Ar+4%CO ₂	34,36	14,37	31,49	26,74	10,81
6	Ar+8%CO ₂	40,02	29,56	30,55	33,38	5,77

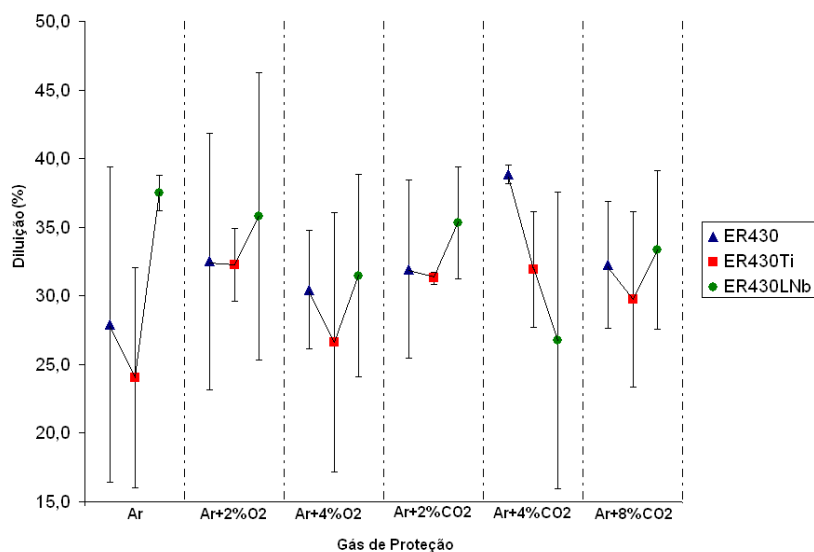


Figura 5.2. Diluição em função do gás de proteção pra os três arames eletrodos

Para a obtenção dos valores teóricos da composição química da terceira camada depositada, conforme descrito no Capítulo III item 3.3.2.2, considerou-se que as camadas dos outros cordões tivessem a mesma diluição (3 camadas), conforme mostra a Figura 5.3. O objetivo desta análise é mostrar que com 3 camadas é possível analisar a composição química do metal depositado sem a interferência significativa do metal de solda.

Os valores teóricos das composições químicas foram calculados utilizando o programa Schaeffler obtido no site da empresa ESAB. Para tal foram utilizados os valores das composições químicas do metal de base e dos arames eletrodos, conforme as Tabelas 3.1 à 3.4 do Capítulo III. Utilizaram-se também os valores encontrados para a diluição para os três arames eletrodos, quando utilizado o argônio como gás de proteção, que podem ser encontrados nas Tabelas 5.2, 5.4 e 5.6.

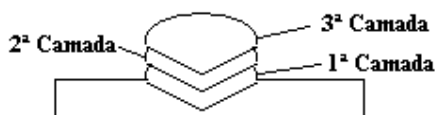


Figura 5.3. Representação esquemática das três camadas.

O procedimento para determinar a composição química teórica da terceira camada (Figura 5.3) pode ser dividido em três etapas, sendo elas:

- Determinação da composição química da primeira camada: valor do metal de base utilizado foi a composição química do aço inoxidável ferrítico bi-estabilizado, utilizou-se também o metal de adição e a diluição já citados, encontrando-se a composição química da primeira camada de solda.
- Determinação da composição química da segunda camada: valor do metal de base utilizado foi da composição química da primeira camada, mantendo-se o metal de adição e a diluição já citados, encontrando-se a composição química da segunda camada de solda.
- Determinação da composição química da terceira camada: valor do metal de base utilizado foi da composição química da segunda camada, mantendo-se o metal de adição e a diluição já citados, encontrando-se a composição química da terceira camada de solda.

Com este procedimento chegou-se aos valores da composição química da última camada do cordão de solda, conforme apresentado na Tabela 5.7.

Tabela 5.7. Composição química teórica da terceira camada (3CT) para o três arames eletrodos

Arame	C	Cr	Cu	Mn	Mo	Nb	Ni	Si
ER430	0,074	16,510	0,000	0,300	0,000	0,000	0,000	0,430
ER430Ti	0,107	17,450	0,160	0,640	0,040	0,000	0,400	1,030
ER430LNb	0,026	17,630	0,180	0,410	0,030	0,430	0,220	0,430

Como já esperado, nota-se na Tabela 5.7 que a composição química da terceira camada teórica ficou próxima dos valores dos arames eletrodos (Tabelas 3.1 à 3.4, Capítulo III). É importante ressaltar que elementos como o titânio não são apresentados nesta Tabela por limitação do software de cálculo, que não fornece o valor para alguns elementos.

5.2. Análise da composição química

Foram realizadas análises da composição química por espectrômetro de emissão ótica da terceira camada dos cordões de solda (conforme item 3.3.2.2 Capítulo III). Para facilitar a apresentação e discussão dos resultados este item será subdividido em três subitens, sendo estes respectivos a cada arame eletrodo utilizado.

5.2.1 Composição química do arame ER430

A Tabela 5.8 mostra a composição química do metal de base (MB), do metal de adição, do valor calculado da terceira camada de solda com o diagrama de Schaeffler (3CT) e das medições realizadas para os seis tipos de gases de proteção quando se utilizou o arame eletrodo ER430, apesar de ser um elemento importante o nitrogênio não foi calculado, ficando este estudo para trabalhos futuros. Verifica-se que os valores da composição química obtida com Ar puro ficaram (em geral) próximos da composição do arame eletrodo. A diferença encontrada está relacionada à diluição entre arame e metal de base e/ou erros de medição, ou ainda aos métodos diferentes utilizados para o cálculo da composição química do arame eletrodo (via úmida) e da terceira camada dos cordões de solda (espectrômetro de emissão ótica).

Com relação à influência do gás de proteção para os elementos estudados, pode-se notar que o carbono, o cromo, o manganês e o silício apresentaram variações que merecem ser analisada com mais detalhes. Os outros elementos ficaram com valor próximo ao esperado, as diferenças podem ser atribuídas aos erros de medidas.

A Figura 5.4 mostra a variação da porcentagem de carbono no metal de solda em função do gás de proteção utilizado. Nota-se que com o aumento do teor de oxigênio na

mistura com argônio não acarreta em mudanças significativas. Ao passo que quando se utilizou o dióxido de carbono houve um acréscimo de 0,027% do carbono, considerando 8%CO₂. Este aumento se deve a presença de carbono na composição química do gás de proteção. Este fato também foi observado por Liao; Chen (1998) ao analisar a influência do gás de proteção em um aço inoxidável austenítico.

A Figura 5.5 apresenta a variação da composição do cromo com a composição do gás de proteção. Verifica-se que uma diminuição do teor de cromo (aproximadamente 0,3%) independe do tipo de gás de proteção utilizado, comparando com o teor de cromo no arame. Este fato se deve provavelmente a formação de óxido de cromo na superfície do cordão, conforme pode ser observado na Figura 4.7 do Capítulo IV. Este fato também foi observado por Liao; Chen (1998) ao analisar a influência do gás de proteção em um aço inoxidável austenítico.

Tabela 5.8. Composições químicas para o arame ER430

Elem.	MB	ER430	3CT	Ar	Ar+2%O ₂	Ar+4%O ₂	Ar+2%CO ₂	Ar+4%CO ₂	Ar+8%CO ₂
C	0,0095	0,0755	0,074	0,0785	0,0809	0,0811	0,0904	0,0904	0,1043
Co	-	-	-	0,0165	0,0169	0,0174	0,0173	0,0173	0,0172
Cr	17,1284	16,5	16,51	16,207	16,204	16,158	16,22	16,22	16,192
Cu	-	-	0,0	0,0367	0,0364	0,0352	0,0378	0,0378	0,0368
Mn	0,1434	0,308	0,3	0,2552	0,246	0,229	0,2515	0,2515	0,2325
Mo	-	-	0,0	0,0668	0,0671	0,0666	0,0668	0,0668	0,0662
N	0,0075	-	-	-	-	-	-	-	-
Nb	0,2009	-	0,0	0,0157	0,0159	0,0167	0,016	0,016	0,018
Ni	0,1777	-	0,0	0,208	0,207	0,207	0,21	0,21	0,208
P	0,0234	0,025	-	0,0199	0,0201	0,0199	0,02	0,02	0,0203
S	0,0027	0,0113	-	0,0095	0,01	0,0097	0,0095	0,0095	0,0096
Si	0,4032	0,43	0,43	0,411	0,4163	0,3878	0,4209	0,4209	0,3954
Sn	-	-	-	0,0066	0,0068	0,0066	0,007	0,007	0,0068
Ti	0,1984	0,0024	-	0,0083	0,0085	0,0087	0,009	0,009	0,0079
V	0,0507	-	-	0,099	0,0976	0,0979	0,0988	0,0988	0,0969
W	-	-	-	0,1471	0,1467	0,1477	0,1472	0,1472	0,1451

As Figuras 5.6 e 5.7 apresentam a variação da composição química do manganês e do silício com a variação na composição do gás de proteção. Verifica-se que o aumento tanto do dióxido de carbono como do oxigênio geram uma diminuição na presença daqueles elementos no cordão de solda. Observa-se também uma diminuição do teor destes elementos comparado com o teor encontrado no arame eletrodo. Estes fatos se devem provavelmente a formação de óxidos, conforme observado na Figura 4.7 do Capítulo IV. O manganês e o silício são elementos utilizados também com desoxidantes na poça de fusão.

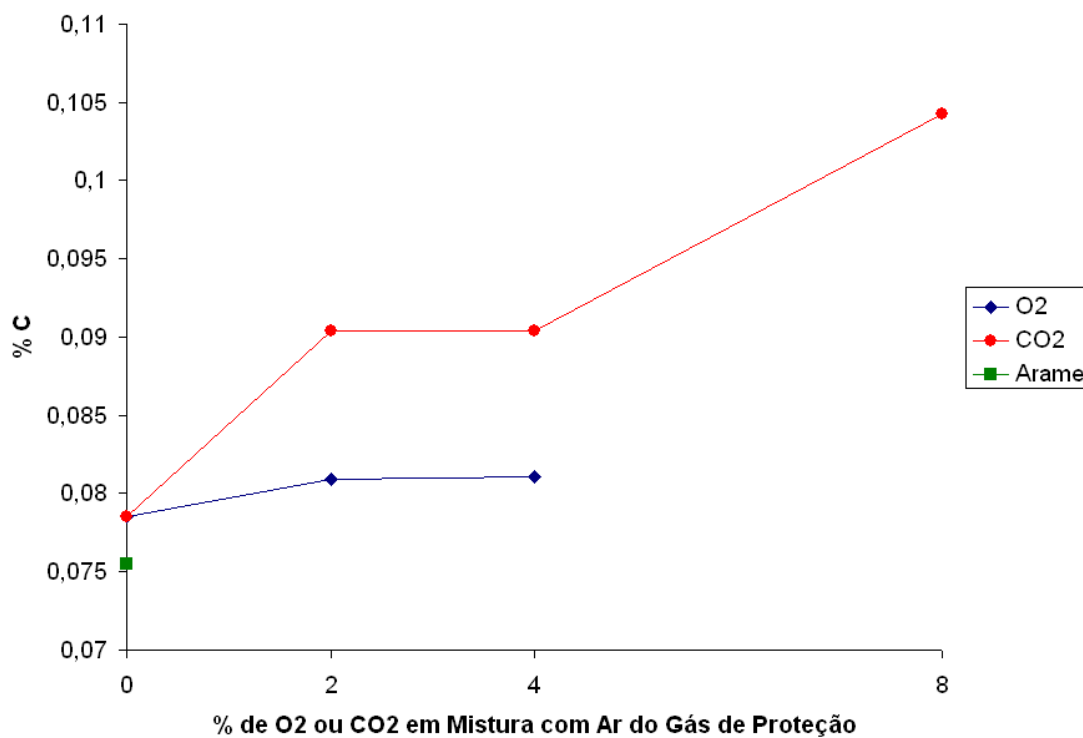


Figura 5.4. Porcentagem de Carbono para o ER430

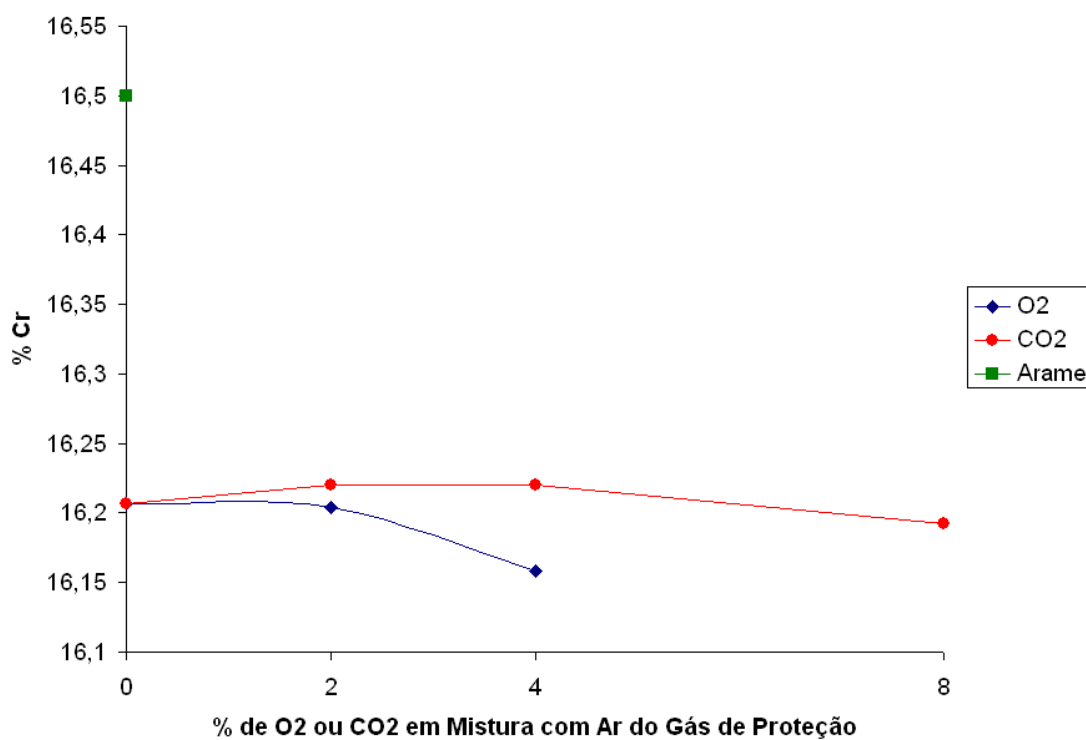


Figura 5.5. Porcentagem de Cromo para o ER430

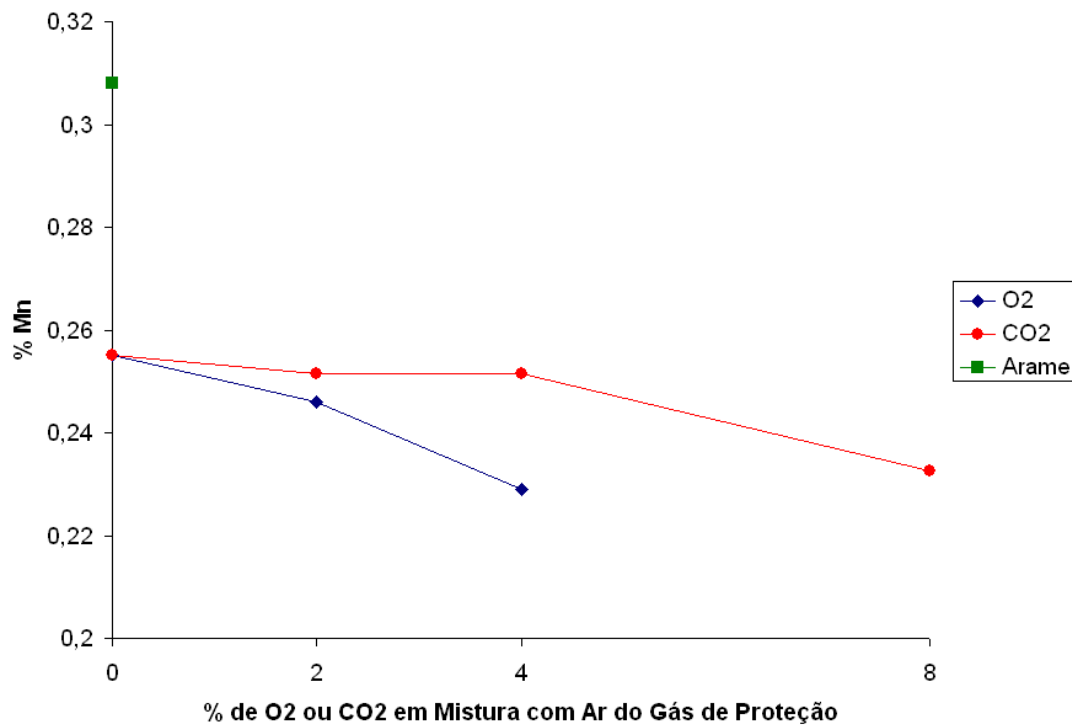


Figura 5.6. Porcentagem de Manganês para o ER430

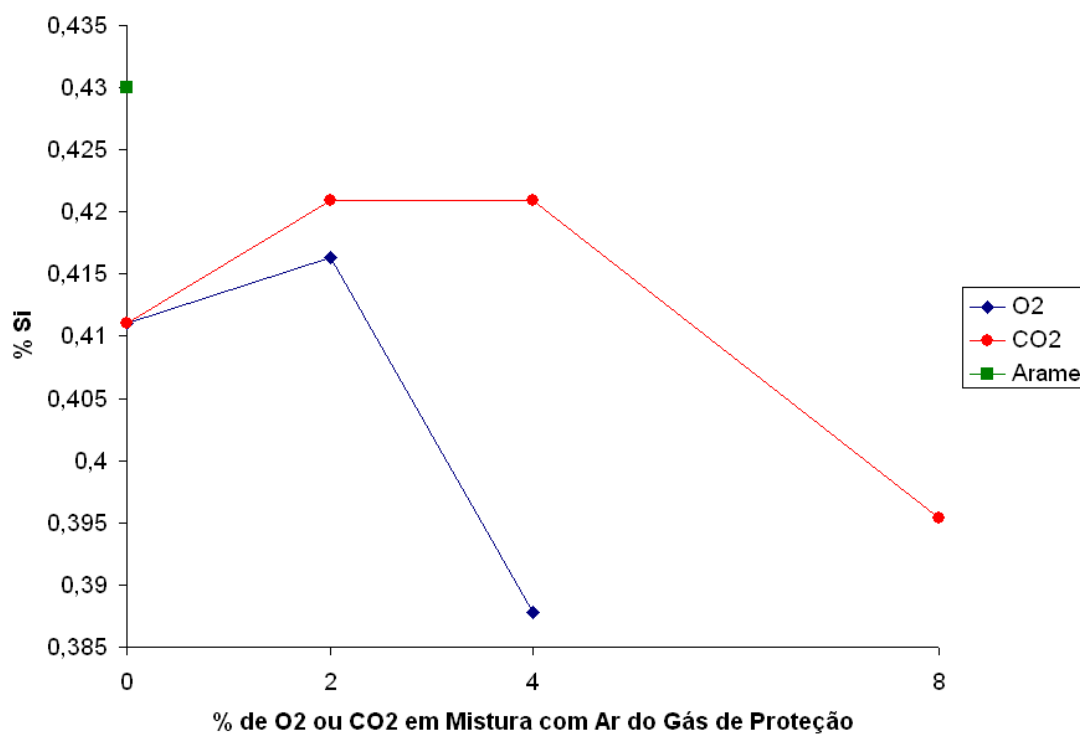


Figura 5.7. Porcentagem de Silício para o ER430

5.2.2 Composição química do arame ER430Ti

A Tabela 5.9 mostra a composição química do metal de base, do metal de adição, do valor calculado da terceira camada de solda com o diagrama de Schaeffler e das medições realizadas para os seis tipos de gases de proteção quando se utilizou o arame eletrodo ER430Ti.

Um fato interessante mostrado na Tabela 5.9 é que o molibdênio e o níquel apresentaram valores maiores que os encontrados no arame eletrodo, que não se deve à influência do metal de base utilizado, pois este também possui um valor menor que o encontrado no cordão. É verificado ainda que os valores da composição química obtida com Ar puro ficaram (em geral) próximos da composição do arame eletrodo. A diferença encontrada está relacionada à diluição entre arame e metal de base e/ou erros de medição.

Com relação à influência do gás de proteção para os elementos estudados, pode-se notar que o carbono, o manganês, o silício e o titânio apresentaram variações que merecem ser analisada com mais detalhes. Os outros elementos ficaram com valor próximo ao esperado, as diferenças podem ser atribuída aos erros de medidas.

Tabela 5.9. Composições químicas para o arame ER430Ti

Elem.	MB	ER430Ti	3CT.	Ar	Ar+2%O ₂	Ar+4%O ₂	Ar+2%CO ₂	Ar+4%CO ₂	Ar+8%CO ₂
C	0,0095	0,1077	0,107	0,0869	0,0823	0,0774	0,087	0,0908	0,0935
Co	-	0,25	-	0,0124	0,0131	0,0136	0,014	0,0131	0,0133
Cr	17,1284	17,45	17,45	17,391	17,489	17,477	17,444	17,515	17,5
Cu	-	0,16	0,16	0,0601	0,0585	0,0589	0,059	0,062	0,0632
Mn	0,1434	0,65	0,64	0,5511	0,5594	0,5431	0,562	0,5625	0,5576
Mo	-	0,036	0,04	0,0532	0,0532	0,0531	0,0532	0,0534	0,0529
N	0,0075	-	-	-	-	-	-	-	-
Nb	0,2009	-	-	0,0409	0,0411	0,041	0,0412	0,0413	0,0412
Ni	0,1777	0,4	0,4	0,486	0,488	0,488	0,484	0,488	0,487
P	0,0234	-	-	0,0171	0,0169	0,018	0,0165	0,0174	0,0175
S	0,0027	0,0024	-	0,0012	0,0006	0,0011	0,001	0,0011	0,0008
Si	0,4032	1,04	1,03	0,8617	0,8628	0,8852	0,8624	0,8783	0,8745
Sn	-	-	-	0,0069	0,0068	0,007	0,0071	0,0069	0,0068
Ti	0,1984	0,35	-	0,3229	0,3045	0,208	0,2982	0,2734	0,2466
V	0,0507	-	-	0,0515	0,0524	0,0517	0,0515	0,052	0,051
W	-	-	-	0,0279	0,028	0,0285	0,0286	0,0279	0,0276

A Figura 5.8 mostra a variação da porcentagem de carbono no metal de solda em função do gás de proteção utilizado. Nota-se que com relação ao arame eletrodo há uma diminuição da quantidade de carbono independentemente do gás de proteção utilizado, resultado contrário ao obtido com o arame ER430. Novos estudos deverão ser realizados para verificar o que realmente está ocorrendo.

A Figura 5.9 mostra a variação da porcentagem de cromo no metal de solda em função do gás de proteção utilizado. Pode-se notar que independentemente do gás de proteção utilizado uma pequena variação ocorre na quantidade de cromo.

As Figuras 5.10 e 5.11 mostram respectivamente a variação da porcentagem de manganês e silício no metal de solda em função do gás de proteção utilizado. Comparando com o arame eletrodo, o silício e o manganês diminuem independentemente do gás de proteção utilizado. Este fato se deve provavelmente a formação de óxidos, conforme observado na Figura 4.8 do Capítulo IV.

A Figura 5.12 mostra a variação da porcentagem de titânio no metal de solda em função do gás de proteção utilizado. Pode-se perceber que há uma diminuição da quantidade de titânio independente do gás de proteção utilizado, sendo esta queda mais pronunciada para o oxigênio. Esta queda na quantidade de titânio pode estar relacionada com a formação de óxidos. Nova análise deve ser realizada para determinar o motivo desta queda dos teores de titânio e carbono.

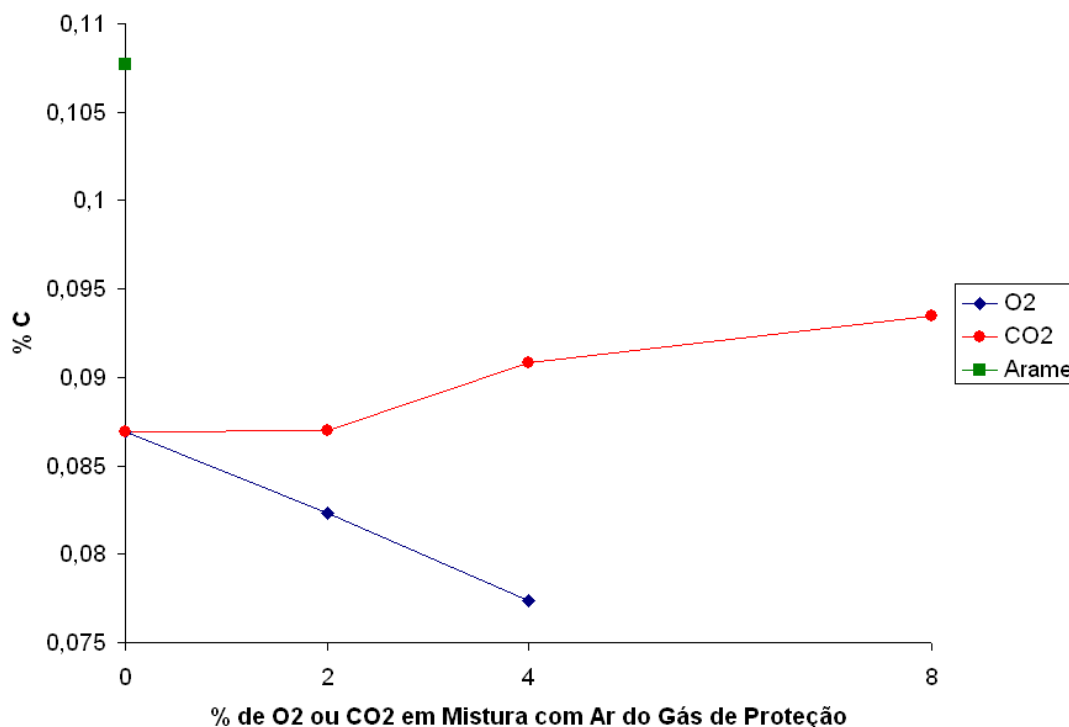


Figura 5.8. Porcentagem de Carbono para o ER430Ti

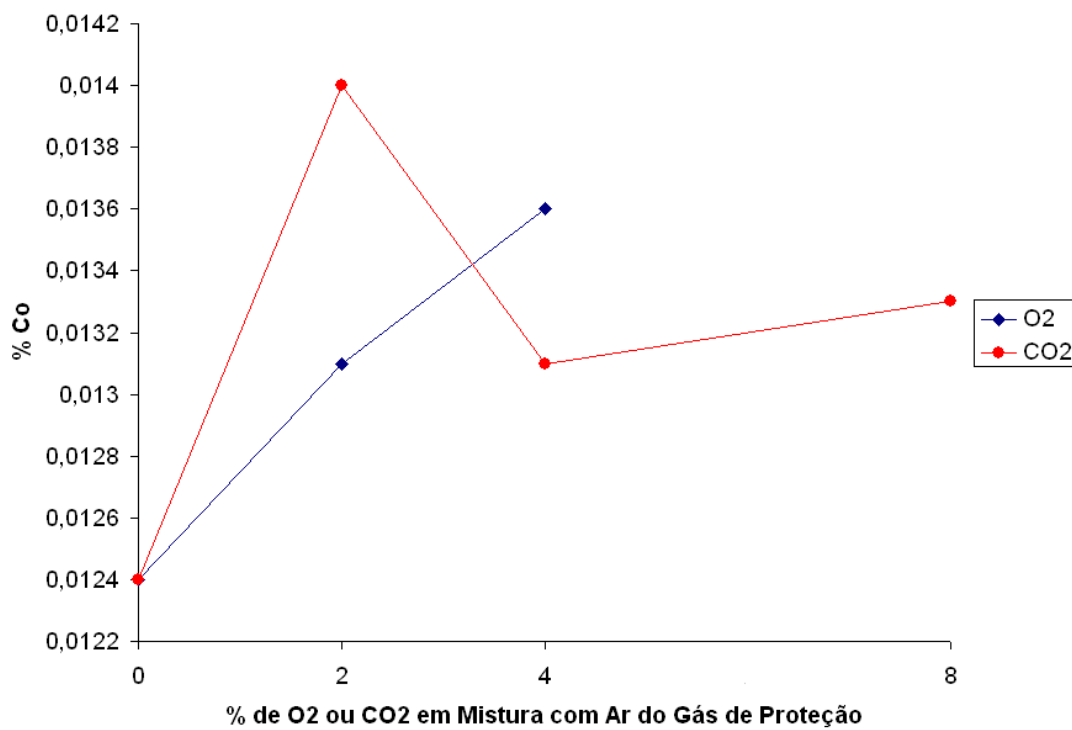


Figura 5.9. Porcentagem de Cromo para o ER430Ti

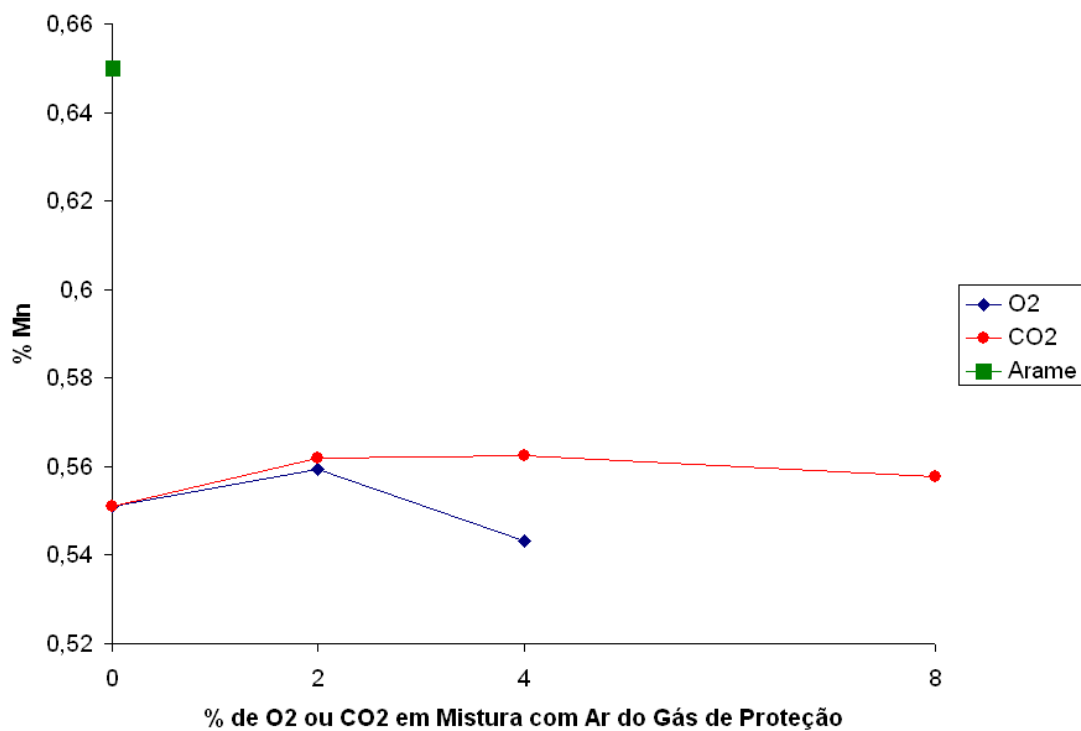


Figura 5.10. Porcentagem de Manganês para o ER430Ti

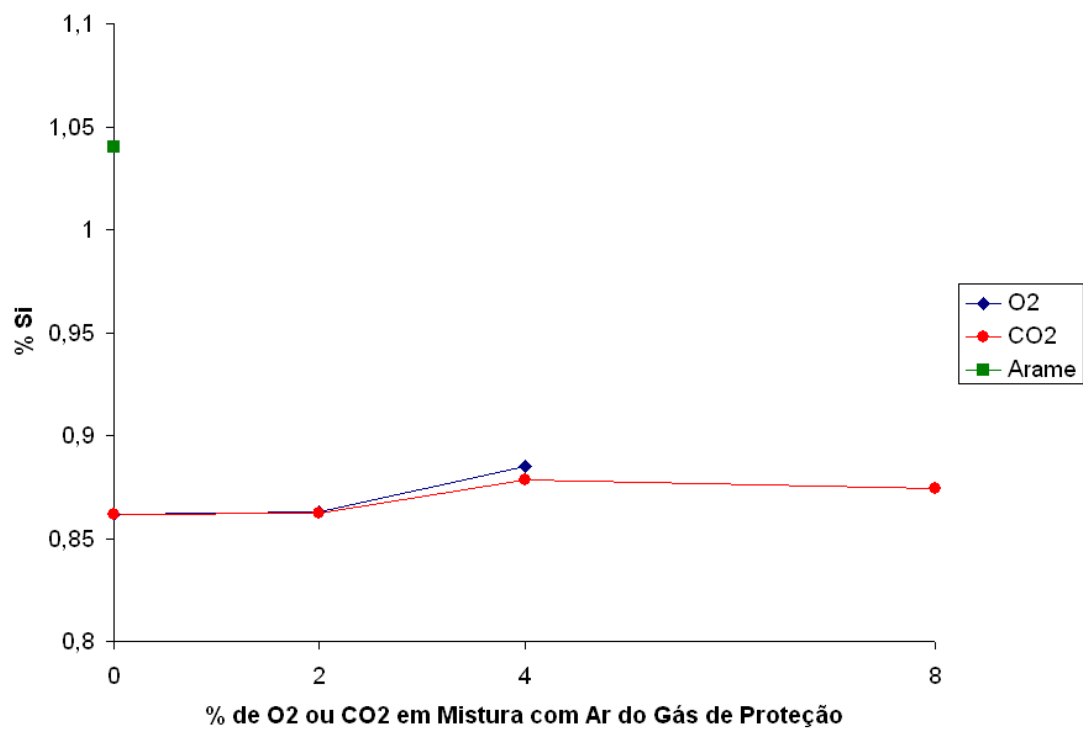


Figura 5.11. Porcentagem de Silício para o ER430Ti

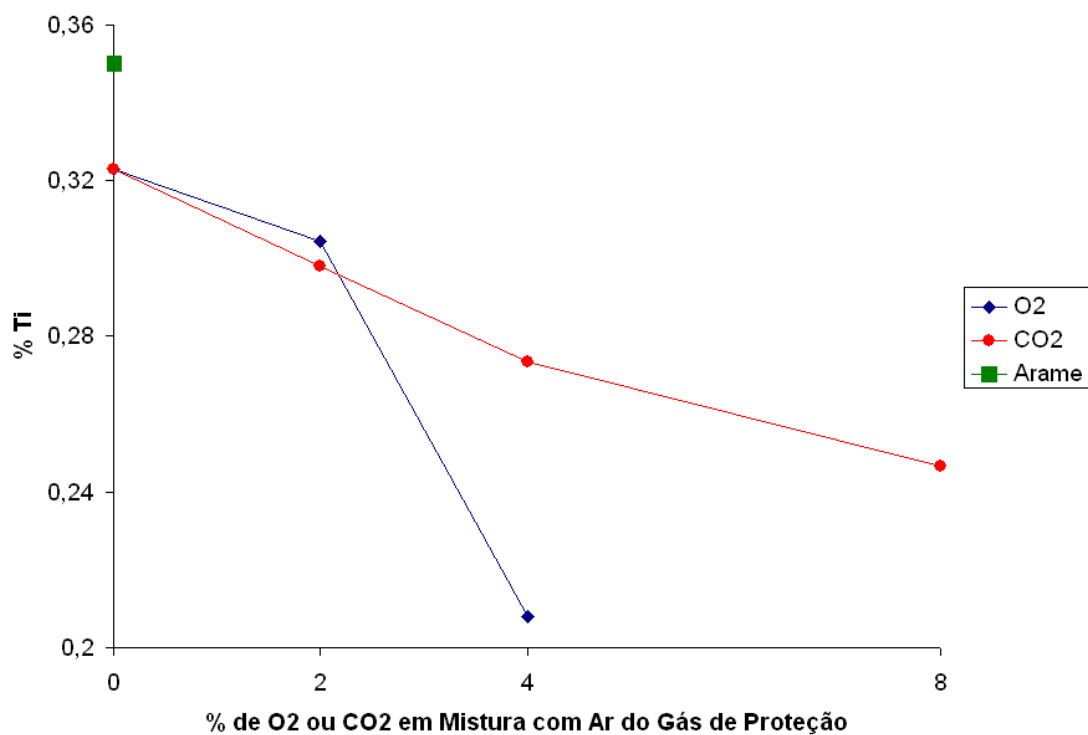


Figura 5.12. Porcentagem de Titânio para o ER430Ti

5.2.3 Composição química do arame ER430LNb

A Tabela 5.10 mostra a composição química do metal de base, do metal de adição, do valor calculado da terceira camada de solda com o diagrama de Schaeffler e das medições realizadas para os seis tipos de gases de proteção quando se utilizou o arame eletrodo ER430LNb.

Verifica-se que os valores da composição química obtida com Ar puro ficaram (em geral) próximos da composição do arme eletrodo. A diferença encontrada está relacionada a diluição entre arame e metal de base e/ou erros de medição.

Com relação à influência do gás de proteção para os elementos estudados, pode-se notar que o carbono, o cromo, o manganês, o nióbio e o silício apresentaram variações que merecem ser analisada com mais detalhes. Os outros elementos ficaram com valor próximo ao esperado, as diferenças podem ser atribuída aos erros de medidas.

Tabela 5.10. Composições químicas para o arame ER430LNb

Elem.	MB	ER430LNb	3CT	Ar	Ar+2%O ₂	Ar+4%O ₂	Ar+2%CO ₂	Ar+4%CO ₂	Ar+8%CO ₂
C	0,0095	0,027	0,026	0,0179	0,017	0,0168	0,0271	0,0375	0,0464
Co	-	0,27	-	0,018	0,0179	0,0176	0,0183	0,0177	0,0174
Cr	17,1284	17,66	17,63	18,089	18,058	18,098	18,144	18,035	18,042
Cu	-	0,19	0,18	0,1118	0,0933	0,0951	0,0958	0,0938	0,094
Mn	0,1434	0,425	0,41	0,3622	0,3514	0,3316	0,3568	0,3401	0,3368
Mo	-	0,034	0,03	0,0496	0,0494	0,0496	0,0495	0,0493	0,0493
N	0,0075	-	-	-	-	-	-	-	-
Nb	0,2009	0,44	0,43	0,4689	0,4626	0,4416	0,4636	0,4545	0,4506
Ni	0,1777	0,215	0,22	0,253	0,252	0,251	0,25	0,251	0,252
P	0,0234	-	-	0,0179	0,0177	0,018	0,0178	0,0178	0,0178
S	0,0027	0,0035	-	0,0017	0,002	0,0021	0,0018	0,0018	0,0018
Si	0,4032	0,43	0,43	0,367	0,382	0,3419	0,3651	0,3559	0,3482
Sn	-	-	-	0,0073	0,0076	0,0075	0,0075	0,0076	0,0078
Ti	0,1984	0,0039	-	0,0093	0,0098	0,0092	0,0098	0,0097	0,0101
V	0,0507	-	-	0,0976	0,0972	0,0968	0,0976	0,0961	0,0961
W	-	-	-	0,018	0,0182	0,0174	0,0177	0,0163	0,0178

A Figura 5.13 mostra a variação da porcentagem de carbono no metal de solda em função do gás de proteção utilizado. Pode-se notar que com o aumento de oxigênio na mistura com argônio não houve uma mudança significativa. Ao passo que quando se utilizou o dióxido de carbono houve um aumento em torno de 0,027% do carbono, que foi o mesmo aumento observado para o arame eletrodo ER430 (Figura 5.4). Este aumento pode ser explicado devido ao carbono contido no gás de proteção. Liao; Chen (1998) também observaram este fato, conforme já mencionado.

A Figura 5.14 mostra a variação da porcentagem de cromo no metal de solda em função do gás de proteção utilizado. Pode-se notar que tanto com o aumento de oxigênio, quanto com o de dióxido de carbono houve um acréscimo na quantidade de cromo em relação ao arame eletrodo.

As Figuras 5.15 e 5.16 mostram a variação da porcentagem de manganês e silício respectivamente no metal de solda em função do gás de proteção utilizado. Nota-se que há uma tendência de diminuição dos dois elementos independentemente do gás de proteção utilizado em relação ao arame eletrodo. Este fato pode ser explicado devido ao aumento de óxido formado com o aumento destes elementos no gás de proteção, conforme pode ser verificado na Figura 4.9 do Capítulo IV.

A Figura 5.16 mostra a variação da porcentagem de nióbio no metal de solda em função do gás de proteção utilizado. Pode-se perceber que há uma diminuição da quantidade de nióbio independente do tipo de gás de proteção. Entretanto, esta variação pode estar relacionada ao erro de medição, pois fica em torno de 0,02% de nióbio.

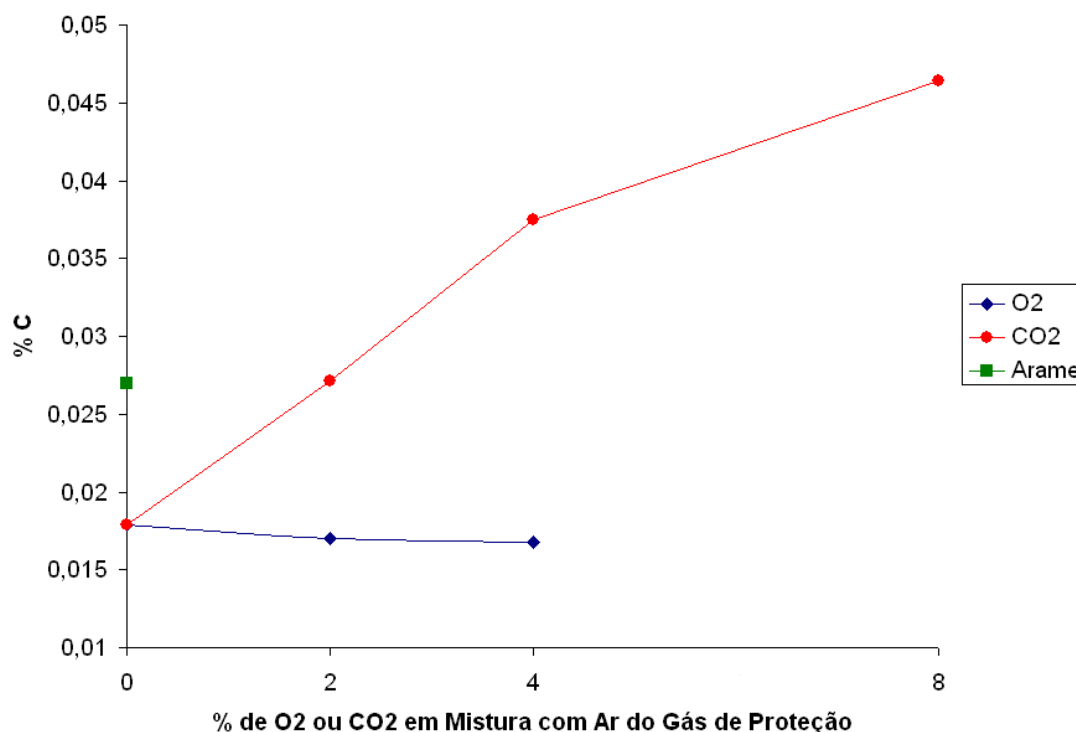


Figura 5.13. Porcentagem de Carbono para o ER430LNb

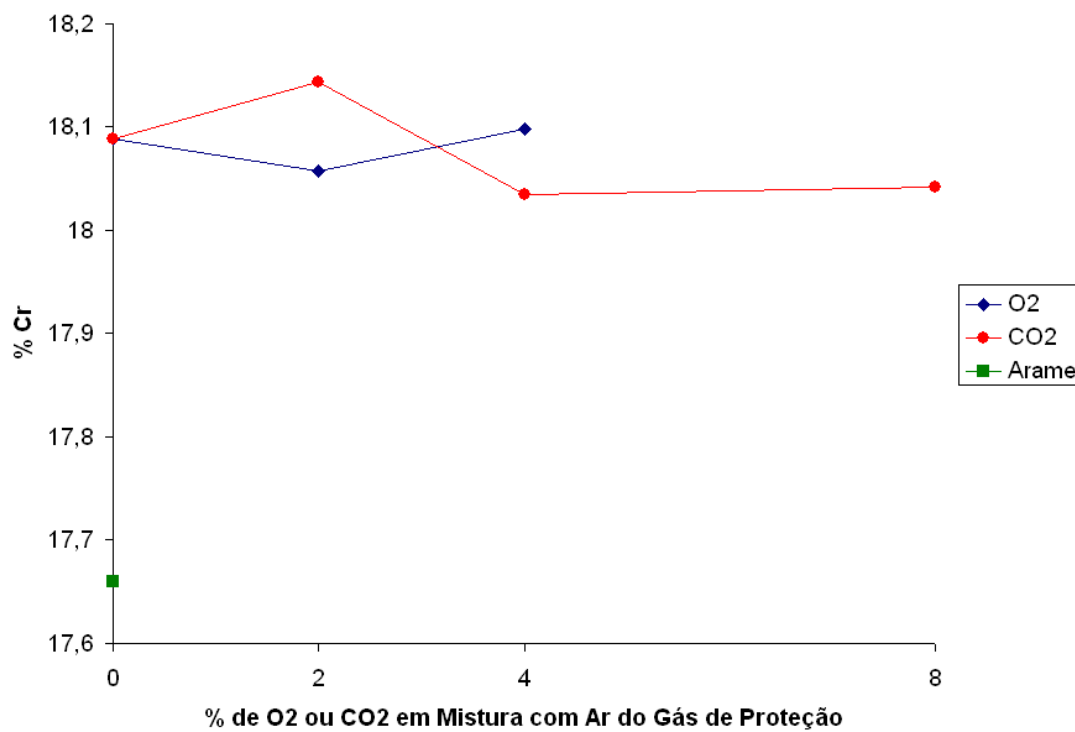


Figura 5.14. Porcentagem de Cromo para o ER430LNb

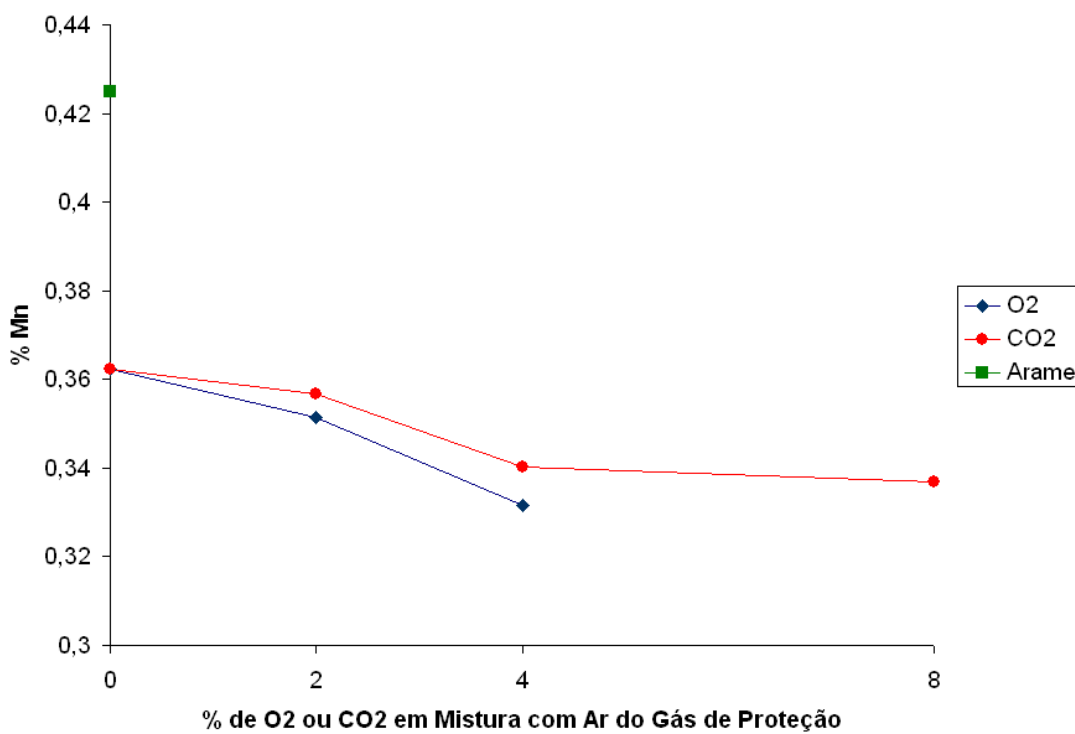


Figura 5.15. Porcentagem de Manganês para o ER430LNb

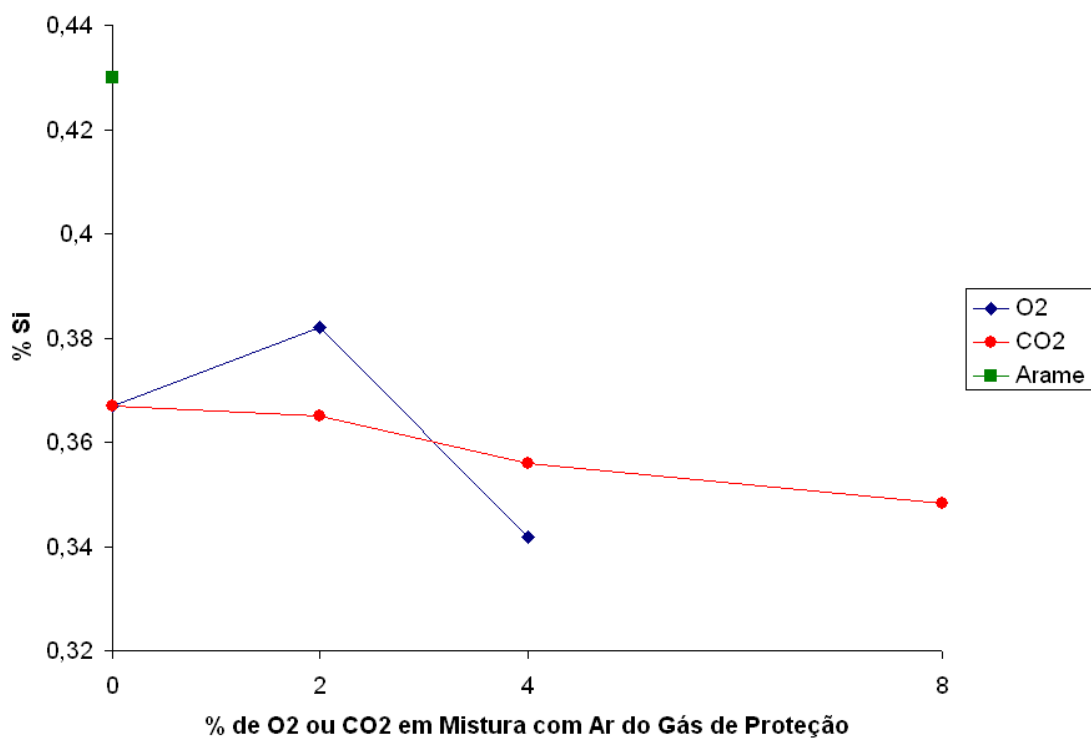


Figura 5.16. Porcentagem de Silício para o ER430LNb

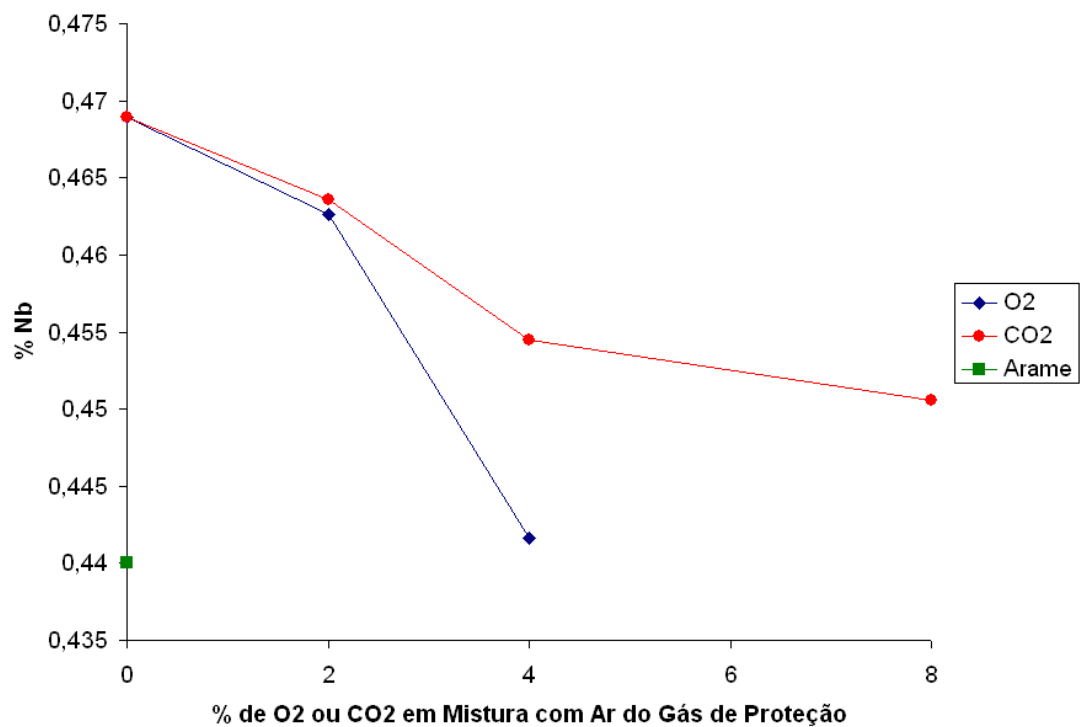


Figura 5.17. Porcentagem de Nióbio para o ER430LNb

5.2.4 Comparação da composição química para os três arames

Com o aumento tanto de oxigênio, quanto de dióxido de carbono, houve uma diminuição na quantidade de manganês e silício, para os três arames. Para o carbono não houve uma variação significativa para os três arames quando se aumentou a quantidade de oxigênio no gás de proteção, mas quando se aumentou a quantidade de dióxido de carbono houve um aumento da quantidade de carbono para os arames ER430 e ER430LNb e uma diminuição para o ER430Ti. Os elementos estabilizantes, Ti e Nb, diminuiram com o aumento tanto de oxigênio quanto de dióxido de carbono para seus respectivos arames.

5.3 Microestrutura

Nesta etapa foram realizadas análises na zona fundida do último cordão dos corpos de prova com três camadas. Como já mencionado os corpos de prova foram atacados utilizando o reagente Vilella e analisados por microscopia óptica, conforme apresentado no Capítulo III. A análise será dividida em três etapas, sendo os subitens referentes aos arames eletrodos utilizados.

5.3.1. Microestrutura do arame ER430

A Figura 5.18 apresenta o último cordão de solda da última camada onde será realizada a análise da microestrutura. As Figuras 5.19 a 5.24 apresenta a microestrutura da zona fundida (centro do cordão) do corpo de prova para o eletrodo ER430 e respectivamente os gases de proteção Ar, Ar+2%O₂, Ar+4%O₂, Ar+2%CO₂, Ar+4%CO₂ e Ar+8%CO₂. As imagens foram realizadas por microscopia óptica onde (a) possui um aumento de 25X e (b) um aumento de 500X. Nas Figuras α representa a matriz ferrítica, M representa martensita e p os precipitados.

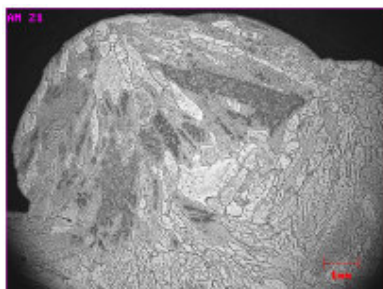


Figura 5.18. Microestrutura da zona fundida do eletrodo ER430 e gás de proteção Ar.
Microscopia óptica 8X

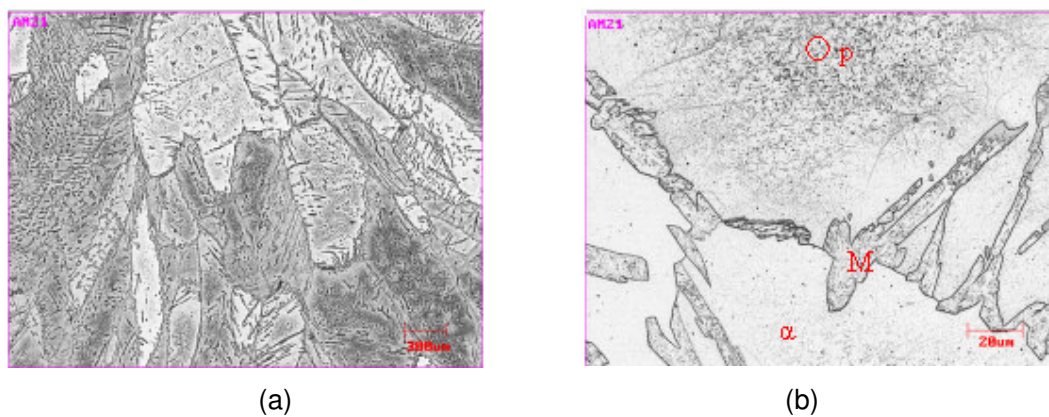


Figura 5.19. Microestrutura da zona fundida do eletrodo ER430 e gás de proteção Ar.

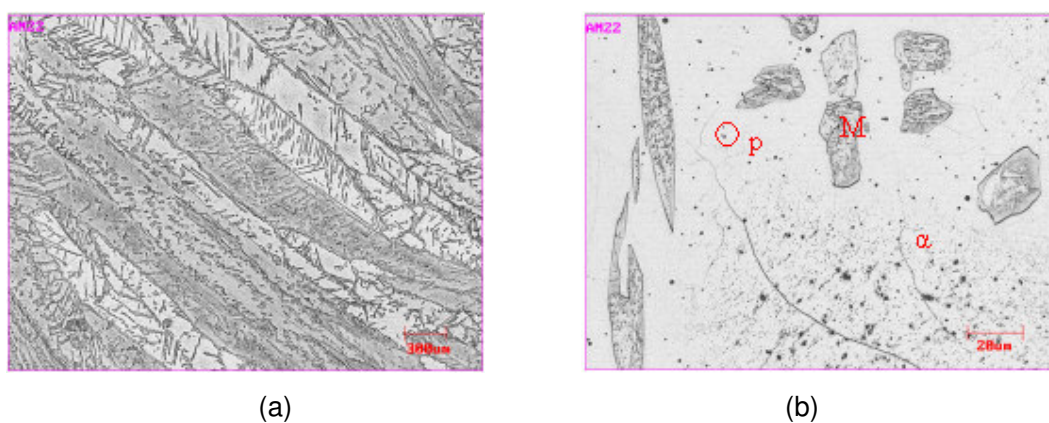


Figura 5.20. Microestrutura da zona fundida do eletrodo ER430 e gás de proteção Ar+2%O₂.

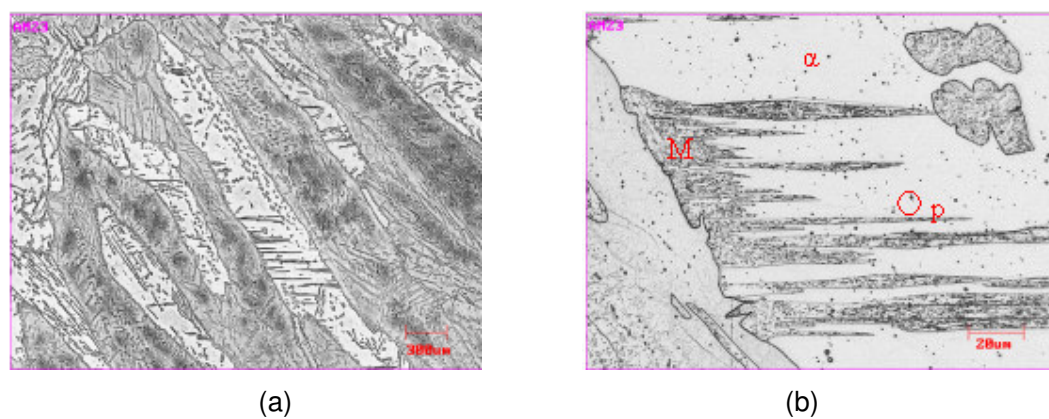


Figura 5.21. Microestrutura da zona fundida do eletrodo ER430 e gás de proteção Ar+4%O₂.

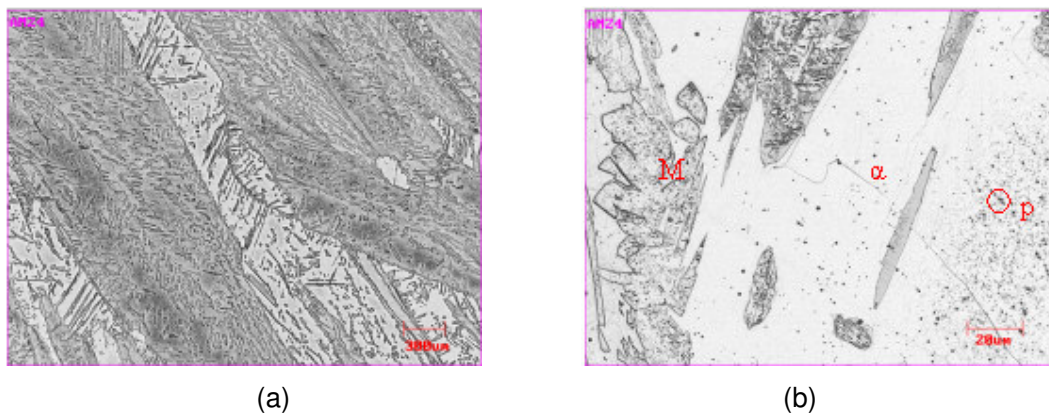


Figura 5.22. Microestrutura da zona fundida do eletrodo ER430 e gás de proteção Ar+2%CO₂.

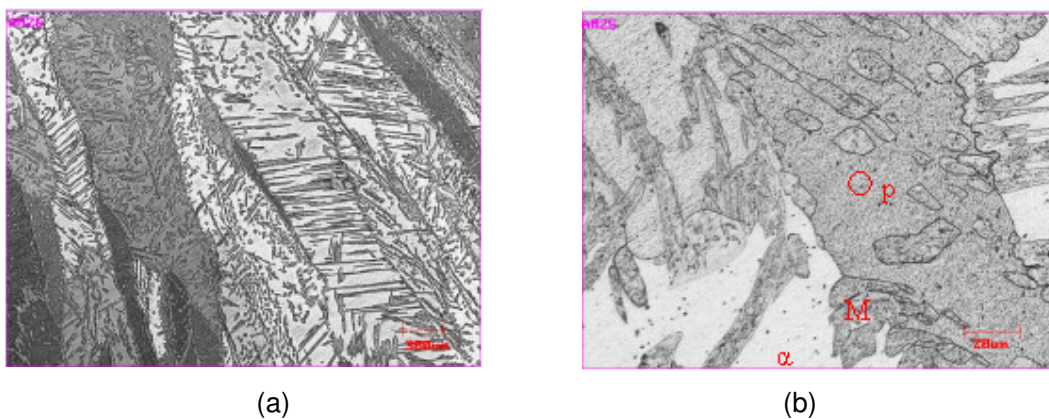


Figura 5.23. Microestrutura da zona fundida do eletrodo ER430 e gás de proteção Ar+4%CO₂.

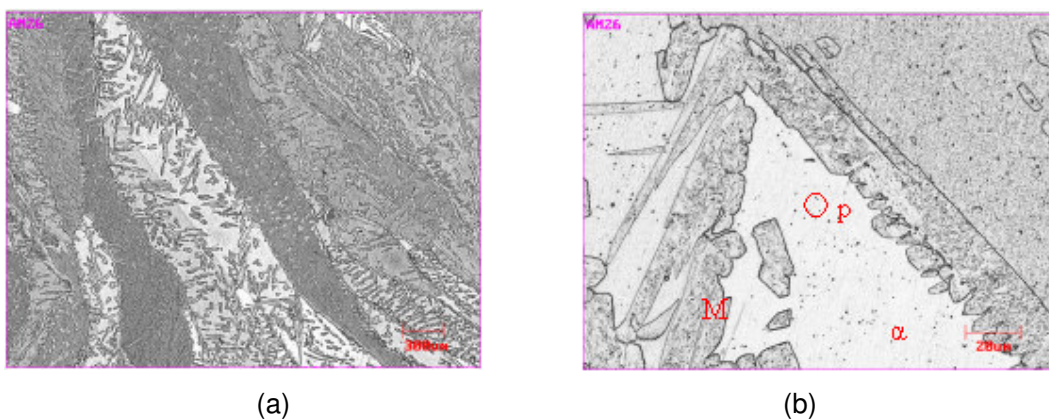


Figura 5.24. Microestrutura da zona fundida do eletrodo ER430 e gás de proteção Ar+8%CO₂.

Analisando as Figura 5.19 a 5.24 observa-se grãos colunares, sendo uma matriz ferrítica com precipitações de martensita nos contornos de grãos. Observa-se também a presença de precipitados, com maior concentração no interior do grão. Este fato fica mais evidente na Figura 5.19 (b).

Com o aumento do teor de oxigênio ao argônio não é possível observar com clareza mudança na quantidade de precipitados, bem como na quantidade de martensita formada. Trabalhos futuros poderão ser realizados com o objetivo de estudar com mais clareza o efeito do oxigênio na quantidade de precipitados e de martensita no cordão de solda.

Com o aumento do teor de dióxido de carbono percebe-se que ocorre um aumento na quantidade de martensita de contorno de grãos, isto pode ser comprovado também pelo aumento do teor de carbono no cordão de solda (Figura 5.4). Modenesi (2001) cita que a presença de elementos gamagênicos, particularmente o carbono expande o campo de existência da austenita para maiores teores de cromo, podendo com isto sofrer transformação de ferrita em austenita, que nos resfriamento pode transformar em martensita. Quanto à quantidade de precipitados não é possível observar sem uma análise mais profunda (trabalho futuro).

5.3.2. Microestrutura do arame ER430Ti

As Figuras 5.25 a 5.30 apresentam a microestrutura da zona fundida dos corpos de prova onde foi utilizado o eletrodo ER430Ti e respectivamente os gases de proteção Ar, Ar+2%O₂, Ar+4%O₂, Ar+2%CO₂, Ar+4%CO₂ e Ar+8%CO₂. As imagens foram realizadas por microscopia óptica onde (a) possui um aumento de 25X e (b) um aumento de 500X. Nas Figuras α representa a matriz ferrítica, M representa martensita e p os precipitados.

Analisando as Figura 5.25, 5.26 e 5.28 observa-se grãos colunares, sendo uma matriz ferrítica com precipitações tanto no interior quanto nos contornos de grãos. Já nas figuras 5.27, 5.29 e 5.30 nota-se uma matriz ferrítica, precipitados e estruturas martensíticas nos contornos de grão.

Quando se adiciona 2% de oxigênio ao argônio percebe-se um aumento da quantidade de precipitados nos contornos de grão (Figura 5.26(b)) em comparação com o argônio puro (Figura 5.25 (b)). Com o aumento para 4% de oxigênio percebe-se a presença de martensita nos contornos de grão. É interessante observar que o aumento do teor de oxigênio acarreta, em uma análise visual, no aumento do tamanho de grão.

Para as misturas com dióxido de carbono (acima de 2% CO₂) percebe-se um aumento na quantidade de martensita de contorno de grãos, conforme evidenciado na Figura 5.30 (b), tornando-se formato de agulha.

A presença de martensita encontradas nas estruturas mencionadas acima deve-se provavelmente a baixa quantidade de titânio em relação ao carbono, não sendo, provavelmente, suficiente para estabilizar totalmente a solda.

Comparando a microestrutura do cordão de solda do ER430 com o ER430Ti verifica-se que o tamanho de grão diminuiu com a presença do Ti no metal de adição. Além disso, percebeu-se também uma diminuição na quantidade de martensita de contorno de grão e a presença maior de carboneto na matriz ferrítica. Modenesi (2001) cita que aços inoxidáveis ferríticos que contêm titânio, existe uma substituição de carbonetos e nitretos de cromo por carbonitretos de titânio, que são mais estáveis, limitando a dissolução de carbono e nitrogênio na ferrita a altas temperaturas, diminuindo o efeito austenitizante, reduzindo, portanto, a formação de martensita.

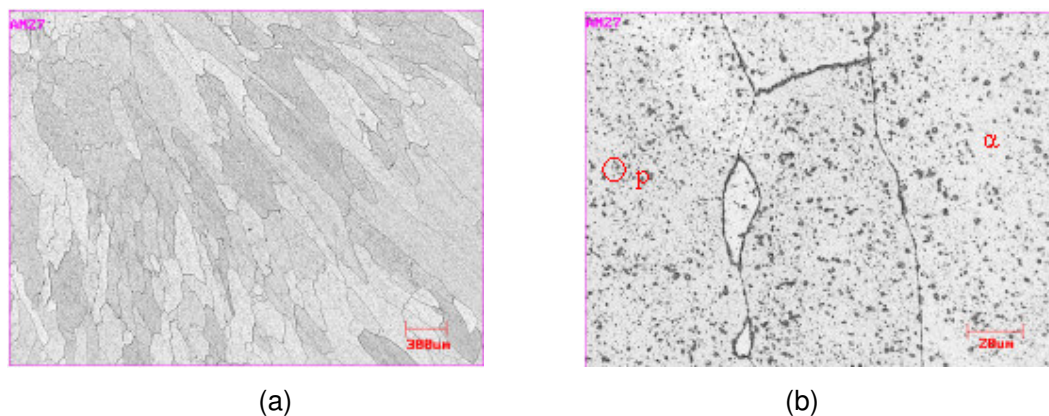


Figura 5.25. Microestrutura da zona fundida do eletrodo ER430Ti e gás de proteção Ar.

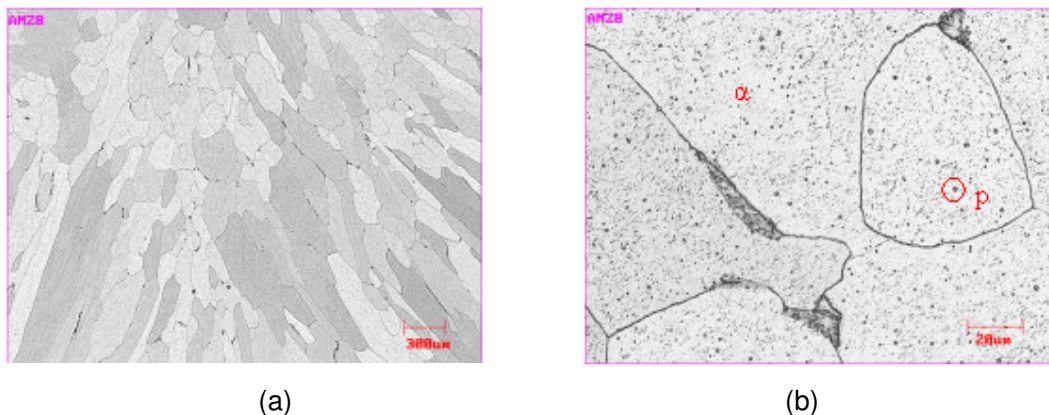


Figura 5.26. Microestrutura da ZF do eletrodo ER430Ti e gás de proteção Ar+2%O₂.

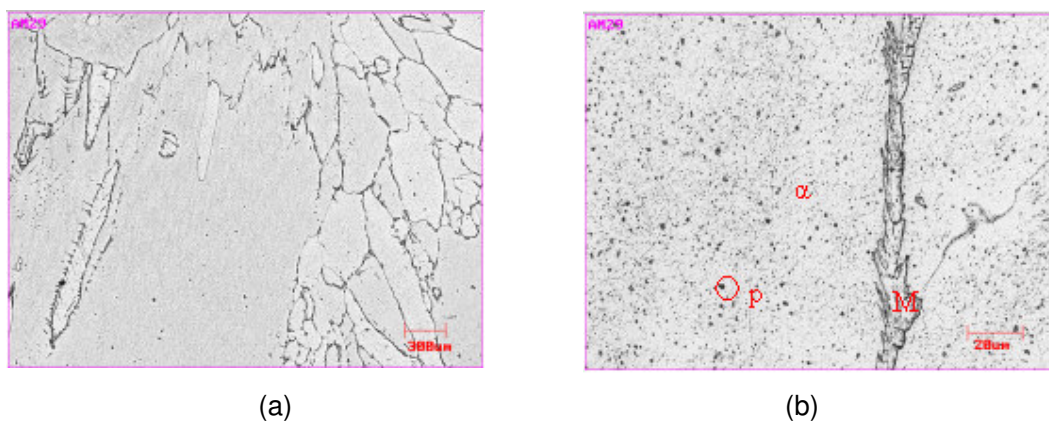


Figura 5.27. Microestrutura da zona fundida do eletrodo ER430Ti e gás de proteção Ar+4%O₂.

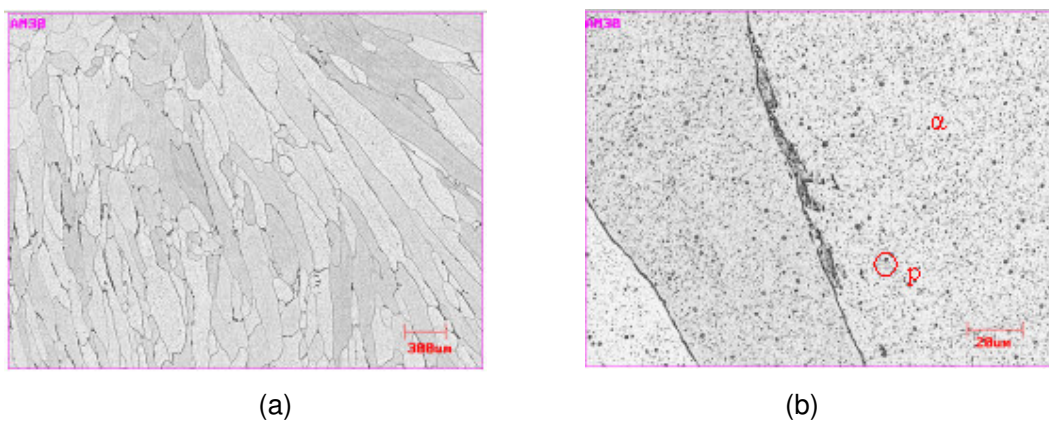


Figura 5.28. Microestrutura da zona fundida do eletrodo ER430Ti e gás de proteção Ar+2%CO₂.

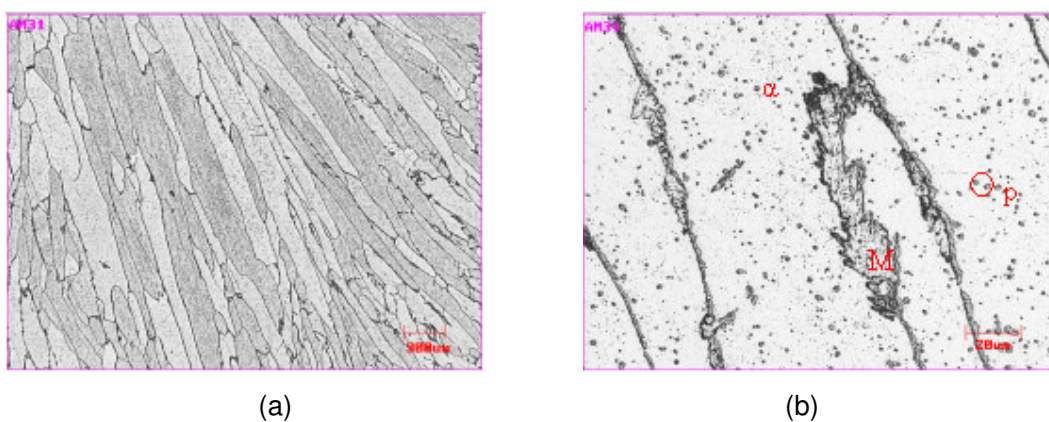


Figura 5.29. Microestrutura da zona fundida do eletrodo ER430Ti e gás de proteção Ar+4%CO₂.

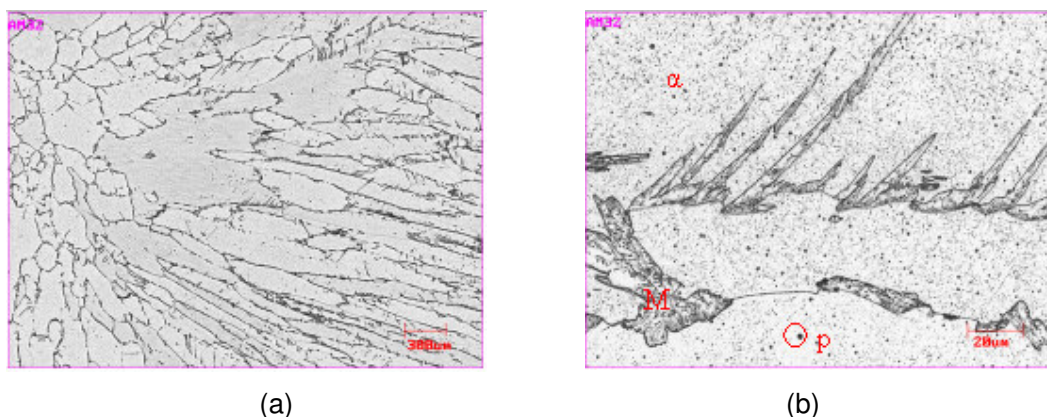


Figura 5.30. Microestrutura da zona fundida do eletrodo ER430Ti e gás de proteção Ar+8%CO₂.

5.3.3. Microestrutura do arame ER430LNb

As Figuras 5.31 a 5.36 apresentam a microestrutura da zona fundida dos corpos de prova onde foram utilizados o eletrodo ER430LNb e respectivamente os gases de proteção Ar, Ar+2%O₂, Ar+4%O₂, Ar+2%CO₂, Ar+4%CO₂ e Ar+8%CO₂. As imagens foram realizadas por microscopia óptica onde (a) possui um aumento de 25X e (b) um aumento de 500X. Nas Figuras α representa a matriz ferrítica e p os precipitados.

Analisando as Figura 5.31 a 5.36 observa-se uma matriz ferrítica, com grãos colunares e grosseiros, este fato é devido a presença do nióbio, que retarda o crescimento de grão. Notam-se ainda precipitados tanto no interior dos grãos quanto nos contornos destes.

Com o aumento do teor tanto de oxigênio, quanto de dióxido de carbono ao argônio não é possível observar com clareza mudanças na quantidade de precipitados para o tipo de análise utilizada nesta dissertação. Trabalhos futuros poderão ser realizados com o objetivo de estudar com mais clareza o efeito do oxigênio na quantidade de precipitados no cordão de solda.

Observa-se que o arame eletrodo 430LNb não apresenta a formação de martensita para os tipos de gases de proteção utilizados neste trabalho. Entretanto a estrutura granular apresenta de uma forma mais grosseira que a do arame ER430Ti, mais próxima a do arame ER430. Modenesi (2001) cita que o mesmo fenômeno que ocorre com a presença do titânio corre também com a presença de nióbio, ou seja, nos aços inoxidáveis ferríticos que contém nióbio, existe uma substituição de carbonetos e nitretos de cromo por carbonitretos de nióbio, que são mais estáveis, diminuindo o efeito austenitizante, independentemente da temperatura, reduzindo, portanto, a formação de martensita.

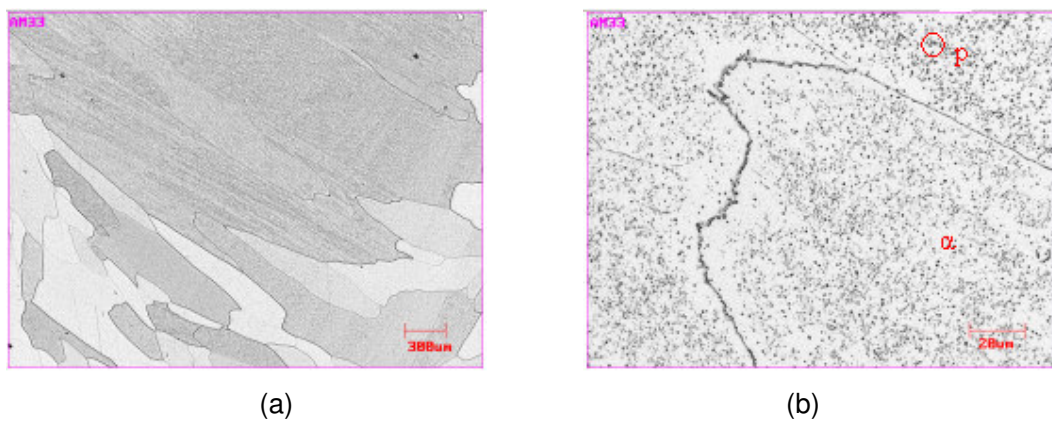


Figura 5.31. Microestrutura da zona fundida do eletrodo ER430LNb e gás de proteção Ar.

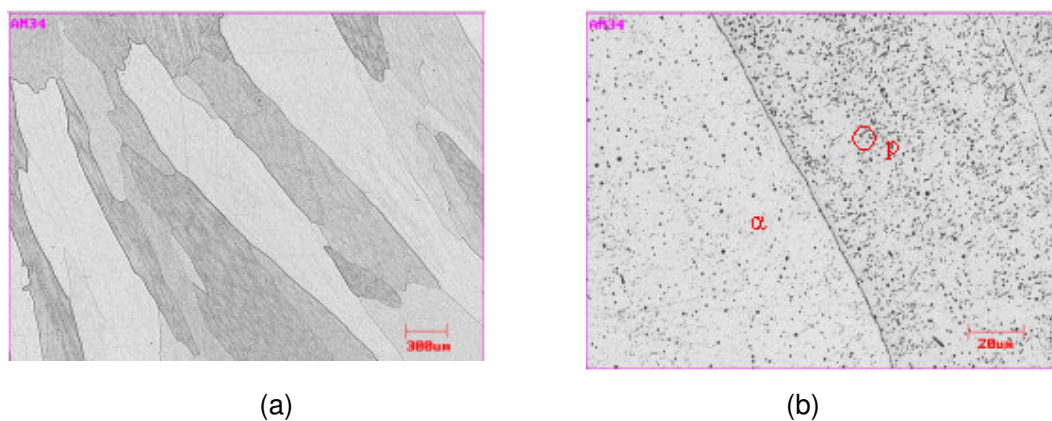


Figura 5.32. Microestrutura da zona fundida do eletrodo ER430LNb e gás de proteção Ar+2%O₂.

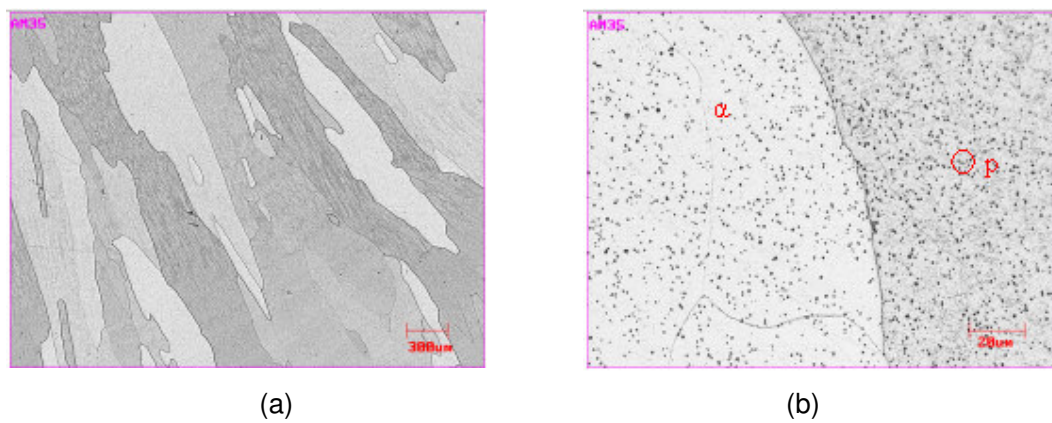


Figura 5.33. Microestrutura da zona fundida do eletrodo ER430LNb e gás de proteção Ar+4%O₂.

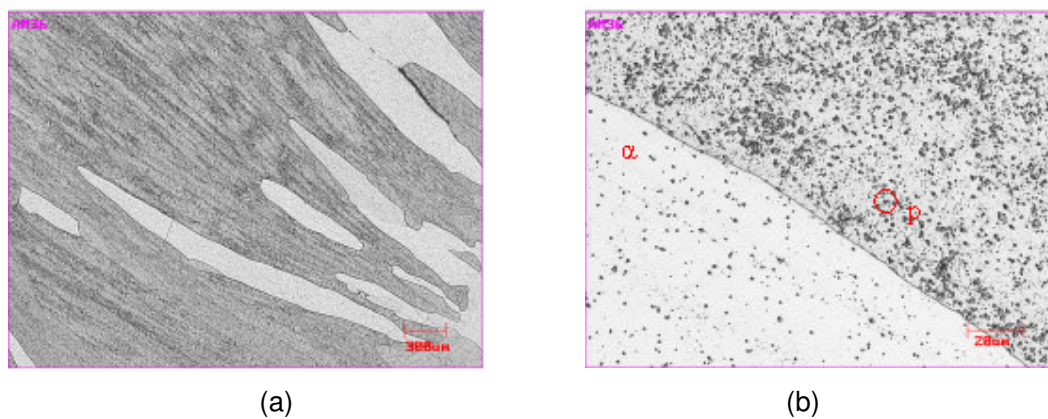


Figura 5.34. Microestrutura da zona fundida do eletrodo ER430LNb e gás de proteção Ar+2%CO₂.

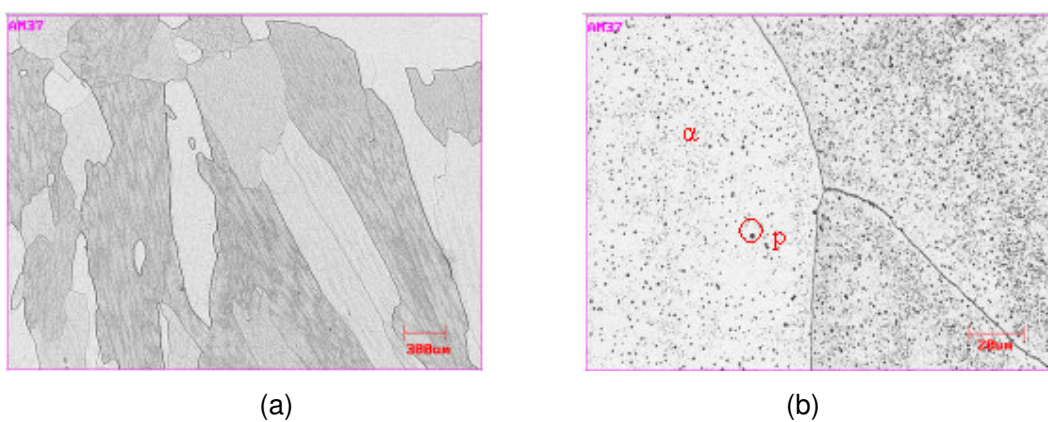


Figura 5.35. Microestrutura da zona fundida do eletrodo ER430LNb e gás de proteção Ar+4%CO₂.

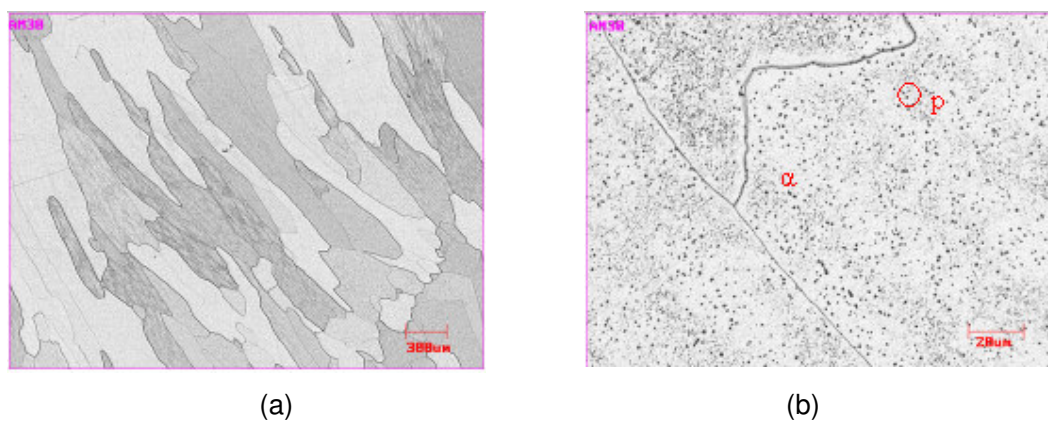


Figura 5.36. Microestrutura da zona fundida do eletrodo ER430LNb e gás de proteção Ar+8%CO₂.

5.3.4. Comparação das microestruturas dos arames

O arame ER430 gerou grãos grosseiros, formados por uma matriz ferrítica e com estruturas martensíticas independentemente do gás de proteção utilizado. O ER430Ti gerou grãos mais refinados, com formação de estruturas martensíticas para teores acima de 4% tanto para oxigênio quanto para o dióxido de carbono. O ER430LNb gerou novamente estruturas grosseiras, mas não gerou martensita independentemente do gás de proteção utilizado.

5.4 Medições de Microdureza

A Tabela 5.11 mostra as médias e variância das medidas de microdureza Vickers realizadas no centro da zona fundida dos dezoito corpos de prova, a tabela completa pode ser encontrada no Anexo 1, Tabelas A12 e A13.

A Figura 5.37 apresenta as medidas de microdureza Vickers realizada na matriz ferrítica em função do gás de proteção utilizado para os corpos de prova onde se utilizou o metal de adição ER430. Nota-se que não houve uma variação significativa nas medidas de microdurezas encontradas na matriz dos corpos de prova.

Tabela 5.11. Tabela de medidas de microdureza

Arame	Gás	Média HV α	Média Desvio α	HV Martensita	Desvio Martensita
ER430	Ar	183,253	3,114	643,377	66,519
	Ar+2%O ₂	161,523	0,774	619,500	67,112
	Ar+4%O ₂	171,867	9,436	751,040	36,609
	Ar+2%CO ₂	168,040	31,992	550,620	84,889
	Ar+4%CO ₂	165,843	22,664	705,220	95,307
	Ar+8%CO ₂	166,937	6,015	688,297	85,970
ER430 Ti	Ar	210,460	5,688	-	-
	Ar+2%O ₂	226,443	11,507	-	-
	Ar+4%O ₂	190,940	27,544	309,117	41,718
	Ar+2%CO ₂	210,667	0,926	-	-
	Ar+4%CO ₂	193,433	33,743	283,980	13,319
	Ar+8%CO ₂	206,763	2,830	377,870	35,529
ER430 LNb	Ar	176,133	2,897	-	-
	Ar+2%O ₂	189,413	5,583	-	-
	Ar+4%O ₂	183,597	6,015	-	-
	Ar+2%CO ₂	179,017	2,360	-	-
	Ar+4%CO ₂	194,767	13,482	-	-
	Ar+8%CO ₂	191,670	2,710	-	-

A Figura 5.38 apresenta as medidas de microdureza Vickers realizada na martensita em função do gás de proteção utilizado para os corpos de prova onde se utilizou o metal de adição ER430. Nota-se que não houve uma variação significativa nas medidas de microdurezas encontradas na martensita.

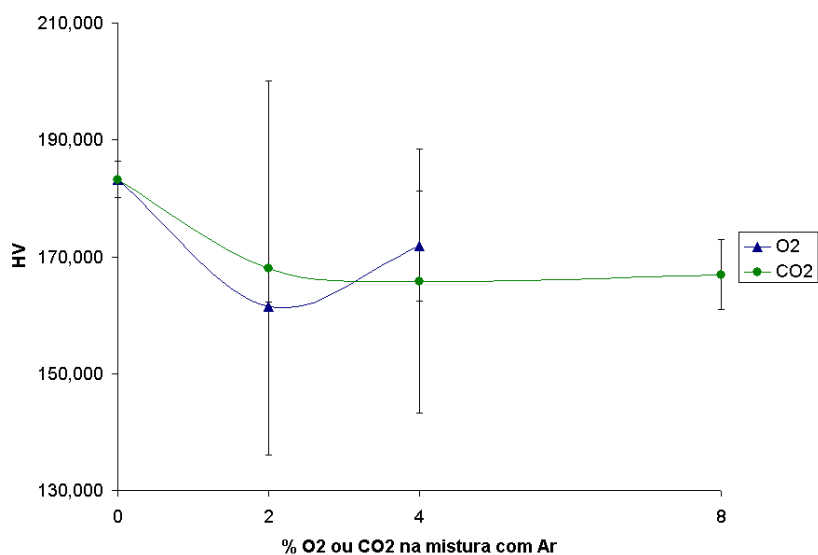


Figura 5.37. Gráfico das medidas de microdureza para o arame ER430 na matriz

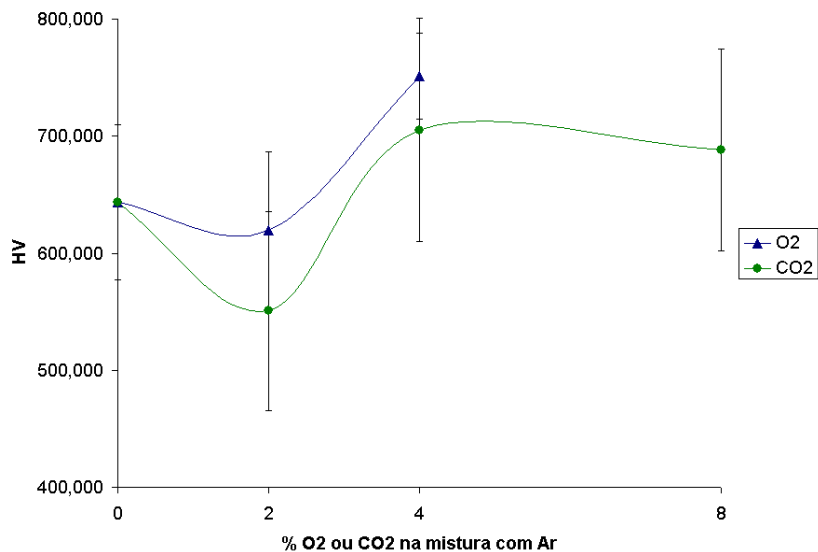


Figura 5.38. Gráfico das medidas de microdureza para o arame ER430 na martensita

A Figura 5.39 apresenta as medidas de microdureza Vickers realizada na matriz ferrítica em função do gás de proteção utilizado para os corpos de prova onde se utilizou o

metal de adição ER430Ti. Nota-se que não houve uma variação significativa nas medidas de microdurezas encontradas na matriz dos corpos de prova.

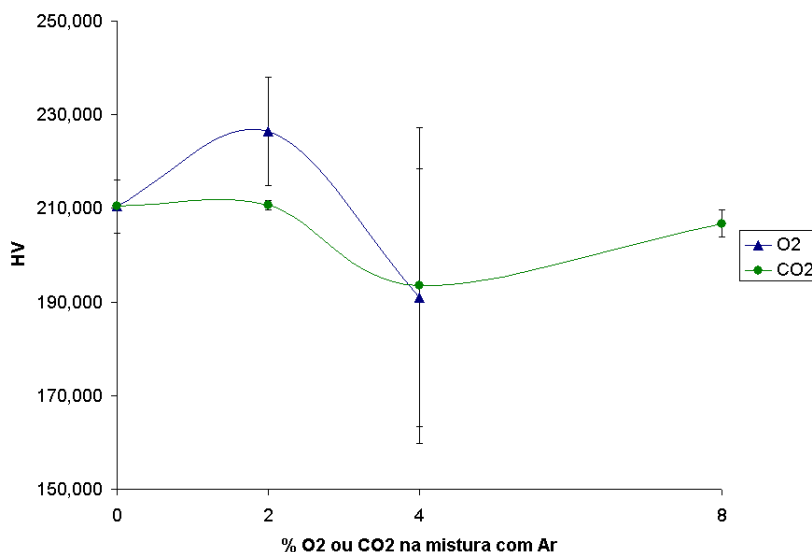


Figura 5.39. Gráfico das medidas de microdureza para o arame ER430Ti na matriz

A Figura 5.40 apresenta as medidas de microdureza Vickers realizada na martensita em função do gás de proteção utilizado para os corpos de prova onde se utilizou o metal de adição ER430Ti. Nota-se que houve um aumento, na média, na microdureza com o aumento de 4 para 8% de dióxido de carbono. Os corpos de prova onde foram utilizados os gases argônio, misturas com 2% de oxigênio e misturas com 2% de dióxido de carbono não foi possível realizar a medição na martensita, uma vez que esta fase não foi observada ou eram muito pequenas, impossibilitando as medições.

A Figura 5.41 apresenta as medidas de microdureza Vickers realizada na matriz ferrítica em função do gás de proteção utilizado para os corpos de prova onde se utilizou o metal de adição ER430LNb. Nota-se que não houve uma variação significativa nas medidas de microdurezas encontradas na matriz dos corpos de prova quando utilizado o metal de adição ER430LNb.

Não se realizou medição na martensita para os corpos de prova que se utilizou o metal de adição ER430LNb, pois não se constatou a presença desta fase nos corpos de prova.

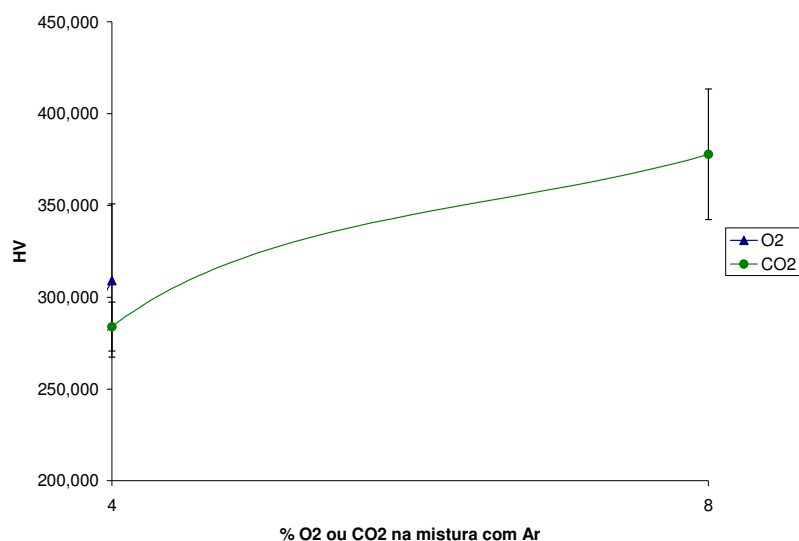


Figura 5.40. Gráfico das medidas de microdureza para o arame ER430Ti na martensita

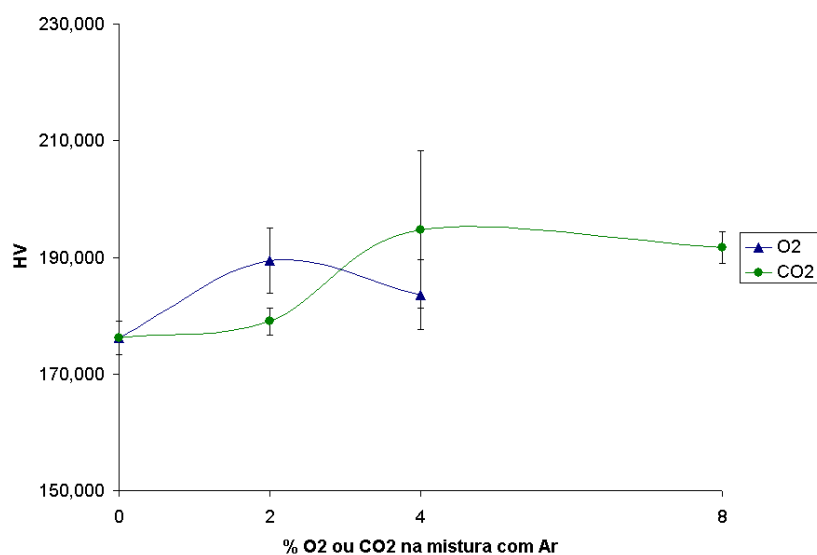


Figura 5.41. Gráfico das medidas de microdureza para o arame ER430LNb na matriz

5.4.1. Comparação das microdurezas dos arames

Observa-se que os valores de microdurezas encontrados para o arame eletrodo ER430 (Figura 5.38) são mais elevados que os encontrados para o ER430Ti (Figura 5.40). Este fato deve-se à maior quantidade de carbono presente no ER430, endurecendo, portanto, mais a martensita do que o ER430Ti que possui baixa quantidade de carbono.

5.4 Comparativo entre os arames

Analisando a Tabela 5.12 observa-se um comparativo para todos os quesitos estudados, relacionando os três arames eletrodos estudados.

Tabela 5.12. Comparativo entre os arames eletrodos

Arame	ER430	ER430Ti	ER430LNb
Qualidade do Cordão	4	3	5
Perfil do Cordão	5	4	5
Formação de Martensita	2	4	5
Microdureza	2	4	5

Onde: 1 representa péssimo;

2 representa ruim;

3 representa regular;

4 representa bom;

5 representa ótimo;

Analisando a Tabela 5.12 torna-se possível ranquear os arames, concluindo-se que o arame mais adequado para a soldagem de estruturas finas seria o arame eletrodo ER430LNb, seguido pelo ER430Ti e por último o ER430.

CAPÍTULO VI

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos durante o trabalho foi possível chegar as seguintes conclusões:

1. Verificou-se que o aumento da DBCP gera uma diminuição no valor da corrente média de soldagem, independente do tipo de gás de proteção utilizado. Ainda com relação à corrente média, há uma tendência de aumento desta com o aumento tanto de oxigênio como de dióxido de carbono na mistura com argônio, independente do valor da DBCP.
2. A frequência de curto-circuito tende a aumentar com a adição de oxigênio ou dióxido de carbono na mistura com argônio, independente do valor da DBCP.
3. A presença do titânio como elemento estabilizante modifica de forma significativa a frequência de curto-circuito.
4. O aumento da adição tanto de oxigênio como de dióxido de carbono na mistura com argônio gera um aumento na quantidade de escória no cordão de solda, sendo este efeito menos pronunciado com a utilização de eletrodos estabilizado, principalmente a base de nióbio.

5. Com relação à composição química da terceira camada do arame eletrodo ER430, verificou-se que o teor de carbono aumenta com o aumento da quantidade de dióxido de carbono no gás de proteção. Há uma diminuição do teor de cromo independente do tipo de gás de proteção utilizado. Ocorre uma diminuição de manganês e silício com o aumento tanto do dióxido de carbono como do oxigênio devido à formação de óxidos.
6. Com relação à composição química do arame ER430Ti, há uma diminuição da quantidade de carbono independentemente do gás de proteção utilizado. O mesmo ocorre com silício e o manganês devido provavelmente a formação de óxidos. Ocorre também uma diminuição da quantidade de titânio em comparação com o arame eletrodo.
7. Com relação à composição química do arame ER430LNb percebe-se um aumento no teor de carbono com o aumento do teor de dióxido de carbono na mistura do gás de proteção. Ocorre uma diminuição de manganês e silício independentemente do gás de proteção utilizado devido ao aumento de óxido formado no cordão de solda
8. Com relação à microestrutura para o arame eletrodo ER430 observam-se grãos colunares grosseiros, sendo uma matriz ferrítica com precipitações de martensita nos contornos de grãos. Com o aumento do teor de dióxido de carbono percebe-se que ocorre um aumento na quantidade de martensita de contorno de grãos.
9. Com relação à microestrutura para o arame eletrodo ER430Ti observam-se grãos mais finos e somente há presença de martensita para teores a partir de 4% tanto de oxigênio quanto de dióxido de carbono, tornando-se formato de agulha para 8% de dióxido de carbono.
10. Observa-se que o arame eletrodo 430LNb não apresenta a formação de martensita. Mas a estrutura granular apresenta uma forma grosseira, próxima a do ER430.
11. O arame mais adequado para a soldagem de estruturas finas é o ER430LNb, seguido pelo ER430Ti e por último pelo ER430.

CAPÍTULO VII

PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Com o intuito de aprimorar e complementar as informações obtidas neste trabalho são realizadas a seguir sugestões para aprimorar o estudo do efeito do gás de proteção na soldagem de aços inoxidáveis ferrítico:

1. Analisar o tipo de óxido formado e como realizar a limpeza deste.
2. Realizar um estudo não somente na zona fundida, mas também na zona termicamente afetada.
3. Estudar a soldagem para estruturas mais espessas, comparando arames eletrodos ferríticos e austeníticos.
4. Realizar estudos com mais clareza sobre o efeito do gás de proteção na quantidade de precipitados e de martensita no cordão de solda.
5. Determinar a quantidade de nitrogênio presente no cordão de solda para uma análise detalhada da influência dos elementos intersticiais no cordão de solda.
6. Realizar testes mecânicos e de impacto para aprimorar o estudo.

CAPÍTULO VIII

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ASM SPECIALITY HANDBOOK, **Stainless Steels**, first edition, Materials Park, 1994.

ASM, **ASM Handbook**, ASM International, Welding, Brazing and Soldering, V. 6, USA, 1993, 1229p.

AWS - AMERICAN WELDING SOCIETY, **Welding Handbook**, Welding Processes, V. 1, 2 e 4, 8ª Edição, USA, 1991, 955p.

AWS - AMERICAN WELDING SOCIETY, **Welding Power Handbook**, USA, 1992, 208p.

BAIXO, C. E.; DUTRA, J. C., Processo MIG/MAG: Metodologia para Determinação de Relações Paramétricas Tensão/Corrente para Transferência Curto-Circuito, **XVII Encontro Nacional de Tecnologia de Soldagem**, Recife, p. 265-283, 1991.

BAIXO, C. E.; DUTRA, J. C. Influência da Taxa de Variação da Corrente na Regularidade em Soldagem MIG/MAG por Curto-Circuito, **XXI Encontro Nacional de Tecnologia de Soldagem**, Caxias do Sul, p. 903-920, 1995.

BALMFORTH, M. C.; LIPPOLD, J. C. A New Ferritic-Martensitic Stainless Steel Constitution Diagram. **Welding Journal**, V. 79, n. 12, p. 339s-345s, Dec. 2000

BALSAMO, P. S. S., **Influência dos teores de carbono, cromo e energia de soldagem sobre a resistência ao desgaste de ligas soldadas da classe Fé-Cr-C**, 1995, 139f, Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

BENNETT, B. Effects of Shielding Gas in Pulsed MIG Welding, **Joining & Materials**, p. 38-40, junho, 1989.

CEDRÉ, E. D.; MORALES, F. R.; RICO, M. T.; CRESPO, A. C.; PÉREZ, M. R.; MÉNDEZ, T. M. O.; MOREJÓN, J. A. P. Disminución del Nivel de Salpicadura en las Soldadura GMAW con la Utilización de Mezclas de $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ como Gas de Protección. **Soldagem Inspeção**, V. 11, N. 1, p. 34-38, Jan/Mar 2006.

CHIAVERINI, V. **Aços e Ferros Fundidos**, 7ª Edição, ABM, São Paulo, Brasil, 2002, 599 p.

DILLENBECK, V. R.; CASTAGNO, L. The Effects of Various Shielding Gases and Associated Mixtures in GMA Welding of Mild Steel, **Welding Journal**, pp 45-49 set. 1987.

DUTRA, J.C. Análise estatística de estabilidade de arco em soldagem MIG/MAG com transferência por curto-circuito. In: **Encontro Nacional de Tecnológica da Soldagem ABS**, Anais... São Paulo: ABS, V.1, p. 327-347, 1989.

ESAB, Disponível em: <www.esab.com.br>. Acesso em 08 ago. 2006.

FARIAS, J. P. Magnésio Metálico como Componente do Revestimento na Soldagem com Eletrodos ao C-Mn-Ni, 1993, Tese de Doutorado - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

FERRARESI, V. A.; FIGUEIREDO, K. M.; Ong, T. H. Metal Transfer in the Aluminum Gás Metal Arc Welding. **J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng.**, V. XXV, N. 3, p. 229-234, Jul./Sep 2003.

FONSECA, A. F.; AVELAR, R. C., MODENESI, P. J. Efeito da Variação nas Características de Arames na Soldagem GMAW por Curto-Circuito, **XXII Encontro Nacional de Tecnologia de Soldagem**, Blumenau-SC, p. 187-196, 1996.

GUPTA, S. R.; GUPTA, P. C.; REHFELDT, D. **Influence of Some Welding Parameters on Arc Ignition in MAG Welding**, p. 1345-1357, 1980.

GUPTA, S. R.; GUPTA, P. C.; REHFELDT, D. **Process Stability and Spatter Generation During Dip Transfer in MAG Welding**, p. 1-32, 1983.

GUPTA, S. R.; GUPTA, P. C.; REHFELDT, D. Application of Statistical Analysis for Process Stability Evaluation in GMA Welding, **IIW/IIS** doc N. 212-710-88, 1988.

HILTON, D. E.; NORRISH, J. Shielding Gases for Arc Welding, **Welding & Metal Fabrication**, p.189-196, may/june, 1988.

JÖNSSON, P. G., MURPHY, A. B. and SZEKELY, J. Oxygen Additions on Argon-Shielded Gas Metal Arc Welding Processes, Welding Research Supplement - **Welding Journal**, V. 74, N. 2, p. 48-s 58-s, fev. 1995.

KARLSSON, L., Aços Inoxidáveis Passado, Presente e Futuro, **Revista Solução**, p. 45-51, Abril, 2005.

KOTECKI, D. Welding Stainless Steel. **Advanced Materials & Processes** 155, n. 5, p. 41-44, May 1999.

LIAO, M. T., CHEN, W. J., The effect of shielding-gas compositions on the microstructure and mechanical properties of stainless steel weldments, **Materials Chemistry and Physics**, 55, p. 145-155, 1998.

LIMA; A. C.; FERRARESI, V. A. Estudo dos Modos de Transferência Metálica de um Arame Tubular Autoprotégido com Variações da Distância de Bico de Contato-Peça. **Soldagem Inspeção**, V. 11, N. 3, p. 164-172, Jul/Set 2006.

LIU, S.; SIEWERT, T. A.; LAN, H. G. Metal Transfer Mode in Gas Metal Arc Welding, **ASM International - Trends in Welding Research**, p. 475-479, 1989

LIU, S.; SIEWERT, T. A. Metal Transfer In Gas Metal Arc Welding: Droplet Rate, **Welding Research Supplement - Welding Journal**, p. 52s-58s, fev. 1989.

LUCAS, W. Process Stability in MIG Welding, **Second International Conference on Computer Technology in Welding**, Cambridge, p. 329-336, 1983.

LUCAS, W. Choosing a Shielding Gas - Part 2, **Welding & Metal Fabrication**, p 269 – 276, jul. 1992.

LULA, R. A.: **Stainless steel**. American Society for Metals, Ohio, USA, 1989.

LUNDQVIST, B., **Aspects of Gas-Metal Arc Welding of Stainless Steels**, in Swedish. Sandvik AB, Sandviken, Sweden, 1980.

LUZ, T. S.; FARIAS, J. P.; FERRARESI, V. A. Mapa de Transferência Metálica do Arame Tubular – Efeito do Teor de Oxigênio do Gás de Proteção, **Encontro Nacional de Tecnológica da Soldagem ABS**, 2005.

LYTTLE, K. A.; STAPON, F. G. Select the Best Shielding Gas Blend for the Application, **Welding Journal**, p 21 – 28, nov. 1990.

MANZ, A. F. Inductance vs. Slope Control for Gas Metal-Arc Power, **Welding Journal**, V. 48, N. 9, p. 707-712, 1969.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem – fundamentos e tecnologia**, Ed. UFMG, Belo Horizonte-MG, 2005.

MEYER, A. M.; TOIT, M. Interstitial Diffusion of Carbon and Nitrogen into Heat-Affected Zones of 11-12% Chromium Steel Welds. **Welding Journal**, Dec. 2001

MIRANDA, H. C., **Influência da Indutância na Soldagem MIG/MAG na Posição Sobrecabeça**, 1999, 170f, Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

MODENESI, P. J., MARQUES, P. V., DOS SANTOS, D. B., **Curso de Metalurgia da Soldagem**, UFMG, 1992.

MODENESI, P. J.; NIXON, J. H. Arc Instability Phenomena in GMA Welding, **Welding Research Supplement - Welding Journal**, p 219s - 224s, sep. 1994.

MODENESI, P.J., AVELAR, R.C. de. The Influence of Small Variations of Wire Characteristics on Gas Metal Arc Welding Process Stability, **Journal of Materials Processing Technology**, 86, p. 226-232, 1999.

MODENESI, P. J., **Soldabilidade dos Aços Inoxidáveis**, Volume 1, SENAI, Osasco, 2001.

MOHANDAS, T.; REDDY, G. M.; NAVEED, M. A comparative evaluation of gas tungsten and shielded metal arc welds of a ferrítico stainless steel, **Journal of Materials Processing Technology**, 94, p. 133-140, 1999.

NORRISH, J. **Advanced Welding Process**, IOP Publishing Ltd., Londres, 1992, 325p.

NÚCLEO INOX, INOX 2006, Disponível em: http://www.nucleoinox.org.br/new/estatisticas_mercado.asp Acesso em: 18 Jan. 2007.

PANIBRATTSEV, B. K. The Effect of the Rate at which the Short-Circuit Current Increases on the Transfer of Droplets into the Pool, **Automatic Welding**, V. 32, N. 1, p. 9-11, 1979.

PEREIRA, W. A., **Estudo da Formação Irregular do Cordão em Soldagem GMAW Pulsada com Chanfro Estreito**, 2000, 178 f, Tese de Doutorado - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

PIERRE, E. R.. Shielding Gases for Welding, **Welding Design & Fabrication**, p 63-65, mar. 1987.

PILLA - Corretora de Valores Mobiliários e Câmbio Ltda, **Relatório Setorial: Siderurgia**, Porto Alegre-RS, 2006, 3p. Relatório, Disponível em: www.pilla.com.br/pdf/siderurgia.pdf . Acesso em: 18 Jan 2007.

PIRES, R. F., FALLEIROS, N. A., **Corrosão intergranular de aço inoxidável ferrítico: avaliação através de método eletroquímico**, São Paulo, 2002.

REDDY, G. M.; MOHANDAS, T. Explorative studies on grain refinement of ferrítico stainless steel welds. **Journal of Materials Science Letters**, 20, p 721-723, 2001.

RENAUDOT, N.; et al. **430LNb – A new ferritic wire for automotive exhaust applications**. 2000, 8p.

RESENDE, A. D.; CAMPOS, H. F. D.; MODENESI, P. J.; BALSAMO, P. S. S. Caracterização de Arames de Aços Inoxidáveis Ferríticos e Autenítico para Soldagem MIG, **XXXII CONSOLDA – Congresso Nacional de Soldagem ABS**, 2006

SCHWARZ; B.; TESSIN, F. ESAB high-alloyed welding consumables for ferritic stainless steel exhaust systems, **Svetsaren The Esab Welding and Cutting Journal**, V. 58 N.2, p. 27, 2003.

SCOTTI, A.. **Process Modelling to Establish Control Algorithms for Automated GMAW**, **PhD Thesis, Cranfield Institute of Technology**, 273 p, UK, setembro de 1991.

SCOTTI, A., CLARK, D. E., KENNEY, K., Mapeamento da transferência metálica em MIG com aço inoxidável, **XXIV ENTS – CD Room/CT-30**, 1998.

SCOTTI, A. Mapping transfer modes for stainless steel gas metal arc welding. **Science and Technology of Welding and Joining**, v5, nº 4 2000.

SENCÁK, V. Method of stability evaluation of free flight arc process, **Zvaranie – Svarovani – Welding**, N. 3, p. 6-8, 1994.

SILVA; A. V.; MODENESI, P. J. Uma Avaliação da Transferência por Curtos-Circuitos na Soldagem GMAW, **XX Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem**, Contagem-MG, p. 593-607, 1994.

SIMEÃO, L. Luz no Túnel. **Revista do Instituto Nacional dos Distribuidores de Aço** Edição 67 - março/abril 2004. Disponível em: <www.inda.org.br/revista_materia.php?Codigo=28>. Acesso em: 15 Ago. 2006.

STENBACKA, N., PERSSON, K, **Shielding gases for gas-metal arc welding of stainless steels**, AGA AB Inovation, Suécia, 1992.

STRASSBURG F. W., **Schweissen nichtrostender Stähle**, DVS Band 67, DCS GmbH, Dusseldorf, FRG, 1976.

SUBAN, M; TUSEK, J. Dependence of the melting rate in MIG/MAG welding on the type of the shielding gas used. **Journal of Materials Processing Technology**, 185-192, 2001.

URMSTON, S. Quality - All Things to All Welders?, **Welding & Metal Fabrication**, p. 150-152, abril 1996.

VAIDYA, V. V. Shielding Gas Mixtures for Semiautomatic Welds. **Welding Journal**, V. 81 n. 9, S. 2002.

WAINER, E., BRANDI, S.D., MELLO, F.D.H. "**Soldagem: metalurgia e processos**", Editora Edgar Blucher, 1992.

XIE, M. **Process monitoring as a mean to ensure quality and to increase productivity in robotized GMA short arc welding**, Proceedings of the Int. Conf. on the Joining of Materials, Ed. The European Institute for the Joining of Materials, Denmark, p. 117-126, 1990.

ANEXO 1

TABELAS COMPLETAS.

Conforme indicado nos Capítulos IV e V neste anexo pode-se encontrar as Tabelas completas dos testes realizados.

Tabela A1. Testes realizados para a definição dos parâmetros de soldagem.

T.	U [V]	V _{ALIM} [m/min]	Gás	DBCP	KS	KD	I _M [A]	I _E [A]	U _M [V]	U _E [V]	Aspecto do Cordão
1	20	5,3	Ar	12	20	20	169	194	20,1	22,6	Regular/Pouco óxido
2	21	5,3	Ar	14	17	17	172	190	20,9	22,7	Regular/Pouco óxido
3	20	5,3	Ar	14	20	20	158	184	20,2	22,6	Regular/Pouco óxido
4	21	5,3	Ar	15	17	17	168	184	20,9	22,7	Regular/Pouco óxido
5	22	5,3	Ar	14	18	20	170	189	21,5	23,3	Regular/Pouco óxido
6	20	6,3	Ar	15	20	20	189	214	20,2	22,9	Regular/Pouco óxido
7	20	6,3	Ar	18	20	20	187	210	20,3	23,0	Irregular/Pouco óxido
8	20	6,3	Ar	18	30	20	169	201	22,1	24,4	Irregular/Pouco óxido
9	20	6,3	Ar	20	20	20	171	195	20,4	23,1	Irregular/Pouco óxido
11	24	4,3	Ar+2% O ₂	18	20	20	156	160	24,2	24,5	Irregular/Pouco óxido
12	20	5,3	Ar+2% O ₂	14	22	20	179	188	20,2	21,5	Regular/Pouco óxido
13	20	5,3	Ar+2% O ₂	14	25	20	178	189	20,5	21,9	Irregular/Pouco óxido
14	20	5,3	Ar+2% O ₂	15	20	20	175	183	19,9	21,3	Regular/Pouco óxido
15	20	5,3	Ar+2% O ₂	15	25	20	175	186	20,5	21,8	Irregular/Pouco óxido

T.	U [V]	V _{ALIM} [m/min]	Gás	DBCP	KS	KD	I _M [A]	I _E [A]	U _M [V]	U _E [V]	Aspecto do Cordão
16	20	5,3	Ar+2% O ₂	15	30	20	172	185	21	22,2	Irregular/Pouco óxido
17	20	5,3	Ar+2% O ₂	16	15	20	158	178	19,2	20,4	Regular/Pouco óxido
18	20	5,3	Ar+2% O ₂	16	18	20	176	182	20,6	21,9	Regular/Pouco óxido
19	20	5,3	Ar+2% O ₂	16	20	20	177	185	20,9	22,2	Regular/Pouco óxido
20	20	5,3	Ar+2% O ₂	18	15	20	162	171	19,2	20,5	Regular/Pouco óxido
21	20	5,3	Ar+2% O ₂	18	18	20	164	171	19,7	21	Regular/Pouco óxido
22	20	5,3	Ar+2% O ₂	18	20	20	163	171	19,9	21,2	Regular/Pouco óxido
23	20	6,3	Ar+2% O ₂	15	20	20	204	213	20,2	21,7	Irregular/Pouco óxido
24	20	6,3	Ar+2% O ₂	15	20	20	187	197	21,4	22,8	Irregular/Pouco óxido
25	20	6,3	Ar+2% O ₂	18	20	20	190	199	20,3	21,7	Irregular/Pouco óxido
26	20	6,3	Ar+2% O ₂	18	20	20	186	193	20,3	21,7	Irregular/Pouco óxido
27	24	6,3	Ar+2% O ₂	18	20	20	198	202	24,3	25,1	Irregular/Pouco óxido
28	20	6,3	Ar+2% O ₂	18	25	20	191	200	20,9	22,3	Irregular/Pouco óxido
29	20	6,3	Ar+2% O ₂	18	30	20	187	198	21,4	22,7	Irregular/Pouco óxido
30	20	6,3	Ar+2% O ₂	18	30	20	187	197	21,4	22,8	Irregular/Pouco óxido
31	20	6,3	Ar+2% O ₂	20	20	20	181	190	20,3	21,7	Irregular/Pouco óxido
32	20	6,3	Ar+2% O ₂	20	20	20	172	183	20,3	21,8	Irregular/Pouco óxido
33	20	4,3	Ar+4% O ₂	18	20	20	151	158	20,3	21,4	Irregular/Médio óxido
34	24	4,3	Ar+4% O ₂	18	20	20	155	155	24,2	24,4	Irregular/Médio óxido
35	20	5,3	Ar+4% O ₂	18	18	20	174	180	19,6	21,7	Irregular/Médio óxido
36	20	5,3	Ar+4% O ₂	18	19	20	174	180	19,2	21,2	Regular/Médio óxido
37	20	5,3	Ar+4% O ₂	18	20	20	171	178	19,9	21,2	Regular/Médio óxido
38	20	5,3	Ar+4% O ₂	18	22	20	171	181	20,5	21,5	Regular/Médio óxido
39	20	6,3	Ar+4% O ₂	15	20	20	200	209	20,3	21,7	Irregular/Médio óxido
40	20	6,3	Ar+4% O ₂	18	20	20	196	201	20,3	21,7	Irregular/Médio óxido
41	24	6,3	Ar+4% O ₂	18	20	20	198	200	24,3	24,9	Irregular/Médio óxido
42	20	6,3	Ar+4% O ₂	18	30	20	200	214	21,3	22,7	Irregular/Médio óxido

T.	U [V]	V _{ALIM} [m/min]	Gás	DBCP	KS	KD	I _M [A]	I _E [A]	U _M [V]	U _E [V]	Aspecto do Cordão
43	20	5,3	Ar + 2% CO ₂	16	15	20	169	196	19,4	20,9	Regular/Pouco óxido
44	20	5,3	Ar + 2% CO ₂	16	20	18	171	182	19,9	21,6	Regular/Pouco óxido
45	20	5,3	Ar + 2% CO ₂	16	20	20	167	181	20,2	21,8	Regular/Pouco óxido
46	20	5,3	Ar + 2% CO ₂	16	25	20	168	181	20,9	22,4	Irregular/Pouco óxido
47	20	5,3	Ar + 2% CO ₂	16	25	25	170	182	20,3	21,7	Irregular/Pouco óxido
48	20	5,3	Ar + 2% CO ₂	18	14	20	165	183	19,1	20,9	Regular/Pouco óxido
49	20	5,3	Ar + 2% CO ₂	18	15	15	162	176	20,2	21,9	Regular/Pouco óxido
50	20	5,3	Ar + 2% CO ₂	18	15	18	167	177	19,7	21,4	Regular/Pouco óxido
51	20	5,3	Ar + 2% CO ₂	18	15	20	166	180	19,3	21,1	Regular/Pouco óxido
52	20	5,3	Ar + 2% CO ₂	18	18	20	165	177	19,9	21,6	Regular/Pouco óxido
53	20	5,3	Ar + 2% CO ₂	18	20	20	163	174	20,3	21,8	Regular/Pouco óxido
54	20	6,3	Ar + 2% CO ₂	15	20	20	179	214	20,1	21,4	Irregular/Pouco óxido
55	20	6,3	Ar + 2% CO ₂	18	20	20	187	207	20,2	21,8	Irregular/Pouco óxido
56	20	6,3	Ar + 2% CO ₂	18	30	20	184	206	21,2	22,6	Irregular/Pouco óxido
57	20	6,3	Ar + 2% CO ₂	20	25	20	133	174	21,4	22,6	Irregular/Pouco óxido
58	20	5,3	Ar + 4% CO ₂	15	20	20	178	191	20,2	21,9	Regular/Médio óxido
59	20	5,3	Ar + 4% CO ₂	18	15	20	169	184	19,3	21,1	Regular/Médio óxido
60	20	5,3	Ar + 4% CO ₂	18	18	20	168	180	19,9	21,6	Regular/Médio óxido
61	20	5,3	Ar + 4% CO ₂	18	20	20	166	178	20,3	21,9	Regular/Médio óxido
62	20	5,3	Ar + 4% CO ₂	18	22	20	171	179	20,2	21,6	Regular/Médio óxido
63	20	5,3	Ar + 4% CO ₂	18	23	20	168	177	20,3	21,8	Irregular/Médio óxido
64	20	5,3	Ar + 4% CO ₂	18	25	20	169	179	20,6	22,1	Irregular/Médio óxido
65	20	5,3	Ar + 4% CO ₂	18	30	20	165	177	21,1	22,4	Irregular/Médio óxido
66	20	6,3	Ar + 4% CO ₂	15	20	20	201	217	20,2	21,9	Irregular/Médio óxido
67	20	6,3	Ar + 4% CO ₂	18	18	20	190	204	19,8	21,7	Irregular/Médio óxido
68	20	6,3	Ar + 4% CO ₂	18	20	20	178	207	21,4	24,0	Irregular/Médio óxido
69	20	6,3	Ar + 4% CO ₂	18	25	20	190	221	20,6	22,1	Irregular/Médio óxido

T.	U [V]	V _{ALIM} [m/min]	Gás	DBCP	KS	KD	I _M [A]	I _E [A]	U _M [V]	U _E [V]	Aspecto do Cordão
70	20	6,3	Ar + 4% CO ₂	18	30	20	204	218	21,6	23,2	Irregular/Médio óxido
71	20	6,3	Ar + 4% CO ₂	20	20	20	181	198	20,2	21,9	Irregular/Médio óxido
72	20	4,3	Ar + 8% CO ₂	18	20	20	148	156	20,3	21,6	Irregular/Alto óxido
73	24	4,3	Ar + 8% CO ₂	18	20	20	150	155	24,3	24,8	Irregular/Alto óxido
74	20	5,3	Ar + 8% CO ₂	18	15	20	170	184	19,3	21	Irregular/Alto óxido
75	20	5,3	Ar + 8% CO ₂	18	18	20	168	188	19,9	21,4	Regular/Alto óxido
76	20	5,3	Ar + 8% CO ₂	18	20	20	154	182	20,2	21,5	Regular/Alto óxido
77	20	5,3	Ar + 8% CO ₂	18	23	20	170	177	20,3	21,8	Irregular/Alto óxido
78	20	5,3	Ar + 8% CO ₂	18	24	20	170	178	20,5	22	Irregular/Alto óxido
79	20	5,3	Ar + 8% CO ₂	18	25	20	169	177	20,6	22	Irregular/Alto óxido
80	20	6,3	Ar + 8% CO ₂	18	20	20	195	204	20,3	22,6	Irregular/Alto óxido
81	24	6,3	Ar + 8% CO ₂	18	20	20	196	201	24,3	25,2	Irregular/Alto óxido

Obs.: V_{SOLD}=20 cm/min e Vazão do gás=14 l/min

Onde:

- V_{ALIM} é a velocidade de alimentação; K_S é a indutância de subida; K_D é a indutância de descida; I_M é a corrente média; I_E é a corrente eficaz; U_M é a tensão média; U_E é a tensão eficaz.

Tabela A2. Resultados dos ensaios com variação na DBCP

T.	Gás	DBCP [mm]	I _M [A]	I _M (Média) [A]	Desvio I _M	I _E [A]	U _M [V]	U _E [V]	f _{CC} [Hz]	f _{CC} (Média) [Hz]	Desvio f _{CC}
1	Ar	12	169	169,5	0,7	194	20,1	22,6	169,6	160,2	13,3
2			170			195	20,1	22,4	150,8		
3		14	158	157,5	0,7	184	20,2	22,6	165,6	152,9	17,9
4			157			181	20,1	22,3	140,2		
5		16	149	150,0	1,0	174	20,1	22,6	179,6	171,1	10,7
6			151			176	20,2	22,4	174,6		
7			150			174	20,2	22,4	159,0		
8		18	149	150,0	1,0	170	20,0	21,8	171,2	149,9	18,8
9			150			170	20,0	21,7	142,4		
10			151			169	19,9	21,4	136,0		

T.	Gás	DBCP [mm]	I _M [A]	I _M (Média) [A]	Desvio I _M	I _E [A]	U _M [V]	U _E [V]	f _{cc} [Hz]	f _{cc} (Média) [HZ]	Desvio f _{cc}
11	Ar + 2%O ₂	12	178	180	2,0	189	19,9	21,2	191,2	177,5	16,4
12			180			192	19,9	21,3	159,4		
13			182			191	19,9	21,3	182,0		
14		14	168	168,7	0,6	177	19,9	21,1	181,2	163,9	15,6
15			169			181	19,9	21,2	150,8		
16			169			178	19,9	21,2	159,6		
17		16	162	160	1,7	172	19,9	21,3	176,6	168,7	9,9
18			159			170	19,9	21,2	171,8		
19			159			171	19,9	21,2	157,6		
20		18	158	156	2,0	166	19,9	21,2	160,4	169,2	9,3
21			156			165	19,9	21,2	179,0		
22			154			163	19,9	21,2	168,2		
23	Ar + 4%O ₂	12	190	189	1,4	196	19,9	21,3	194,0	193,7	2,3
24			190			195	19,9	21,3	194,0		
25			189			195	19,9	21,3	190,6		
26			187			193	19,9	21,4	196,2		
27		14	184	184,3	0,6	189	20,0	21,3	177,4	185,6	8,3
28			184			191	19,9	21,3	185,4		
29			185			190	19,9	21,3	194,0		
30		16	172	173,5	2,4	179	19,9	21,2	170,0	184,2	9,8
31			175			181	19,9	21,3	192,4		
32			171			178	19,9	21,3	188,0		
33			176			183	19,9	21,3	186,4		
34		18	165	165,7	0,6	172	19,9	21,3	189,4	193,3	8,7
35			166			174	19,9	21,3	187,2		
36			166			173	19,9	21,3	203,2		
37	Ar + 2%CO ₂	12	174	171,8	1,7	184	19,9	21,5	189,6	165,7	16,3
38			171			187	19,9	21,5	161,8		
39			172			188	19,9	21,5	157,6		
40			170			188	19,9	21,5	153,8		
41		14	167	165,0	1,7	185	19,9	21,4	142,0	148,5	8,2
42			164			179	19,9	21,5	145,8		
43			164			179	19,9	21,4	157,6		
44		16	159	158,5	1,7	175	19,9	21,6	161,8	157,4	4,7
45			160			176	19,9	21,5	159,6		
46			156			171	19,9	21,3	151,0		
47			159			174	19,9	21,3	157,0		
48		18	154	150,5	2,9	170	19,9	21,3	149,2	151,9	4,5
49			151			166	19,9	21,3	157,6		
50			147			163	19,9	21,3	147,6		
51			150			164	19,9	21,3	153,2		

T.	Gás	DBCP [mm]	I _M [A]	I _M (Média) [A]	Desvio I _M	I _E [A]	U _M [V]	U _E [V]	f _{CC} [Hz]	f _{CC} (Média) [HZ]	Desvio f _{CC}
52	Ar + 4%CO ₂	12	182	179,8	2,2	189	19,9	21,4	209,6	203,2	5,7
53			181			188	19,9	21,4	197,2		
54			177			186	19,9	21,4	199,8		
55			179			186	19,9	21,4	206,0		
56		14	180	178,3	1,7	189	19,9	21,5	193,0	197,8	6,9
57			176			185	19,9	21,4	199,4		
58			179			187	19,9	21,5	206,8		
59			178			188	19,9	21,5	191,8		
60		16	166	164,3	1,5	175	19,9	21,4	212,4	193,9	17,3
61			164			173	19,9	21,3	191,2		
62			163			174	19,9	21,3	178,2		
63		18	160	161,5	2,4	168	19,9	21,4	207,4	204,4	4,0
64			164			173	19,9	21,4	207,6		
65			159			168	19,9	21,3	199,2		
66			163			173	19,9	21,3	203,2		
67	Ar + 8%CO ₂	12	186	185,5	1,0	193	19,9	21,5	198,0	201,4	3,8
68			186			192	19,9	21,5	205,2		
69			184			192	19,9	21,5	198,2		
70			186			192	19,9	21,5	204,0		
71		14	180	178,5	1,7	186	19,9	21,5	218,8	216,5	6,2
72			177			184	19,9	21,5	207,6		
73			180			186	19,9	21,5	221,8		
74			177			185	19,9	21,5	217,8		
75		16	176	175,0	2,7	184	19,9	21,5	185,8	219,0	24,0
76			171			177	19,9	21,5	220,4		
77			176			182	19,9	21,5	242,4		
78			177			183	19,9	21,5	227,4		
79		18	169	167,7	1,5	176	19,9	21,5	216,2	213,5	5,9
80			166			174	19,9	21,5	206,8		
81			168			176	19,9	21,5	217,6		

Onde:

- VALIM é a velocidade de alimentação;
- K_S é a indutância de subida;
- K_D é a indutância de descida;
- I_M é a corrente média;
- I_E é a corrente eficaz;
- U_M é a tensão média;
- U_E é a tensão eficaz;
- f_{CC} é a frequência de curto-circuito.

Tabela A.3. Medições de penetração nos cordões de solda do arame ER430

Teste	Gás de Proteção	Pe 1 [mm]	Pe 2 [mm]	Pe 3 [mm]	Pe Média [mm]	Desvio Penetração
1	Ar	2,735	1,423	1,575	1,911	0,718
2	Ar+2%O ₂	3,292	2,757	2,676	2,908	0,335
3	Ar+4%O ₂	2,820	3,032	2,678	2,843	0,178
4	Ar+2%CO ₂	2,909	2,761	3,435	3,035	0,354
5	Ar+4%CO ₂	2,554	3,232	3,222	3,003	0,389
6	Ar+8%CO ₂	2,944	3,147	2,815	2,969	0,167

Obs.: Pe é a penetração

Tabela A.4. Medições de reforço nos cordões de solda do arame ER430

Teste	Gás de Proteção	Re 1 [mm]	Re 2 [mm]	Re 3 [mm]	Re Média [mm]	Desvio Reforço
1	Ar	3,391	3,239	3,392	3,341	0,088
2	Ar+2%O ₂	3,964	3,905	3,671	3,847	0,155
3	Ar+4%O ₂	3,824	3,681	3,454	3,653	0,187
4	Ar+2%CO ₂	4,027	3,708	4,141	3,959	0,224
5	Ar+4%CO ₂	3,768	4,022	4,091	3,960	0,170
6	Ar+8%CO ₂	4,036	4,115	3,687	3,946	0,228

Obs.: Re é reforço

Tabela A.5. Medições de largura nos cordões de solda do arame ER430

Teste	Gás de Proteção	L 1 [mm]	L 2 [mm]	L 3 [mm]	Largura Média [mm]	Desvio Largura
1	Ar	8,931	11,106	11,812	10,616	1,502
2	Ar+2%O ₂	8,799	8,636	9,636	9,024	0,537
3	Ar+4%O ₂	9,340	9,512	9,607	9,486	0,135
4	Ar+2%CO ₂	9,029	9,142	9,386	9,186	0,182
5	Ar+4%CO ₂	8,698	8,936	9,137	8,924	0,220
6	Ar+8%CO ₂	9,079	9,529	9,504	9,371	0,253

Obs. L é Largura

Tabela A.6. Medições de penetração nos cordões de solda do arame ER430Ti

Teste	Gás de Proteção	Pe 1 [mm]	Pe 2 [mm]	Pe 3 [mm]	Pe Média [mm]	Desvio Penetração
1	Ar	2,464	1,869	2,963	2,432	0,548
2	Ar+2%O ₂	2,798	3,241	3,118	3,052	0,229
3	Ar+4%O ₂	3,625	2,634	3,123	3,127	0,496
4	Ar+2%CO ₂	1,810	3,329	2,927	2,689	0,787
5	Ar+4%CO ₂	2,701	2,788	2,492	2,660	0,152
6	Ar+8%CO ₂	2,727	2,340	1,986	2,351	0,371

Obs.: Pe é a penetração

Tabela A.7. Medições de reforço nos cordões de solda do arame ER430Ti

Teste	Gás de Proteção	Re 1 [mm]	Re 2 [mm]	Re 3 [mm]	Re Média [mm]	Desvio Reforço
1	Ar	4,266	4,493	4,864	4,541	0,302
2	Ar+2%O ₂	4,446	4,326	4,390	4,387	0,060
3	Ar+4%O ₂	4,351	4,549	4,585	4,495	0,126
4	Ar+2%CO ₂	4,588	4,411	4,325	4,441	0,134
5	Ar+4%CO ₂	4,350	3,909	3,865	4,041	0,268
6	Ar+8%CO ₂	3,994	4,169	3,960	4,041	0,112

Obs.: Re é reforço

Tabela A.8. Medições de largura nos cordões de solda do arame ER430Ti

Teste	Gás de Proteção	L 1 [mm]	L 2 [mm]	L 3 [mm]	L Média [mm]	Desvio Largura
1	Ar	7,878	8,463	7,132	7,824	0,667
2	Ar+2%O ₂	7,556	7,452	8,077	7,695	0,335
3	Ar+4%O ₂	8,074	8,018	7,502	7,865	0,315
4	Ar+2%CO ₂	7,147	7,901	7,155	7,401	0,433
5	Ar+4%CO ₂	8,497	9,280	8,851	8,876	0,392
6	Ar+8%CO ₂	8,305	8,801	8,878	8,661	0,311

Obs. L é Largura

Tabela A.9. Medições de penetração nos cordões de solda do arame ER430LNb

Teste	Gás de Proteção	Pe 1 [mm]	Pe 2 [mm]	Pe 3 [mm]	Pe Média [mm]	Desvio Penetração
1	Ar	3,057	3,175	3,348	3,193	0,146
2	Ar+2%O ₂	2,673	4,005	2,459	3,046	0,838
3	Ar+4%O ₂	2,542	2,401	2,335	2,426	0,106
4	Ar+2%CO ₂	2,433	3,448	3,098	2,993	0,516
5	Ar+4%CO ₂	2,933	3,396	3,618	3,316	0,349
6	Ar+8%CO ₂	2,888	2,759	3,117	2,921	0,181

Obs.: Pe é a penetração

Tabela A.10. Medições de reforço nos cordões de solda do arame ER430LNb

Teste	Gás de Proteção	Re 1 [mm]	Re 2 [mm]	Re 3 [mm]	Re Média [mm]	Desvio Reforço
1	Ar	4,204	4,143	4,076	4,141	0,064
2	Ar+2%O ₂	3,943	4,021	4,240	4,068	0,154
3	Ar+4%O ₂	3,605	3,677	3,963	3,748	0,189
4	Ar+2%CO ₂	4,146	4,207	3,998	4,117	0,107
5	Ar+4%CO ₂	4,107	4,187	4,226	4,173	0,061
6	Ar+8%CO ₂	3,950	4,141	4,951	4,347	0,531

Obs.: Re é reforço

Tabela A.11. Medições de largura nos cordões de solda do arame ER430LNb

Teste	Gás de Proteção	L 1 [mm]	L 2 [mm]	L 3 [mm]	L Média [mm]	Desvio Largura
1	Ar	8,465	8,045	9,205	8,572	0,587
2	Ar+2%O ₂	9,901	9,021	9,337	9,420	0,446
3	Ar+4%O ₂	10,222	9,130	9,155	9,502	0,623
4	Ar+2%CO ₂	9,090	9,428	9,467	9,328	0,207
5	Ar+4%CO ₂	8,996	8,935	9,359	9,097	0,229
6	Ar+8%CO ₂	9,069	9,707	9,791	9,522	0,395

Obs. L é Largura

Tabela A.12. Tabela de medidas de dureza na matriz ferrítica

Arame	Gás	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Média HV α	Média Desvio α
ER430	Ar	181,93	181,02	186,81	183,253	3,114
	Ar+2%O ₂	161,97	161,97	160,63	161,523	0,774
	Ar+4%O ₂	179,45	161,3	174,85	171,867	9,436
	Ar+2%CO ₂	131,25	189,33	183,54	168,040	31,992
	Ar+4%CO ₂	182,62	140,06	174,85	165,843	22,664
	Ar+8%CO ₂	172,61	160,63	167,57	166,937	6,015
ER430 Ti	Ar	216,81	208,74	205,83	210,460	5,688
	Ar+2%O ₂	235,76	229,99	213,58	226,443	11,507
	Ar+4%O ₂	203,78	159,32	209,72	190,940	27,544
	Ar+2%CO ₂	211,57	209,72	210,71	210,667	0,926
	Ar+4%CO ₂	208,74	216,81	154,75	193,433	33,743
	Ar+8%CO ₂	209,58	206,79	203,92	206,763	2,830
ER430 LNb	Ar	174,85	174,1	179,45	176,133	2,897
	Ar+2%O ₂	184,35	195,4	188,49	189,413	5,583
	Ar+4%O ₂	190,3	178,67	181,82	183,597	6,015
	Ar+2%CO ₂	176,47	179,45	181,13	179,017	2,360
	Ar+4%CO ₂	183,54	191,04	209,72	194,767	13,482
	Ar+8%CO ₂	189,33	191,04	194,64	191,670	2,710

Tabela A.13. Tabela de medidas de dureza na martensita

Arame	Gás	Medida 1	Medida 2	Medida 3	HV Martensita	Desvio Martensita
ER430	Ar	575,96	708,96	645,21	643,377	66,519
	Ar+2%O ₂	585,06	696,84	576,6	619,500	67,112
	Ar+4%O ₂	775,57	708,96	768,59	751,040	36,609
	Ar+2%CO ₂	481,06	645,21	525,59	550,620	84,889
	Ar+4%CO ₂	696,84	804,44	614,38	705,220	95,307
	Ar+8%CO ₂	614,38	667,87	782,64	688,297	85,970
ER430 Ti	Ar	-	-	-	-	-
	Ar+2%O ₂	-	-	-	-	-
	Ar+4%O ₂	351,94	306,81	268,6	309,117	41,718
	Ar+2%CO ₂	-	-	-	-	-
	Ar+4%CO ₂	291,67	268,6	291,67	283,980	13,319
	Ar+8%CO ₂	402,14	394,38	337,09	377,870	35,529
ER430 LNb	Ar	-	-	-	-	-
	Ar+2%O ₂	-	-	-	-	-
	Ar+4%O ₂	-	-	-	-	-
	Ar+2%CO ₂	-	-	-	-	-
	Ar+4%CO ₂	-	-	-	-	-
	Ar+8%CO ₂	-	-	-	-	-