

# EFEITO DA VARIAÇÃO DA CORRENTE ELÉTRICA DE SOLDAGEM NA MICROESTRUTURA E NA MICRODUREZA DE LIGAS FE-CR-MO COM DIFERENTES TEORES DE MOLIBDÊNIO

**Natasha Lopes Gomes**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE). campus de Maracanaú.  
natashalopesgomes@gmail.com

**Nathália Cândido Figueiredo**

Universidade Federal do Ceará. Campus Universitário do Pici,  
nathaliacfigueiredo@gmail.com

**Fernando Henrique Costa Saboia**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE). Campus de Maracanaú  
fernandocosta.ifce@gmail.com

**Rodrigo Freitas Guimarães**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE). Campus de Maracanaú  
rodrigofg@ifce.edu.br

**Hamilton Ferreira Gomes de Abreu**

Universidade Federal do Ceará (UFC). Campus Universitário do Pici,  
hamilton@ufc.br

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito da variação da corrente elétrica durante a soldagem de três diferentes ligas de aço Fe-Cr-Mo, empregando o processo TIG sem adição de material, e identificar quais mudanças podem ocorrer na microestrutura dessas ligas quando submetidas a dois diferentes parâmetros de soldagem aqui estudados. Amostras das ligas foram utilizadas na condição solubilizada para a realização da soldagem na posição plana, com eletrodo toriado, corrente contínua eletrodo negativo, em dois diferentes níveis de energia, variando os valores de corrente. Após a soldagem as ligas foram submetidas à caracterização microestrutural através de microscopia ótica e medição de dureza Vickers para determinar qual das ligas apresentou maior dureza de acordo com os parâmetros estabelecidos. Também foi realizada a análise de variância do perfil de microdureza da ZAC das ligas a fim de verificar possíveis mudanças que podem ocorrer devido à variação dos parâmetros de soldagem. A análise

das microestruturas revelou que uma das ligas apresentou a formação de martensita. A energia de soldagem com menor corrente gerou uma zona fundida com menor área para as três ligas. Contudo, as soldagens realizadas não apresentaram mudanças prejudiciais na microestrutura e na dureza das ligas estudadas.

**Palavras-chave:** Molibdênio. Corrente de soldagem. Microdureza Vickers.

## ABSTRACT

*This study aims at evaluating the effect of variation of the current during the welding of three different steel alloys Fe-Cr-Mo, using the TIG process without adding material, and identifying what changes may occur in the microstructure of these alloys when subjected to two different welding parameters studied here. Samples of the alloys were used in the annealed condition to perform the welding in the flat position, with thorium electrode, direct current negative electrode in two different energy levels, varying the current values. After welding, the alloys were subjected to microstructural characterization by optical microscopy and Vickers hardness to determine which was harder in accordance to the established parameters. The analysis of variance of the microhardness profile of the alloys heat affected zone was also made, in order to verify possible changes which might take place due to the variation of the welding parameters. The microstructure analysis revealed that one of the alloys showed the formation of martensite. The welding power with less current generated a melted zone with smaller area for the three alloys. However, the welds performed showed no harmful changes in the microstructure and hardness of the alloys studied.*

**Keywords:** Molybdenum. Welding current. Vickers microhardness.

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria do petróleo no Brasil vem enfrentando diversos problemas associados à deterioração de alguns de seus equipamentos durante as etapas de extração, transporte e processamento. Dentre os quais destacam-se os tubos dos fornos das torres de destilação e os dutos de transporte que, devido à baixa qualidade do petróleo extraído, têm sofrido com problemas de corrosão. Este petróleo de baixa qualidade é caracterizado pela presença

de impurezas e elevada acidez naftênica (GUIMARÃES, 2011).

Os materiais empregados na fabricação desses equipamentos são ligas de aço Cr-Mo, geralmente contendo 1-2% de Mo e 2,5-11% de Cr, que, apesar de oferecerem boa resistência à corrosão por sulfetos e a altas temperaturas, elas têm apresentado problemas devido à corrosão naftênica na presença de fluidos com altas velocidades e em regimes turbulentos, o que exige na maioria das vezes a aplicação de técnicas de recuperação desses equipamentos desgastados, causando o aumento dos custos de manutenção e de produção.

Uma possível estratégia para enfrentar esse problema seria o uso de metalurgia especial, tendo como ação a melhoria das propriedades destes aços pela adição de elementos de liga. Dentre esses elementos destaca-se o molibdênio.

Conforme verificado por Cunha (2006), Souza (1989), Laffler (1989) e Fontana (1986), o Mo é responsável pelo aumento da resistência do material quando submetido a atmosferas ácidas não oxidantes, à corrosão localizada e à resistência a altas temperaturas. Wu et al (2004) concluíram que a adição de Mo até 7% em peso nos aços inoxidáveis austeníticos melhora sensivelmente a resistência à corrosão naftênica devido a melhorias na microestrutura e na dureza do material.

Com base nessas importantes informações sobre o efeito do molibdênio, decidiu-se por confeccionar ligas experimentais com elevados teores de molibdênio para serem empregadas na indústria de petróleo e gás.

Um maior teor de Mo proporciona uma maior resistência mecânica e aumenta a dureza do aço, no entanto pode favorecer a formação de precipitados do tipo sigma ( $\sigma$ ), chi ( $\chi$ ) e mu ( $\mu$ ), prejudicando a soldabilidade dos aços, devido à perda de ductilidade (CUNHA, 2006; LAFFLER, 1999; WU et al, 2004).

O aço ferrítico, por ser monofásico e devido ao seu tipo de reticulado, possui uma mobilidade atômica que favorece uma maior velocidade de crescimento de grão. Segundo Pickering (1976) e Ohashi (1980), esse crescimento de grão favorece a fragilização e a queda na tenacidade das regiões

soldadas, responsável pela maior dificuldade na soldagem de aços ferríticos.

Uma vez que maiores teores de Mo podem prejudicar a soldagem das ligas, comprometendo sua aplicação, torna-se fundamental uma criteriosa avaliação do efeito da soldagem em ligas com maiores teores de Mo. Diante desse contexto, torna-se necessário determinar o efeito dos parâmetros de soldagem, principalmente da corrente, e como eles influenciam na microestrutura dessas ligas, tendo em vista a submissão destes aços ao processo de soldagem quando empregadas na indústria petroquímica.

O objetivo deste trabalho é avaliar o comportamento da corrente na soldagem de três diferentes ligas analisando suas respectivas microestruturas e microdurezas para dois diferentes parâmetros de soldagem.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Tendo como base a melhoria das propriedades dos aços empregados atualmente, foram confeccionadas três ligas experimentais contendo mesmo teor de Cr e diferentes teores de Mo, as quais foram denominadas de Liga 1, Liga 2 e Liga 3, conforme pode ser observado na Tabela 1.

**Tabela 1** - Composição química (% em massa) das ligas avaliadas

Liga	C	Mn	Si	Cr	Mo
1	0,030	0,37	0,34	9,5	5,3
2	0,031	0,38	0,37	9,5	7,3
3	0,041	0,41	0,45	9,6	9,3

Fonte: Guimarães, 2011.

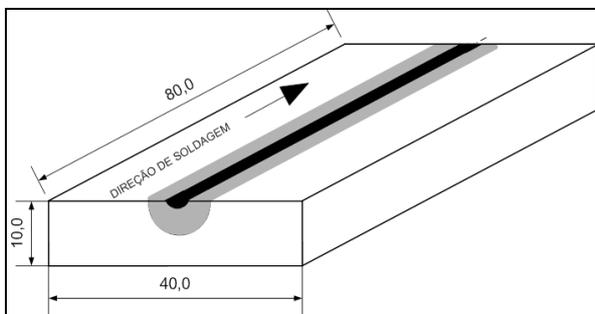
Inicialmente, as ligas foram forjadas e laminadas a quente a uma temperatura de 1000°C e submetidas ao processo de solubilização em um forno tipo mufla a temperaturas de 880°C para a Liga 1, 970°C para a Liga 2 e 1040°C para a Liga 3, mantidas nesta temperatura por um período de 15 minutos, seguido de resfriamento rápido em água até a temperatura ambiente. As temperaturas de solubilização das ligas foram obtidas através de estudos termodinâmicos, utilizando como ferramenta o software "Thermocalc".

Foi realizada a caracterização microestrutural da Liga 1, da Liga 2 e da Liga 3 na condição solubilizada, através de microscopia óptica, utilizando o sistema de aquisição Image Pro Plus. Para revelar a microestrutura foi utilizado o reagente Vilella (VOORT, 1992). Em seguida,

foram realizados ensaios de microdureza Vickers com um microdurômetro de bancada.

Posteriormente, foi realizada a soldagem autógena, empregando o processo TIG automático, utilizando uma fonte eletrônica multiprocesso para soldagem TIG com corrente máxima de 450 A. As soldagens na posição plana foram realizadas com eletrodo, não consumível, toriado de 2,4 mm de diâmetro em corrente contínua eletrodo negativo (CCEN), utilizando argônio (Ar) como gás de proteção a uma vazão de gás de 14 L/min, sobre chapas com dimensões de 10,00 mm x 40,00 mm x 80,00 mm, como mostra o Desenho 1.

**Desenho 1** - Geometria da junta soldada sem adição de material



Fonte: Guimarães, 2011.

Na deposição dos cordões de solda foram empregados dois níveis diferentes de corrente de soldagem, resultando em duas diferentes condições de energia, como mostra a Tabela 2. Buscou-se manter a tensão constante (17 V) regulando a distância da ponta do eletrodo para a peça em 4 mm.

**Tabela 1** – Parâmetros de soldagem empregados

Condição	Tensão (V)	Corrente (A)	Velocidade de soldagem (cm/min)	Energia (kJ/cm)
P1	17	150	25,0	6,0
P2	17	250	25,0	10,0

Fonte: Guimarães, 2011.

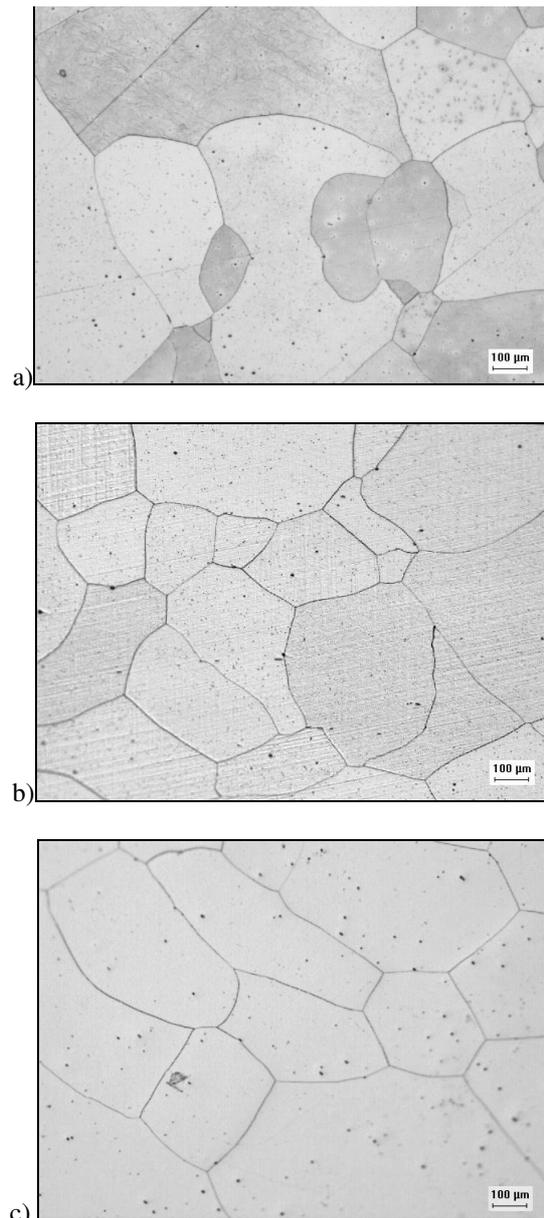
As amostras soldadas passaram pela caracterização das regiões da solda e do metal de base através de exames metalográficos, por microscopia ótica, para verificar o efeito da energia de soldagem na microestrutura das mesmas. Foram ainda realizados ensaios de dureza Vickers segundo a NBR 6672/81 (Associação Brasileira de Normas Técnicas) visando levantar um perfil de microdureza das ligas estudadas. A microdureza das ligas foi

medida a partir da zona fundida até o metal de base.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Caracterização microestrutural das ligas submetidas à solubilização

A Figura 1 apresenta a microscopia ótica da seção transversal das ligas 1, 2 e 3, após a solubilização.



**Figura 1** – Microscopia ótica dos três tipos de ligas após a solubilização. Aumento 100X. a) Liga 1. b) Liga 2. c) Liga 3

Fonte: Guimarães, 2011.

Analisando as microestruturas mostradas na Figura 1 pode-se verificar um comportamento característico de ligas ferríticas, assim como a presença de alguns precipitados, provavelmente formados devido à presença de carbono nestas ligas. Outra característica que pode ser visivelmente notada nas ligas 1, 2 e 3 é o tamanho de grão, ASTM 1,5, ASTM 1,5 e ASTM 1,4, respectivamente, sendo assim considerados grãos grandes. Segundo Pickering (1976) e Ohashi (1980), o aumento do tamanho de grão é um dos fatores responsáveis pela perda de ductilidade na solda de ligas ferríticas.

Os valores de microdureza Vickers da Liga 1, da Liga 2 e da Liga 3 solubilizadas foram de 196 HV, 232 HV e 297 HV, respectivamente. O valor de dureza aumenta com o aumento do teor de Mo, confirmando o apresentado na literatura (SOUZA, 1989; EDSTRÖM, 1964; PICKERING, 1976).

### 3.2 Ensaios de soldagem

Na Tabela 3 encontram-se os valores resultantes da aquisição durante a realização da soldagem autógena para as ligas 1, 2 e 3.

Como pode ser verificado, foi possível manter a corrente em valores bem próximos aos que são apresentados na Tabela 2, independente do parâmetro ou da liga soldada.

A exceção do parâmetro P2 para a Liga 1 e para a Liga 2, a tensão ficou abaixo do que era esperado (17 V), o que refletiu na alteração da energia de soldagem do parâmetro P1 para ambas as ligas estudadas, que ficou abaixo de 6 kJ/cm. Contudo, como pode ser observado na Tabela 3, os valores de energia para o parâmetro P1 ficaram em torno de 5 kJ/cm, não prejudicando os experimentos.

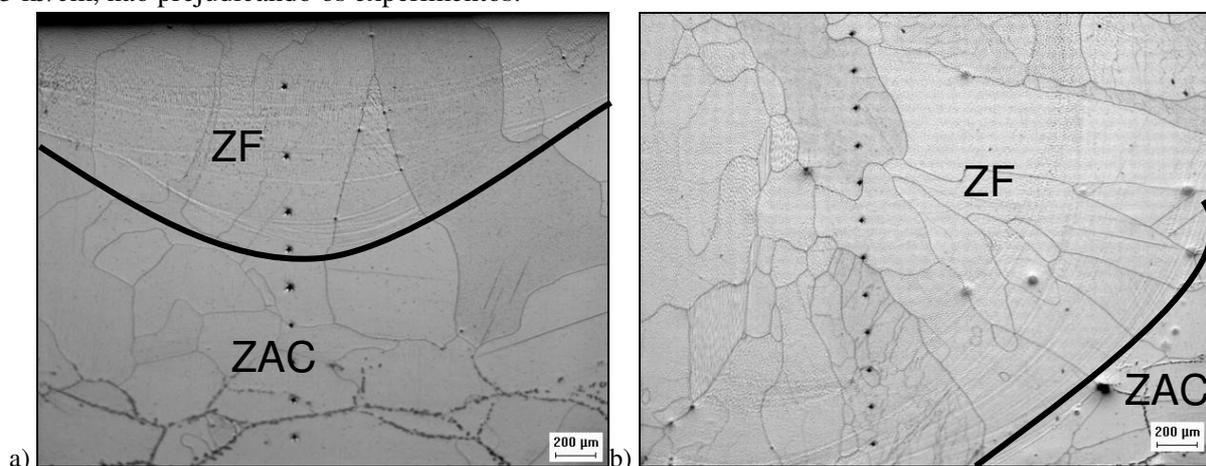
**Tabela 2** – Valores obtidos pelo sistema de aquisição de dados da soldagem para cada liga

Liga	Condição	Velocidade de soldagem (cm/min)	Tensão (V)	Corrente (A)	Energia (kJ/cm)
1	P1	25,0	15,1	150,2	5,4
	P2	25,0	17,3	247,8	10,1
2	P1	25,0	14,6	149,5	5,2
	P2	25,0	16,7	249,4	9,8
3	P1	25,0	15,0	151,7	5,4
	P2	25,0	15,0	248,8	9,8

Fonte: Guimarães, 2011.

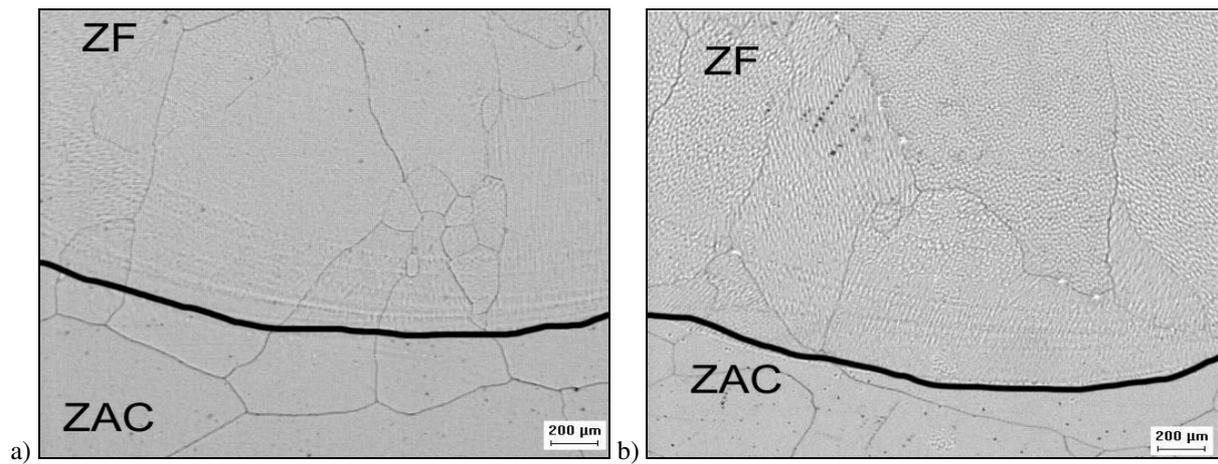
Na Figura 2 podem ser vistas as micrografias da zona fundida (ZF) da Liga 1 após as soldagens para os dois parâmetros estudados. A linha vertical de pontos escuros corresponde às impressões do ensaio de microdureza Vickers. Tanto no parâmetro P1 (Figura 2a) quanto no parâmetro P2 (Figura 2b) observa-se uma ZF com microestrutura do tipo ferrítica, formada por grãos colunares. Tem-se ainda que a ZF para o parâmetro P2 (corrente de 250 A), apresenta uma maior área do que para a ZF do parâmetro P1 (corrente de 150 A). Este resultado está coerente, uma vez que quanto maior a corrente maior a energia de soldagem, favorecendo a uma maior ZF (BRACARENSE, 2000).

Resultado semelhante foi obtido tanto para a ZF da Liga 2 como para a ZF da Liga 3, como pode ser verificado na Figura 3 e na Figura 4, em que tem-se uma microestrutura ferrítica na ZF para ambos os parâmetros e ligas estudadas. Como era esperado, a maior corrente (parâmetro P2) resultou em uma maior ZF, como foi observado na Figura 2.

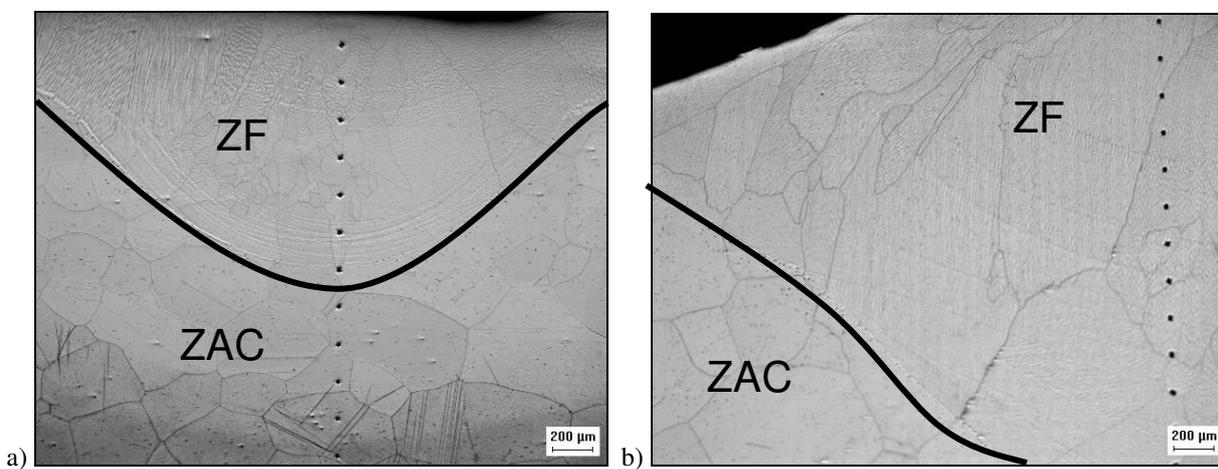


**Figura 2** – Micrografias da ZF da Liga 1. Aumento 50X. a) Condição P1. b) Condição P2

Fonte: Guimarães, 2011.



**Figura 3** – Micrografias da ZF da Liga 2. Aumento 50X. a) Condição P1. b) Condição P2  
Fonte: Guimarães, 2011.

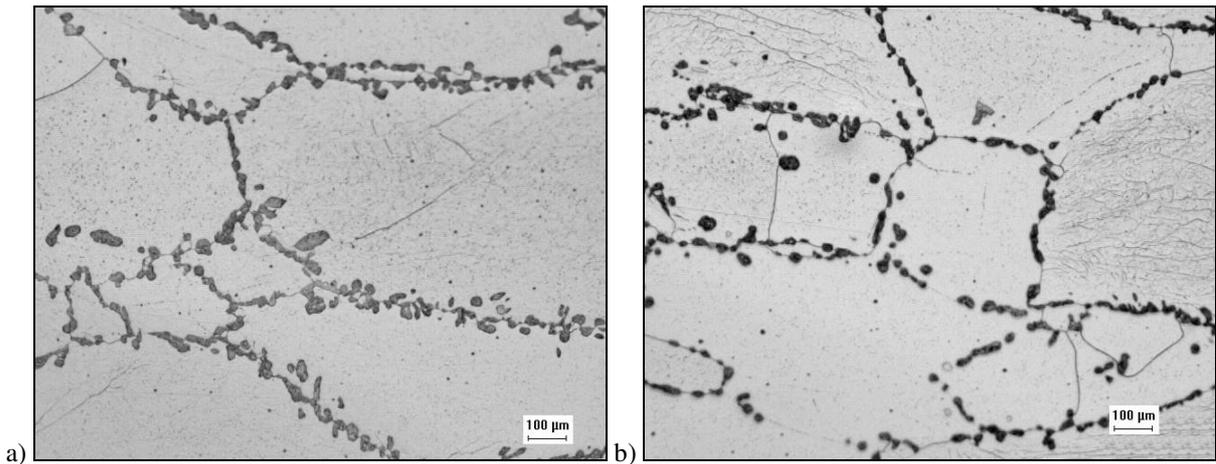


**Figura 4** – Micrografias da ZF da Liga 3. Aumento 50X. a) Condição P1. b) Condição P2  
Fonte: Guimarães, 2011.

Na Figura 5 pode ser vista a região da zona afetada pelo calor (ZAC) da Liga 1 para os dois parâmetros estudados. Observa-se que houve a formação de outra fase, além da fase ferrítica, para os parâmetros empregados. Essa fase já foi determinada por Figueiredo *et al* (2009), que a identificou como sendo martensita.

Neste mesmo estudo Figueiredo *et al* (2009) levantou os diagramas de fases para a liga com 9% de Cr e diferentes teores de Mo (5%, 7% e 9%) e verificou que somente a liga com 5% de Mo (Liga 1) apresenta formação de austenita e ferrita (dependendo da faixa de temperatura), sendo as demais ferríticas. Dentre as várias microestruturas que podem ser produzidas para uma dada liga de aço, a martensita é a mais dura, a mais resistente e, além disso, a mais frágil (CALLISTER, 2007).

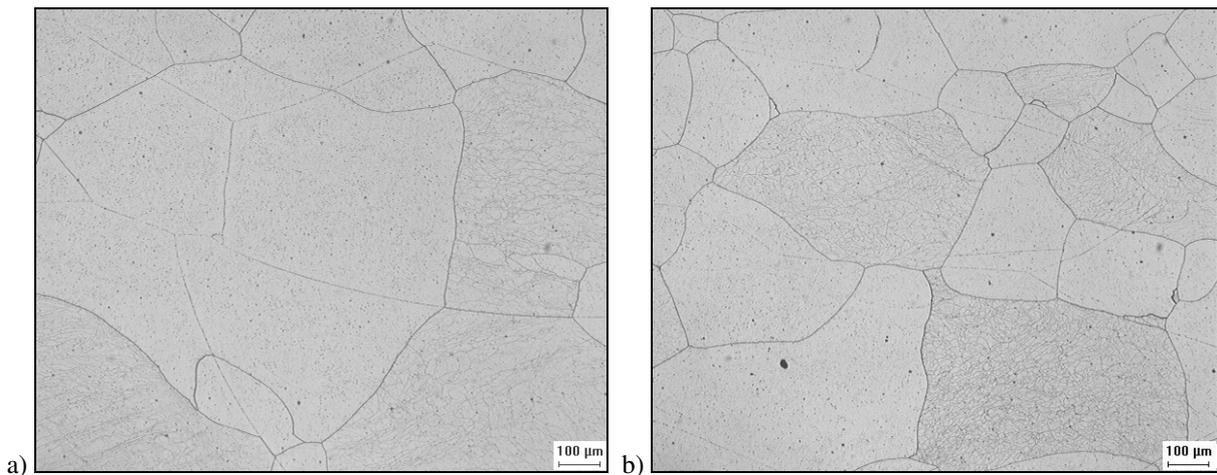
Verifica-se que a distância da ZF onde a martensita tem início muda com o parâmetro empregado, observando-se que para o nível mais baixo de energia (6 kJ/cm, parâmetro P1) a martensita forma-se a uma certa distância do final da ZF. Já para o outro nível de energia (parâmetro P2) a martensita se forma bem próximo da ZF e início da ZAC.



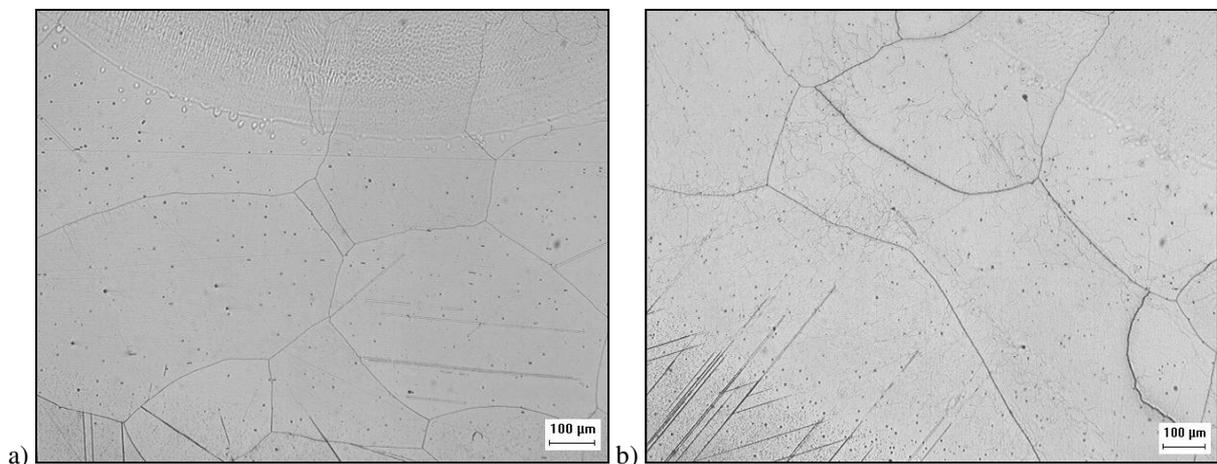
**Figura 5** – Micrografias da ZAC da Liga 1 após a soldagem. Aumento 100X. a) Condição P1. b) Condição P2  
 Fonte: Guimarães, 2011.

Na Figura 6 e na Figura 7 podem ser vistas as regiões da ZAC para as ligas 2 e 3 respectivamente, que, diferente da Liga 1, não apresentaram a formação de martensita, uma vez que estas não são passíveis de austenitização.

Para os dois parâmetros de corrente empregados não se verificou uma mudança na microestrutura da ZAC, não havendo a formação de fases prejudiciais à soldabilidade das ligas 2 e 3.



**Figura 6** – Micrografias da ZAC da Liga 2 após a soldagem. Aumento 100X. a) Condição P1. b) Condição P2  
 Fonte: Guimarães, 2011.

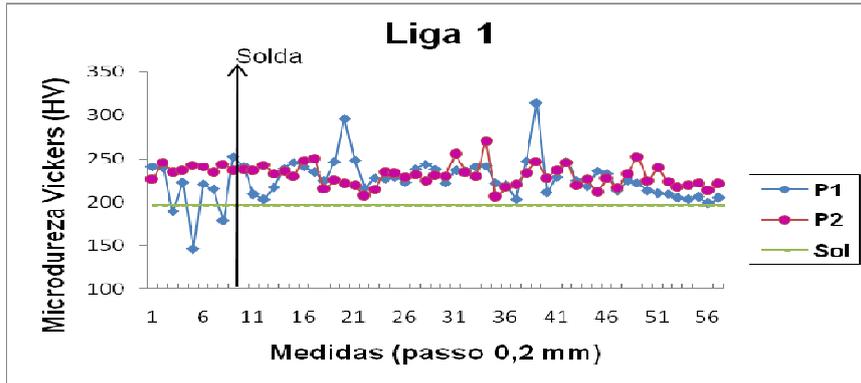


**Figura 7** – Micrografias da ZAC da Liga 3 após a soldagem. Aumento 100X. a) Condição P1. b) Condição P2  
 Fonte: Guimarães, 2011.

### 3.3 Ensaios de Microdureza Vickers

A dureza de cada uma das ligas estudadas foi medida a partir da zona fundida até o metal de base. Analisando o perfil de microdureza da ZAC Liga 1 (Gráfico 1), verifica-se que para ambos os parâmetros soldados o perfil de microdureza foi superior à dureza da liga solubilizada, contudo os valores são próximos. Tem-se ainda a presença de

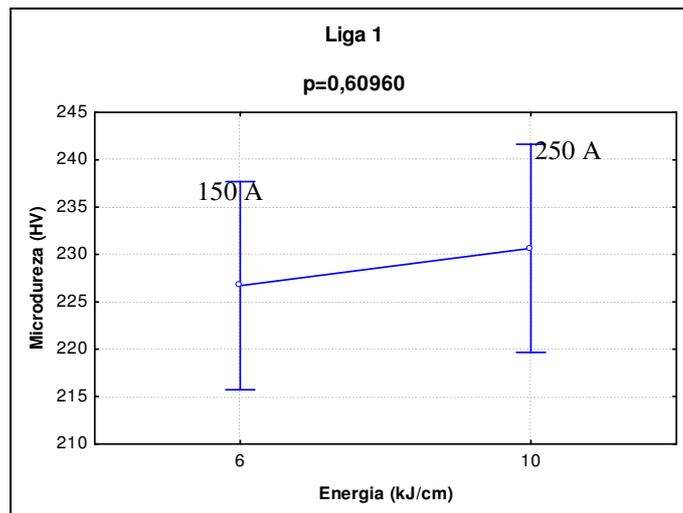
alguns picos de dureza medidos na região onde havia a presença da martensita. Com a presença da martensita na Liga 1, era de se esperar um aumento considerável nos valores de dureza. Os resultados apresentados no Gráfico 1 mostram que a dureza nas regiões onde existe martensita realmente aumenta, mas com valores não tão elevados, pouco superiores a 300 HV.



**Gráfico 1** – Perfil de microdureza Vickers da Liga 1 para os parâmetros de soldagem empregados  
Fonte: Elaboração própria.

Quando são comparados os perfis de microdureza para os dois parâmetros empregados na solda da Liga 1, observa-se que a variação no valor da corrente, apesar de ter resultado em alterações nas extensões da ZF e da formação da martensita na

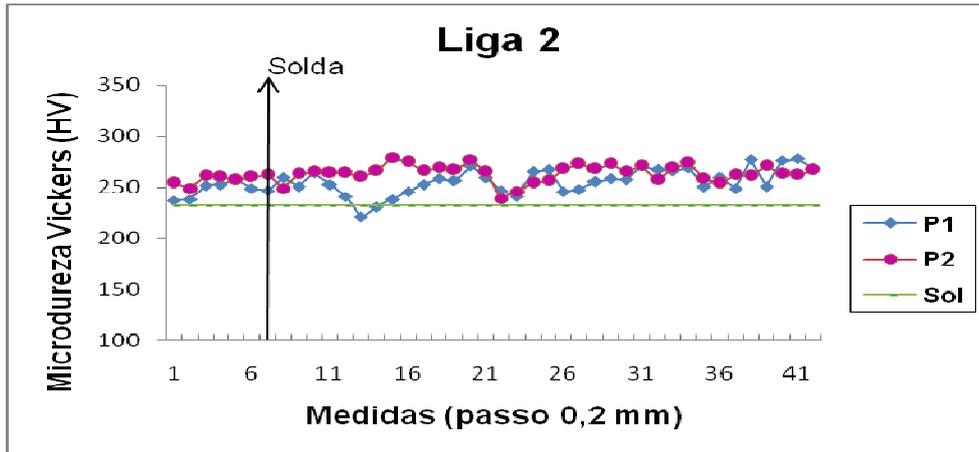
ZAC, não apresentou mudanças significativas nos valores de dureza, como comprovado pela análise estatística do Gráfico 2, onde o nível de significância foi acima de 0,05.



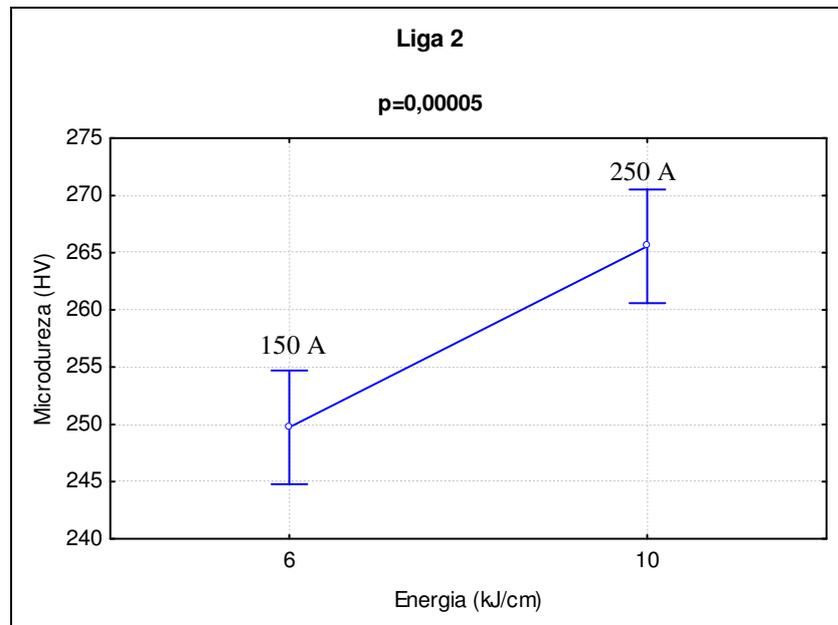
**Gráfico 2** – Análise de variância da ZAC da Liga 1  
Fonte: Elaboração própria.

No Gráfico 3 é possível observar o perfil de microdureza da Liga 2, onde a princípio não podemos observar uma variação considerável na dureza ao variarmos a corrente de soldagem. Porém, ao analisarmos o gráfico de variância

mostrado no Gráfico 4, podemos verificar uma variação significativa nos valores de microdureza na região da ZAC dessa liga, com um nível de significância inferior a 0,05.



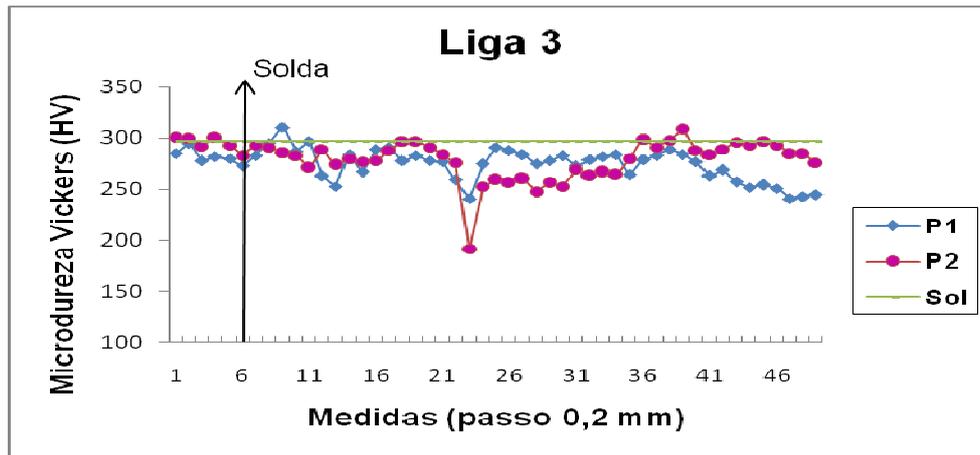
**Gráfico 3** – Perfil de microdureza Vickers da Liga 2 para os parâmetros de soldagem empregados  
 Fonte: Elaboração própria.



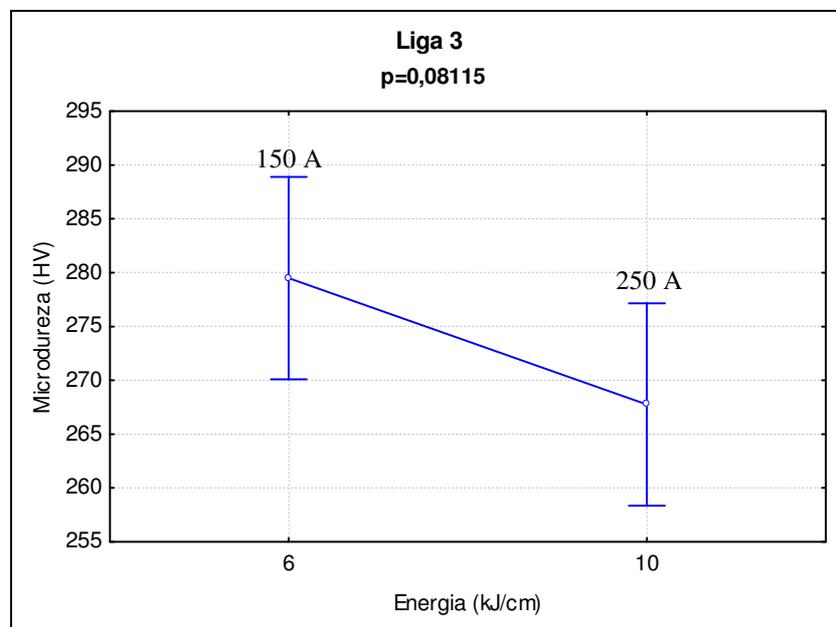
**Gráfico 4** – Análise de variância da microdureza Vickers da ZAC da Liga 2  
 Fonte: Elaboração própria.

Realizando o mesmo estudo para a Liga 3, podemos verificar através dos gráficos do Gráfico 5 e do Gráfico 6 que a variação da energia de soldagem através da corrente não alterou

significativamente os valores de microdureza na ZAC dessa liga, porém nota-se uma tendência a queda nos valores de microdureza, que foi verificado somente para a Liga 3.



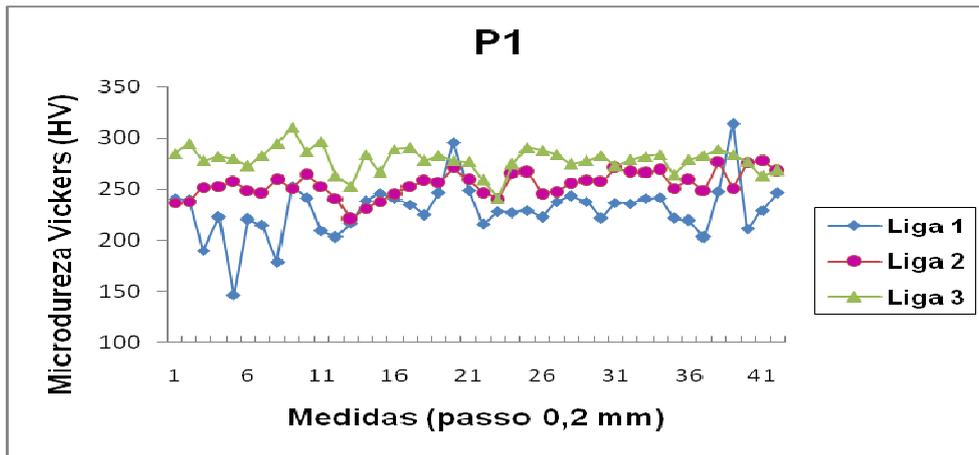
**Gráfico 5** – Perfil de microdureza Vickers da Liga 3 para os parâmetros de soldagem empregados  
 Fonte: Elaboração própria.



**Gráfico 6** – Análise variância da microdureza Vickers da ZAC da Liga 3.  
 Fonte: Elaboração própria.

Analisando as microdurezas da Liga 1, da Liga 2 e da Liga 3 para cada parâmetro (Gráfico 7 e Gráfico 8), observa-se que a Liga 3 possui um perfil de microdureza com valores um pouco superiores aos da Liga 1 e da Liga 2. Isso está associado ao maior teor de Mo presente na Liga 3, justificando a influência do molibdênio na dureza

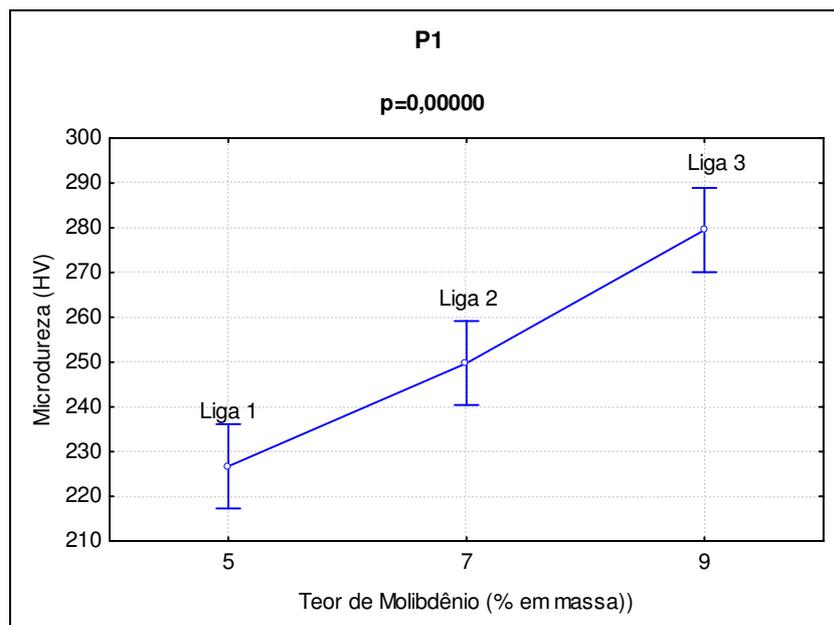
das ligas. O mesmo acontece quando comparamos os valores de microdureza para apenas as ligas 1 e 2. A Liga 2 apresenta microdureza maior que a Liga 1. Apenas alguns pontos do gráfico de microdureza da Liga 1 possuem valores maiores que as Ligas 2 e 3. Essa característica deve-se à presença da martensita no ponto medido.



**Gráfico 7** – Comparativo entre o perfil de microdureza Vickers para o parâmetro P1 das Ligas 1, 2 e 3  
 Fonte: Elaboração própria.

Ressalta-se que a diferença nos perfis de microdureza considerando a variação de 2% de Mo mostrou-se significativa, como pode ser

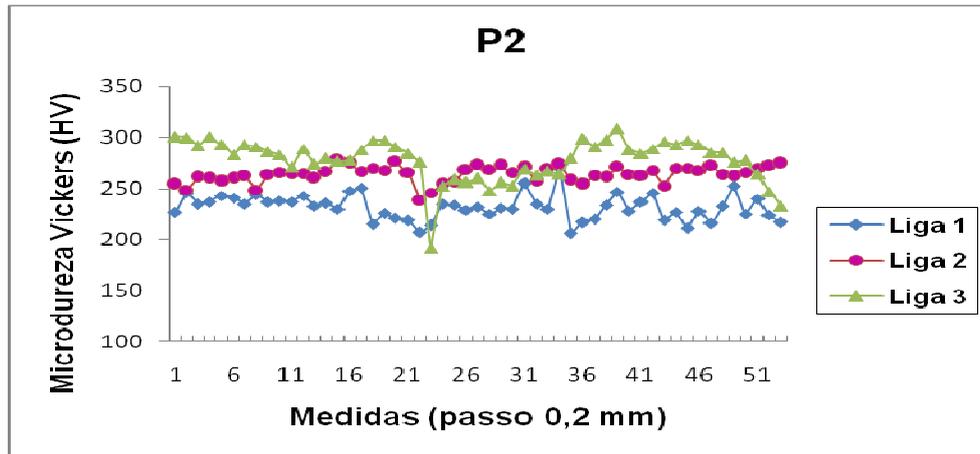
observado no gráfico de variância apresentado no Gráfico 8.



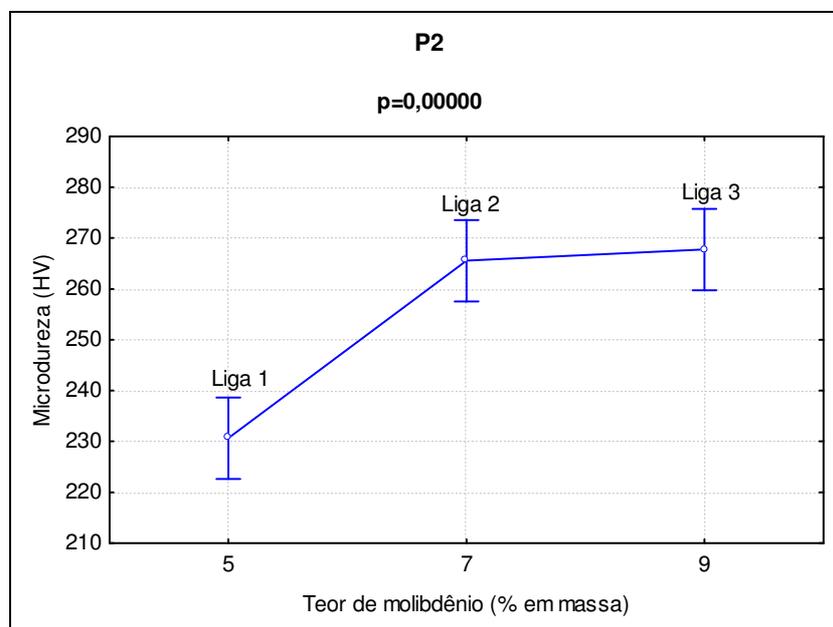
**Gráfico 8** – Análise de variância da microdureza Vickers em relação ao teor de molibdênio. Condição P1  
 Fonte: Elaboração própria.

Ao fazermos o mesmo comparativo entre o percentual de molibdênio das ligas para a condição P2, observamos que os valores de dureza só diferem significativamente entre as

ligas 1 e 2, ou seja, essa diferença só se mostra significativa até um teor de molibdênio de 7%, conforme pode ser observado no Gráfico 9 e comprovado no Gráfico 10.



**Gráfico 9** – Comparativo entre o perfil de microdureza Vickers para o parâmetro P2 das ligas 1, 2 e 3.  
Fonte: Elaboração própria.



**Gráfico 10** – Análise de variância da microdureza Vickers em relação ao teor de molibdênio. Condição P2  
Fonte: Elaboração própria.

## 4 CONCLUSÕES

- A energia de soldagem com menor corrente (150 A) gerou uma zona fundida com menor extensão do que a energia com maior valor de corrente (250 A) nas três ligas estudadas.
- A ZAC da Liga 1 apresentou a formação de martensita.
- A Liga 1 e a Liga 3 não apresentaram mudanças significativas nos valores de microdureza na região da ZAC para os dois parâmetros de soldagem empregados.
- A variação da corrente de soldagem na Liga 2 acarretou mudanças significativas no perfil de microdureza da mesma.
- A influência do teor de molibdênio na microdureza das ligas, para a condição P2, só foi significativa para um percentual de molibdênio de até 7%.
- Apesar da Liga 1 apresentar a formação de martensita, a dureza da mesma não foi elevada quando comparada com a dureza das ligas solubilizadas.

## 5 AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Laboratório de Caracterização de Materiais (LACAM) e ao Laboratório de Engenharia de Soldagem da Universidade Federal do Ceará (ENGESOLDA) pela realização dos experimentos; ao Grupo de Inspeção e Análise de Falhas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (GIAF), além do CNPq, Capes e Petrobras pelo suporte financeiro.

## REFERÊNCIAS

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **MATERIAIS METÁLICOS - DETERMINAÇÃO DA DUREZA VICKERS (MÉTODO DE ENSAIO)**, NBR 6672/81. 1981.

[2] BRACARENSE, A. Q. **Processo de soldagem TIG-GTAW**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2000.

[3] CALLISTER, W.D. **Materials Science and Engineering: An Introduction**. 7th ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

[4] CUNHA, B. R. M. da. **Soldabilidade da nova geração de aços ferríticos Cr-W resistentes a altas temperaturas**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE, 2006.

[5] EDSTRÖM, H. Q.; LJUNDBERG, L.. **Rost- und säurebeständige Chrom-Nickel-Stähle mit max. 0,030% Kohlenstoff als Konstruktionsmaterial für die chemische Industrie**. *Werkst. u. Korrosion* 15, 1964. p. 743-753.

[6] FIGUEIREDO, N. C. et al. Influência do teor de Mo na microestrutura de ligas Fe-9Cr-xMo. In: CONGRESSO NACIONAL DE SOLDAGEM, 35., 2009, Piracicaba. **Anais do XXXV**

**CONSOLDA 26 a 29 de Outubro de 2009, CD-ROM**. Piracicaba: ABS-SP, 2009.

[7] FONTANA, M. G. **Corrosion engineering**. 3 ed. Cingapura: McGraw-Hill, 1986. 544 p.

[8] GUIMARÃES, R. F., **Efeito do teor de molibdênio na microestrutura de juntas soldadas em ligas Fe-Cr-Mo**. 2011. 178 p. Tese (Doutorado Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

[9] LAFFLER, B. **Stainless-Steel and their Properties**. (2. ed.). Stockholm: Avesta Sheffield, 1998. (OUTOKUMPU)

[10] OHASHI, N. et al. Effects of metallurgical and mechanical factors on Charps impact toughness of extra low interstitial ferritic stainless steels. In: SYMPOSIUM ON FERRITIC STAINLESS STEELS, 1979, San Francisco. **Anais do SYMPOSIUM ON FERRITIC STAINLESS STEELS 23-24 May 1979**. Philadelphia: ASTM, 1980. p.202-220.

[11] PICKERING, F. B. Physical metallurgy of stainless steel developments. **International Metals Reviews**, Review 211, p.227-249, dec., 1976.

[12] SOUZA, S. A. **Composição Química dos Aços**. São Paulo: Edgard Blücher, 1989.

[13] VOORT, G.F.V. et al. (Ed.). **ASM Handbook: Metallography and Microstructures**. Ohio: ASM International, 1992. p. 284. v.9.

[14] WU, X. Q. et al. Resistance of Mo-bearing stainless-steel coating to naphthenic acid corrosion and erosion-corrosion. **Corrosion Science** 46, v.46, p.1013-1032, 2004.