



PRPG Pró-Reitoria de Pós-Graduação  
PIBIC/CNPq/UFPG-2009



## **ANÁLISE DE MICRODUREZA DE UM AÇO PARA TUBULAÇÕES POR MEDIÇÃO *IN SITU* E SIMULAÇÃO USANDO WELDING CALCULATION DA NIPPON STEEL.**

Selson Augusto S. da Silva<sup>1</sup>, Daisy M. de Almeida<sup>2</sup>

### **RESUMO**

A finalidade deste trabalho é verificar a validade do software Welding Calculation para condições de soldagem passíveis de automatização em um aço API 5L X80. Para tanto foram analisados os perfis experimentais de microdureza e comparados com os resultados *in situ* para juntas soldadas com arame tubular robotizado e por arame tubular robotizado e passe de raiz TIG. Os resultados obtidos indicaram que o Welding Calculation forneceu valores satisfatórios quando comparados com as medidas diretas.

**Palavras-chave:** microdureza, arame tubular, API 5L X80

### **MICROHARDNESS STEEL PIPE LINE ANALYSIS BY *IN SITU* MEASUREMENTS AND SIMULATION METHOD USING WELDING CALCULATION PROGRAM FROM NIPPON STEEL**

### **ABSTRACT**

The purpose of this study is to verify the validity of software Welding Calculation of welding conditions for qualifying for automation in an API 5L X80 steel. For both experimental profiles were analyzed and compared with the microhardness results *in situ* for the weld with robotic tubular wire and other for robotic tubular wire and TIG root pass. The results indicated that Welding Calculation predicted values were satisfactory when compared with direct measurements.

**Keywords:** microhardness, tubular wire, API 5L X80

### **INTRODUÇÃO**

Os aços de alta resistência e baixa liga (ARBL) — utilizados em tubulações para transporte de fluidos sob pressão — apresentam boa soldabilidade, baixa temperabilidade e alta resistência mecânica. Em especial, tem-se preferência por aços que sejam regulamentados pela norma API 5L, pois são exigidas técnicas que garantam a produção de aços limpos e, conseqüentemente, a obtenção de boas propriedades mecânicas no produto final.

A norma API 5L classifica o aço em estudo neste trabalho como API 5L X80, devido ao seu limite de escoamento ser de no mínimo 483 MPa (70Ksi). Apesar da produção nacional do API 5L X80 ser recente, ele constitui uma alternativa viável, pois além de apresentar as características mecânicas citadas anteriormente, inclui também vantagens econômicas como: redução do peso, diminuição da quantidade de material de adição e redução no número de horas trabalhadas por junta soldada.

<sup>1</sup> Aluno do Curso de Engenharia Mecânica, Depto. de Engenharia Mecânica, UFPG, Campina Grande, PB, E-mail: [selsonufcg@gmail.com](mailto:selsonufcg@gmail.com)

<sup>2</sup> Física, Prof. Doutor, Depto. de Física, UFPG, Campina Grande, PB, E-mail: [mdaisy@df.ufcg.edu.br](mailto:mdaisy@df.ufcg.edu.br)

O API 5L X80 é um aço ferrítico-bainítico de baixíssimo teor de carbono, com a presença de austenita retida + martensita (MA) diluído em bainita globular. Este microconstituente surge no processo de resfriamento contínuo e sua fração volumétrica é função do teor de carbono e da taxa de resfriamento.

Entretanto, a soldabilidade do aço não é função apenas do limite de escoamento da zona termicamente afetada (ZTA), mas depende também da dureza e do controle que é realizado sobre ela, para que as propriedades sejam mantidas. O controle da dureza é realizado para se evitar problemas de fissuração por hidrogênio, durante a fabricação ou em serviço, a formação de trincas de reaquecimento e seu comportamento à corrosão.

Por isso, a homogeneidade microestrutural de um passe de raiz por processo TIG automatizado, além de proporcionar um perfil uniforme reduzindo o campo de tensões e os defeitos oriundos do processo manual, pode proporcionar microestruturas mais uniformes, e a proteção gasosa do processo TIG reduz ao máximo a presença de hidrogênio na junta soldada.

Portanto, o objetivo deste trabalho é verificar a validade do software Welding Calculation (Yurioka, 2007) para as condições de soldagem citadas através da comparação com os valores experimentais e da medição *in situ* da dureza.

## MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Metalografia do Departamento de Engenharia Mecânica no Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba.

### Material

Amostras do aço ferrítico-bainítico API 5L X80 obtidas na forma de tubo com 762 mm (30") de diâmetro e 16 mm (5/8") de espessura de parede foram utilizadas neste trabalho.

Além da composição mostrada na Tabela 1, este aço apresenta também estrias de laminação com grãos de ferrita achatados, estrias de bainita e constituinte MA.

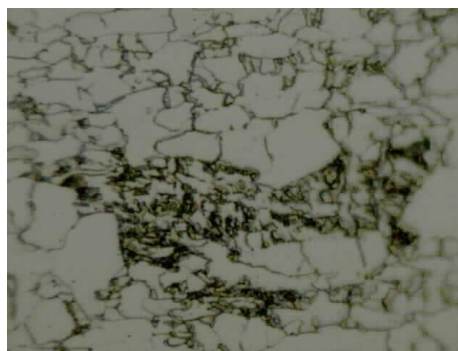
Tabela 1. Composição química do aço API 5L X80

Elemento Material	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al
API 5L X80	0,041	0,192	1,654	0,016	0,005	0,142	0,023	0,032
Elemento Material	Cu	Nb	Ti	Mo	V	B	CEIIW	PCM %
API 5L X80	0,024	0,063	0,013	0,212	0,031	0,0003	0,396	0,157

A figura 1 mostra a microestrutura original do metal de base, onde se pode perceber uma faixa de mistura de ferrita e bainita globular (Figura 1.a)



(a) Metal de base – microestrutura unida – 100x



(b) Metal de base – ferrita e bainita globular – 1000x

Figura 1. Microestrutura original do metal de base

## Métodos

### Processo metalográfico

**Embutimento:** Foi feito para facilitar à pega (manuseio) da amostra, neste caso feito a quente com baquelite.

**Lixamento:** Foi iniciado com uma lixa de granulometria 150, e posteriormente lixado com lixas 220, 300, 400, 500, 600, 1000 e 1200, a aproximadamente 270rpm. Após cada etapa de lixamento, girou-se a amostra de 90°.

**Polimento:** Nesta fase foi feito um pré-ataque de nital-1,5% (98,5 de álcool etílico (95%) e 1,5ml de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>)) antes de cada polimento. O polimento foi feito com alumina de granulometria 1,0µm, 0,5µm, 0,3µm e 0,05µm, a aproximadamente 250 rpm por cerca de 4 minutos.

**Ataque químico:** O ataque foi feito por imersão no reagente Le Pera por 20 segundos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados que serão discutidos aqui estão baseados na composição química do metal base e nos parâmetros de solda, e associados com o perfil de microdureza e microestrutura.

Introduzindo as informações acima no Welding Calculation (Yurioka, 2007), podemos obter:

1. Valor do carbono equivalente;
2. O parâmetro de Ito e Bessyo, P<sub>cm</sub>;
3. As temperaturas de transformação do aço (A<sub>c3</sub>, A<sub>c1</sub> e M<sub>s</sub>);
4. A máxima dureza na ZTA.

Os três primeiros itens são mostrados na figura 2.

Chemical Composition Input (wt%)				Carbon Equivalents (wt%)	
C(<0.8)	0.041	Mo(<1.0)	0.212	CE(IIW)	0.350
Si(<1.5)	0.192	V(<0.1)	0.031	CE(WES)	0.360
Mn(<3.0)	1.654	Nb(<0.1)	0.063	P <sub>cm</sub>	0.219
P(<0.025)		Ti(<0.1)	0.013	CE <sub>n</sub>	0.336
S(<0.025)		Al(<0.1)	0.032	<b>Transformation Temp ( °C )</b> (Mn<2,Cu<1,Cr<2.5,Mo<0.5)	
Cu(<2.0)	0.024	N(<0.01)		A <sub>c3</sub>	866.3
Ni(<10.0)	0.023	O(<0.01)		A <sub>c1</sub>	733.5
Cr(<10.0)	0.142	B(<0.003)	0.003	M <sub>s</sub>	433.5

May 12, 2007 updated  
Source code by N.Y

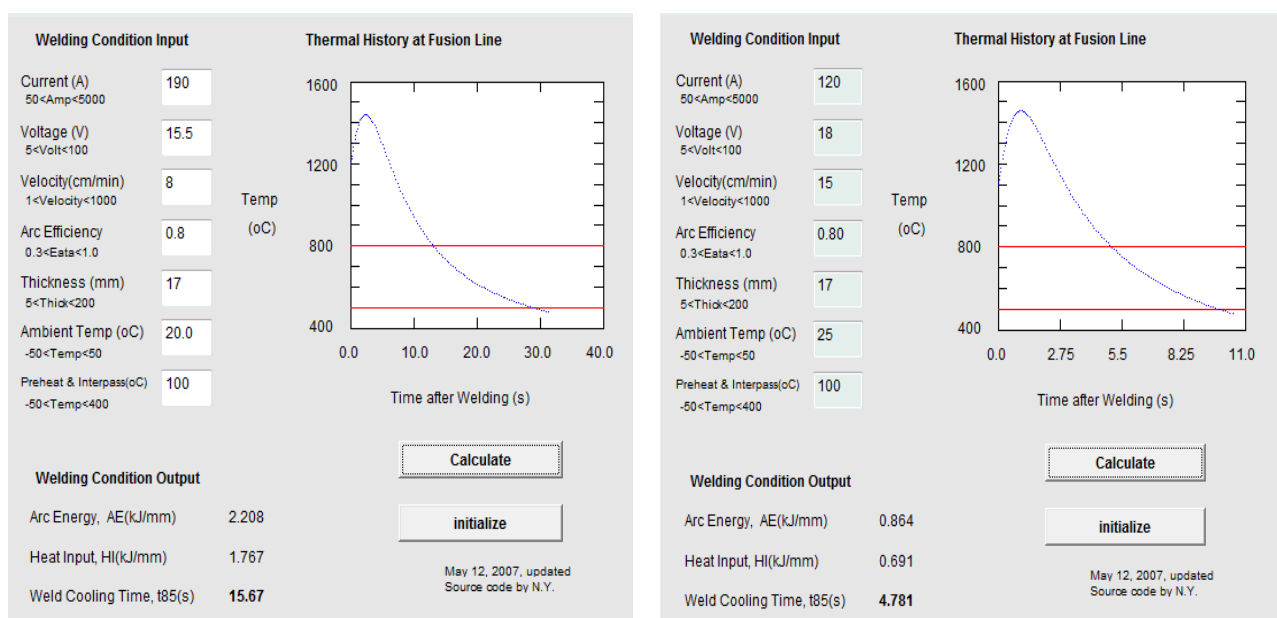
Figura 2. Welding Calculation: Carbono equivalente e temperatura de transformação

O histórico térmico na linha de fusão para a condição de dois passes de solda na raiz e o tempo de resfriamento da solda são apresentados na tabela 2 e na figura 3. A simulação considera uma mudança na equação original de Rosenthal devido aos efeitos da espessura finita das chapas e da transferência de calor na superfícies das mesmas.

Tabela 4. Histórico térmico e tempo de resfriamento da solda em função dos parâmetros de soldagem.

Processo de soldagem da raiz	Parâmetros de soldagem			Eficiência do arco [%]	Entrada de calor, HI [KJ/mm]	Tempo de resfriamento da solda $\Delta t_{8/5}$ [s]
	I [A]	V [V]	V [cm/min]			
<b>TIG(GTAW)</b>	190	15.6	8	0.8*	1.767	15.67
<b>Arame tubular(FCAW)</b>	120	18	15	0.8*	691	4.78

\* (Campos, 2005)



(a) Cálculo para a amostra soldada TIG (GTAW)

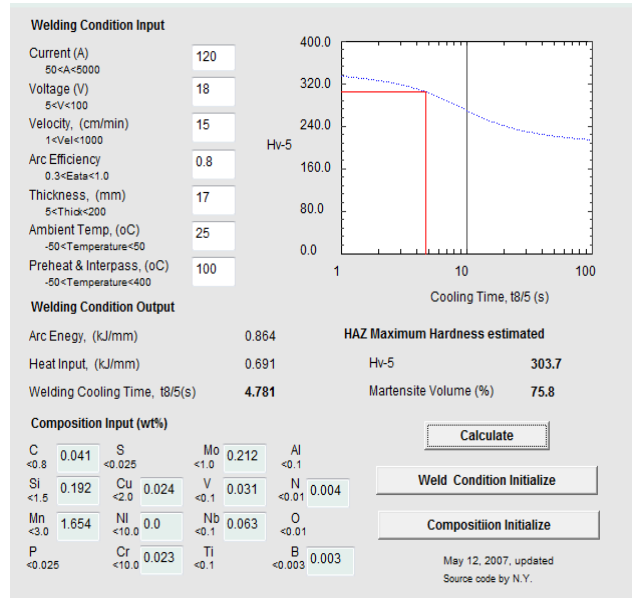
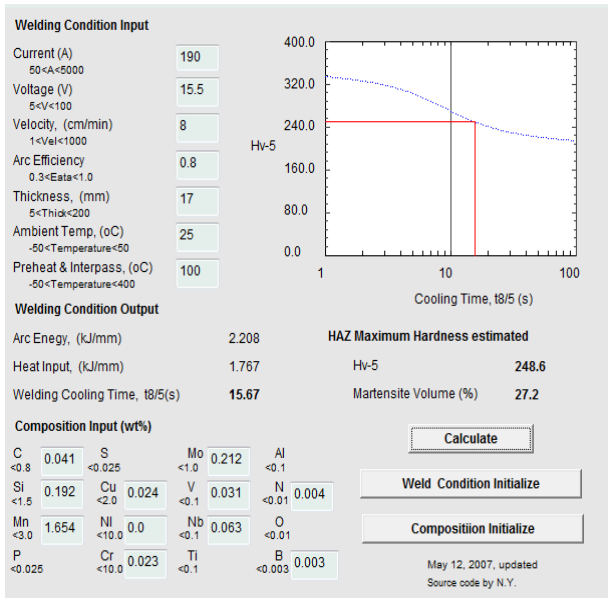
(b) Cálculo para a amostra soldada com Arame tubular (FCAW)

Figura 3. Welding Calculation: histórico térmico na linha de fusão

Considerando-se o valor máximo de dureza na ZTA, os resultados do Welding Calculation são apresentados na Tabela 5 e na Figura 4.

Tabela 5. Dureza máxima da ZTA

Processo de soldagem da raiz	Dureza máxima da ZTA [HV]
<b>TIG(GTAW)</b>	248.6
<b>Arame tubular(FCAW)</b>	303.7



(a) Cálculo para a amostra soldada TIG (GTAW)

(b) Cálculo para a amostra soldada com Arame tubular (FCAW)

Figura 4. Welding Calculation: Dureza máxima estimada da ZTA

O perfil experimental de microdureza das raízes da solda são mostrados na Figura 5 e 6. A diferença entre os valores experimentais e os valores calculados é de cerca de 12% para a amostra com passe de raiz TIG (GTAW) e cerca de 6% para a amostra soldada apenas com arame tubular (FCAW), o que pode ser considerado um acordo razoável.

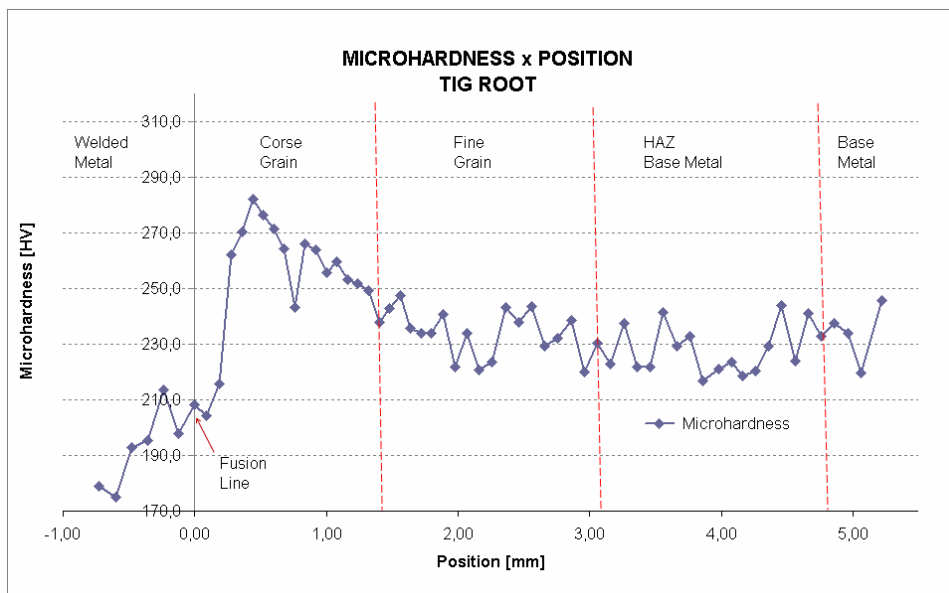


Figura 5. Perfil de microdureza – Alinhamento de raiz – TIG (GTAW)

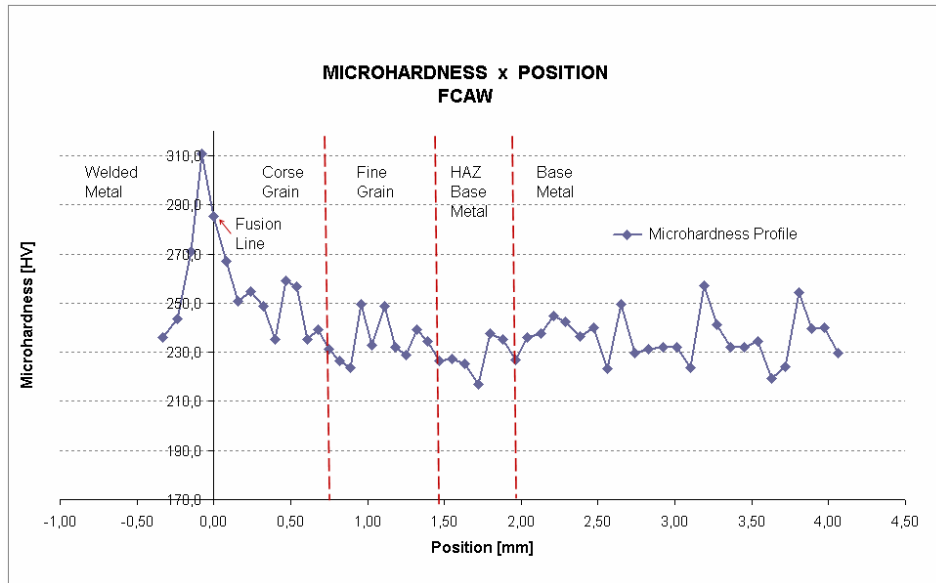
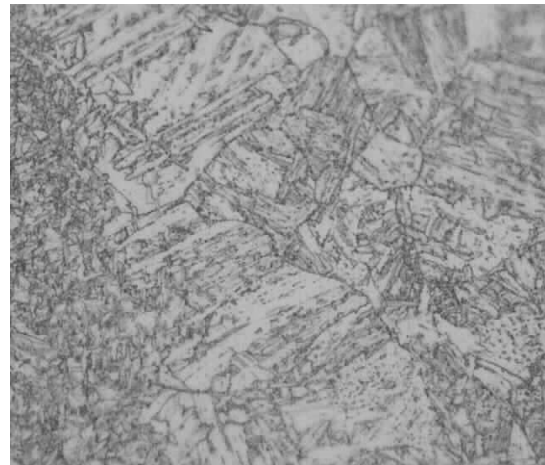
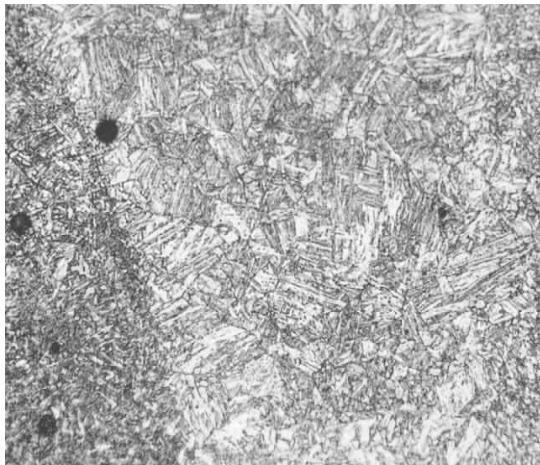


Figure 6. Perfil de microdureza – Alinhamento de raiz – Arame tubular (FCAW)

As imagens da microestrutura obtidas da amostra TIG (GTAW) não mostram um considerável volume de martensita, mas os valores de dureza obtidos e calculados estão em conformidade com a presença de bainita (Ramirez, 2007), que pode ser observado na figura 7.

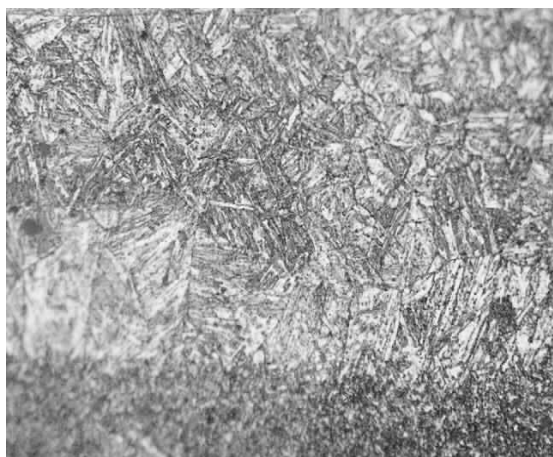


(a) Visão do passe de raiz – Linha de fusão - 200x

(b) Linha de fusão – Detalhe de bainita – 500x

Figura 7. Microestrutura da linha de fusão – Raiz TIG (GTAW)

Embora a quantificação da microestrutura não fazer parte do escopo deste trabalho, as imagens da microestrutura – Figura 8 – obtidas a partir de amostras soldadas com arame tubular (FCAW), mostram algumas agulhas de martensita, mas inferior a 75,8% como previsto no Welding Calculation.



(a) Visão do passe de raiz – Linha de fusão -  
200x

(b) Linha de fusão – Detalhe de bainita +  
martensita - 500x

Figura 8. Microestrutura da linha de fusão – Raiz arame tubular (FCAW)

A microestrutura obtida a partir da decomposição da austenita está diretamente relacionada com o tempo de resfriamento de 800°C a 500°C. No que se refere à composição química do metal de base, a mudança da microestrutura de martensita para a bainita ocorre abaixo de  $\Delta t_8 / 5$ . Neste caso, o baixo teor de carbono poderia implicar em martensita + austenita retida, constituinte MA ou bainita clássica, resultante da transformação da microestrutura, como no processo de fabricação (Badeshia, 2001) (Elisei, 2008).

## CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos nesta pesquisa experimental, onde se analisou a viscosidade do óleo de girassol concluiu-se que:

- O histórico térmico e o tempo de resfriamento ( $\Delta t_8/5$ ) são informações muito importantes para prever as possíveis transformações de fase na ZTA, e neste aspecto o software dá um resultado satisfatório;
- Os valores máximos na ZTA, obtidos no Welding Calculation, são compatíveis com o que foi observado na microestrutura;
- Os valores de agulhas de martensita obtidos são superiores aos observados nas micrografias, embora o presente estudo não tenha quantificado os componentes da microestrutura;
- A quantificação da microestrutura pode melhorar a interação entre os resultados experimentais e a simulação.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

API, *API Specification 5L Specification for Line Pipe*, Forty-Second Ed., API, Washington, 2000.

BADESHIA, H. K. D. H., *Bainite in Steel Transformation, Microstructure and Properties*, 2<sup>nd</sup> edition, IOM Communication Ltd/Institute of Materials, Londres, 2001

CAMPOS, P. T., *Caracterização Mecânica e Microestrutural de Juntas Soldadas pelos Processos MIG/MAG (GMAW) e Arame Tubular (FCAW)*, Tese de mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, p. 19, Curitiba-PR, Brasil, Ago 2005.

COLPAERT, HUMBERTUS, *Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns*. 3<sup>a</sup> Ed. São Paulo Edgard Blücher, 1974. 50P.

ELISEI, C. C. A., HASHIMOTO, T. M. ABDALLA, A. J., PEREIRA, M. S., Caracterização Mecânica e Microestrutural de um Aço Baixo Carbono Microligado com Estrutura Multifásica, Revista Matéria v. 13, nº2, p.398-404, 2008

FELDMANN, U., FREIER, K., KÜGLER, J., VLAD, C. M., *Mechanical and Toughness Properties of Separation-Free HSLA Line Pipe Steels for Artic Conditions*, Conference Proceedings HSLA Steels Technology and Application ASM, p. 733-741, 1983

GRÄF, M. K., LORENTZ, F. K., PETERS, P. A., SCHWAAB, P., *Relationship between Microstructure and Mechanical Properties of Thermo-Mechanically Treated Large-Diameter Pipe Steels*, HSLA Steels Technology and Applications – Conference Proceedings, p. 801- 807, 1983

MANOHAR, P. A., CHANDRA, T., *Continuous Cooling Transformation Behavior of High Strength Microalloyed Steels for Linepipe Applications*, ISIJ International, v. 38, p. 766-774, 1998.

RAMIREZ, M. G., GORNI, A. A., LANDGRAF, F., OGATA, P. H., GOLDSTEIN, H., Caracterização Microestrutural de um Aço API 5L-X80 através de Microdureza e Microscopia Ótica e Eletrônica, 62º ABM Congresso Anual Internacional, p. 3635, Vitória – ES, Brasil, jul 2007

YURIOKA, N., Physical Metallurgy of Steel Weldability, ISIJ International, v.41, nº6, p. 566-570, Japan, 2001

YURIOKA, N., Welding Calculation, Nippon Steel Weldability Calculation, disponível em: [www.homepage3.nifty.com/yurioka/exp.html](http://www.homepage3.nifty.com/yurioka/exp.html), acessado em: abril e maio 2009.