

ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS MICROESTRUTURAIS DE TUBOS COM COSTURA TRATADOS TERMICAMENTE ¹

César Edil da Costa²
Joãozinho Paloschi Junior³
Francisco Antonio Ferrante⁴
Alexandre Weihermann⁵

Resumo

Este trabalho tem como objetivo o estudo das variáveis de tratamentos térmicos para a obtenção de tubos com costura com homogeneidade estrutural. As principais variáveis estudadas estão relacionadas com temperaturas e tempos de tratamentos térmicos. O controle estrito de temperatura e tempos de tratamentos térmicos permite obter microestruturas homogêneas mantendo características de boas propriedades. Os materiais foram caracterizados do ponto de vista microestrutural através de microscopia óptica e eletrônica e a resistência através do ensaio de tração. Os resultados obtidos demonstram a possibilidade da obtenção de tubos com excelente desempenho onde possam estar envolvidos processos de conformação ou aquecimento. A homogeneidade estrutural em toda a secção do tubo permitiu a obtenção de ótimos resultados de tensão de escoamento e resistência máxima.

Palavras-chave: Tubos; Normalização; Conformação; Microestrutura.

STUDY OF MICROSTRUCTURAL CHARACTERISTICS OF STEEL WELDED PIPE HEAT TREATED

Abstract

The main of this work is to study the influence temperature and time of normalizing heat treatment in the microstructural homogeneity of steel welded pipe. The control of these heat treatment parameters makes possible to reach homogeneity in the microstructure and as a consequence to optimize the mechanical properties of the final product. The microstructure of the heat treated samples was evaluated by both optical microscopy and scanning electron microscopy while the information about mechanical properties was obtained by tensile strength tests and hardness measurements. The results indicated that is possible to produce welded pipe of excellent performance to be used in situations which can involve cold or hot mechanical works. The microstructural homogeneity produced in all section of the heat treated tubes allowed reaching high yield strength and elevating the ultimate strength.

Key-words: Welded pipe; Normalizing; Mechanical work; Microstructure.

¹ Contribuição técnica ao 62° Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.

² Prof. Dr. Eng., edil@joinville.udesc.br, UDESC-CCT / Joinville.

³ Mestrando, Eng. Mecânico – TUPER - Tubos

⁴ Eng. Mecânico, TUPER - Tubos

⁵ Acadêmico de Eng. Mecânica, UDESC-CCT / Joinville.

1 INTRODUÇÃO

Cada vez mais se está utilizando tubos com costura como materiais estruturais e componentes de peças principalmente na indústria de veículos e motocicletas, baseado na excelente relação resistência/peso.⁽¹⁾

O aço utilizado tem grande importância na fabricação do tubo, assim como nas suas propriedades mecânicas finais. Para aplicações mais comuns, o aço para tubos é aço-carbono de baixo teor de carbono (0,05 a 0,25%), possuindo uma resistência a tração variando de 340 a 590 MPa. No caso de aplicações de maior responsabilidade, usa-se aço-carbono com adição de Mn (até 1,4%), com resistência a tração de 490 a 690 MPa. Porém devido a difícil fabricação de tubos com teor de carbono elevado, opta-se por outras formas de otimização das propriedades mecânicas. O tratamento térmico e a trefilação são maneiras de aumentar a propriedades do tubo sem alterar as propriedades químicas do metal.

Os tubos fabricados por laminação de chapas são chamados de "tubos com costura". Esta é uma denominação errônea para o material, porém o nome se consolidou, esta denominação surgiu devido ao processo de soldagem ser de baixa frequência (50 ou 60 hz), o que dava ao material uma aparência de material "costurado". Hoje o processo é realizado com solda longitudinal pelo processo E.R.W. (Solda por Resistência Elétrica) com alta frequência ou com solda de indução. Estes processos garantem a homogeneidade da matéria-prima com a solda, o que confere excelentes características aos produtos.⁽²⁾

Os processos de fabricação para obtenção do produto final variam de acordo com a norma em que o tubo vai ser fabricado. Os tubos podem ser produzidos em uma variada gama de matérias-primas, que são normalmente fornecidas segundo especificações das normas nacionais e internacionais sobre tubos.⁽²⁾

Na soldagem por indução, a corrente elétrica necessária para o aquecimento é transmitida para o metal a ser soldado por meio de uma bobina de indução que envolve o metal sem tocá-lo. Quando uma corrente elétrica de alta frequência atravessa a bobina, um campo magnético altamente concentrado se estabelece. Este campo magnético induz um potencial elétrico, causando um fluxo de corrente elétrica em um circuito fechado pelo metal. A resistência elétrica desse metal a passagem de corrente fornece o aquecimento necessário para a soldagem (Figura 1).

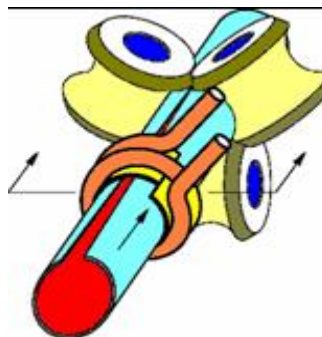
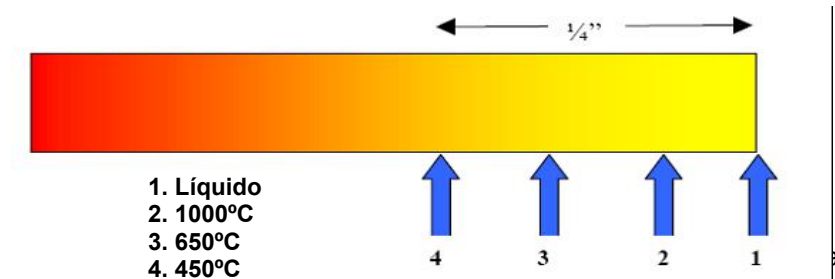


Figura 1. Esquema de Soldagem de Tubos Por Indução.

1.1 Transformações Durante a Soldagem

Quando as bordas da chapa são aquecidas além de 720° C, começa a transformação alotrópica do aço com a mudança da ferrita (CCC) em austenita (CFC). Os carbonetos começam a dissolver-se se movendo para os espaços entre os átomos de ferro da austenita. O carbono continua a mover-se em direção a parte mais quente da chapa, as bordas, porque ele é mais solúvel no ferro em altas temperaturas e o gradiente de temperatura na chapa aponta para a extremidade da mesma, conforme a Figura 2.⁽³⁾



Como o carbono move-se para a extremidade fundida, ele é exposto ao oxigênio, formando CO e CO₂. Isto explica porque somente existe ferrita na linha de caldeamento da zona afetada pelo calor (ZAC) mostrada na Figura 3.

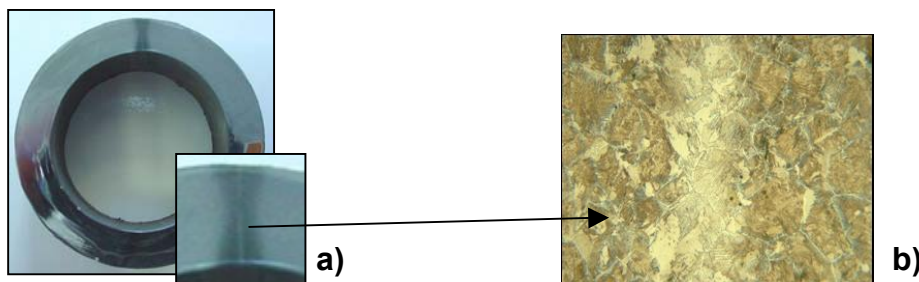


Figura 3: a) zona afetada pelo calor e b) aumento de 200x na mesma região, linha de caldeamento.

1.2 Temperatura de Soldagem

Um dos mais importantes fatores a ser ajustado é a Potência / Velocidade (que impacta na temperatura de soldagem). É necessário que esta temperatura esteja corretamente ajustada, para provocar a transformação físico-química do material, e assim, ocorrer o caldeamento das bordas da fita. A soldagem contínua de tubos é feita por indução e atinge uma temperatura próxima de 1400° C. O aquecimento que ocorre é extremamente localizado, isto é, a faixa aquecida é muito estreita.

Quando o aquecimento é suficiente (normal), ocorre um pequeno crescimento dos cristais (grãos) na região do caldeamento. Formando-se então nessa região, uma pequena quantidade de agulhas de ferrita (grãos de ferro e carbonato de ferro em forma de agulhas, ou espinha de peixe). A partir daí, o tamanho dos grãos vai diminuindo, e quando chega ao limite da faixa aquecida, já estão do mesmo tamanho dos grãos que

não foram afetados pela temperatura. Nesse caso, quando a temperatura foi adequada, o material torna-se resistente aos ensaios de expansão e achatamento.

Quando o aquecimento é excessivo, ocorre um grande crescimento dos grãos na região do caldeamento. Forma-se então uma grande quantidade de agulhas de ferrita. A faixa aquecida fica mais larga e com grãos maiores praticamente em toda a região da solda. A temperatura alta, deixa a região da solda com dureza bem maior que o restante do material, o que reduz a resistência aos ensaios de expansão e achatamento. Pode provocar trincas, em função da tensão excessiva do local.

Quando o aquecimento é insuficiente, não há formação de agulhas de ferrita. O tamanho dos grãos (textura) na linha de caldeamento, é praticamente igual aos grãos do restante do material que não foi afetado pela temperatura. Com a temperatura baixa, a perlita não reage (precipita) completamente. Assim, quando a temperatura de caldeamento é muito baixa, é comum encontrar grande quantidade de perlita fina precipitada. Da mesma forma, há a ausência da linha de caldeamento (linha não definida visualmente). A temperatura baixa reduz a resistência aos ensaios mecânicos além de provocar falhas de caldeamento.

Há ainda um outro defeito, é a temperatura descentralizada. Neste caso o calor se propaga mais de um lado da linha de caldeamento do que do outro (uma borda da fita fica mais aquecida do que outra). Dessa forma, o lado que recebeu menos calor, fica com uma grande quantidade de perlita. O caldeamento fora de centro, geralmente provoca texturas heterogêneas e falhas, além de reduzir a resistência aos ensaios mecânicos.⁽³⁾

1.3 Controle de Qualidade de Tubos

O controle de qualidade na fabricação de tubos é realizado com o auxílio de diferentes tipos de ensaios destrutíveis e não-destrutíveis, assim como o acompanhamento técnico constante durante a produção. Alguns destes ensaios destrutíveis são: tração, achatamento, alargamento, estanqueidade e flexão. Os ensaios não-destrutíveis feitos são: dureza, rugosidade, controle com ultra-som e correntes parasitas. Amostras dos produtos também são retiradas para análise química e metalográfica. O grau de exigência das propriedades do tubo depende da utilização final do produto, das normas vigentes e da solicitação do cliente.

A principal finalidade da normalização é obter a melhoria das condições microestruturais do aço. Ela funciona como agente que homogeneiza a estrutura cristalina, eliminando os pontos críticos resultantes de trabalhos anteriores. A normalização também prepara o material para outros tipos de tratamento.

A normalização pode ser usada para obter uma boa ductilidade sem redução significativa da dureza e resistência à tração. Também para facilitar a usinagem e refinar a estrutura dos grãos.⁽⁴⁻⁷⁾

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos preliminares foram realizados em forno mufla em que foram determinados os parâmetros de tratamentos térmicos. Estes parâmetros foram utilizados para os tratamentos térmicos em um forno contínuo para a produção seriada, sendo apenas feitas ajustes no sentido do volume de material tratado e ciclo térmico do forno.

O tratamento térmico realizado nas amostras foi o de normalização, com as temperaturas no patamar final de 950° C, 940° C, 920° C e o tempo de 30, 40, 50 e 60 minutos. Para melhor comparação das pesquisas feitas em laboratório com a realidade da produção no forno da Tuper, foram tomados cuidados para manter as mesmas condições de atmosfera, aquecimento e dimensões dos tubos.

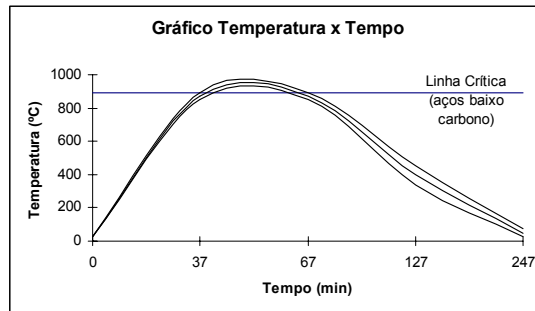


Figura 4. Gráfico Temperatura x Tempo dos Tratamentos de Normalização.

2.1 Ensaios Mecânicos e Análise Metalográfica

Parte das amostras tratadas e das amostras sem tratamento foram submetidas aos ensaios de tração e dureza, para melhor caracterização de suas propriedades. O ensaio de tração foi realizado com corpos de prova padrão ASTM A370 e com o tubo inteiro, revelando a tensão máxima e a tensão de ruptura de cada amostra. A dureza foi obtida com o auxílio de um durômetro de bancada e um portátil. A análise microestrutural foi realizada em microscópios ópticos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos estudos preliminares em forno mufla permite especificar quais as condições necessárias para obter uma estrutura normalizada e conseqüentemente uma homogeneidade estrutural, necessária posteriormente para a conformação destes tubos.

3.1 Tubo Seção Retangular 50 mm X 130mm

Tabela 1 – Características iniciais do tubo.

Norma	EN 10305-3 – E 355		
Dimensões (mm)	□ 50x130x4,50x4710		
Dureza (HRB)	85		
LR (Mpa)	548		
LE (Mpa)	428		
Al (%)	24		
COMPOSIÇÃO DO AÇO			
Elementos	C	Mn	Si
%	0,21	1,58	0,266

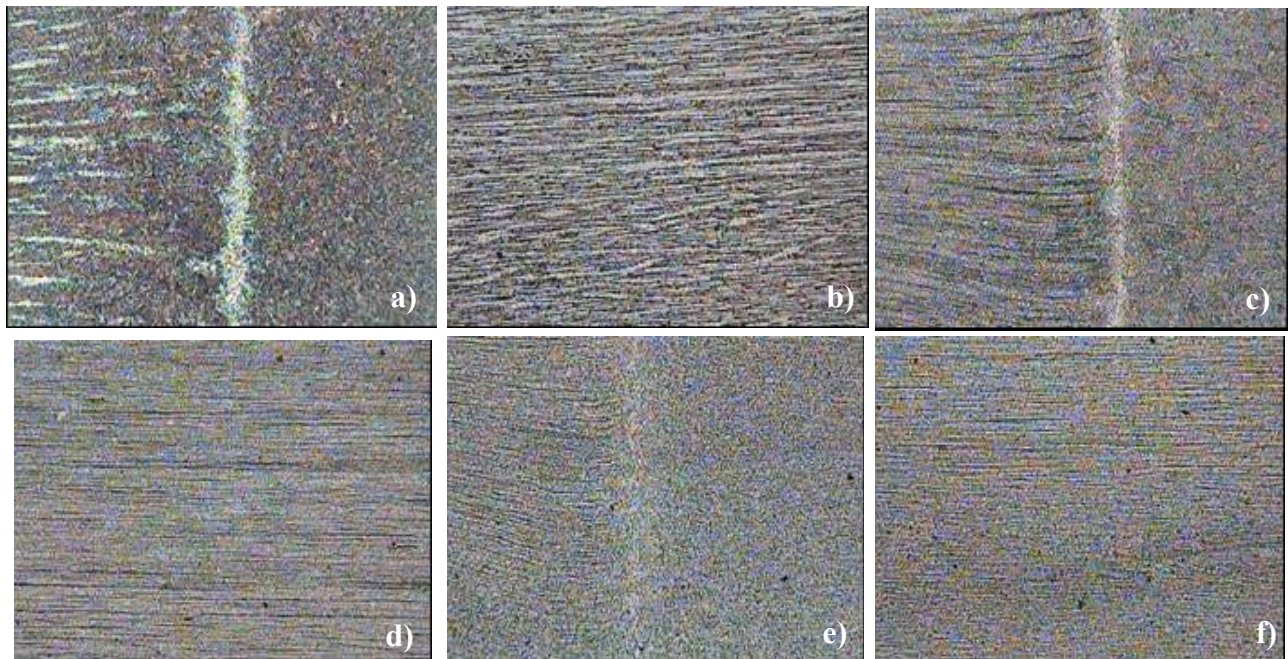


Figura 5. Micrografias das Amostras do tubo 50 x 130mm (a) Solda 50x Antes do Tratamento Térmico; b) Oposto 50x Antes do Tratamento Térmico c) Solda 50x Normalizado 920° 40min d) Oposto 50x Normalizado 920° 40min e) Solda 50x Normalizado 940° 40min f) Oposto 50x Normalizado 940° 40min

Conforme pode ser visto na Figura 5, a microestrutura das amostras apresentou uma boa recuperação após o tratamento realizado em um forno mufla do laboratório. Foi possível notar a diferença da estrutura das amostras tratadas com temperaturas diferentes (920°C e 940°C). Outro bom atributo, agregado a peça pelo tratamento, foi similaridade das estruturas da região da solda com a do oposto a solda, eliminando assim, pontos com diferentes propriedades mecânicas.

3.2 Tubo Seção Circular 60,00x3,80 mm

Tabela 2. Características dos tubos após fabricação e dados de tratamento térmico.

Dados do Tubo		Dados do Material		Dados da Máquina	
Prod (Kg/h): 3413		Norma	EN 355	Máquina	Forno 1
Ø(mm)	60,00			V(mm/min)	360
e (mm)	3,80			T (°C)	920
L (mm)	6010	Data	18/10/06		
COMPOSIÇÃO DO AÇO			Elementos	C	Mn
			%	0,16	1,4
					Si
					0,309

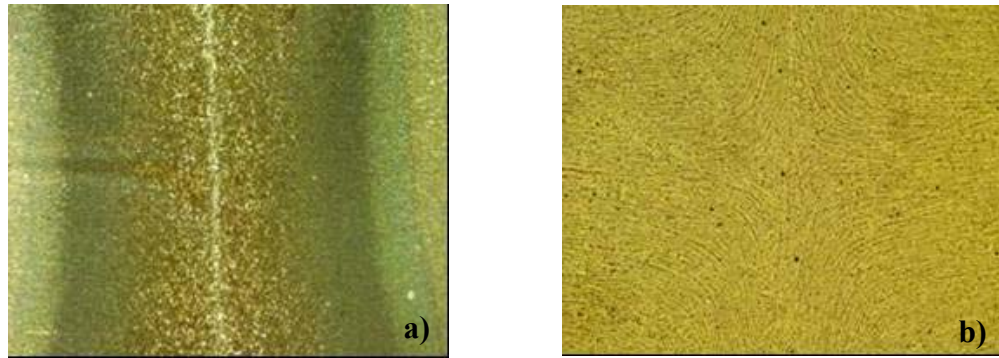


Figura 6. Tubo soldado: a) Solda Amostra sem Tratamento Térmico. b) Solda Normalizado 920° 40min

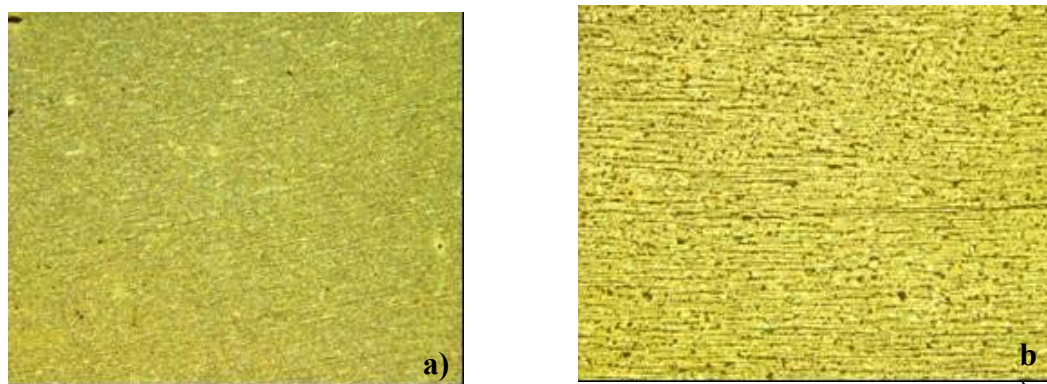


Figura 7. Tubo soldado: a) Oposto 100x Amostra sem Tratamento Térmico. b) Oposto 100x Normalizado 920° 40min

Tabela 3. Propriedades Mecânicas do tubo.

PROPRIEDADES MECÂNICAS				
Item	Sem Trat. Térmico		Normalizada	
	Solda	Oposto	Solda	Oposto
Dureza (HRB)	46 HRC	97	79	76
LR (MPa)	738	678	509	515
LE (MPa)	660	586	337	357
Al (%)	14	16	27	26

Analisando os resultados do tratamento térmico apresentados nas Figuras 6 e 7 é possível notar a semelhança da solda com a do oposto da solda bem como da dureza (Tabela 3), qualidade que o tubo sem tratamento não apresentava. A margem entre a tensão de escoamento e a tensão de ruptura também foi elevada, característica positiva para peças que posteriormente serão conformadas.

Devido ao baixo teor de carbono das amostras a formação observada no resfriamento foi de grande quantidade de ferrita.

3.3 Tubo Seção Circular 76,20x3,35 mm

Tabela 4. Dados Retirados na Fabricação do Tubo.

Dados do Tubo		Dados do Material		Dados da Máquina			
Prod (Kg/h): 3413		Aço	1008*	Máquina	Forno		
Ø(mm)	76,20			V(mm/min)	241		
e (mm)	3,35			T (°C)	920		
L (mm)	6010	Data	09/01/07				
COMPOSIÇÃO DO AÇO				Elementos	C	Mn	Si
				%	0,08	0,44	0,018

*Laminado a quente

Tabela 5. Propriedades Mecânicas do tubo.

PROPRIEDADES MECÂNICAS		
Item	Sem Trat. Térmico	Normalizada
	Solda	Oposto
Dureza (HRB)	78	58
LR (Mpa)	436	337
LE (Mpa)	395	253
AI (%)	26	30



Figura 8. a) Solda Amostra sem Tratamento Térmico - 50x. b) Solda Normalizado 920° 40min - 50x.



Figura 9. a) Oposto Amostra sem Tratamento Térmico -100x. b) Oposto Normalizado 920° 40min -100x.

As Figuras 8 e 9 mostram os resultados obtidos com o tratamento térmico do tubo 76,20x3,35 mm. A estrutura da amostra apresentou um crescimento de grão acima do esperado, porém, essa ocorrência não impediu a otimização das propriedades mecânicas com o tratamento térmico. Outro fato observado foi o crescimento excessivo dos grãos da superfície. O estudo deste crescimento de grãos estará contemplado no escopo da dissertação do mestrado em ciência e engenharia dos materiais.

4 CONCLUSÕES

- 1- Estudos de tratamentos térmicos realizados em fornos de laboratório permitem determinar parâmetros para serem utilizados em fornos contínuos, minimizando custos operacionais.
- 2- O tratamento térmico de normalização possibilita a homogeneização a microestrutura de tubos com costura, eliminando as heterogeneidades entre região soldada e região oposta a solta.
- 3- Tubos com costura tratados termicamente por normalização, permite aplicações onde processos de conformação estão presentes.

REFERÊNCIAS

- 1 Manual Tubos de Aço Com Costura – Tuper Tubos. Disponível em: http://www.tuper.com.br/tubos/pdf/catalogo_tuper.pdf Acesso em: 08/01/2007
- 2 Fabricação de Tubos de Aço Com Costura. Disponível em: http://www.pipesystem.com.br/Artigos_Tecnicos/Tubos_Aco/body_tubos_aco.html Acesso em: 08/01/2007
- 3 Weld Heating Power Requirements from a Process Viewpoint; Oppenheimer, E.D.; Tube Americas; Vol. V, No. 4; August 1994.
- 4 ASM HandBook – Heat Treatting. Vol. 4, 1991
- 5 Tratamento Térmico – Normalização. Disponível em: <http://www.spectru.com.br/Metalurgia/acocomtratar.htm> Acesso em: 08/01/2007
- 6 Recozimentos & Normalização–Normalização. Disponível em: <http://www.mspc.eng.br/ciemat/aco2.asp> Acesso em: 08/01/2007
- 7 Recozimentos & Normalização–Normalização. Disponível em: <http://www.abmbrasil.com.br/materias/download/2491.pdf> Acesso em: 08/01/2007
- 8 Steels: Heat Treatment and Processing Principles by Dr. George Krauss Publicado por American Society for Metals, 1990
- 9 Tratamento Térmico e Fornos Contínuos. Disponível em: <http://www.jung.com.br/index.php?pageid=36> Acesso em: 08/01/2007
- 10 Normas Técnicas para Fabricação de Tubos; Normas Brasileiras Registradas 8261, Novembro 1983
- 11 Normas Técnicas para Fabricação de Tubos; Deutsches Institut Für Normung 2393.
- 12 COPAERT, HUBERTUS. Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns. 3ª ed. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo, 1997