



# CARACTERIZAÇÃO DE TUBOS *ERW/HFIW* TUBING EUE API 5CT GRAU N80Q<sup>1</sup>

Wilson Rosa Cordeiro<sup>2</sup>  
Luis Carlos Rodrigues de Melo<sup>3</sup>  
Igor Gomes<sup>4</sup>  
Luiz Paulo Boni<sup>5</sup>

## Resumo

Com o surgimento de novos desafios na exploração dos campos profundos de petróleo, a utilização de equipamentos especiais e altamente confiáveis para operar nestes ambientes tornou-se uma necessidade. Este trabalho tem como principal objetivo compartilhar o método utilizado para qualificar a fabricação de tubos utilizados para a produção de petróleo e gás, utilizando como base tubulações de produção (Tubing) de grau N80Q, fabricadas de acordo com as exigências da norma API 5CT, com roscas EUE (External Upset) feitas de acordo com a norma API 5B, produzidas pelo processo ERW/HFIW. Para assegurar a qualidade do processo de fabricação dos tubos, um procedimento de homologação é aplicado, e este trabalho apresenta os resultados e a metodologia deste procedimento.

**Palavras-chave:** Tubos *ERW/HFIW*; *Tubing* EUE; API 5CT; N80Q.

## CARACTERIZATION OF ERW/HFIW PIPES TUBING EUE API5CT GRADE N80Q

## Abstract

With the emergence of new challenges in the exploitation of deep oil fields, the use of special and highly reliable equipment to operate in this environment became a necessity. This work has as its main objective to share the method used for qualifying the manufacturing of pipes used for the production of oil and gas, using as basis tubings in N80Q grade, manufactured according to requirements of API 5CT, with EUE (External Upset) threads made according to API 5B, produced by the ERW/HFIW process. To ensure the quality of the pipes' manufacturing process, a homologation procedure is applied, and this work presents the results and the methodology of this procedure.

**Key words:** *ERW/HFIW*, tubing EUE; API 5CT; N80Q.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro Mecânico, Diretor Apolo Tubulars; Lorena, SP.

<sup>3</sup> Engenheiro Metalúrgico e de Materiais, Gerente Industrial; Apolo Tubulars; Lorena, SP.

<sup>4</sup> Engenheiro Mecânico, Gerente da Qualidade da Apolo Tubulars; Lorena, SP.

<sup>5</sup> Engenheiro Químico, Supervisor da Qualidade da Apolo Tubulars; Lorena, SP.

## 1 INTRODUÇÃO

A demanda por produtos tubulares para o setor energético aumenta com a descoberta de novos campos de petróleo, onde a utilização de produtos certificados por entidades reconhecidas internacionalmente, como a API (*American Petroleum Institute*), colabora para confiabilidade e sucesso das operações.

Produtos certificados pela API 5CT<sup>(1)</sup> devem ter seus processos especiais padronizados pelo fabricante de um modo que garanta a sua qualidade. Para isto, os processos especiais possuem um certificado de qualificação, certificado este obtido através da homologação dos processos especiais.

O objetivo deste trabalho é descrever o processo de homologação utilizado para um tubing com upsetter grau N80Q com diâmetro externo de 73,03 mm e 5,51 mm de espessura conforme os requisitos da norma API 5CT, produzidos pelo processo de soldagem em alta frequência e tratados termicamente via tempera e revenimento, onde a caracterização do produto foi realizada após o tratamento térmico.

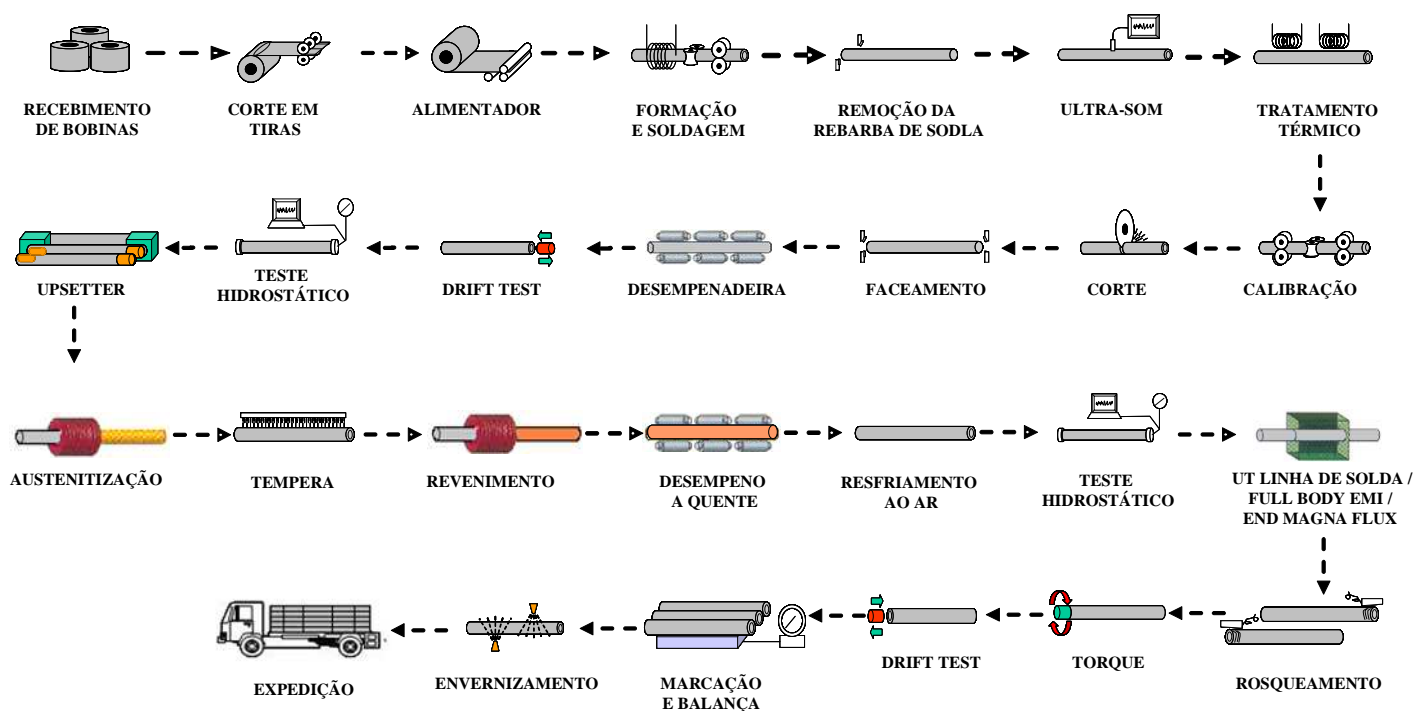


Figura 1. Produção de Tubing EUE API 5CT grau N80Q.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O processo de homologação consiste em utilizar tubos produzidos pelo processo ERW/HFIW e qualificados conforme ASME IX, com as pontas forjadas para rosqueamento (upsetting), utilizando um material específico<sup>(2)</sup> para tratamento térmico conforme as dimensões do produto.

Para a homologação, o processo de fabricação deve passar por três etapas. A primeira etapa utiliza os tubos produzidos, neste caso com diâmetro de 73,03 mm e 5,51 mm de parede de espessura, e realiza um teste no forno para o ajuste dos parâmetros de austenitização, tempera e revenimento conforme especificado pela Apolo, onde são retiradas amostras após tempera e revenimento, e são avaliados os

resultados de propriedades mecânicas e integridade estrutural (Ensaio Não-Destrutivo) conforme os requisitos da norma de aplicação.

Primeiramente os resultados após tempera são avaliados conforme a equação 1. Sendo a avaliação negativa torna-se necessária a definição de novos parâmetros, com base na metalurgia do processo. Um novo ajuste dos parâmetros é realizado e avaliado novamente conforme descrito anteriormente. Em caso de aprovação, os tubos são revenidos e os resultados são avaliados conforme a tabela 1.

$$HRC \min \geq 52 * (\% \text{ carbono}) + 21 \quad (1)$$

**Tabela 1.** Requisitos mecânicos API 5CT grau N80Q

Limite de Escoamento		Limite de Resistência
Max.	Min.	Min.
552	758	689

Estando os resultados do material após revenimento aprovados, confirma-se a capacidade dos parâmetros para a segunda etapa da homologação, caso contrário, é realizado um novo teste alterando-se apenas os parâmetros de revenimento conforme descrito por Hollomon e Jaffe<sup>(3)</sup>, e que está resumido na equação 2.

$$T^{\circ}F = \frac{(H_{cadj} - HRC_{aim})}{(0.00216 * (19,5 * \log_{10}(t)))} - 460 \quad (2)$$

Para a segunda etapa da homologação, 10 tubos são processados sequencialmente, sendo analisadas as posições conforme a figura 3 para os dois últimos tubos do processo (temperados), e conforme a figura 4 para os oito primeiros tubos (revenidos). A quantidade dos ensaios realizados, número de ensaios requeridos pela API 5CT, normas de ensaio, tamanho das amostras e equipamentos utilizados estão descritos nesta ordem.

**Drift Test, Teste Hidrostático e Ensaio Não-Destrutivo (END):** 01 ensaio por tubo, 100% da produção, API 5CT, 9750 mm, Mandril de Teste / Equipamento de Teste Hidrostático / Ultra-Som, EMI e Partículas Magnéticas.

**Composição Química:** 01 análise química por tubo revenido, 02 análises por corrida, ASTM A 751, 50 mm<sup>2</sup>, Espectrometro de emissão ótica.

**Dimensional:** 10 análises dimensionais por tubo, uma por tubo produzido, API 5L, tubo, paquímetro, micrometro e ultra-som.

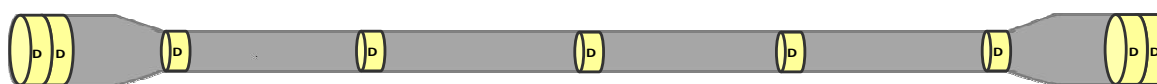
**Tração:** 20 ensaios por tubo revenido, 1 ensaio longitudinal por corrida e a cada 400 tubos produzidos, ASTM A 370, longitudinal 240 mm<sup>2</sup>, Kratos com capacidade de 1.000 ton.

**Charpy:** 1 conjunto de ensaios por tubo revenido, não requerido, ISO 148 – 1, longitudinal 10,0 x 2,5 x 55,0 mm, Pantec com capacidade de 300 J.

**Achatamento 0° e 90°:** 5 ensaios por tubo revenido, 2 ensaios por bobina, API 5CT e ASTM A 370, 150 mm, Prensa Hidráulica.

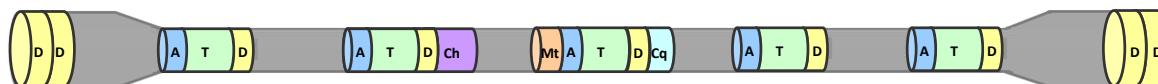
**Dureza:** 652 ensaios por tubo temperado e revenido, qualificação do tubo temperado, ISO 6508 – 1, anel, Durômetro Rockwell.

**Metalografia:** 1 amostra por tubo revenido, não requerido, API 5CT / ASTM E3, ASTM E112 / ASTM E45 51, 30,0 x 30,0 x 5,51 mm, Policorte e Politriz.



**Legenda**  
D=Dureza

**Figura 3.** Posições para ensaio no tubo temperado.



**Legenda**  
D=Dureza; A=Achatamento; T=Tração; Ch=Charpy; Mt=Metalografia; Cq=Composição Química

**Figura 4.** Posições para ensaio no tubo revenido.

A seguir são apresentados os resultados dos ensaios END, mecânicos, metalográficos e químicos. Poderá ser verificado que todos os resultados obtidos estão de acordo com a norma API 5CT, 8ª Edição para o grau N80Q.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Drift Test, Teste Hidrostático e End

Antes do corte das amostras para os ensaios destrutivos, os tubos revenidos foram testados pelo Drift Test com um mandril de diâmetro externo de 59,63 mm por todo o comprimento. Foram também testados hidrostaticamente com uma pressão de 9700 psi durante 5 segundos e, pelos ensaios não-destrutivos de ultra-som, EMI e partículas magnéticas. Nenhum defeito foi encontrado pelos ensaios realizados acima, conforme os critérios da norma API5CT.

#### 3.2 Análise Química

Avaliando os resultados presentes na Tabela 2, verifica-se que o material atende completamente os requisitos da norma, e demonstra-se que é possível utilizar o material para atender a graus com composição química mais restrita como o L80-1 e o P110.

**Tabela 2.** Composição Química do material

Especificação		APOLO	API 5CT – N80Q	API 5CT – L80-1	API 5CT – P110
C	mín.	0,22	-	-	-
	máx.	0,26	-	0,43	-
Mn	mín.	1,28	-	-	-
	máx.	1,46	-	1,90	-
Mo	mín.	0,008	-	-	-
	máx.	0,015	-	-	-
Cr	mín.	0,021	-	-	-
	máx.	0,058	-	-	-
Ni		0,021	-	0,25	-
Cu		0,023	-	0,35	-
P	máx.	0,017	0,030	0,030	0,020
S		0,003	0,030	0,030	0,010
Si		0,266	-	0,45	-

### 3.3 Análise Dimensional

Os tubos foram dimensionados após o processo de tratamento térmico e desempenho a quente, onde foram avaliadas as características de dimensionais no corpo do tubo e nas pontas na área com upset externo, conforme o perfil de ensaios da Figura 5.

Como pode ser observado na Tabela 3, os resultados de espessura e diâmetro no corpo estão conforme os requisitos normativos, e apresentam uma pequena variação, característica esta do processo ERW/HFIW. Apenas o diâmetro na área com upset está, ligeiramente, acima do especificado pela norma, porém não desqualificando o produto, já que esta região será usinada durante o acabamento das pontas e fabricação de rosca.

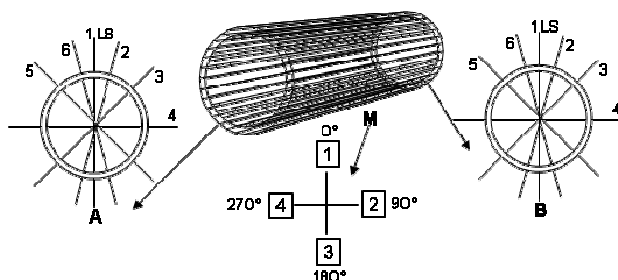


Figura 5. Perfil dos ensaios dimensionais.

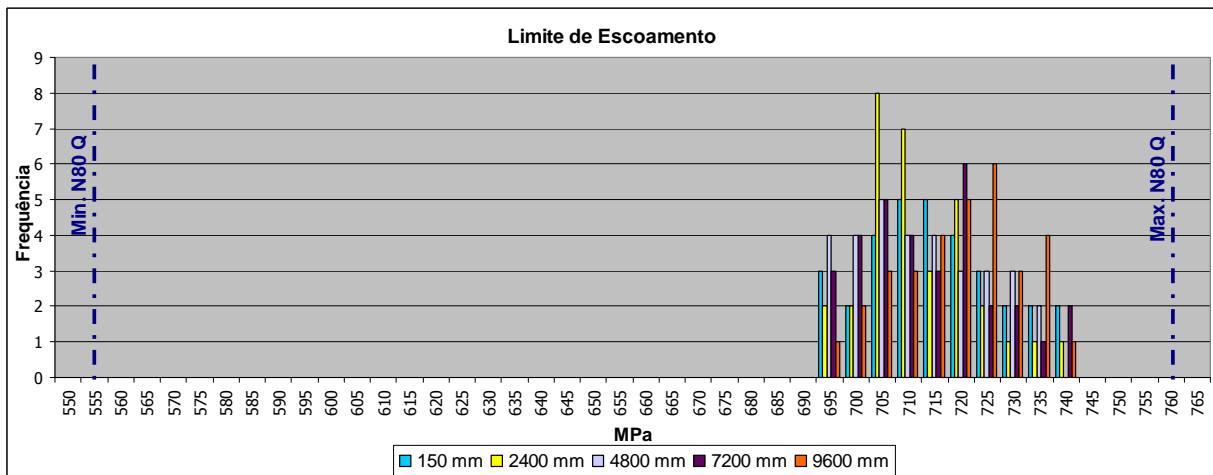
Tabela 3. Dimensional dos tubos em homologação

	N80Q - APOLO			API 5CT	
	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Média (mm)	Mínimo (mm)	Máximo (mm)
Diâmetro Corpo	73,30	73,75	73,44 +- 0,12	72,24	73,81
Ovalização Corpo	0,10	0,45	0,23 +- 0,11	-	-
Diâmetro Upset	79,30	81,05	80,34 +- 0,33	78,6	80,2
Ovalização Upset	0,25	1,05	0,57 +- 0,25	-	-
Espessura Corpo	5,35	5,57	5,46 +- 0,07	4,82	5,90
Leu	99,75	103,10	101,21 +- 0,88	82,55	107,95
Empeno	2,10	6,10	4,33 +- 1,08	-	9,75

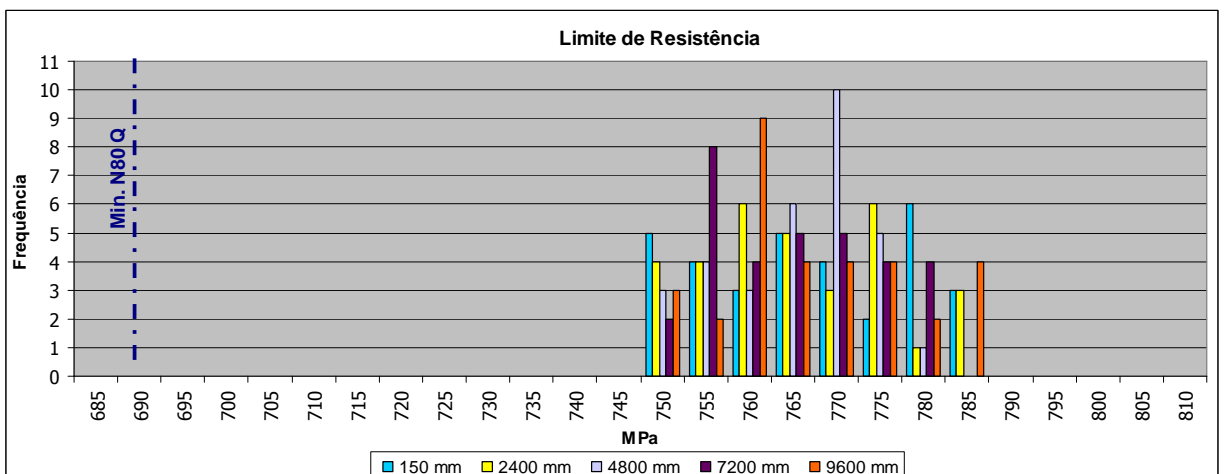
### 3.4 Ensaio de Tração Longitudinal

Os ensaios foram realizados dentro das especificações da norma API 5CT, em quatro quadrantes na seção transversal do tubo para cada posição de ensaio ao longo do comprimento. Após análise estatística dos resultados verificou-se que houve uma pequena variação dos resultados conforme mostram as Figuras 6 e 7, onde todos os valores estão de acordo com o especificado pela norma, para o grau N80Q.

Para os resultados de alongamento foi encontrado uma média de 21% e desvio 1%, comprovando o atendimento ao requisito de norma de 14% mínimo para o grau em qualificação.



**Figura 6.** Ensaio de tração longitudinal, valores do limite de escoamento do material ao longo do comprimento dos tubos.



**Figura 7.** Ensaio de tração longitudinal, valores do limite de resistência do material ao longo do comprimento dos tubos.

### 3.5 Ensaio de Impacto Charpy

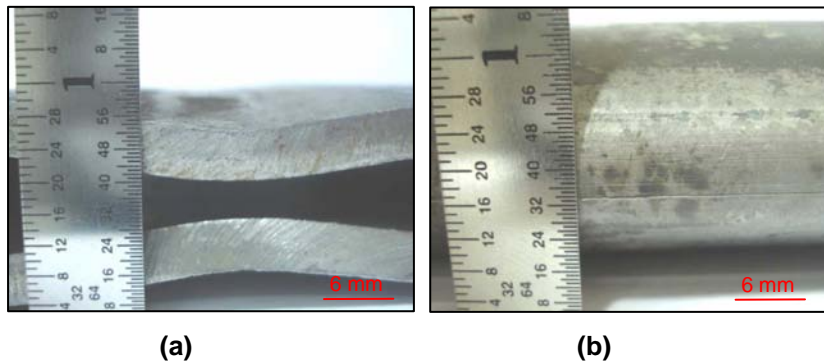
O Charpy foi realizado conforme as especificações da norma ISO 148-1 em amostras retiradas no sentido longitudinal no metal de base, devido às dimensões do produto. Os corpos de prova foram usinados no tamanho reduzido de 10 X 3,3 X 55 mm e seus resultados foram corrigidos através de aplicação de um fator de correção de 0,4 para o tamanho *full size*. Na Tabela 4 é possível observar os resultados obtidos e compará-los com o requisito da API para este ensaio quando aplicável.

**Tabela 4.** Charpy longitudinal em diferentes temperaturas

Temperatura (°C)	Energia Absorvida		
	N80Q	APOLO	
	Média (J)	Média (J)	Desvio (J)
0	27	95	1
-10	-	97	2
-20	-	92	1
-30	-	90	1
-40	-	91	2
-50	-	85	2

### 3.6 Ensaio de Achatamento

Os resultados de achatamento para as posições 0° e 90° foram aprovados e encontram-se de acordo com o especificado pela norma. A média e o desvio padrão para os ensaios a 0° e 90° foram respectivamente 10 +/- 5 mm e 25 +/- 10 mm, onde o requisito para aprovação é de 60 mm.



**Figura 8.** Resultado ensaio de achatamento (a) 0° e (b) 90°.

### 3.7 Ensaio de Dureza

Os ensaios de dureza foram realizados utilizando-se o método Rockwell C, em uma seção transversal ao eixo do tubo. Para as amostras no corpo do tubo os ensaios foram realizados na parte central, conforme especificada a API 5CT para espessuras menores do que 7,62 mm, já na região com upset foram testadas as posições externa, centro e interna, ao longo da espessura conforme demonstra o perfil de dureza na Figura 9.

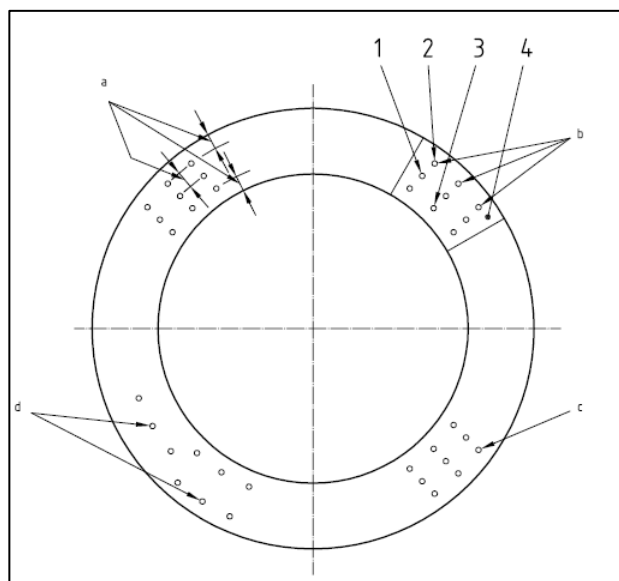
Como pode ser observado na Tabela 5, os resultados do tubo na condição temperado estão acima do mínimo especificado de 35HRC, calculado pela equação 1, que representa a quantidade mínima de 50% de martensita transformada.

A API não especifica para o grau em homologação, limites de dureza na condição revenido, no entanto pode-se observar que os resultados estão em uma faixa com pequena variação para todas as posições analisadas ao longo do comprimento do produto.



**Tabela 5.** Dureza no tubo ao longo do comprimento

Distância (mm)	Posição	Tempera (HRC)				Revenido (RHC)			
		Mín.	Máx.	Média	Desvio	Mín.	Máx.	Média	Desvio
35	Externo	48,0	53,0	50,3	1,4	22,0	27,0	25,2	1,2
	Centro	42,0	47,0	44,0	1,3	20,0	26,0	23,9	1,4
	Interno	40,0	45,0	42,3	1,4	19,0	26,0	23,3	1,5
70	Externo	46,0	52,0	50,5	1,7	22,0	27,0	24,7	1,2
	Centro	42,0	47,0	43,7	1,4	22,0	27,0	24,2	1,3
	Interno	41,0	46,0	43,5	1,1	18,0	26,0	23,3	1,5
150	Centro	46,0	52,0	49,3	1,7	19,0	26,0	23,5	1,8
2400	Centro	48,0	52,0	49,6	1,1	21,0	25,0	22,9	0,9
4800	Centro	49,0	53,0	51,2	1,3	20,0	25,0	23,0	1,0
7200	Centro	46,0	53,0	49,9	1,7	20,0	26,0	24,3	2,1
9600	Centro	48,0	52,0	50,1	1,5	20,0	26,0	23,2	1,5
9680	Externo	42,0	53,0	49,3	2,2	20,0	26,0	24,1	1,5
	Centro	41,0	50,0	45,9	1,7	19,0	26,0	23,9	1,4
	Interno	40,0	52,0	47,2	2,1	20,0	26,0	23,9	1,4
9715	Externo	46,0	52,0	47,1	2,2	20,0	26,0	23,4	1,7
	Centro	44,0	48,0	45,7	2,1	20,0	26,0	23,2	1,6
	Interno	41,0	47,0	45,2	2,3	19,0	25,0	23,5	1,5



**Legenda:** 1 - Identação no Centro; 2 - Identação Externa; 3 - Identação Interna.

a Os testes externos e internos devem ser feitos a 2,54 mm e 3,81 mm a partir da superfície aplicável. Um erro pode ser resultado, se o espaçamento de uma indentação for menor que 2 ½ vezes o diâmetro do centro até a borda do corpo de prova ou 3 vezes o diâmetro até outra indentação de centro a centro.

b O número médio de dureza é a média de três ensaios Rockwell em uma mesma localização.

c Uma indentação de dureza Rockwell é chamada de número de dureza Rockwell

d Espaços alternativos em linhas são permitidos para espessuras finas

**Figura 9.** Perfil de dureza HRC, em quatro quadrantes.



### 3.8 Análise Metalográfica

A análise metalográfica foi realizada através de microscópio óptico. Foi utilizado o reagente Nital 3% para a análise micrográfica. Foram caracterizadas as fases e/ou microconstituintes presentes no produto após tratamento térmico, bem como o tipo de inclusão presente no material. Utilizou-se a norma ASTM E45-51 para análise das inclusões e a microestrutura foi caracterizada por comparação com o Metals handbook.<sup>(4)</sup>

Na Figura 10 pode-se observar a presença de inclusões na seção transversal e longitudinal ao sentido da laminação da bobina, ambas caracterizadas como sendo do tipo óxido globular, série fina e nível 2, de acordo com a classificação ASTM E45-51. Nota-se que devido à disposição dos glóbulos, a fragilização do aço torna-se reduzida.

Na Figura 11 pode-se observar que a região da solda possui a mesma microestrutura presente no metal de base, como mostra a Figura 12, apresentando a mesma morfologia ao longo da espessura, ambas as regiões foram caracterizadas pelo microconstituente martensita revenida.<sup>(3)</sup>

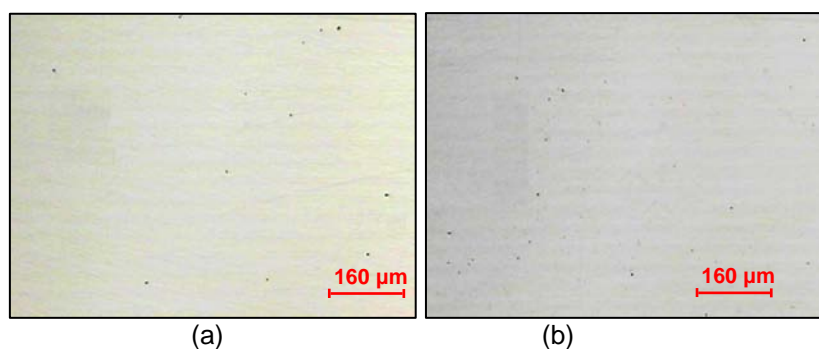


Figura 10. Micrografia sem ataque, 100X, (a) transversal e (b) longitudinal ao sentido de laminação.

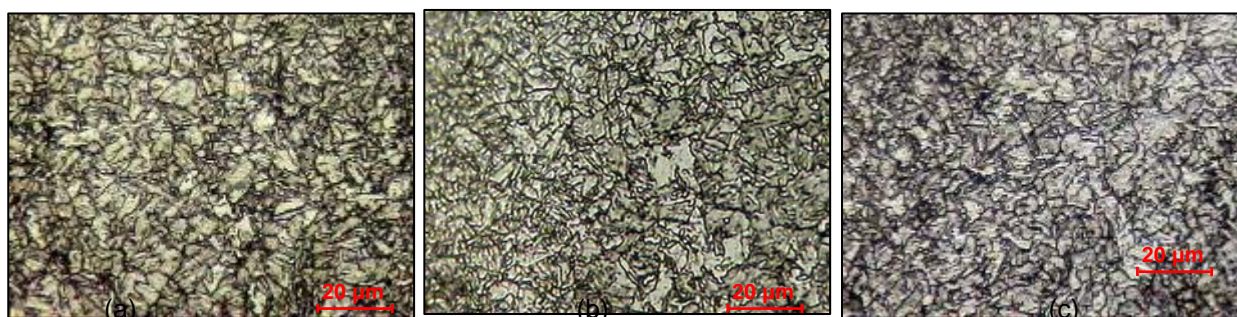
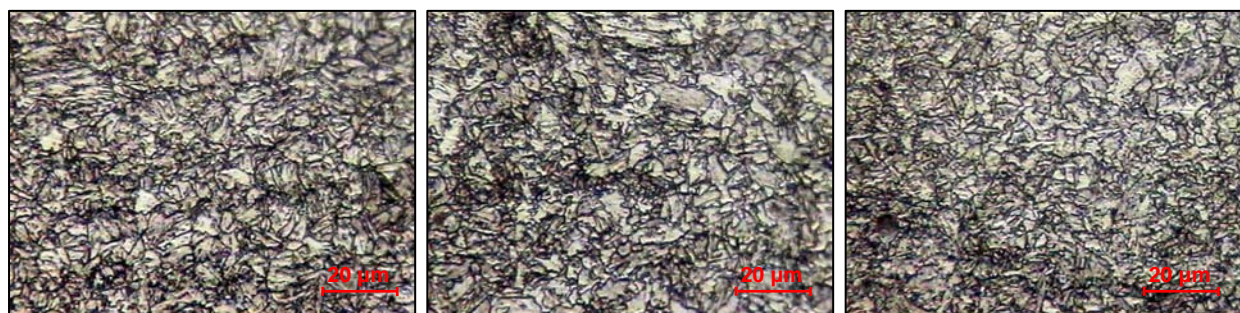


Figura 11. Micrografia com ataque na linha de solda, 800 X, (a) superior, (b) centro e (c) interno a espessura.



(a) (b) (c)  
**Figura 12.** Micrografia com ataque no metal de base, 800 X, (a) superior, (b) centro e (c) interno a espessura.

#### 4 CONCLUSÃO

Os resultados de END comprovam que os parâmetros definidos para o processo assim como a matéria prima, não causaram danos à integridade estrutural do tubo após o tratamento térmico.

Os resultados de análise química comprovam que o material atende as especificações da norma, mesmo para graus mais restritos como o L80-1 e P110, permitindo também uma futura homologação deste material para estes graus.

A análise dimensional mostra que os resultados no corpo do tubo apresentaram uma baixa variação e estão todos conforme as especificações da norma. A baixa variação dos resultados de espessura e diâmetro no corpo do tubo possibilita uma futura pesquisa no campo de aplicação para tubos resistentes ao colapso, já que estas características são pontos chaves para o bom desempenho para esta aplicação

Para a área com upset pode se observar que existem resultados de diâmetro acima do especificado por norma, no entanto esta condição é corrigida durante a usinagem de rosca na ponta do tubo.

No ensaio de tração foi verificado que todos os resultados atendem os requisitos do grau N80Q, mantendo-se em uma faixa 20% menor que a exigida por norma para o limite de escoamento dos tubos, para todas as posições analisadas ao longo do comprimento dos tubos.

Mesmo não sendo requerido por norma para a espessura em homologação, os resultados de Charpy foram avaliados conforme os requisitos do grau N80Q para o sentido longitudinal, onde o material apresentou elevados valores de energia absorvida em relação ao requisito, mesmo para temperaturas abaixo da especificada, apresentando um comportamento dúctil para todas as temperaturas de ensaio.

Através dos resultados de dureza foi possível identificar que a quantidade de martensita transformada no processo de tempera foi superior ao mínimo de 50% exigido por norma, aproximadamente em 90%, garantido assim uma maior homogeneidade microestrutural sendo este também um fator a ser avaliado durante um futuro estudo para uma aplicação com resistência ao colapso.

A análise microestrutural no corpo do tubo comprovou a homogeneidade da microestrutura, já esperada pelos resultados de dureza. Assim como a caracterização das inclusões, tipo oxido globular, conferindo uma melhor ductilidade ao material.

Após a realização e avaliação de todos os resultados, pode-se caracterizar de forma clara e segura que o produto oriundo do processo de homologação é um *Tubing External Upset End* grau N80Q.

## REFERÊNCIAS

- 1 Specification for Casing and Tubing. API Specification 5CT. Eight Edition, July 1 2005. [Effective Date: January 1, 2006].
- 2 W. Crafts and J.L. Lamont, Hardenability and Steel Selection, Pitman and Sons, London, 1949.
- 3 J.H. Hollomon and L. Jaffe, Ferrous Metallurgical Design, John Wiley and Sons, New York, 1947.
- 4 Metals Handbook, Atlas of Microstructures of Industrial Alloys, Vol. 7, 8<sup>th</sup> Edition, pp. 20 – 22. © American Society For Metal.
- 5 C.A. Siebert, D. V. Doane and D.H. Breen, The Hardenability of Steels, American Society for Metals, 1977.