

DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE AÇO API 5L X70 NO LAMINADOR DE TIRAS A QUENTE DA CST ¹

Roberto de Oliveira Costa ²
Julio Cezar Bellon ²
Everaldo Antônio Caldeira ³
Renato Diniz Carvalho ⁴

Resumo

Com o objetivo de aumentar a produção de materiais de alto valor agregado, a CST vem desenvolvendo aços microligados para aplicações em gasodutos e oleodutos segundo a norma API, do “American Petroleum Institute”, especificação 5L. Atualmente, a utilização de aços de Alta-Resistência e Baixa-Liga (ARBL) e a adoção do processamento termomecânico controlado na laminação têm sido uma excelente opção para os novos projetos de tubulações. Neste contexto, parâmetros como composição química, processo de reaquecimento da placa, taxas de deformação no laminador desbastador e de acabamento, controles de temperatura em cada etapa do processo são muito importantes para maximizar os efeitos dos microligantes com Nb, V e Ti no controle do tamanho de grão, endurecimento por precipitação e nas transformações de fase. O objetivo do presente trabalho é de apresentar as práticas adotadas no processo de laminação a quente na CST, assim como os resultados obtidos, no desenvolvimento de aços para aplicação em gasodutos e oleodutos, de acordo com a norma API especificação 5L grau X70.

Palavras-chave: API 5L X70; Aços microligados; Laminador de tiras a quente; Laminação controlada.

¹ *Contribuição Técnica ao 42º Seminário de Laminação, Processos e Produtos Laminados e Revestidos, Santos, SP, 25 a 28 de Outubro de 2005.*

² *Especialista de Laminação de Tiras a Quente – Divisão Técnica da Laminação.*

³ *Especialista de Desenvolvimento de Produto – Divisão de Metalurgia - CST.*

⁴ *Especialista em Assistência Técnica a Clientes – Divisão de Assistência Técnica – CST.*

1 INTRODUÇÃO

A Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST) é uma usina integrada com capacidade de produção de 5 milhões de t/ano de placas de aço, das quais 2 milhões de t/ano são destinadas à produção de bobinas a quente no seu LTQ.

As bobinas de aço produzidas pela CST possuem diversas aplicações, tais como, estampagem profunda/extraprofunda, construção civil/naval, fins-elétricos, esmaltagem vítrea, autopeças, implementos agrícolas/rodoviários e tubos para oleodutos e gasodutos.

A seguir estão relacionados os principais equipamentos do Laminador de Tiras a Quente da CST, assim como suas respectivas características:

- **Forno de Reaquecimento de Placas:** Possui uma capacidade de 400t/h, é do tipo vigas caminhantes com queimadores laterais e de topo e sistema de skids defasados;
- **Laminador Vertical (Bordas):** Possui potência de 3.000KW, controle automático de largura, força máxima de laminação de 7.000KN e capacidade de redução efetiva de largura de 75mm.
- **Laminador Horizontal:** É do tipo quádruo reversível, com potência de 15.000KW e força máxima de laminação de 39.000KN;
- **Coilbox:** Equipamento responsável por uniformizar a temperatura ao longo do esboço, é do tipo sem mandril, possui dois berços com estabilizadores e escudos térmicos;
- **Laminador de Acabamento:** Possui seis cadeiras tipo quádruo equipadas com Hydraulic Automatic Gauge Control (HAGC), looper, Work Roll Shift (WRS) e Work Roll Bending (WRB) e Continuously Variable Crown (CVC);
- **Mesa de Resfriamento Forçado (Laminar flow):** É do tipo sifão, com quinze bancas de resfriamento independentes;
- **Bobinadeiras:** São duas, do tipo hidráulica, equipadas com sistema ASC (Automatic step Control).

Na Figura 1 pode-se observar o layout do laminador de tiras a quente da CST, com a identificação dos principais equipamentos.

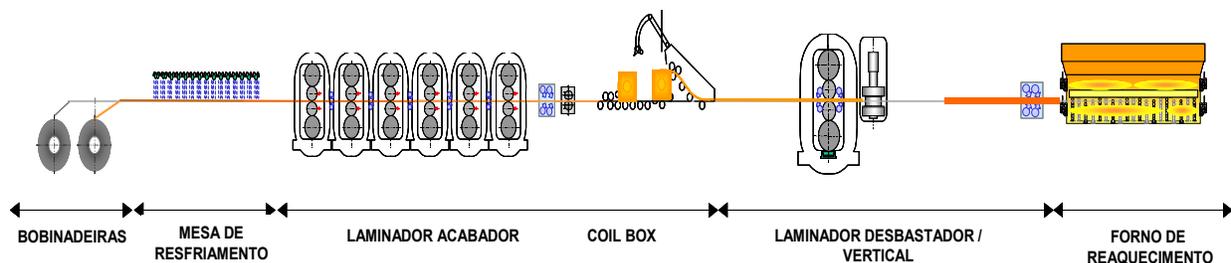


Figura 1. Layout do laminador de tiras a quente da CST.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Composição Química

Para o desenvolvimento do aço API especificação 5L grau X70 na CST, foi utilizada uma composição química da classe de aços Alta-Resistência e Baixa-Liga (ARBL), microligado com Nb, Ti e V.

A adição de Nb, nos aços API, tem como finalidade:

- Controlar o tamanho do grão de γ , através da precipitação de Nb(CN) nos contornos de grão;
- Aumentar a temperatura de não recristalização de γ ;
- Reduzir a temperatura de transformação $\gamma \rightarrow \alpha$;
- Formar precipitados de NbC na matriz de α .

O Titânio é adicionado com a finalidade de combinar com o nitrogênio e formar precipitados de Nitreto de Titânio (TiN). Estes precipitados, por sua vez, controlam o crescimento do grão austenítico.

A adição de Vanádio visa o endurecimento por precipitação como VN e VC durante e após a transformação $\gamma \rightarrow \alpha$. Face às baixas temperaturas de formação, estes precipitados são bastante finos e tem efeito significativo no endurecimento.

A Tabela 1 apresenta a composição química adotada pela CST para fabricação do aço API especificação 5L grau X70.

Tabela 1. Faixa de composição química para X70 (CST).

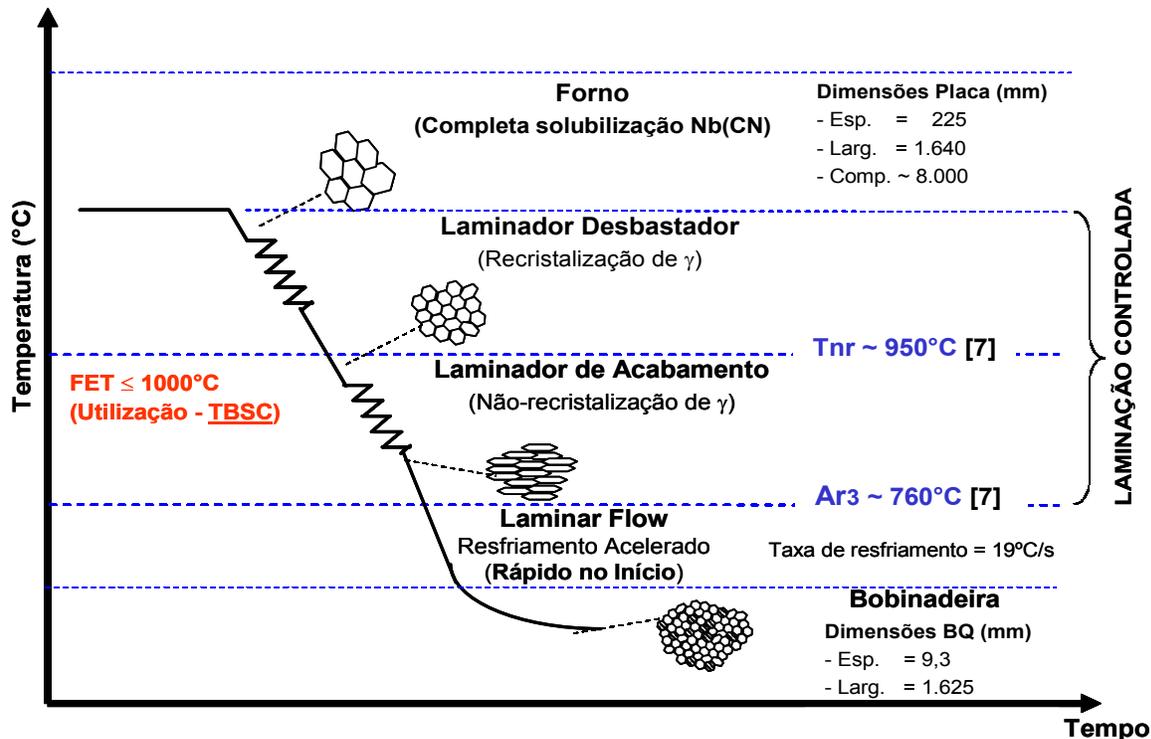
Elementos (% em Peso)	C	Si	Mn	P	S	Al	N	V	Nb	Ti	Ca
Mínimo	0,060	0,25	1,50	-	-	0,015	-	0,015	0,045	0,013	0,002
Máximo	0,095	0,35	1,65	0,02	0,005	0,045	0,007	0,025	0,060	0,027	0,004

2.2 Processamento Termomecânico Controlado (TMCP)

Os parâmetros de TMCP são responsáveis pela determinação da microestrutura final do material, cujas características irão definir as respectivas propriedades mecânicas. O desenvolvimento do TMCP, associado aos elementos microligantes Nb, Ti e V, proporciona o aumento da resistência mecânica sem comprometimento da tenacidade dos aços ARBL, através do:

- Refino de grão;
- Precipitação;
- Aumento da densidade de discordâncias.

Na Figura 3, observa-se de forma esquemática, a estratégia de laminação controlada adotada na CST, cuja laminação de desbaste e acabamento são concluídas respectivamente na região de recristalização e não recristalização da γ , seguido de resfriamento controlado.



Legenda: FET = Temperatura de entrada no trem acabador - TBSC = Sistema de resfriamento de esboço

Figura 3. Prática de laminação controlada adotada no LTQ da CST.

Os principais parâmetros de TMCP adotados no LTQ da CST são:

Forno de Reaquecimento: temperatura de extração $\geq 1190^{\circ}\text{C}$. O objetivo é dissolver os precipitados de Nb, V e garantir que os precipitados de TiN controlem o crescimento dos grãos de γ , visando a obtenção de grãos de γ o mais refinados e uniformes possível.

Laminador Desbastador: 1ª etapa da laminação, realizada com temperaturas acima de 1000°C , acima da temperatura de não recristalização da austenita (T_{nr}). Nesta etapa é objetivado o refino do grão austenítico através de sucessivos passes de laminação seguidos de recristalização. Redução total da espessura de aproximadamente 80%.

Coilbox: Utilizado para obtenção de maior uniformidade da temperatura ao longo do esboço. Este equipamento reduz a diferença de temperatura ao longo do esboço, proporcionando uma maior homogeneidade da microestrutura e propriedades mecânicas do aço.

Trem Acabador: Laminação na região de não-recristalização da austenita (T_{nr}), onde a obtenção de grãos de γ alongados melhora o refino dos grãos ferríticos, após a transformação de fase. Nesta etapa a redução da espessura fica em torno de 75%.

Laminar Flow: Estratégia de resfriamento acelerada, otimizando o refinamento do grão.

Bobinadeira: Temperatura $\leq 620^{\circ}\text{C}$.

Face às dificuldades de se conciliar as necessidades de temperatura nas diversas etapas do processo de laminação, foi desenvolvido na CST um sistema de resfriamento de esboço (TBSC) na entrada do trem acabador. Este sistema possibilitou não só a laminação com temperaturas mais elevadas ($>1000^{\circ}\text{C}$) na etapa do desbaste (evitando

ocorrência de sobrecargas e perda de produtividade), como também deformações em baixas temperaturas no trem acabador, permitindo a laminação abaixo de T_{nr} .

3 RESULTADOS

3.1 Microestrutura

A microestrutura do aço API grau X70, desenvolvido na CST, é constituída de ferrita acicular com ilhas de perlita e tamanho de grão ASTM 12, como mostrado na Figura 2.

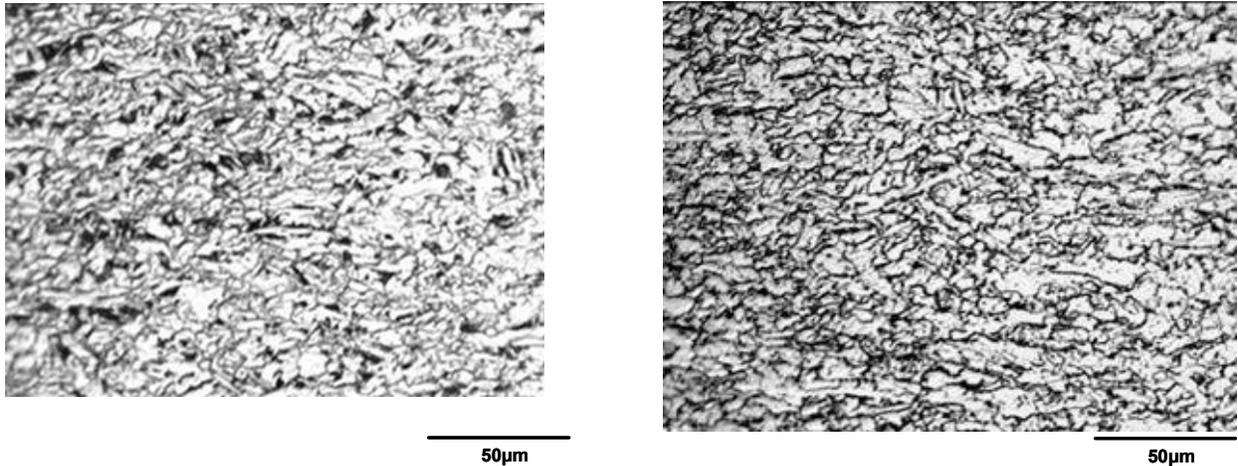


Figura 2. Microestrutura constituída de ferritas aciculares e pontos escuros de perlita. Ataque: Nital 4%.

Utilizando um aço API grau X70, com teor de C <0,06%, Graf [5] obteve microestrutura com ferrita acicular, que propiciou excelentes combinações de propriedades mecânicas.

3.2 Propriedades Mecânicas

Os requisitos de propriedades mecânicas, composição química e ensaios mecânicos dos tubos para oleodutos e gasodutos são definidos pela norma API especificação 5L, do “American Petroleum Institute”.⁽¹⁾ A Tabela 2 mostra os valores especificados pela norma de propriedades de tração e Charpy com entalhe em “V”, para grau X70, PSL2.

Tabela 2. Propriedades mecânicas especificadas na norma API especificação 5L para o grau X70 – PSL2.⁽¹⁾

Grau	Ensaio de Tração						Ensaio Charpy a 0°C	
	Transversal						Transversal	Longitudinal
	Limite de Escoamento 0,5%		Limite de Resistência		Alongamento	Razão Elástica	Energia	Energia
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Mín.
X70	483MPa	621MPa	565MPa	758MPa	27%	0,93	27 J/cm ²	41 J/cm ²

Segundo a literatura, os efeitos da temperatura de acabamento sobre as propriedades mecânicas são bastante significativos. Estudos mostram que, para uma redução média

de 20°C na temperatura de acabamento obtém-se um aumento médio de 7 e 2,5 MPa, nos limites de escoamento e resistência, respectivamente.⁽²⁾

Outros experimentos, no entanto, apresentam resultados que indicam tendências de valores melhores de LE e LR para temperaturas de acabamento maiores.^(3,4)

Os resultados obtidos no LTQ da CST, são apresentados na Figura 4, onde verifica-se também que quanto menor a temperatura de acabamento, maiores os resultados de LE, LR e LE/LR. Para uma redução na temperatura de acabamento de 20°C, verificou-se respectivamente uma elevação de 14 e 6 MPa no LE e LR.

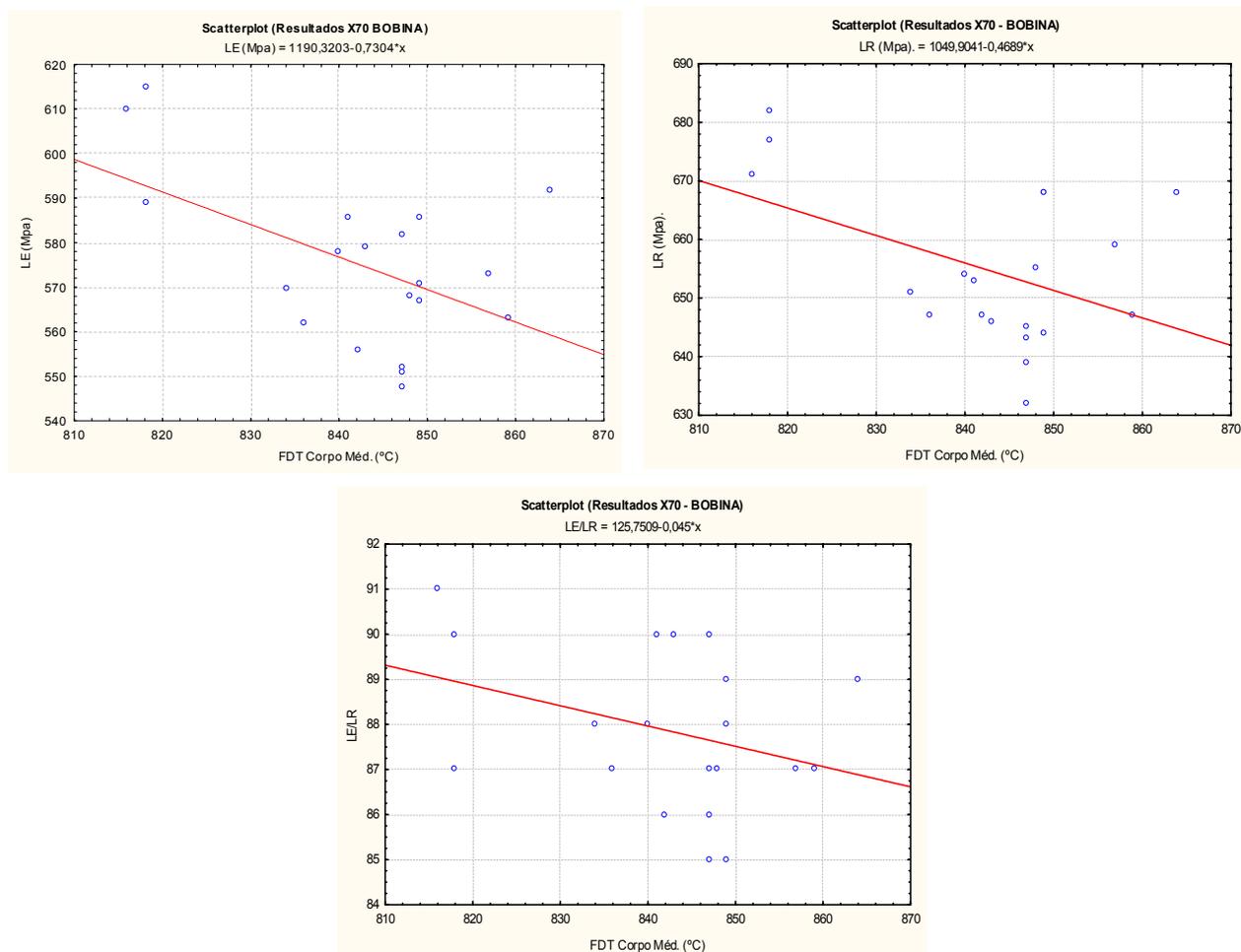


Figura 4. Gráficos de correlação do LE, LR e LE/LR da bobina com a temperatura de acabamento.

Foram verificados também outros parâmetros, tais como, tempo de permanência no forno, temperatura de entrada no trem acabador e temperatura de bobinamento, porém estes não apresentaram correlação significativa com as propriedades mecânicas.

A seguir, são apresentados os resultados dos ensaios de tração transversal nas bobinas e nos tubos.

Nas Figuras 5, 6, 7 e 8, verifica-se os resultados de limite de escoamento, limite de resistência, razão elástica e alongamento obtidos, a partir do topo das bobinas de 9,3 x 1625mm e dos tubos de $\Phi 20'' \times 0,365''$. Cada bobina, gerou em média 15 tubos, sendo testados 3 tubos por bobina, referente ao topo, meio e base da mesma. Observa-se,

tanto nos tubos quanto nas bobinas, que todos os resultados atenderam ao especificado na norma API especificação 5L grau X70.

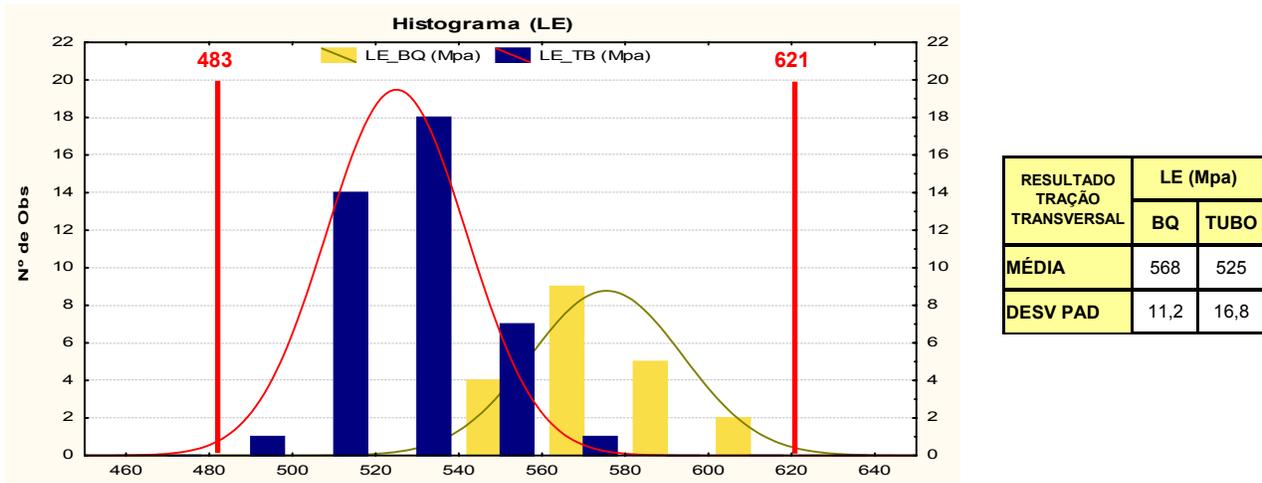


Figura 5. Resultados de LE na bobina e no tubo.

Na Figura 5, nota-se que foi objetivado um limite de escoamento na faixa superior da especificação para as bobinas, cuja finalidade foi compensar o efeito Bauschinger, fenômeno este que ocorre após o processo de fabricação dos tubos, onde a direção de carregamento é invertida, provocando um nível de tensão mais baixa.^(5,6)

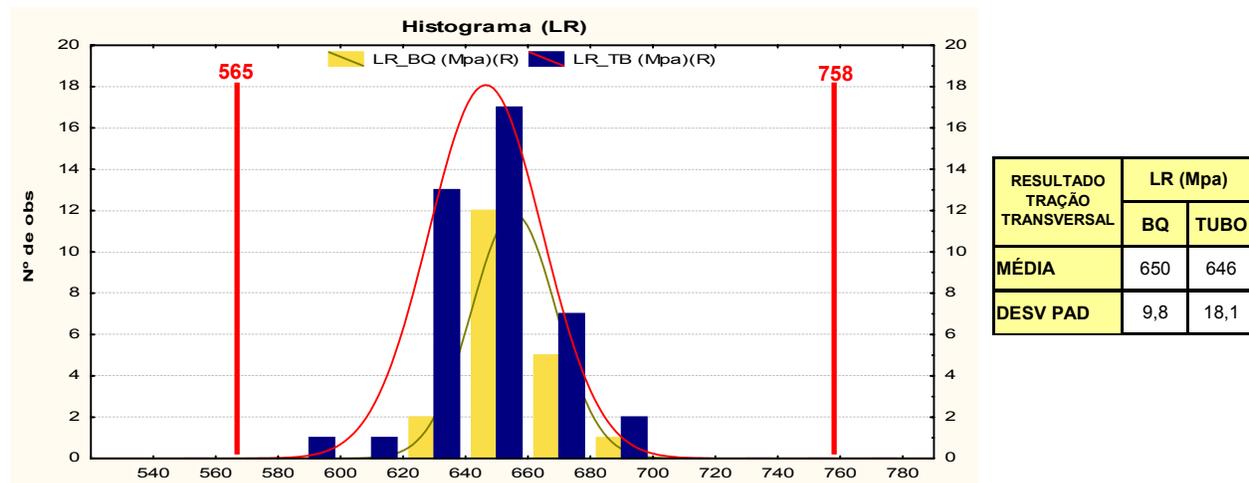
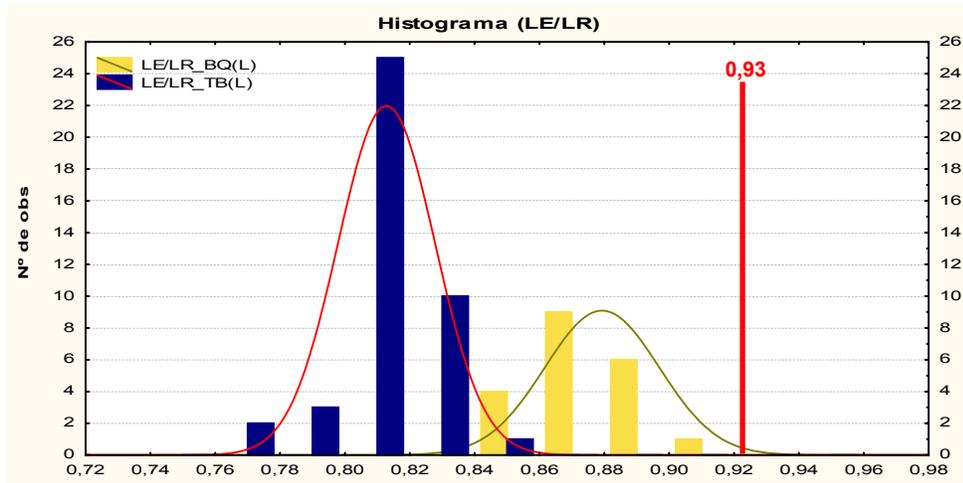


Figura 6. Resultados de LR na bobina e no tubo

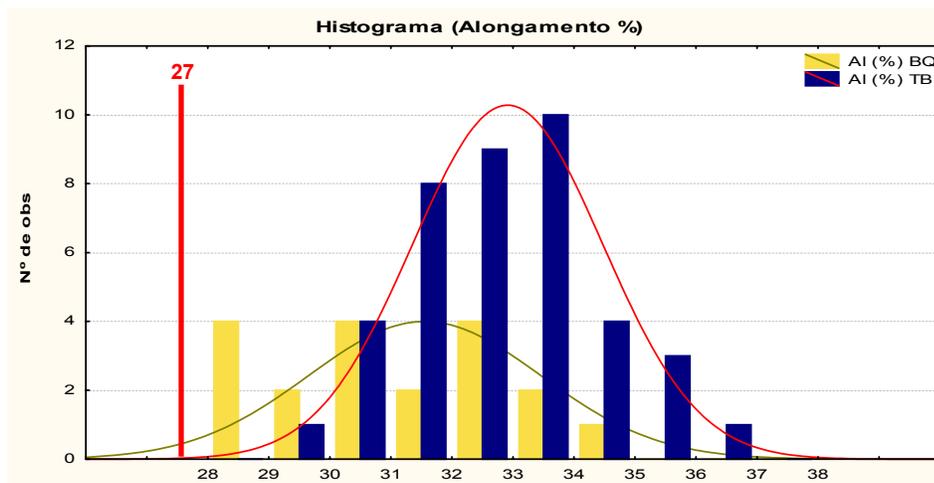
A razão elástica é uma importante característica no processo de fabricação de tubos, pois segundo estudos realizados verificou-se que este valor é diretamente proporcional a ocorrência do chamado “efeito mola”, fenômeno este que reduz a capacidade de deformação plástica do aço.⁽²⁾

Na Figura 7, nota-se um valor médio da razão elástica, para bobinas da CST relativamente elevado, que de acordo com a literatura, pode estar relacionado com os baixos valores de tamanho de grão obtidos.⁽²⁾



RESULTADO TRAÇÃO TRANSVERSAL	LE / LR	
	BQ	TUBO
MÉDIA	0,87	0,81
DESV PAD	0,02	0,01

Figura 7. Resultados da CST de razão elástica na bobina e no tubo.



RESULTADO TRAÇÃO TRANSVERSAL	Alongamento (%)	
	BQ	TUBO
MÉDIA	32	33
DESV PAD	2,2	1,6

Figura 8. Resultados da CST para alongamento na bobina e no tubo.

Os ensaios de impacto (Charpy) na CST, foram realizados a -20°C , sendo 190J o menor valor de energia absorvida obtida para bobina, a média foi de 230J e o desvio padrão de 27J.

Todas as bobinas apresentaram resultados de área dúctil de 100%.

3.3 Qualidade de Forma da Bobina

Nas primeiras bobinas laminadas, foi verificado a ocorrência de bobinamento frouxo e telescopicidade zig-zag. Este problema foi corrigido através da alteração da tensão unitária de bobinamento, cujo resultado é apresentado na Figura 9.



Figura 9. Resultado do bobinamento após alteração da tensão unitária.

4 CONCLUSÕES

Os recursos tecnológicos do LTQ da CST, associados à definição da composição química e o desenvolvimento da prática de TMCP, permitiram o desenvolvimento do aço API grau X70 em um curto espaço de tempo.

Os resultados de propriedades mecânicas das bobinas produzidas já no primeiro lote do aço API X70 atenderam todos os requisitos definidos pela norma API e pelo cliente.

REFERÊNCIAS

- 1 American Petroleum Institute, Washington, DC. API specification 5L; Specification for Line Pipe, 4.ed., Março 2004. 155p.
- 2 Gorni, A. G. – Fatores que Afetam a Razão Elástica de Chapas Grossas de Aço Microligado – 39º Seminário de Laminação, ABM, Outubro 2002.
- 3 Bellon, J. C. Aplicação de Tratamento Termomecânico a um Aço Bainítico Microligado com Nióbio, Titânio e Boro. Campinas: UNICAMP, 1995. 117p. (Dissertação, Mestrado em Engenharia Mecânica).
- 4 Tamehiro, H., Yamada, N., Matsuda, H. Effect of the Thermo-Mechanical Control Process on the Properties of High-Strength Low Alloy Steel. Transactions ISIJ, v. 25, p. 54-61, 1985.
- 5 Dieter, George E. – Metalurgia Mecânica- 1981.
- 6 Gräf, M. et. al. Production of Large Diameter Pipes Grade X 70 with High Toughness Using Acicular Ferrite Microstructures. Niobium Technical Report, www.cbmm.com.br.
- 7 Tamura, I., Ouchi, C., Tanaka, T., Sekine, H.. – Thermomechanical Processing of High Strength Low Alloy Steels – 1988.

THE PROCESS DEVELOPMENT OF API 5L X70 STEEL AT CST'S HOT STRIP MILL ¹

Roberto de Oliveira Costa²
Julio Cezar Bellon²
Everaldo Antônio Caldeira³
Renato Diniz Carvalho⁴

Abstract

Aiming to increase the production of high value added materials, CST has developed steels for line pipe applications according to the American Petroleum Institute. Nowadays, the use of High-Strength Low-Alloy Steel and Thermo-mechanical Controlled-Process (TMCP) is a good choice for cost saving for the new line pipes projects. In this context, parameters like chemical composition, slab reheating process, roughing and finishing rolling deformation and strip cooling rate and coiling temperature are important to maximize the effects of Nb, V and Ti in the grain size, precipitation strengthening and phase transformation. The proposal of this paper is to present the practices adopted in the rolling process and the results obtained at CST's Hot Strip Mill in the development of steel for line pipe application in accordance with API standard specification 5L grade X70.

Key Words: API 5L X70; TMCP; HSLA; Hot strip mill.

¹ *Technical Contribution to 42nd Rolling Seminar Processes, Rolled and Coated Products, October 25th to 28th, 2005 - Santos - SP*

² *HSM Process Engineer, CST, Vitória, ES*

³ *Metallurgical Engineer, CST, Vitória, ES.*

⁴ *Technical Assistance Engineer, CST, Vitória, ES.*