

APLICAÇÃO DE AÇOS DE ALTA RESISTÊNCIA EM DUTOS DE TRANSPORTE DE ÓLEO E GÁS: IMPLICAÇÕES SOBRE O PROJETO E CONSTRUÇÃO

Lucas Nobumichi Yshii

lucasyshii@gmail.com

Mario Sergio Giancoli Chiodo

mario.sgc@gmail.com

Resumo:

Com a crescente demanda por gás natural e petróleo no Brasil e com os objetivos de aumentar a eficiência operacional e reduzir custos, é interessante a utilização de aços de alta resistência e baixa liga (ARBL) na fabricação das linhas dutoviárias como uma maneira eficaz para a operação a altas pressões e vazões com menor peso e menores custos construtivos. Entretanto, apesar da crescente utilização de aços ARBL de elevado grau (API 5L X80 e X100) em outros países, estes ainda não são muito aplicados no Brasil, principalmente devido ao desconhecimento quanto à viabilidade de produção, soldagem e instalação em campo. Como um passo nesta direção este trabalho realizará um estudo que comprove a aplicabilidade dos aços de alta resistência no Brasil. O objetivo central deste relatório é apresentar um estudo preliminar que servirá de base para a discussão dos problemas anteriormente citados e sugestão de alternativas que viabilizem a utilização dos aços ARBL.

Palavras chave: Aços ARBL, laminação controlada, resfriamento acelerado, soldabilidade, fabricação.

1. Introdução

O gás natural é a fonte de energia que deverá apresentar a segunda maior taxa de expansão até 2020, cerca de 2,7% ao ano, superada apenas pelo petróleo. E juntos, gás natural e petróleo serão responsáveis por 66% da energia primária que o mundo demandará em 2020.[1] A participação do gás natural na matriz energética brasileira era inexpressiva em 1974 (1%), cresceu para 3% em 1994 e atingiu 9,3% em 2005.

Em função desta significativa ampliação, e com os objetivos de aumentar a eficiência operacional e reduzir custos, torna-se necessário aumentar os níveis de segurança e confiabilidade estrutural em sistemas dutoviários. Paralelamente ao desenvolvimento de novas metodologias de avaliação de integridade estrutural, tais requisitos têm estimulado rapidamente a utilização de aços de alta resistência e baixa liga (ARBL) como uma maneira eficaz para a utilização de sistemas dutoviários operando a altas pressões e vazões com menor peso e menores custos construtivos.

Os aços para tubulações na indústria do petróleo são classificados segundo a API (American Petroleum Institute) em função de sua aplicação, composição química e resistência mecânica. Os aços utilizados especificamente na fabricação de tubos para linhas de transmissão seguem a classificação API 5L (Specification for Line Pipe Steel [2]). Por exemplo, para o aço API 5L X80, os dois últimos dígitos após a letra X especificam o limite de escoamento mínimo do material igual a 80 ksi (550MPa).

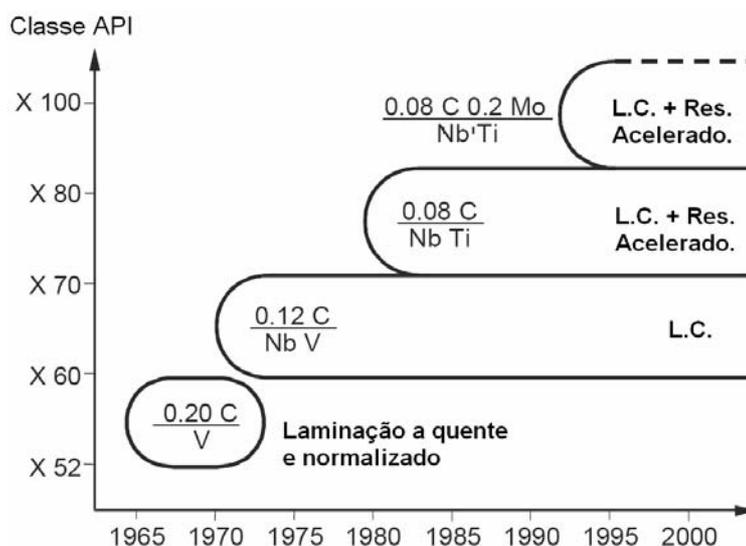


Figura 1. Desenvolvimento dos aços ARBL.

A Fig. 1 mostra a evolução dos aços grau API para a fabricação de tubos com grande diâmetro ao longo dos últimos 40 anos. Pode-se observar que a adição de elementos de liga e o uso de laminação controlada, a qual foi posteriormente complementada com resfriamento acelerado, permitiu uma progressiva redução do teor de C, ao mesmo tempo em que a resistência mecânica do material se elevou do grau X52 para X100.

Assim, como um passo nesta direção este trabalho realizará o estudo da aplicação destes aços de alta resistência em dutos de transporte de óleo e gás cuja utilização está limitada devido ao desconhecimento e ao pouco uso industrial no Brasil.

2. Efeito dos elementos de liga nos aços

Os elementos de liga são adicionados ao aço carbono, com o objetivo de melhorar suas propriedades além de, em alguns casos, introduzir novas propriedades. Os principais efeitos dos elementos de liga na estrutura e nas propriedades dos aços, podem ser classificadas da seguinte maneira:

Elevação da resistência à tração: A maioria dos elementos de liga utilizada dissolve-se substitucionalmente, em quantidades determinadas. Com isso, aumenta a resistência à tração ao mesmo tempo em que mantém a tenacidade e a ductilidade.

Estabilização da austenita e ferrita: Alguns elementos de liga como o nióbio e o titânio quando adicionados ao aço carbono tendem a estabilizar a austenita. Outros elementos de liga, como o molibdênio e vanádio, têm um efeito oposto, uma vez que estabilizam a ferrita. Estes efeitos ocorrem devido ao aumento da faixa de temperaturas na qual cada fase pode permanecer como fase estável.

Estabilidade relativa dos carbonetos: Alguns elementos, como o molibdênio, vanádio, titânio e nióbio, quando adicionados aos aços, formam carbonetos muito estáveis, os quais são geralmente, mais duros que o carboneto de ferro ou seja, elevam a dureza do aço.

Influência no crescimento de grão: O crescimento de grão da austenita tem lugar, inevitavelmente, durante o tratamento térmico, particularmente a temperaturas elevadas. A presença de alguns elementos acelera o crescimento de grão, aumentando com isto a fragilidade da peça. Felizmente, este crescimento torna-se mais lento, na presença de alguns elementos de liga como vanádio, refinando o grão.

3. Fabricação do material - Laminação controlada e resfriamento acelerado

Nos anos 70, a laminação (que proporciona a estes materiais um maior limite de escoamento (obtenção de tamanho de grão reduzido)) e normalização foram substituídas pela laminação controlada. Este processo permite produzir materiais até X70 a partir de aços-liga de nióbio e vanádio, que têm um índice reduzido de carbono. Combinações diversas entre temperatura e quantidade de deformação a quente objetivam elevados valores de resistência e tenacidade a partir dos efeitos do refino do grão e da precipitação de carbonetos e nitretos dos elementos microligantes. Um processo melhorado, que consiste na laminação controlada seguido de resfriamento acelerado, emergiu nos anos 80. Por este método, tornou-se possível produzir materiais com resistência mais elevada como o X80, tendo um índice reduzido de carbono e excelente soldabilidade em campo. As adições do molibdênio, do cobre e níquel permitem elevar o nível da resistência para a classe X100, quando o aço é processado em chapas pela laminação controlada seguido do resfriamento acelerado.

Os processos metalúrgicos que ocorrem durante a laminação controlada conjuntamente com o resfriamento acelerado podem ser compreendidos no diagrama esquemático apresentado na Fig. 2, na qual as etapas e os parâmetros da laminação a serem controlados são mostrados. O sistema de resfriamento aqui usado pode ser colocado em operação duas vezes durante a laminação. A operação de resfriamento 1 realça o refinamento do grão da ferrita, visto que a operação de resfriamento 2 impede a formação de perlita durante o resfriamento, melhorando desse modo a homogeneidade final da microestrutura.

4. Processos de fabricação dos dutos

Atualmente existem diversos processos industriais para a produção de tubos, que podem ser fabricados sem etapas de soldagem do material, ou seja, tubos sem costura (“seamless”) resultando em tubos sem o cordão de solda ao longo do comprimento, e tubos com costura (“welded”) que podem ser fabricados com etapas de soldagem do material. Porém, a maioria das linhas dutoviárias utiliza apenas dutos com costura.

Tubos produzidos a partir de chapas freqüentemente utilizam o processo de fabricação denominado de UOE, que consiste inicialmente em conformar a frio a chapa para um formato de U e seqüencialmente, para o formato de O onde as partes laterais são fechadas e soldadas pelo processo de arco submerso. Logo após, o tubo é submetido a uma expansão (E) pela aplicação de pressão interna, cuja finalidade é de ajustar o diâmetro às normas API 5L. Em seguida, uma nova realização de ensaios não destrutivos é feita na junta soldada. Concluindo o processo, faz-se uma inspeção dimensional e a pesagem do tubo.

Tubos produzidos em linha contínua a partir de bobinas laminadas costumam apresentar dois tipos de processos diferentes de produção, o processo SAW espiral-helicoidal contínuo e processo ERW Longitudinal contínuo. O processo espiral-helicoidal consiste em dobrar continuamente a bobina laminada na forma de um tubo ao mesmo tempo

em que ocorre a soldagem interna e externa por arco submerso. Após o dobramento e a soldagem o duto contínuo é cortado, faceado e selado e então, passa por processos de inspeção.

O processo longitudinal contínuo consiste em unir continuamente as bordas laterais da bobina laminada ao mesmo tempo em que estas são soldadas por resistência elétrica em alta frequência. Após a soldagem o duto contínuo passa por um tratamento térmico de normalização, um ajuste dimensional, pelo processo de inspeção por ultra-som e só então é cortado individualmente. Depois de cortado o tubo é selado e submetido a novos processos de inspeção.

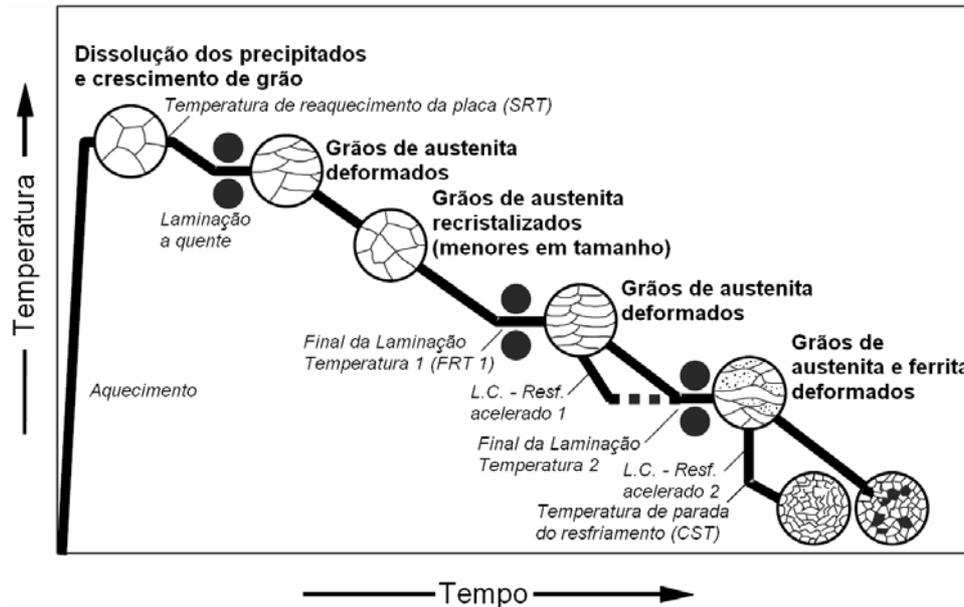


Figura 2. Ilustração da laminação controlada com e sem resfriamento acelerado.

5. Soldabilidade de aços ARBL

O aumento na demanda de energia trouxe a necessidade de tubulações que pudessem operar em condições muito severas como altas pressões, baixas temperaturas e meios agressivos. Conseqüentemente, existe também a necessidade que a junta soldada (metal de solda e ZTA) tenha propriedades mecânicas compatíveis com o metal de base.

O processo de fabricação dos aços de alta resistência e baixa liga, envolve laminação controlada e adição de elementos de liga cujo principal objetivo é a obtenção de um tamanho de grão fino. O resultado deste processamento pode ser parcialmente destruído durante o processo de soldagem. A soldagem longitudinal realizada durante a fabricação do tubo, geralmente tem as propriedades mecânicas garantidas pelo ajuste adequado dos parâmetros de soldagem que se torna de mais fácil controle por ser uma solda de fábrica mecanizada. No entanto durante a construção e montagem do duto é necessário determinar cuidadosamente os parâmetros de soldagem que venham a afetar o desempenho do duto em operação. A soldabilidade, no presente caso pode ser definida como uma medida da resistência inerente do aço (tubo) para aceitar um passe de raiz sob dadas condições de aporte de calor sem que ocorra trinca ou que produza uma estrutura susceptível à trinca quando sob condições de tensões resultantes da manipulação da tubulação. No entanto é conhecido que o processo de soldagem introduz algum tipo de defeito nas estruturas soldadas, mesmo que não sejam detectáveis pelos métodos disponíveis de ensaios destrutivos.

Em geral um aço apresenta boa soldabilidade se, depois de soldado, possui boa tenacidade e o metal de solda não se torne frágil. Os fatores mais importantes que influenciam na soldabilidade são:

- As transformações produzidas na ZTA.
- A composição química do metal base e do consumível.
- As tensões residuais geradas durante a soldagem.
- O procedimento de soldagem empregado.

Vale ressaltar que a soldabilidade, que aumenta com a diminuição do teor de carbono e do valor de carbono equivalente, é uma preocupação tradicional dos usuários de tubos fabricados com os materiais de classe API .

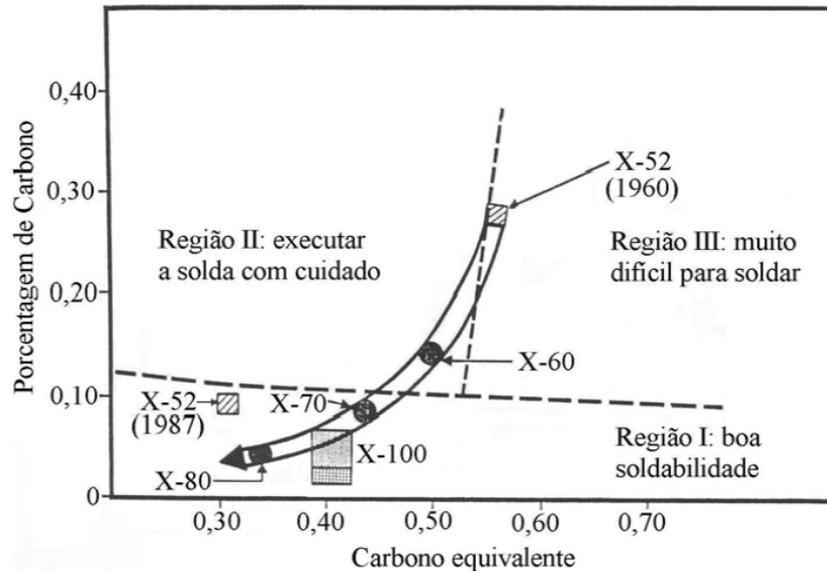


Figura 3. Evolução da soldabilidade dos aços API.

Como é possível observar na Fig. 3, os primeiros aços X52 eram praticamente impossíveis de serem soldados se comparados com os que apresentam limites de escoamento na faixa de X70 a X100 [3]. Atualmente, estes materiais possuem teores de carbono menores que 0,1% e, sendo assim, o parâmetro utilizado para medir a soldabilidade tem sido carbono equivalente (C_{eq}), definido pela norma API 5L 2000 [2] como:

$$C_{eq} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5 \cdot B \quad (1)$$

Todos os elementos de liga na equação acima são expressos em porcentagem de peso.

6. Soldagem de tubulações

A soldagem circunferencial de tubos representa um papel fundamental na montagem de linhas dutoviárias. Entretanto, mesmo considerando toda a experiência já adquirida, a tecnologia de soldagem de tubulações encontra-se em constante desenvolvimento, atualizando-se para atender aos requisitos de soldabilidade de novos materiais e às crescentes necessidades de aumento da produtividade.

Os principais processos utilizados na soldagem de tubulações e aceitos pela norma API 1104, são: processo SMAW (Shielded Metal Arc Welding), soldagem com eletrodo revestido; processo GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), conhecido como processo TIG; processo GMAW (Gas Metal Arc Welding), conhecido como processo de soldagem a arco elétrico com proteção por gás e eletrodo consumível e o processo FCAW (Flux Cored Arc Welding), que é a soldagem com arame tubular. Sendo que para a soldagem de dutos de alta resistência em campo os processos mais utilizados são o GMAW automatizado e o SMAW manual.

7. Simulação do processo UOE e avaliação da restituição elástica

Como todos os materiais possuem um módulo de elasticidade finito, toda deformação plástica é seguida por uma restituição elástica após a remoção da carga. No caso de dobramento, a restituição elástica é conhecida como *springback*, o que resulta em ângulo final de dobramento maior que o esperado e consequentemente o raio de dobramento é maior que antes da restituição. Conforme apresentado anteriormente, o processo de UOE é o mais utilizado atualmente para dutos fabricados a partir de chapas, e apresenta a restituição elástica como um parâmetro a ser relevado, o que motivou uma investigação em caráter qualitativo da influencia do *springback* no processo de fabricação UOE. Foi conduzida uma análise numérica em elementos finitos para reproduzir e avaliar a restituição elástica, o que necessitou conhecer detalhadamente as etapas e condições de contorno ao processo aplicado.

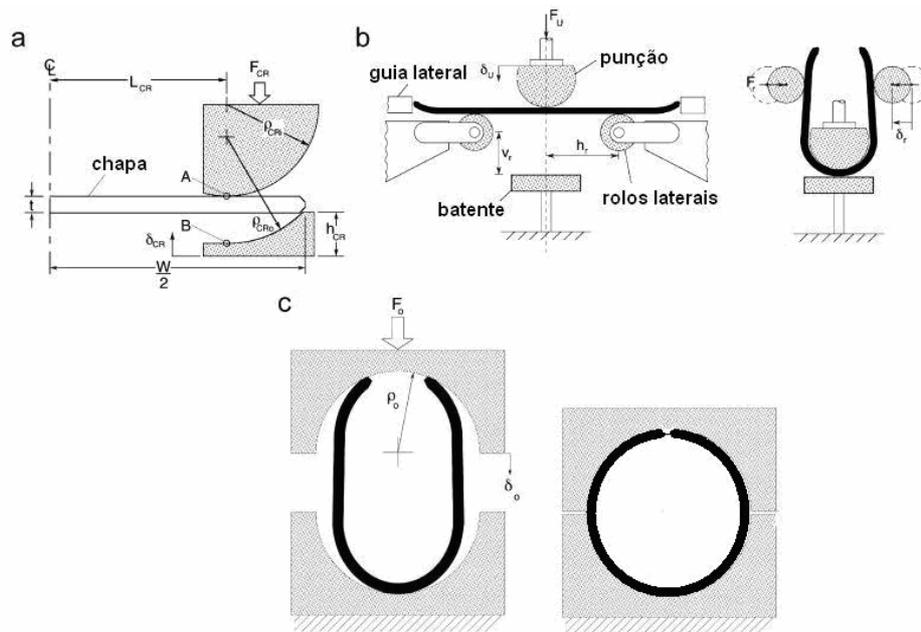


Figura 4 - Esquema e principais parâmetros das etapas do processo UOE. a) dobramento da borda. b) Prensa U. c) Prensa O. [4]

Tabela 1. - Parâmetros da simulação do processo UOE [4].

Chapa	$t = 32,33mm$	Espessura
	$\frac{W}{2} = 901,5mm$	Comprimento
Prensa	$\rho_{CRi} = 265,4mm$	Raio interno
	$\rho_{CRo} = 298,5mm$	Raio externo
	$\delta_{CR} = 0,5mm$	Curso
	$L_{CR} = 676,7mm$	Distância da prensa
	$h_{CR} = 88,9mm$	Altura da prensa
Prensa U	$\rho_U = 246,4mm$	Raio da prensa U
	$\delta_U = 724mm$	Curso da prensa U
Rolos Laterais	$\delta_r = 102mm$	Curso Lateral
	$h_r = 457mm$	Distancia do Rolo
	$v_r = 724mm$	Altura do Rolo
Prensa O	$\rho_o = 303,8mm$	Raio da prensa O
	$\delta_o = 698,9mm$	Curso da prensa O

No modelo em elementos finitos, a chapa foi modelada em sua seção transversal com apenas um elemento de espessura, uma vez que a mesma foi considerada longa o suficiente para simular estado plano de deformações, com a condição de contorno de que todos os nós não poderiam se deslocar na direção longitudinal da placa e também foi modelada apenas metade da seção transversal, uma vez que foi considerada simétrica, com a condição de contorno de que os nós pertencentes ao plano de simetria não poderiam se deslocar na direção perpendicular a este plano.

Todos os elementos que simulavam as prensas e punção foram modelados como sendo rígidos, sendo apenas a placa deformável com material definido como elasto-plástico e com as seguintes propriedades mecânicas:

Tabela 2. - Propriedade mecânica dos materiais utilizados na simulação.

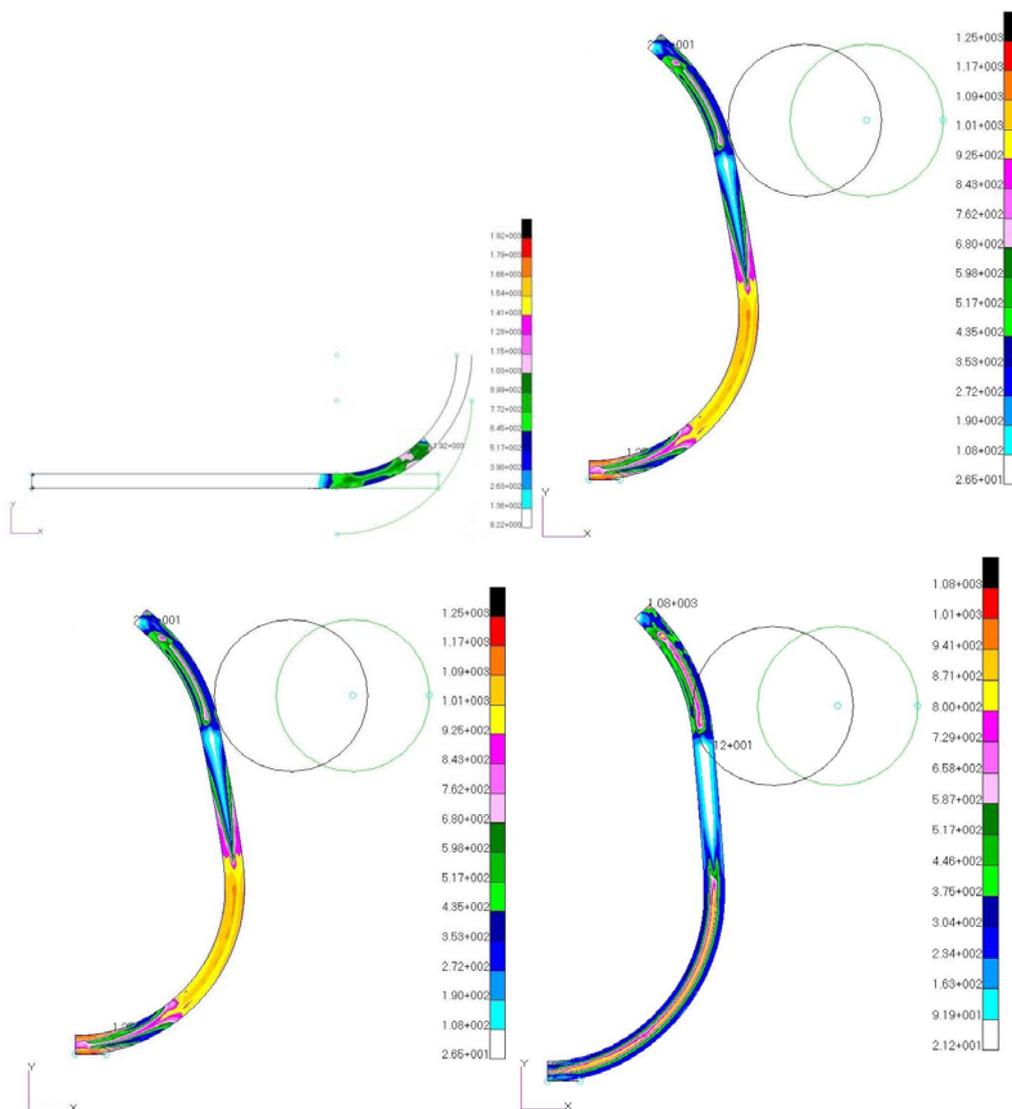
	σ_{YS} (MPa)	σ_{UT} (MPa)
X60	414	517
X80	552	621
X100	690	770
X120	827	931

A partir da simulação das etapas do processo UOE, foi possível obter dos deslocamentos do modelo os valores da restituição elástica, como apresentado na Tabela 3. A primeira restituição elástica se refere ao momento em que o rolo lateral é retirado e a placa é posicionada na prensa O, e a segunda restituição no momento em que a prensa O é afastada do duto já conformado.

Tabela 3. - Valores da restituição elástica da placa ao longo do processo UOE.

	Primeira restituição		Segunda Restituição	
	X (mm)	Y(mm)	X(mm)	Y(mm)
X60	32,71	14,07	-15,14	11,39
X80	36,43	16,06	-18,12	12,72
X100	39,52	18,31	-8,16	28,90
X120	41,04	20,10	1,63	38,57

As figuras a seguir representam os campos de tensão e as deformações obtidas para o aço X 120:



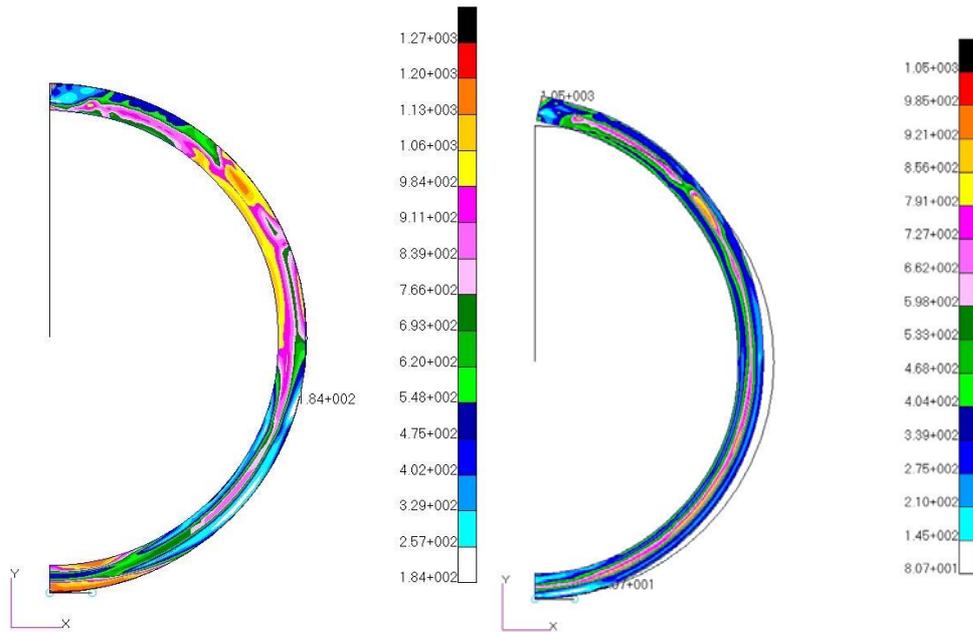


Figura 5 - Etapas do processo UOE.

Tabela 4. - Resultados da primeira e segunda restituição elástica total e percentual relativo.

	Primeira restituição		Segunda Restituição	
	Total (mm)	(%)	Total (mm)	(%)
X60	35.61	100%	18.95	100%
X80	39.81	111.8%	22.14	116.8%
X100	43.55	122.3%	30.03	158.4%
X120	45.70	128.3%	38.61	203.7%

8. Simulação do processo de dobramento a frio e avaliação de deformações

Embora alguns estudos já tenham sido conduzidos para flambagem por flexão e para o dobramento a frio para dutos de grande diâmetro, a distribuição de deformação após o dobramento e suas propriedades mecânicas raramente foram relatadas. O objetivo desta etapa é investigar a distribuição das deformações longitudinais em dutos após o dobramento a frio através de simulação numérica em elementos finitos em dutos de aço ARBL.

8.1. Dobramento em campo

Tubos de aço podem e devem ser freqüentemente dobrados para acompanhar mudanças angulares súbitas, ou mudanças na direção horizontal do gasoduto. Na maioria dos casos, a flexão de tubos de aço pode ser feita convenientemente no campo, utilizando o método de dobramento a frio. O dobramento a frio em campo é amplamente utilizado para curvas com grande raio de curvatura e pequeno ângulo em gasodutos e oleodutos. O processo de dobramento a frio geralmente provoca tensões residuais na direção longitudinal dos dutos, o que resulta em uma mudança nas suas propriedades mecânicas [5].

8.2. Projeto baseado na deformação (strain based design)

Metodologias seguras e conservativas para o projeto de dutos, as quais são baseadas na limitação da tensão na parede do duto (Stress Based Design) devido às cargas de serviço e instalação, estão disponíveis e são muito difundidas. As metodologias de projeto baseadas na deformação (Strain Based Design) são menos utilizadas, porém, permitem possibilidades de extensões as metodologias baseadas em tensões através da habilidade do aço de se deformar plasticamente e permanecer estável estruturalmente.

A metodologia baseada na deformação é adequada quando o limite de desempenho desejado para projeto, em pelo menos uma direção, é mais bem descrito em termos de deformação do que tensão. Um simples exemplo ocorre quando um duto é curvado para se adequar à curvatura de uma dutovia. Neste caso a curva determina a forma do duto, e conseqüentemente, a sua deformação. Isto torna-se importante quando o raio de curvatura do duto fica pequeno o suficiente para que o material escoe durante o curvamento, sendo que dois dutos com diferentes relações entre tensão e deformação terão a mesma deformação, porém tensões diferentes durante este processo. Se um limite superior de tensão

for adotado, haveriam diferenças entre os dois dutos, mas se um limite de deformação for adotado, os dois dutos seriam os mesmos.

No exemplo anterior existem duas características que ajudam a definir quando o projeto baseado na deformação será válido. A situação deve ser pelo menos em parte controlada pelo deslocamento e a deformação plástica deve fazer parte da condição de projeto. No caso, a deformação do duto só será completa quando o deslocamento necessário for alcançado, onde este deslocamento limite é definido pela curvatura necessária e diferenças nas relações entre a tensão e deformação dos dutos durante a deformação plástica levam o projeto baseado em deformação a dar resposta diferentes do projeto baseado em tensão em regimes de deformação plástica.

Combinações entre controle por deslocamento e deformação plástica podem ser achadas em diversas condições reais de instalação e operação de dutos. Entretanto, existe um número limitado de condições e o projeto baseado em deformações não pode substituir o projeto baseado em tensões.

A resistência da parede dos dutos à tensão circunferencial induzida pela pressão interna de operação é usualmente a determinante primordial para o grau do material e espessura de parede do duto. Em um pequeno número de casos, o projeto é limitado pela resistência à flambagem (buckling) em compressão tanto devido à pressão externa, à cargas longitudinais ou momentos transversais. Também raros são os casos em que os projetos são limitados pela resistência à falha em tensão, isto é, à fratura, devido a cargas longitudinais ou momentos transversais.

Grande parte dos esforços nesta direção são para definir métodos para demonstrar alta resistência à alta deformação longitudinal sob tensão, devido a cargas longitudinais ou momentos transversais. Esta ênfase decorre de duas fontes principais. Primeiro, dutos *offshore* são mais difíceis e caros de serem lançados, então oportunidades de se utilizar a capacidade de deformação longitudinal dos dutos é muito atraente, uma vez que ela reduz o tempo de lançamento dos dutos. Segundo, dutos *offshore*, uma vez lançados, são de difícil acesso, então reparos devido a condições que causem deformações longitudinais não podem ser facilmente aplicados. Terceiro, condições que causam deformações longitudinais, tais como instabilidade de encostas, movimentos sísmicos, grandes trechos de dutos sem suporte, instabilidades de solos e curvamento a frio para a instalação de dutos *on-shore* são muito frequentes.

A fim de esclarecer a deformação longitudinal em dutos após o dobramento a frio, foram realizadas análises em elementos finitos (FE). Foi escolhida a máquina de dobramento tipo PB22-36 que é composta por um *pin-up shoe*, um molde e um *stiff-back*. O molde é fixo à máquina, enquanto que os cilindros hidráulicos movem o *pin-up shoe* e o *stiff-back* (Ver Fig. 6 e Tabela 5).

A estratégia utilizada foi modelar apenas metade do corpo-de-prova (simetria), para diminuir o tempo de análise. Para permitir que representasse o comportamento geral do processo de dobramento foram impostas as condições de contorno que os nós pertencentes ao plano de simetria não poderiam se deslocar na direção perpendicular a este plano e foram travados os deslocamentos longitudinais (direção do eixo z) dos nós da extremidade apoiada, além da inclusão de elementos de contato para a realização da dobra. Os elementos que simulavam o molde, *pin-up shoe* e o *stiff back* foram modelados como sendo rígidos, sendo apenas o duto modelado como elemento sólido e deformável, com material definido como elasto-plástico e com as propriedades mecânicas semelhantes às utilizadas na simulação do processo UOE.

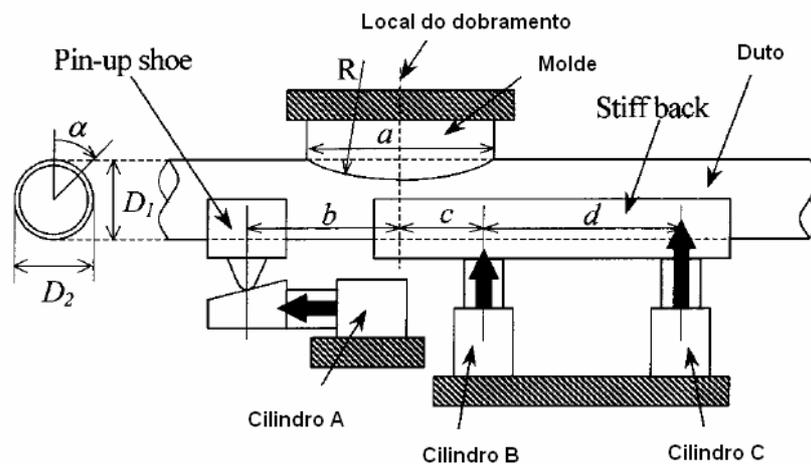


Figura 6 - Esquema do processo de dobramento [5].

Tabela 5. - Parâmetros da simulação do processo UOE [5].

a=1625 mm	b=1780 mm	c=680 mm	d=2760 mm	R=18288 mm
D=610,3 mm (Diâmetro externo do duto)		t=15,4 mm (Espessura de parede do duto)		

A partir da simulação do dobramento a frio, foi possível obter os valores das deformações longitudinais do modelo após a restituição elástica para 1° de ângulo de dobramento, como apresentado na Tabela 6.

Tabela 6. - Resultados de deformações residuais máximas e percentuais máximos relativos.

Modelo	Deformação Máxima de Tração	%	Deformação Máxima de Compressão	%
X60	0.49%	100.00%	0.27%	100.00%
X80	0.30%	61.24%	0.17%	61.25%
X100	0.05%	10.31%	0.08%	28.04%
X120	0.02%	3.51%	0.01%	1.85%

As figuras a seguir representam os campos de deformações obtidas para o aço X 100:

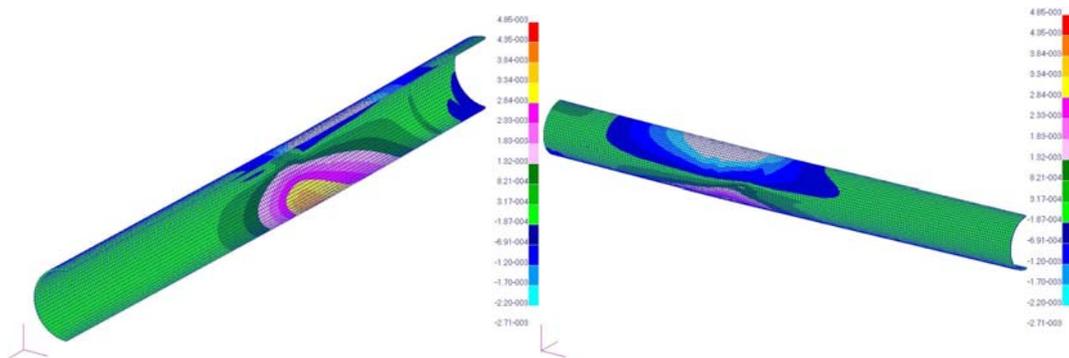


Figura 7 - Deformações máximas durante o processo de dobramento - Aço X100.

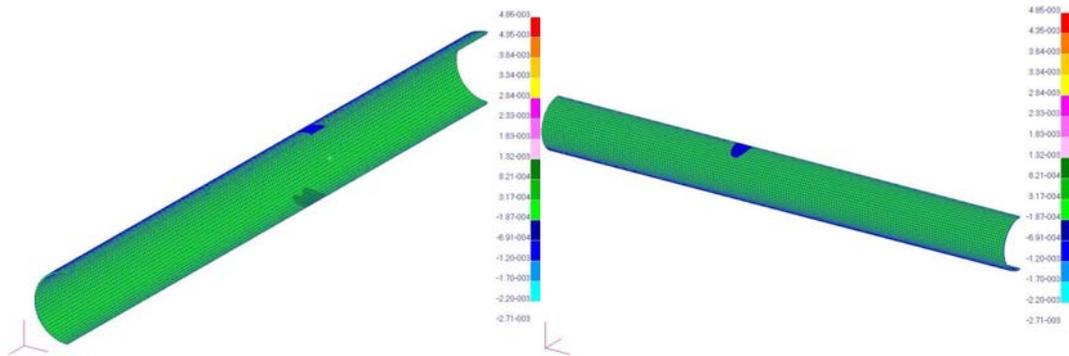


Figura 8 - Deformações residuais máximas - Aço X100.

9. CONCLUSÕES

Através do levantamento bibliográfico apresentado podemos verificar que a aplicação destes aços no exterior (EUROPIPE e TRANSCANADA) é crescente, sendo que já existem diversas linhas operando com tubos de aços X80 e algumas linhas experimentais operando com X100. Entretanto, não se tem notícias da aplicação destes aços no Brasil, onde o mais comum é a utilização de aços até a classe X60.

A não utilização destes aços no Brasil deve-se em grande parte a resistência das indústrias em produzir este tipo de aço devido a dúvidas quanto à viabilidade econômica e tecnológica, por exemplo, os processos de fabricação e soldagem.

Os processos de fabricação apresentados no presente relatório como a laminação controlada seguida de resfriamento acelerado, que possibilitam a melhoria das propriedades dos aços para dutos, ainda apresentam-se como incógnitas no atual cenário siderúrgico brasileiro, apesar de existirem experimentos que comprovam a possibilidade de fabricação de aços X80 no Brasil, como descrito anteriormente, de maneira alternativa as apresentadas no trabalho.

A soldagem em campo, outro exemplo de processo descrito no trabalho, também gera dúvidas quanto à aplicabilidade da mesma em ambientes distintos aos dos locais onde elas foram inicialmente utilizadas, tanto no sentido de como ela afeta a microestrutura/propriedades dos aços, quanto à logística e viabilidade de sua utilização levando em conta os locais por onde poderão ser utilizados no Brasil.

Com o objetivo de obter resultados qualitativos e quantitativos que evidenciassem as diferenças na aplicação das diversas classes de aços foram feitas análises numéricas dos processos de fabricação UOE e de dobramento a frio. Através dos resultados destas análises pode-se constatar que ao se aplicar o processo de conformação UOE para aços de classe superior ao X60 em um modelo de elementos finitos, a restituição elástica deverá aumentar significativamente. Como exemplo, obteve-se um aumento percentual relativo de 103,7% na segunda restituição para o aço classe X120 em relação ao X60, apontando mesmo que qualitativamente uma diferença significativa de resposta do material se mantido as mesmas características do processo. Conseqüentemente o processo apresentará obstáculos na fase de soldagem longitudinal por arco submerso, uma vez que o espaçamento das bordas das chapas conformadas será distinto. Estas diferenças poderiam implicar na necessidade de adaptação do processo para que este utilize os aços de classes mais elevadas.

Com as análises para o dobramento a frio pode-se constatar uma redução na deformação longitudinal residual para os aços de classe superior, o que possibilitaria uma maior aplicação destes tendo em vista que eles suportariam um deslocamento maior até chegar ao limite de deformação para projetos baseados em deformação e permitiriam a utilização de raios de curvatura e/ou ângulos menores para dobramentos a frio. Porém, a utilização destes aços nos processos de dobramento implicaria no aumento das cargas necessárias e conseqüentemente na possível substituição das máquinas utilizadas para este processo.

Levando em conta as análises de restituição elástica e dobramento, também é possível concluir que será necessário um recalibramento das máquinas para que os ângulos de curvatura corretos sejam obtidos, uma vez que, como foram citados anteriormente, os aços de classes mais elevadas apresentam menores valores de deformação residual e maiores valores de restituição elástica.

Com tudo isto concluímos que ainda existem vários obstáculos a serem transpostos para viabilizar a utilização dos aços ARBL no Brasil, mas que apesar disto eles representam uma alternativa viável e eficaz para construção de dutovias além de permitir um transporte mais eficiente e seguro, o que justifica a importância deste trabalho.

9. Referências

- [1] GASNET - O site do Gás Natural: US\$ 6,5 bilhões para expansão de gasodutos em: <http://www.gasnet.com.br/novo_artigos.asp?cod=1047>, Acesso em maio de 2006.
- [2]. ESTADOS UNIDOS, American Petroleum Institute. Specification for line pipe steel API5L. 42a. edição. New York, 2001
- [3]. GRAY, J.M.; PONTREMOLI, M. Metallurgical options for API grade X70 and X80 linepipe. In: International Conference Pipe Technology, Rome-Italy, Nov. 1987.
- [4]. M.D. Herynk, S. Kyriakides, A. Onoufriou, H.D. Yun - *Effects of the UOE/UOC pipe manufacturing processes on pipe collapse pressure*. International Journal of Mechanical Sciences 49 (2007).
- [5]. N. Fukuda, H. Yatabe, S. Kawaguchi, T. Watanabe, T. Masuda – *Experimental and Analytical Study of Cold Bending Process for Pipelines* – Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering (2003).

HIGH STRENGTH STEELS APPLICATION IN PIPELINES FOR OIL AND GAS TRANSPORT: IMPLICATIONS ON THE PROJECT AND CONSTRUCTION

Lucas Nobumichi Yshii

lucasyshii@gmail.com

Mario Sergio Giancoli Chiodo

mario.sgc@gmail.com

Abstract.

With the increasing demand for natural gas and oil in Brazil and with the objectives to increase the operational efficiency and to reduce costs, the use of high strength low alloy (HSLA) steels is interesting in the manufacture of pipelines as an efficient way for the operation at high pressures and outflows with lesser weight and minors constructive costs. However, the increasing use of HSLA steels of high grade (API 5L X80 and X100) in others countries, they aren't much applied in Brazil, mainly because of the unknown viability of production, welding and installation in field. As a step in this direction this work will do a study that proves the applicability of high strength steels in Brazil. The central objective of this report is to present a preliminary study that will serve as a base to discuss the problems previously cited and to suggest alternatives that make possible the use of HSLA steels.

Keywords. HSLA steels, thermomechanical rolling, accelerated cooling, weldability, manufacture.