

## XX Seminário de Pesquisas em Engenharia Mecânica [www.uff.br/petmec](http://www.uff.br/petmec)

1/2021

# APLICAÇÃO DE AÇOS API 5L X100 E X120 NA CONSTRUÇÃO DE GASODUTOS NA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO<sup>1</sup>

Luiz Henrique Reis Ferreira<sup>1</sup>, José Mauro Moraes Júnior<sup>2</sup>  
Engenharia Mecânica

Email: <sup>1</sup>luizhenriquereisferreira@id.uff.br, <sup>2</sup>josemoraes@id.uff.br

**Resumo:** Apesar dos avanços na fabricação e nos mecanismos que conferem resistência ao material, a utilização de aços API 5L acima do grau X80 ainda é discutido na indústria do petróleo mundial, seja por questões relacionadas a soldagem deste material, ou por dúvidas nas vantagens econômicas reais provenientes de alterações operacionais dos gasodutos. Neste sentido, o presente trabalho busca, por intermédio de uma revisão bibliográfica, levantar informações relevantes discutidas atualmente pela comunidade científica referente à construção de gasodutos de aços API 5L X100 e X120. O objetivo desse estudo é realizar uma pesquisa exploratória do tipo revisão bibliográfica sobre a utilização de aços API 5L X100 e X120 na construção de gasodutos na indústria do petróleo.

**Palavras-chave:** Gasodutos; Petróleo; API 5L X100; API 5L X120.

## 1. INTRODUÇÃO

O consumo de gás de petróleo vem crescendo ao longo dos anos, como consequência do aumento de demanda por esta fonte energética pelos diversos setores da sociedade. Para suprir este aumento na demanda vem sendo elevados os limites operacionais de transporte por gasodutos pelo mundo, e a utilização de materiais cada vez mais resistentes para fabricação dos dutos faz parte das mudanças desenvolvidas pelo setor.

Atualmente os aços utilizados para fabricação de gasodutos para transporte de óleo e gás são fabricados de acordo com a norma API 5L, especificada pela American Petroleum Institute (API). A identificação destes aços é realizada pelo seu limite de escoamento, por exemplo, os aços

API 5L X100 e X120, cujos valores são da ordem de 100 ksi e 120 ksi, respectivamente.

Apesar dos avanços na fabricação e nos mecanismos que conferem resistência ao material, a utilização de aços API 5L acima do grau X80 ainda é discutida na indústria do petróleo mundial, seja por questões relacionadas a soldagem deste material, ou por dúvidas quanto as reais vantagens econômicas provenientes de alterações operacionais dos gasodutos. Neste sentido, o presente trabalho busca, por intermédio de uma revisão bibliográfica, levantar informações relevantes discutidas atualmente pela comunidade científica referente à construção de gasodutos de aços API 5L X100 e X120.

O objetivo deste estudo é realizar uma pesquisa exploratória do tipo revisão bibliográfica sobre a utilização de aços API 5L X100 e X120 na construção de gasodutos na indústria do petróleo.

## 2. METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão narrativa em que a coleta de dados se compreendeu entre o período de dezembro de 2020 a agosto de 2021, selecionando estudos em conformidade com o assunto proposto. Para isso, realizou-se um levantamento bibliográfico em livros, normas técnicas, nas bases de dados eletrônicas Google Acadêmico e Periódicos da CAPES, além de trabalhos compartilhados por professores e profissionais especialistas no assunto.

A pesquisa incluiu estudos publicados no período de 1996 a 2020, entre eles, artigos de periódicos científicos, publicações em conferências científicas internacionais, monografias e livros relacionados ao tema, sendo

<sup>1</sup> Trabalho desenvolvido na disciplina Introdução à Engenharia Mecânica, sob a orientação da Prof. José Mauro Moraes Júnior.

excluídos todas as referências que se mostraram fora de contexto, apresentaram informações incompletas ou não referenciadas corretamente, bem como estudos que apresentaram argumentos inconclusivos.

### 3. UTILIZAÇÃO DE AÇOS API 5L X100 E X120 NA CONSTRUÇÃO DE GASODUTOS

A demanda pela indústria de gás natural obteve um aumento nos últimos anos, ocasionado pelo aumento da capacidade energética necessária para suportar todos os setores da sociedade. Dados da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), indicam que o consumo de gás natural mundial já obteve um aumento de 1,41 trilhões de metros cúbicos entre 2000 e 2020, com destaque para a região do Leste Asiático, responsável por cerca de 40% desse crescimento [16].

Como consequência deste aumento na demanda mundial, observou-se um aumento dos limites operacionais das condições de transporte dos gasodutos ao redor do mundo, destacando-se a pressão média de operação e diâmetro desses sistemas, que foram respectivamente de 200 kPa (30 psi) e 406 mm (NPS 16) em 1910 para 12000 kPa (1740 psi) e 1422 mm (NPS 56) em 2002, [15].

Entretanto, a acessibilidade aos reservatórios de petróleo tem se reduzido, fazendo com que a operação dos mesmos ocorra em meios cada vez mais severos e afastados dos polos de processamento. Este processo tem levado ao aumento da necessidade de desenvolvimento de meios de transporte cada vez mais eficientes [9].

Recentemente foram desenvolvidos os graus X100 e X120 dos aços API 5L, com resistência de 100 ksi e 120 ksi, respectivamente, com o intuito de elevar a resistência do material utilizado na fabricação de gasodutos, o que permite a redução de espessura e elevação da pressão de trabalho, por exemplo, colaborando para a diminuição do custo do empreendimento.

Porém, a aplicação destes materiais mais resistentes ainda é discutida na comunidade científica e indústria do petróleo.

#### 3.1. Potenciais Econômicos

Atualmente, um dos principais argumentos que sustenta o desenvolvimento de aços de resistência cada vez mais elevadas, como API 5L X100 e X120, é a capacidade de redução de custos dos projetos nos quais os mesmos sejam aplicados, sendo capaz de afetar grande parte da cadeia produtiva de dutos de transporte, indo desde a produção do material utilizado à instalação e manutenção do projeto.

Fatores econômicos potencializados pela redução de matéria prima utilizada na fabricação de gasodutos tem se tornado cada vez mais relevantes. A aplicação de aço X80 na construção do primeiro gasoduto da empresa alemã Ruhrigas, instalado em 1993 entre as cidades de Schlitztem e Werne, na Alemanha, levou a uma economia de material de aproximadamente 20000 t, em comparação com gasodutos de aço X70. A redução do peso do tubo está diretamente relacionada com a redução da espessura de parede, que poderia ser de até 38% menor com a aplicação de aço X120. Ambos os fatores, redução de peso e de espessura, contribuem de forma significativa na redução de custos de transporte e de soldagem, respectivamente [4].

De maneira semelhante, estudos afirmam que o uso de gasodutos produzidos com aço X100 podem gerar economia de custos de investimento de aproximadamente 7% com relação ao X80, podendo atingir até 30% quando comparado ao X70 [1].

Os custos totais de projeto de dutos de transporte podem ser reduzidos em até 15% quando aços X120 são aplicados em cenários de alta pressão. De acordo com o cenário proposto na tabela X, apenas com a substituição de material de X70 para X120 seria possível obter uma redução de custos de materiais de aproximadamente US\$40M, que representa uma redução de 7% do custo de material [6].

Outra possibilidade de redução de custos através do uso de aços ARBL como o X120 seria por meio da redução dos custos de compressão nas linhas de transmissão, gerado pela possibilidade de redução do número de estações de compressão intermediárias em dutos de transmissão de longa distância [6].

Desta forma, a aplicação de aços API 5L X100 e X120 na fabricação de gasodutos apresenta um grande potencial econômico quando comparados aos materiais mais difundidos atualmente pela indústria como os aços X70 e X80, especialmente em cenários de alta pressão, conforme descrito anteriormente. Porém, a aplicação destes materiais de alta resistência ainda é modesta em todo o mundo.

#### 3.2. Características e Propriedades dos Aços API 5L X100 E X120

Desde a década de 1990, os principais fabricantes de aços utilizados na fabricação de tubos têm se dedicado ao desenvolvimento de metodologias para a produção destes materiais, cuja dificuldade está na combinação entre a redução de carbono e a melhora da resistência e tenacidade.

Um dos primeiros métodos desenvolvidos, bastante difundido até hoje, baseia-se no aprimoramento dos processos utilizados para a fabricação dos aços API 5L X70 e X80, que consiste em um procedimento de laminação controlada, mundialmente conhecida como Thermo-mechanical Controlled Procedures (TMCP). O objetivo do TMCP é criar grãos extremamente finos a partir da combinação de etapas de laminação com elevada precisão a uma temperatura específica. Este processo de refinamento do grão permite obtenção de resistência mecânica sem comprometimento da tenacidade, além de permitir a redução efetiva os teores de carbono e elementos de liga no aço, desejável para materiais que serão soldados [1]. Para a fabricação do X100 e X120 utiliza-se TMCP seguido de resfriamento acelerado, capaz de conceder uma redução ainda maior do tamanho médio do grão e, conseqüentemente, aumento da resistência mecânica sem perda de tenacidade e redução do teor de carbono do material.

Devido à dependência da composição química e dos parâmetros dos processos de laminação, pode haver certa variação na microestrutura dos aços produzidos por TMCP, como X80 e X100, por exemplo [5].

O resfriamento acelerado permite a obtenção de aços com elevada resistência à tração e tenacidade ao impacto com manutenção de um carbono equivalente não muito alto [1].

Outro fator importante na análise de viabilidade para aplicação de aços de alta resistência como API 5L X100 e X120 em gasodutos de alta pressão está relacionado à redução de espessura causada pela corrosão no qual esses materiais estão susceptíveis.

A corrosão em dutos é um dos problemas operacionais mais desafiadores de prever e controlar, muito devido à sua dependência de fatores ambientais e microestruturais do próprio material, que são numerosos e estão interligados, resultando numa cadeia sustentada de múltiplas reações [12]. Para contornar este problema comumente considera-se uma sobresspessura nos projetos, visando garantir a integridade do duto em serviço, e esta sobresspessura pode ser um fator limitante na utilização de aços ARBL de graus mais elevados, pois a redução de espessura promovida pelo aumento da resistência do material pode resultar em tubos muito finos, mas que não podem ser utilizados devido à necessidade de uma

espessura mínima para garantir a integridade do duto.

### 3.3. Soldabilidade dos Aços API 5L X100 e X120

Uma das maiores dificuldades para a aplicação dos aços API 5L X100 e X120, fabricados por TMCP e resfriamento acelerado, está relacionada à sensibilidade dos mesmos a grandes alterações microestruturais quando expostos a ciclos térmicos de soldagem, especialmente em condições de solda multipasses, com diminuição proeminente de tenacidade e variações locais importantes de dureza [2, 9].

A zona termicamente afetada (ZTA) é a região mais crítica, onde a temperatura atinge valores próximos de 1350 °C, fazendo com que esta região possua os menores valores de tenacidade da junta soldada (CHUANJING *et al.*, 2009). Essa perda de tenacidade é atribuída à formação de uma microestrutura mais grosseira e à formação de ilhas de martensita não revenida e austenita retida enriquecidas em carbono, denominadas de constituinte MA [7].

Embora o volume das regiões contendo esse constituinte seja pequeno na junta soldada, seu efeito pode ser extremamente danoso ao material, a depender de outros fatores como: a microestrutura da matriz, o volume total da zona localizada de alta fragilidade na junta e a fração, composição química e morfologia do constituinte MA [9]. O percentual de constituinte MA formado não apresentou dependência direta com os valores de temperatura intercrítica aplicada ao material. Porém, o mesmo apresentou alterações em sua morfologia, sendo encontrado em estrutura de grão mais grosseiro em faixas de temperaturas menores, 760 a 800 °C, resultando numa piora mais relevante da tenacidade, e quando reaquecidos a temperaturas maiores de cerca de 840 °C os constituintes apresentaram menor tamanho de grão e maior taxa de dispersão em ferrita, ferrita acicular e bainita, resultando em uma resistência melhor e mais estável do material [14].

Outro fator importante é a relação entre a taxa de resfriamento e a formação do MA. Há uma tendência de aumento da fração e do tamanho do constituinte MA a partir da diminuição da taxa de resfriamento, além de observado uma proporção de quase linearidade entre a redução da tenacidade e o aumento da fração de MA [8].

Neste sentido, um dos maiores desafios para a implantação de gasodutos de maior resistência, como X100 e X120, é o desenvolvimento de tecnologia de soldagem que seja compatível com os métodos existentes de fabricação e construção de gasodutos. Um estudo

chinês, pesquisou sobre dois conjuntos de processos de soldagem aplicáveis aos aços X100 e X120, soldagem longitudinal pelo processo *Submerged Arc Welding* (SAW), denominado de soldagem por arco submerso, e soldagem circunferencial de campo pelos processos *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW), conhecido por soldagem com eletrodo revestido, e *Gas Metal Arc Welding* (GMAW), também conhecido como soldagem MIG/MAG (MIG – *Metal Inert Gas*) e (MAG – *Metal Active Gas*) [1].

Embora esteja entre umas das metodologias mais difundidas, a aplicação de SAW apresenta alguns problemas importantes, sendo um dos mais relevantes a maior taxa de amolecimento do metal de base (MB) ao lado da solda longitudinal quando comparado a outros métodos devido ao maior aporte de calor deste processo, resultando em uma ZTA mais extensa e com grãos mais grosseiros.

Com relação aos métodos SMAW e GMAW, Liu (2013) [1] não encontrou problemas tão significativos. Segundo resultados apresentados por Barsanti *et al.* (2001), os MS de ambos os métodos foram capazes de atingir a resistência a tração e ao escoamento especificada para o MB do aço X100.

Em seu estudo, Oliveira *et al.* (2017) [9] também observou a formação de um efeito denominado de “*necklace*” na ZTA. O efeito caracteriza-se pelo formato alongado e contínuo do constituinte MA ao longo dos contornos da austenita prévia, geralmente em temperaturas mais baixas. Segundo Li *et al.* (2014), a formação de constituinte MA no formato *necklace* gera uma sobreposição de tensões de tração residuais induzidas por transformação e aumento da concentração de tensão devido à incompatibilidade de resistência entre o MA e a matriz durante a deformação. Fazendo que com o efeito de piora da tenacidade do material seja maior do que quando comparado à formação padrão do constituinte.

Com base nos exemplos de aplicações do aço X100 descritos por Horsley (2007) [3], os processos de soldagem da linha principal para X100 se mostraram bastante semelhantes aos de soldagem de dutos de grau inferior, embora o aço de maior resistência seja capaz de uma produtividade consideravelmente melhor do que a obtida pelos materiais de propriedade padrão.

#### 4. DISCUSSÃO

A revisão bibliográfica dos trabalhos expostos anteriormente evidencia os avanços no desenvolvimento de tecnologias que buscam viabilizar a aplicação de aços de maiores

resistências, como os graus X100 e X120, na construção de dutos de transporte baseados na norma API 5L. Contudo, foram encontrados poucos registros de aplicação de X100 e nenhum de X120, em empreendimentos no mundo, e sendo todos os encontrados de pequena extensão.

Além disso, não foram encontrados registros de projetos nos quais esses materiais tenham sido implementados em escala industrial no cenário brasileiro. Segundo Yshii (2007) [13], até a data na qual seu estudo foi publicado o grau mais comum aplicado na produção de gasodutos no Brasil ainda era o X60. Além disso, segundo Soeiro Jr. (2013) [5], durante a publicação de seu trabalho, ainda estava em fase de implementação a fabricação de API 5L X80 pela Usiminas no Brasil, baseando-se no processo TMCP.

Com base em evidências apresentadas por Horsley (2007) [3], esforços conjuntos entre as grandes empresas do setor de produção e transporte de petróleo e seus derivados, como a ação entre TransCanada, BP, RMS Welding Systems e Welding Engineering Research Center, ocorreram com o propósito de promover o uso do aço API X100 na construção de gasodutos de grande diâmetro e alta pressão. Tais iniciativas resultaram no desenvolvimento de projetos de demonstração bem-sucedidos que fizeram uso desse material.

Muito embora, a aplicação do aço API X100 tenha obtido bons históricos de resultados nas experiências nas quais o mesmo foi utilizado, uma das maiores dificuldades para a aplicação desses materiais está relacionada à sensibilidade dos mesmos a grandes alterações microestruturais quando expostos a ciclos térmicos de soldagem, especialmente em condições de solda multipasses, com diminuição proeminente de tenacidade e variações locais importantes de dureza [2, 9]. Sendo um dos fatores críticos, a perda de tenacidade na ZTA, atribuída à formação de uma microestrutura mais grosseira e à formação de ilhas constituinte MA.

Outro fator relevante observado nos trabalhos analisados está relacionado às características de resistência a corrosão dos aços API X100 e X120. Segundo Zhang (2009) [2] e Okonkwo (2017) [11], enquanto a indústria tem se concentrado na melhoria das propriedades mecânicas de aços de alta resistência, sem reduzir as propriedades de tenacidade e soldabilidade desses materiais, tem havido poucos trabalhos investigando o comportamento de corrosão eletroquímica de aços para tubos de linha de resistência sob condições que são relevantes para a operação de gasodutos.

## 5. CONCLUSÃO

De uma forma geral os trabalhos selecionados e analisados mostraram que ainda há um longo caminho a ser percorrido para a utilização de aços API 5L X100 e X120 na construção de gasodutos na indústria do petróleo, em especial no Brasil.

Ainda é preciso avançar em estudos relacionados à conformação plástica e soldagem destes aços. A conformabilidade e a soldabilidade estão relacionadas a aspectos microestruturais que, por sua vez, são dependentes da composição química e do processamento do material.

É preciso avançar também em estudos quanto à resistência à corrosão dos materiais, pois a possibilidade de redução de espessura da parede do tubo com o aumento da resistência do material pode ser limitada a uma espessura mínima relativamente alta devido à sobresspessura destinada à corrosão.

Além disso, estudos aprofundados quanto ao potencial de produtividade de cada campo e de demanda de cada região devem compor o estudo, pois são variáveis fundamentais para a avaliação de um ganho de eficiência e redução de custos derivada da aplicação de tais graus de aço ARBL.

## REFERÊNCIAS

- [1] Liu, C.; Bhole, S. D. (2013), Challenges and developments in pipeline weldability and mechanical properties. *Science and Technology of Welding and Joining*.
- [2] Zhuang, C. *et al.* (2009), Microstructure and properties of heat-affected zones in X100 steel grade line pipes. *Proceedings of the ASME 2009 Pressure Vessels and Piping Division Conference*. - Prague.
- [3] Horsley, D. *et al.* (2007), X100 Field Welding Experience [Relatório]. - Calgary, Canada: Canberra JTM.
- [4] Hillenbrand, H. G. (2004), Development of grade X120 pipe material for high pressure gas transportation lines. 4th International Conference on Pipeline Technology. - Ostend, Belgium.
- [5] Soeiro JR., J. C. S.; Belletani, R. D.; Duarte, B. S. (2013), Uma Breve Revisão Histórica do Desenvolvimento da Soldagem dos Aços API para Tubulações. São Paulo: Soldag. Insp.
- [6] Corbett, K. T.; Bowen. R. R.; Petersen, C. W. (2003), High Strength Steel Pipeline Economics. *Proceedings of The Thirteenth (2003) International Offshore and Polar Engineering Conference*. - Honolulu, Hawaii, USA: The International Society of Offshore and Polar Engineers.
- [7] Lambert, J. A. *et al.* (2000), Microstructure of martensite–austenite constituents in heat affected zones of high strength low alloy steel welds in relation to toughness properties *Science and technology of welding and joining*.
- [8] Matsuda, F. F. Y. *et al.* (1996), Review of mechanical and metallurgical investigations of martensite-austenite constituent in welded joints in Japan *Welding in the World/Le Soudage dans le Monde*. - Osaka.
- [9] Oliveira, V. *et al.* (2017), Estudo da zona afetada pelo calor de aço API X100 com simulação computacional física. 72º Congresso Anual da ABM. - São Paulo, 2017.
- [10] Chuanjing, Z. *et al.* (2009), Microstructure and properties of heat-affected zones in X100 steel grade line pipes. *Pressure Vessels and Piping Conference*.
- [11] Okonkwo, P. C. *et al.* (2017), Corrosion Behavior of API X100 Steel Material in a Hydrogen Sulfide Environment. *MDPI Metals*, Switzerland, Basel.
- [12] Eliyan, F. F; Alfantazi, A. (2013), Influence of Temperature on the Corrosion Behavior of API-X100 Pipeline Steel in 1-Bar CO<sub>2</sub>-HCO<sub>3</sub> Solutions: An Electrochemical Study. Elsevier B. V; Canadá.
- [13] Yshii, L. N.; Chiodo, M. S. G. (2007), Aplicação de Aços de Alta Resistência em Dutos e Transporte de Óleo e Gás: Implicações Sobre o Projeto e Construção. São Paulo.
- [14] Li, X. *et al.* (2014), Influence of Martensite-Austenite Constituents Formed at Different Intercritical Temperatures on Toughness. *Materials & Design*, 67, China.
- [15] Glover, A. *et al.* (2003), Application and Installation of Grade 690 (X100) Linepipe. 14th Biennial Joint Technical Meeting on Pipeline Research – Berlin.
- [16] ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis: 2020. Rio de Janeiro, 2020.
- [17] BARSANTI, L. *et al.* Production and Field Weldability Evaluation of X100 Line Pipe. *Proc. 13th Joint Meet.* New Orleans, LA, USA, 2001.