ISSN: 2594-6153

# Reabilitação de Dutos Corroídos Mediante Soldagem Operacional de Dupla Calha

Jose Jefferson Morais de Oliveira[1], Aldo Ramos Santos[1]

[1]Universidade Santa Cecília (UNISANTA), Santos – SP, Brasil

E-mail: jjmoliveira@petrobras.com.br

**Resumo:** Dutos são instalações seguras e confiáveis para o transporte ou transferência de hidrocarbonetos entre fronteiras de unidades operacionais geograficamente distintas. No entanto, durante sua vida útil, poderão surgir defeitos capazes de comprometer sua integridade. No presente trabalho, é apresentado a técnica de reparo por dupla calha como uma importante alternativa para a reabilitação de dutos corroídos, destacando-se dois dos principais cuidados necessários se obter a soldagem operacional de um reparo bem sucedido, para um oleoduto onde foi identificada uma extensa região com severa corrosão externa. São eles: o risco de trinca a frio (TIH) devido à presença de hidrogênio e a perfuração da parede do duto.

**Palavras-chave:** corrosão, dutos, soldagem operacional, dupla calha.

## Corroded Pipeline Rehabilitation through Pressure-Containing Sleeves Repair

**Abstract:** Pipelines are safe and reliable facilities for the transportation or transfer of hydrocarbons between borders of geographically distinct operating units. However, defects occur that can affect its integrity during the life of the pipeline. In the present work, the pressure-containing sleeves repair technique is presented as an important alternative for the rehabilitation of corroded pipes. Special attention will be directed to the two most important caution for a successful repair by in-service welding on a pipeline that has had an extensive region of severe external corrosion. They are: the risk of hydrogen-induced cracking (HIC) and the risk of burn through (or burnout) pipeline wall.

**Keywords:** corrosion, pipeline, in-service welding, pressure-containing sleeves.

## Introdução

De forma geral, o dano em um duto (ou em outro equipamento estático), pode ser definido como a transformação ocorrida na microestrutura de seu material ou alteração em sua geometria de projeto, decorrentes de suas condições de trabalho. Assim, se nenhuma atividade para reparo for realizada e o mecanismo de dano continuar atuando, o dano inicial irá evoluir (pela acumulação de novos danos), até que se torne um defeito (quando coloca em risco a funcionalidade de um oleoduto ou gasoduto, por exemplo). O resultado final será a falha estrutural do equipamento, com a consequente perda de contenção do fluido transportado [1].

Dentre os diversos defeitos que podem afetar a integridade de um duto ao longo de sua vida útil, a redução de espessura da parede ocasionada por processos de corrosão, é um

ISSN: 2594-6153

dos mais recorrentes. E, consequentemente, inspeções, avaliações de integridade estrutural e reparos, são atividades cada vez mais corriqueiras para as equipes de inspeção e manutenção de malha de dutos em operação, uma vez que, uma falha que leve a perda de contenção de um oleoduto, por exemplo, ocasionaria vazamento de petróleo, interrupção forçada da operação/transferência de hidrocarbonetos e danos ao meio ambiente [2].

Dentre as diversas técnicas de reparos possíveis para a reabilitação de dutos corroídos, pode-se mencionar a troca de trecho, o reparo por material compósito ou a instalação de dupla calha. Esta última, consiste na soldagem em carga (ou seja, com o duto em operação), de elementos estruturais para reforço de um duto, ou tubulação. Este elemento estrutural é constituído de duas calhas que se ajustam sobre toda a circunferência do tubo [3].

No entanto, três importantes riscos devem ser considerados antes de se decidir pelo reparo de um duto por dupla calha: o risco de trincas a frio induzidas pelo hidrogênio absorvido durante o processo de soldagem, o risco do arco de solda penetrar através da parede da tubulação e, por último, o risco de decomposição instável do produto transportado pela temperatura e pressão alcançada na parte interna do duto ou tubulação [4].

No presente artigo, será considerado apenas as duas primeiras situações, uma vez que, avaliar o risco de decomposição instável de produtos, fugiria ao escopo deste trabalho.

O risco de TIH está associado a três fatores controladores (hidrogênio difusível, microestrutura susceptível e tensões trativas). Assim, este risco poderá ser reduzido pelo controle de hidrogênio durante a de soldagem (utilizando-se consumíveis de baixo teor de hidrogênio, por exemplo), como também pelo controle da microestrutura na ZTA (esta, por sua vez, é realizada pelo controle da dureza do material, já que o aumento da dureza, contribui para a formação de trincas a frio e a dureza depende da composição química do material e da taxa de resfriamento na soldagem). O valor da dureza normalmente aceito como limite máximo para se evitar a TIH em soldas de aço carbono ou de baixa liga é de 350 Vickers [3, 4].

Com a relação ao risco de perfuração, estudos determinaram que o risco de perfuração é eminente quando a temperatura na superfície interna da tubulação soldada alcança valores superiores a 1.260 ºC. Assim, foram arbitrados valores menores como margem de segurança: sendo 980 ºC para eletrodos de baixo hidrogênio e 760 ºC para eletrodos celulósicos [3, 4].

## Objetivo

ISSN: 2594-6153

Apresentar parâmetros de controle para a técnica de reabilitação de dutos corroídos por soldagem em operação de dupla calha (*pressure-containing sleeves*), em trechos de duto com elevada perda de espessura, para recomposição da resistência mecânica do material.

## Material e Métodos

Empresas operadoras de dutos costumam possuir procedimentos e normas próprios para as atividades de reparo por dupla calha [3, 4], além de atenderem normas internacionais especificas, como por exemplo, a ASME PCC-2: *Repair of Pressure Equipment and Piping* e a API 1104: *Welding of Pipelines and Related Facilities*.

Na prática, é obrigatório o uso de procedimento de soldagem qualificado (EPS), onde se especifica o tipo de consumível e se limita a energia de soldagem, ou aporte térmico, além do uso de simulação numérica em softwares para avaliar os riscos já citados, ou seja: trincas a frio induzidas pelo hidrogênio (TIH) e perfuração do duto na poça de fusão da solda.

Será considerado um caso real de reparo bem sucedido em um oleoduto enterrado, onde foi identificado corrosão externa de severa intensidade durante inspeção por *pig instrumentado*. Na Tabela 1 tem-se os principais dados deste oleoduto e na Figura 1 fotografias tiradas após a convalidação de campo para o defeito reportado na inspeção. Observa-se, pela Figura 1.b, que foram identificados alvéolos de corrosão com profundidade de até 6,0 mm na superfície externa do oleoduto, quando sua espessura nominal de parede era de 7,9 mm!

**Tabela 1.** Características Principais do Duto [5]

| | | | |
|---|---|---|---|
| Norma de Projeto | ASME B31.4 | Temperatura de Operação | 90 °C |
| Ano de Construção | 2004 | Ano de Início de Operação | 2005 |
| Pressão de Operação | 9 ~ 42 kgf/cm² | Revestimento | 3LPP[1] |
| Pressão de Projeto | 90 kgf/cm² | Especificação do Material | API 5L X60 |
| Diâmetro Nominal | 14” | Espessura Nominal | 7,90 mm |

1) Tripla camada em polipropileno.



*a)* *b)*

**Figura 1** – Fotografias do oleoduto após abertura de vala para convalidação: a) alvéolos de corrosão na região mais crítica, b) medição da profundidade de alvéolo – 6 mm [5].

ISSN: 2594-6153

Para o reparo, foi utilizado uma EPS, cujos parâmetros de soldagem estabeleciam uma energia de soldagem ($E_s$) entre 23,91 e 38,40 kJ/in, ou 0,90 e 1,53 kJ/mm [5]. A energia de soldagem pode ser determinada através da Equação 1 [4]:

$$E_s[kJ/mm] = \eta \times \frac{\text{Tensão [V]} \times \text{Corrente [A]}}{1000 \times V_s[mm/s]} \quad (1)$$

Sendo η a eficiência térmica do processo e $V_s$ a velocidade de soldagem.

Para a simulação térmica, foi utilizado o software da PRCI – *Pipeline Research Coucil International*, que através dos parâmetros de soldagem da EPS, da energia de soldagem, da composição química do material e dos dados de projeto e de operação do duto, estimou a dureza resultante na ZTA e a temperatura alcançada na parede interna do duto na região da solda.

## Resultados

Na simulação térmica, conforme Tabela 2, foi obtida uma temperatura máxima na superfície interna da parede do duto de 659 °C e uma dureza máxima na ZTA de 224,96 Vickers. O software também gerou as curvas ilustradas na Figura 2.

**Tabela 2.** Resultados da Simulação Térmica no PRCI [5]

| CASO | Energia de Soldagem [kJ/in] | Máxima Temperatura Interna [°C] | Máxima Dureza [Hv] |
|---|---|---|---|
| 1 | 23,91 | 547 | 224,96 |
| 2 | 38,40 | 659 | 190,92 |

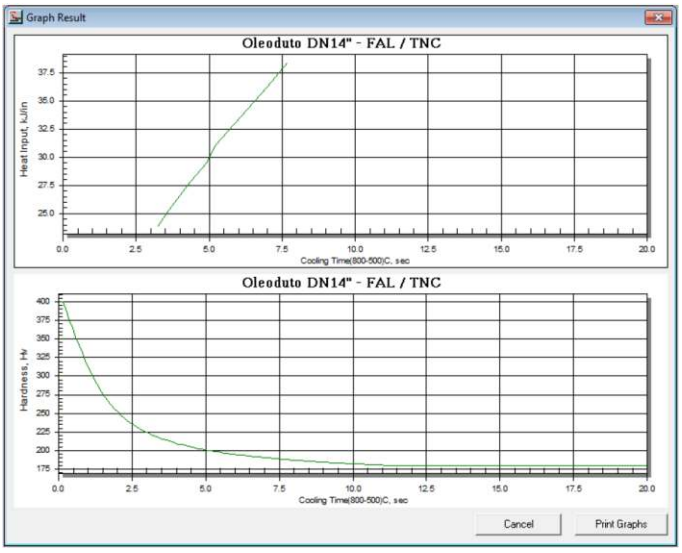



**Figura 2.** Curvas de Energia de Soldagem e Dureza do software da PRCI [5]

## Discussão

Pode-se observar, pela Tabela 2, que a temperatura interna e a dureza na ZTA variam, diferentemente, em relação a Energia de Soldagem utilizada. Observando-se o caso 2, por

ISSN: 2594-6153

exemplo, enquanto que, para o aporte térmico maior, a temperatura de soldagem estimada na superfície interna do tubo foi a mais elevada, por outro lado, a dureza final estimada para o material obteve o menor valor. Já para o caso 1, com uma energia de soldagem inferior, se alcançou a menor temperatura na superfície interna e a maior dureza na ZTA.

A explicação para o comportamento da temperatura interna com relação a $E_s$ é trivial: maior aporte térmico implica em maior temperatura interna na parede do duto. Por outro lado, embora o comportamento da dureza não pareça tão óbvio, pode ser explicado em função da taxa de resfriamento. Por exemplo, se for utilizado uma Energia de Soldagem (Heat Input) de 30 kJ/in, de acordo com a curva superior da Figura 2, o tempo de resfriamento nas temperaturas de transformação "t (800 ~500 °C)" será igual a 5 s (cinco segundos). E, pela curva inferior da mesma figura, a dureza estimada na ZTA será de 200 Hv. Então, maiores valores de $E_s$ demandarão um maior tempo para seu resfriamento (ou seja, terão maiores taxas de resfriamento), o que reduz a probabilidade de formação de martensita na ZTA – o que é atestado pelo menor valor obtido para a dureza do material.

## Conclusões

De acordo com o que foi exposto, conclui-se que, o aporte térmico da EPS utilizada não ofereceu risco à realização do reparo por dupla calha para o duto em questão. Isto porque, a soldagem em operação será bem sucedida, sempre que se determinar um intervalo seguro para a $E_s$ a ser utilizada no reparo. Este intervalo, por sua vez, está limitado no seu valor inferior pela microestrutura que não ofereça risco de trinca a frio em função da dureza alcançada e, no seu valor superior, por um aporte térmico que não perfure a parede do duto na soldagem.

## Referências Bibliográficas

1. Freire JLF (2009). Engenharia de Dutos. ABCM – Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas. Rio de Janeiro, p. 15.1-15.3;
2. Benjamim, A (2014). Avaliação Estrutural de Dutos Corroídos: Notas de Aulas – Volume I. Dutos Submetidos Apenas a Carregamento de Pressão. Petrobras. Rio de Janeiro, p. 1;
3. Comissão de Normalização Técnica (2016). N-2163: Soldagem e Trepanação em Equipamentos, Tubulações Industriais e Dutos em Operação. Petrobras. Rio de Janeiro, p. 7, 9, 17 e 19;
4. Paes, MTP (2000). Procedimentos para a Soldagem de Dutos e Tubulações Industriais em Operação. Relatório Técnico Final. Petrobras/Cenpes. Rio de Janeiro, p. 2, 3, 5, 6, 7 e 21.
5. Oliveira JJM (2016). Análise e Reparo de Dutos Corroídos: Um Estudo de Caso para Reparo por Dupla Calha. Monografia de Pós Graduação. PUC-Rio. Rio de Janeiro, p. 22, 23, 51 ~ 66.