

Copyright 2010, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2010, em Fortaleza/CE no mês de maio de 2010.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Corrosividade do etanol anidro, do etanol hidratado e da mistura combustível E25 (25% etanol/75% gasolina)

Anna Ramus Moreira¹; Zehbour Panossian²; Gislaíne Maria Bragagnolo³; Célia A. Lino dos Santos⁴; Marcelo C. Gandur⁵; Emerson Monteiro de Souza⁶

Abstract

The objective of the work was to study the corrosion of API 5LX 46 and API 5LX 65 alloys, used for pipelines when in contact with anhydrous ethanol, hydrated ethanol and Brazilian gasoline blend (E25) through laboratory immersion tests, NACE TM-0172 tests and dynamic tests (corrosion loops). Based on the results of this study, it was concluded that it is advisable that the internal surface of the pipelines be painted in order to avoid the corrosion of the internal walls when stagnant moments can't be avoid or when the system isn't used only for hydrated and anhydrous ethanol. The objective of the painting is only to avoid the ethanol contamination, which could change its corrosiveness and/or its color, which is unacceptable in the market.

Resumo

O objetivo deste trabalho foi estudar a corrosão das ligas API 5LX 46 e API 5LX 65, usadas na construção de dutos frente o etanol anidro, o etanol hidratado e a mistura combustível brasileira correspondente a um E25 (25 % etanol/75 % gasolina) por meio da condução de ensaios de imersão em laboratório, ensaios NACE TM-0172 e ensaios dinâmicos (loops de corrosão). Com base nos resultados deste estudo, concluiu-se que é aconselhável a realização de pintura na superfície interna de dutos, nos quais a condição de movimentação constante não possa ser garantida, assim como, no caso destes não serem exclusivos para transporte de etanol anidro e hidratado. O objetivo da pintura é única e exclusivamente o de evitar uma contaminação do etanol transportado, a qual poderia mudar a corrosividade do meio e/ou sua coloração, fato este inaceitável pelo mercado consumidor por estar em desacordo com a resolução ANP nº 36.

Palavras-chave: corrosão, etanol combustível, biocombustível, corrosividade, etanol anidro, etanol hidratado, mistura combustível brasileira, combustível E25 (25 % etanol/75 % gasolina), API 5LX 46, API 5LX 65.

¹ Mestre, Química, Laboratório de Corrosão – IPT.

² Doutora, Física, Laboratório de Corrosão – IPT.

³ Mestre, Química, Laboratório de Corrosão – IPT.

⁴ Doutora, Química, Laboratório de Corrosão – IPT.

⁵ Doutor, Engenheiro Químico - 3M do Brasil.

⁶ Engenheiro Químico – 3M do Brasil.

Introdução

O trabalho desenvolvido tinha por objetivo o estudo da corrosão das ligas API 5LX 46 e API 5LX 65, usadas na fabricação de dutos, frente os etanóis anidro e hidratado e frente a mistura combustível brasileira E25⁷, por meio da realização de ensaios de imersão em laboratório, ensaios NACE TM-0172 e ensaios dinâmicos de corrosão (loops de corrosão).

Metodologia e resultados

Como não existem metodologias de ensaio disponíveis para ensaios de corrosão em meio de etanol, no presente estudo métodos específicos para a realização de ensaios em condições estagnadas e de movimento necessitaram ser desenvolvidos. As condições de estagnação (ensaios de imersão em laboratório) foram conduzidas no sentido de reprodução de eventuais condições de parada. As condições de movimento relativo foram conduzidas no sentido de reprodução das condições de transporte via dutos. Outro ensaio realizado foi o NACE TM-0172⁸, para o qual algumas adaptações precisaram ser adotadas, no sentido de torná-lo adequado à avaliações do etanol. E o terceiro ensaio utilizado foi o de loop de corrosão.

1. Ensaios de imersão (estudo em condição de estagnação)

Antes da construção do recipiente de ensaio, ensaios preliminares foram conduzidos no sentido de identificação das condições de ensaio que influenciariam os resultados obtidos. Uma das observações mais importantes foi a de que uma exposição do meio de ensaio à atmosfera, acarreta em uma absorção, por este, de água (umidade do ambiente) e, por conseqüência, no aumento do teor de água do meio de ensaio durante o desenvolvimento do mesmo.

No sentido de evitar a absorção de água, um recipiente de ensaio foi projetado (Figura 1). Este recipiente de ensaio era constituído por um reator confeccionado em borosilicato; tampa confeccionada em borosilicato possuindo três entradas/saídas confeccionadas em tubo de vidro dotado de torneira (Teflon[®] com conexões plásticas), a função das entradas/saídas é a de introdução de gases; suporte para corpos-de-prova confeccionado em Teflon[®], o qual permite o ensaio simultâneo de três corpos-de-prova, garantindo o isolamento entre eles; anel de vedação confeccionado em Viton[®] (instalado na região de contato reator/tampa), sendo sua função a de auxiliar na vedação do sistema de ensaio.

Objetivando simular uma renovação contínua da fase vapor, adotou-se a realização de uma injeção de gases de maneira intermitente. Por esta razão e, para garantir a vedação, a pressão interna dos reatores foi controlada utilizando-se, na saída de uma das torneiras (Figura 1), um tubo de vidro em U contendo mercúrio líquido. Por ocasião da injeção dos

⁷ O teor de etanol na mistura combustível foi fixado, pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, em 25% (vigência a partir de 01.07.2007).

⁸ O ensaio NACE TM-0172 estabelece um procedimento de ensaio conduzido para a determinação das propriedades corrosivas de derivados de petróleo transportados via duto. Devido ao fato do estudo ser conduzido em meios distintos dos estabelecidos na norma, algumas modificações precisaram ser realizadas.

gases, a pressão era mantida positiva. A manutenção da pressão nestas condições indicava a não ocorrência de variação na atmosfera interna (sistema sem vazamento).

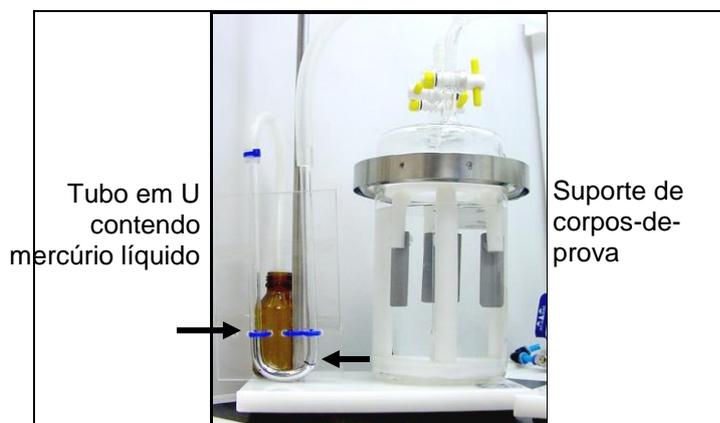


Figura 1 – Recipiente de ensaio acoplado a tubo em U contendo mercúrio líquido. As setas indicam pressão é positiva



Figura 2 – Ensaio de imersão em andamento

Os corpos-de-prova foram confeccionados em dimensões compatíveis com as estabelecidas na norma NBR 7413 (NBR, 1982).

Os meios de ensaio foram: **meio I** (etanol anidro conforme recebido), **meio II** (etanol anidro com adição de 7 % (m/m) de água ultrapura, representando um etanol hidratado), **meio III** (mistura combustível brasileira⁹, 25 % etanol/75 % gasolina). Cabe salientar que, todos os lotes recebidos para a realização dos ensaios encontravam-se dentro do especificado na resolução ANP nº 36 (ANP, 2005).

Para cada um dos meios de ensaio foram estabelecidas duas diferentes condições: **borbulhamento de ar atmosférico não-seco** (objetivando verificar o efeito da presença de oxigênio, associado à umidade do ambiente, no processo corrosivo) e **borbulhamento de ar sintético ultrapuro e super seco** (objetivando verificar o efeito da presença de oxigênio, na ausência de umidade, no processo corrosivo).

Os corpos-de-prova foram ensaiados na condição de imersão total, com duração de 15 dias.

O acompanhamento dos ensaios foi realizado por meio de exame visual diário; determinação da massa final (ASTM, 2003; ABNT, 1987); no caso de corrosão localizada, determinação da profundidade de pite (ASTM, 1999; ABNT, 1987); no caso da necessidade de investigação da possível origem de uma mancha ou produto existente na superfície, realização de análises por dispersão de energia (EDS).

A Figura 2 ilustra ensaios de imersão em andamento e a Figura 3 ilustra os resultados obtidos para a liga API 5LX 46. Cabe salientar que, resultados semelhantes foram verificados para a liga API 5LX 65.

⁹ O teor de etanol na mistura combustível foi fixado, pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, em 25% (vigência a partir de 01.07.2007).

De maneira resumida, os resultados obtidos nos ensaios de imersão demonstraram que:

- em condições estagnadas, os aços utilizados na fabricação de dutos apresentam corrosão localizada (corrosão por pites) em meio de etanol hidratado e levemente generalizada em meio de etanol anidro. Dentre os aços estudados, o aço API 5LX 46 apresentou menor resistência à corrosão em etanol hidratado, quando comparado ao aço API 5LX 65;
- a absorção da umidade do ambiente, pelo etanol, eleva a agressividade do meio de ensaio, seja ele, anidro ou hidratado.

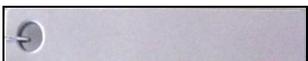
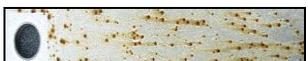
Meio de ensaio	Condições de ensaio	Tempo de ensaio			
		15 dias			
		Aspecto visual	Perda de massa (g)	Profundidade de pite*	EDS
Etanol anidro	ar atmosférico	 Ligeiro manchamento (não-visível na imagem)	0,005	---	<ul style="list-style-type: none"> • Fe: teor elevado; • O e Si: teor mediano; • Mn, Ca e Na: baixo teor.
	ar sintético	 Ligeiro manchamento (não-visível na imagem)	0,006	---	---
Etanol hidratado em lab.	ar atmosférico	 Intensificação do processo corrosivo	0,009	 70 μm	<ul style="list-style-type: none"> • Fe, O e C: teor elevado; • Si: teor mediano; • Mn, Ca, S e Na: baixo teor.
	ar sintético	 Intensificação do processo corrosivo	0,006	 45 μm	---
Mistura 25 etanol/75 gasolina	ar atmosférico	 Sem corrosão	0,004	---	<ul style="list-style-type: none"> • Fe: teor elevado; • O e Si: teor mediano; • Mn, Ca e Na: baixo teor.
	ar sintético	 Sem corrosão	0,004	---	---

Figura 3 – Resultados do ensaio de imersão de corpos-de-prova confeccionados em aço API 5LX 46

2. Ensaio NACE (estudo em condição não-estagnada)

A corrosividade de derivados de petróleo (nafta, diesel e gasolina) é verificada de acordo com a metodologia de ensaio NACE TM-0172 – *Determining Corrosive Properties of Cargoes in Petroleum Product Pipelines* (NACE, 2001), por meio de um banho de aço inoxidável com seis agitadores mecânicos (Figura 4). Este ensaio consiste em verificar as alterações visuais que ocorrem em corpos-de-prova de aço-carbono padronizados imersos durante quatro horas, com agitação, no derivado de petróleo ao qual foram adicionados 10 % (v/v) de água destilada de pH 7,0. A adição de água visa aproximar os resultados obtidos dos encontrados em campo, uma vez que, na prática, há entrada de água nos dutos. A agitação

tem por finalidade manter a suspensão de gotículas de água no derivado, uma vez que a água é imiscível neste meio e, por possuir menor densidade, permanece no fundo do recipiente. Na prática, a suspensão das gotículas de água ocorre devido à movimentação da mistura (derivado + água) no duto.

A avaliação da corrosividade é feita por meio da porcentagem da área corroída apresentada pelos corpos-de-prova e é classificada de acordo com a Tabela 1. Numa tentativa de tornar o meio mais agressivo, a água pode ser acidificada, de maneira prévia à sua adição ao meio de ensaio, utilizando-se ácido clorídrico. No presente trabalho, para a aprovação do lote de etanol, considerou-se que o resultado deveria estar entre as classificações **A** e **B⁺⁺**.

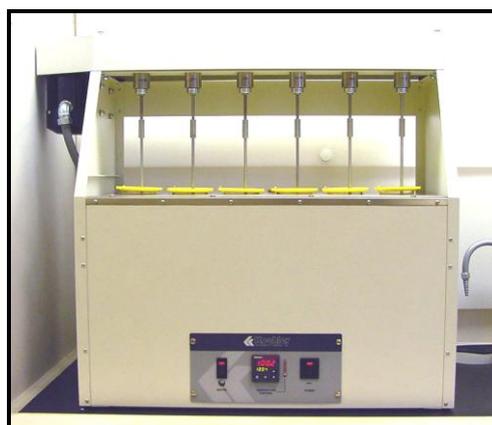


Figura 4 – Ensaio NACE em andamento

Tabela 1 – Escala para avaliação dos corpos-de-prova de aço-carbono

Classificação	Área Corroída (%)
A	0
B ⁺⁺	< 1 (duas ou três manchas com até 1 mm de diâmetro)
B ⁺	< 5
B	5 a 25
C	25 a 50
D	50 a 75
E	75 a 100

*Fonte: Norma NACE TM-0172 (NACE, 2001)

A Tabela 2 ilustra resultados obtidos para etanol anidro com adição de 7 % e 10 % de água ultrapura. A adição de 7 % foi usada no sentido de ensaio com a mesma quantidade de água encontrada em um etanol hidratado, o qual é usado no Brasil como etanol combustível. A quantidade de 10 % objetivou a realização do ensaio com a mesma quantidade de água prescrita na norma NACE TM-0172. No sentido de tornar o ensaio ainda mais agressivo, outra modificação foi inserida, qual seja, a adição de água previamente acidificada a pH 4.5 utilizando-se HCl.

Tabela 2 – Resultados obtidos no ensaio NACE TM-0172 conforme o especificado e com modificações, para etanol anidro

Etanol	7 % de água (similar ao etanol combustível brasileiro)	10 % de água (NACE TM-0172 original)
NACE original (sem ajuste de pH, pH da água 7)	 Classificação: A	 Classificação: B ⁺
NACE modificado (pH da água levado a 4.5 com adição de HCl)	 Classificação: A	 Classificação: B ⁺

Da Tabela 2 verifica-se não haver influência do pH para uma quantidade de água adicionada de 7 %. No entanto, um aumento na quantidade de água adicionada (passagem de 7 % para 10 %) já determina um aumento da agressividade do etanol, mas neste caso (condição não-estagnada, ou seja, de movimento), a corrosão apresentada pelos corpos-de-prova não reproduziu os resultados verificados nos ensaios conduzidos em condição estagnada (ensaios de imersão).

A Tabela 3 apresenta os resultados verificados para a mistura brasileira (25 % de etanol e 75 % de gasolina). Neste caso, o ensaio NACE TM-0172 foi conduzido com e sem a adição de água ultrapura. Quando adicionada, esta adição de água foi realizada em duas diferentes quantidades: 1 % e 10 %. A quantidade de 10 % de água foi adicionada com diferentes valores de pH, quais sejam pH 7 (conforme estabelecido pela norma NACE TM-0172) e pH 4.5 (acidificada com HCl).

Da Tabela 3, é possível verificar que, para uma pequena quantidade de água (1 %), o etanol presente na mistura é capaz de manter a água em solução (dissolvido) e nenhuma corrosão é observada nos corpos-de-prova. Para a quantidade de 10 % de água, duas fases passam a existir (água + mistura combustível)¹⁰ e a corrosão passa a ocorrer sendo esta mais severa para pH 4.5.

¹⁰ A separação das fases foi visualmente verificada em laboratório.

Tabela 3 - Resultados obtidos no ensaio NACE TM-0172 realizado na maneira original e com modificações para a mistura combustível brasileira E25

Quantidade de água	pH da água	Classificação	Aspecto visual do corpo-de-prova
---	7.0	A	
1	7.0	A	
10	7.0	C	
10	4.5	E	

3. Ensaio em loop de corrosão (estudo em condição não-estagnada)

O ensaio de circulação é um ensaio dinâmico e é realizado em um equipamento (*loop*) provido de tubos e reservatório. Neste, o meio corrosivo circula, em circuito fechado, pelos tubos do *loop*. Normalmente, um dos tubos é confeccionado no metal que se objetiva estudar o desempenho, sendo os demais tubos plásticos.

O Laboratório de Corrosão e Proteção possui dois *loops*, um deles encontra-se apresentado na Figura 5.

Como no presente estudo objetivava-se verificar o desempenho dos aços especiais API 5LX 46 e API 5LX 65 e não foi possível encontrar no mercado tubos com diâmetro compatível ao dos *Loops* disponíveis, para a realização do trabalho foi feita uma adaptação no tubo de nylon de 1000 mm, qual seja: foram realizadas três aberturas (janelas) e, nestas, foram encaixados corpos-de-prova dos aços de interesse, adequadamente preparados como mostrado na Figura 6.

Os ensaios de circulação em *loop* de corrosão foram realizados em duas etapas, cada qual com um objetivo distinto:

- **primeira etapa:** estudar o comportamento das ligas API 5LX 46 e API 5LX 65 em meio de etanol hidratado;
- **segunda etapa:** verificar se as características dos etanóis anidro e hidratado eram alteradas após contato com superfícies de aço corroídas.



Figura 5 – Um dos *loops* do Laboratório de Corrosão e Proteção, utilizado nos ensaios

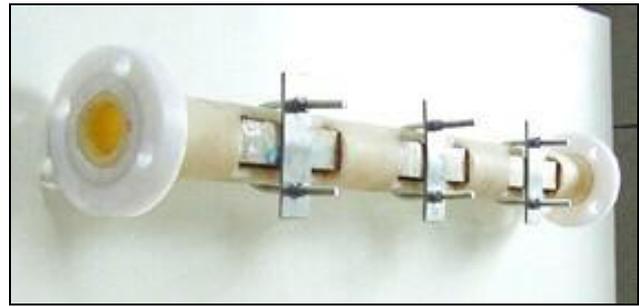


Figura 6 – Tubo de nylon com os corpos-de-prova

Nos ensaios da primeira etapa, o *loop* permanecia ligado por 8 horas nos dias úteis e desligado nos demais dias para simular condições de parada de escoamento de fluxo e, também para evitar riscos ao ambiente de trabalho.

O ensaio teve a duração de 267 h, sendo que a análise visual dos corpos-de-prova, no sentido de verificação do início da corrosão, era realizada de maneira semanal.

Como resultado tem-se que, ao término do ensaio nenhuma alteração visual foi verificada nem nos corpos-de-prova e nem na coloração do etanol ensaiado. Sendo assim, pode-se concluir que o etanol hidratado não foi agressivo aos aços das ligas especiais API 5LX 46 e API 5LX 65, no ensaio com movimentação relativa metal/meio. Ou seja, a movimentação relativa metal/meio, minimiza a corrosão pelo etanol hidratado. Comportamento esse, típico de materiais passiváveis: a movimentação realimenta a superfície do metal com oxigênio, favorecendo a manutenção da camada passiva.

A segunda etapa dos ensaios de circulação em *loop*, teve por objetivo verificar se as características do etanol anidro e hidratado são alteradas após estes entrarem em contato, em condições não-estagnadas, com uma superfície corroída de aço das ligas especiais API 5LX 46 e API 5LX 65. Este ensaio foi realizado, pois muitas vezes polidutos são usados para transporte de etanol e, tais polidutos podem apresentar corrosão das paredes internas devido à ação de derivados de petróleo com características agressivas. Nestas condições, mesmo que o etanol não provoque a corrosão do duto, pode lixiviar os produtos da corrosão preexistentes na superfície interna dos mesmos, o que alteraria a coloração do etanol, fato suficiente para colocá-lo fora da especificação ANP nº 36.

Para este ensaio foi necessário oxidar um dos três corpos-de-prova para simular um duto com produto de corrosão em seu interior. A oxidação foi feita por meio da exposição do corpo-de-prova em câmara de névoa salina por um período de cinco dias.

A disposição dos corpos-de-prova no tubo de nylon obedeceu o apresentado na Figura 7. O corpo-de-prova oxidado era o CP 3, isto é, o último a receber o fluxo de etanol.

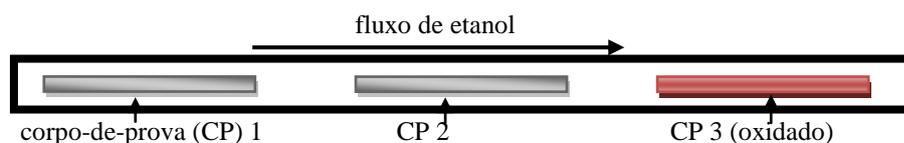


Figura 7 – Disposição dos corpos-de-prova no *loop*

O ensaio foi realizado tanto com etanol anidro como com etanol hidratado e teve a duração de 100 horas, sendo que o *loop* permanecia ligado por 8 horas nos dias úteis e desligado nos demais dias.

A avaliação foi realizada por meio de exame visual dos corpos-de-prova e da cor do meio de ensaio (etanol).

Como resultado tem-se que, após 100 h de ensaio, os corpos-de-prova não-oxidados da liga API 5LX 46 não apresentaram pontos de corrosão. No entanto, os dois corpos-de-prova da liga API 5LX 65 que inicialmente encontravam-se não-oxidados, passaram a apresentar pequenos pontos de corrosão. Os corpos-de-prova que inicialmente encontravam-se oxidados, de ambas as ligas, apresentaram, ao término do ensaio, leve perda de produto de corrosão e leve alteração de cor (Figuras 8 e 9).

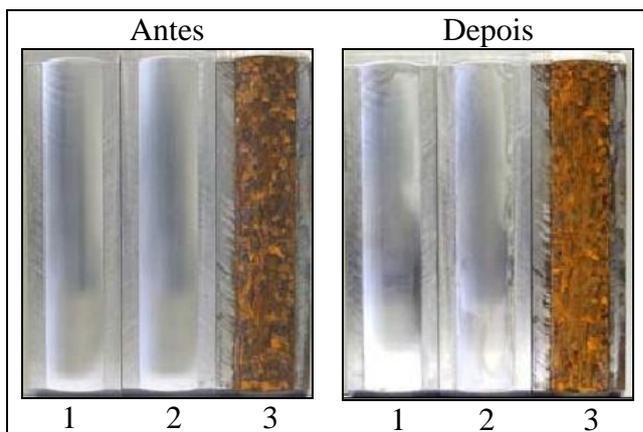


Figura 8 – Corpos-de-prova API 5LX 46 antes e após 100-h de ensaio *loop* em meio de etanol anidro

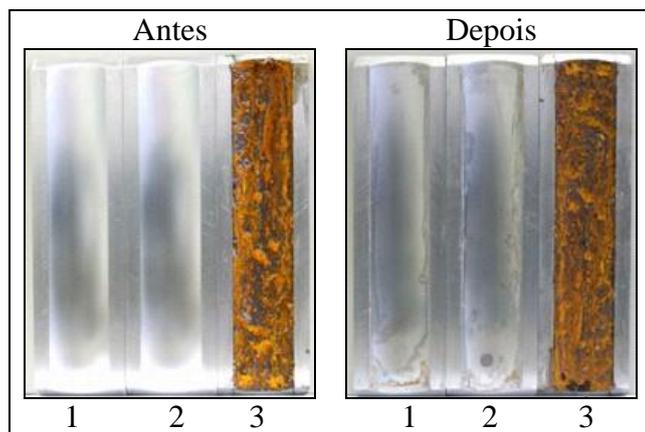


Figura 9 – Corpos-de-prova API 5LX 65 antes e após 100-h de ensaio *loop* em meio de etanol anidro

As Figuras 10 e 11 mostram a cor do etanol anidro antes e após o ensaio. Através dessas pode-se verificar, claramente, uma alteração da coloração do etanol. A tonalidade “acebolada” assumida pelo etanol nos dois casos, torna estes etanóis fora do especificado na resolução ANP nº 36 (coloração: incolor).

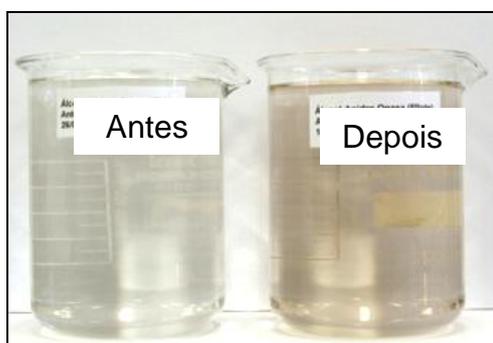


Figura 10 – Aspecto visual do etanol anidro antes e após 100-h de ensaio *loop* com corpos-de-prova API 5LX 46

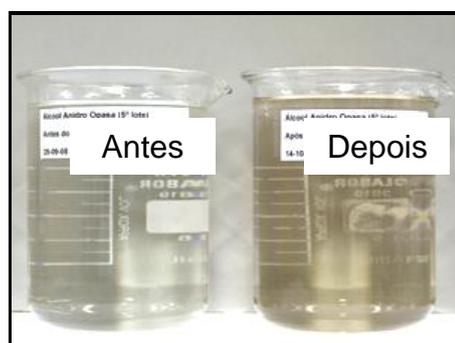


Figure 11 - Aspecto visual do etanol anidro antes e após 100-h de ensaio *loop* com corpos-de-prova API 5LX 65

Com o objetivo de verificar se a origem da mudança de coloração estava relacionada à presença de íons de ferro no meio, foi realizada uma análise qualitativa. Essa análise consistiu em adicionar a uma alíquota de etanol, ácido clorídrico diluído seguido da adição de ferrocianeto de potássio. Uma mudança de coloração para azul indicaria a presença de íons Fe^{3+} . Esta análise foi realizada no etanol antes (transparente) e depois (acebolado) do ensaio.

A Figura 12 apresenta os resultados obtidos. Nesta, é possível verificar que o etanol antes do ensaio não apresenta íons Fe^{3+} , já que a coloração manteve-se inalterada. No entanto, nos etanóis que circularam em contato com corpos-de-prova das ligas API 5LX 46 e API 5 LX 65, foi detectada a presença de íons Fe^{3+} : mudança da coloração da solução para azul.

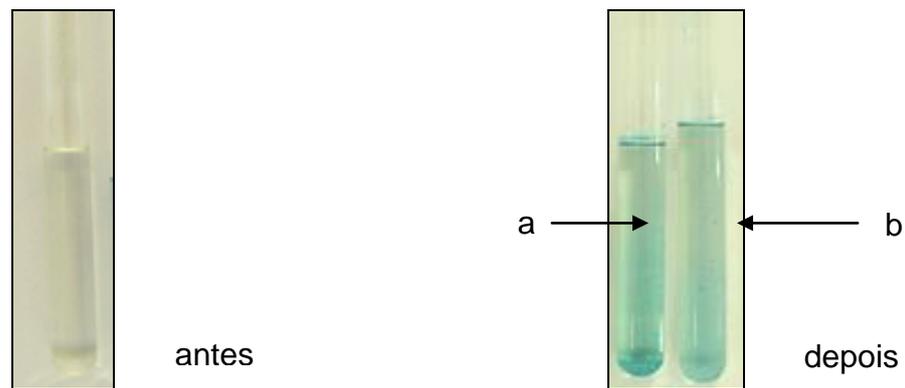


Figura 12 – Resultado da análise qualitativa para verificação da presença de íons ferro antes e após o ensaio realizado no meio que circulou em contato com a liga API 5LX 46 (a) e com a liga API 5LX 65 (b)

De uma maneira geral, os ensaios de circulação em *loop* de corrosão mostraram que o etanol hidratado, quando em movimentação, não causa corrosão dos aços especiais estudados (ligas API 5LX 46 e API 5LX 65) e que a presença de processo corrosivo no interior de dutos pode causar uma alteração da cor do etanol, sendo esta capaz de tirar este etanol da especificação.

Conclusões

Em condições de estagnação, as quais representam eventuais momentos de parada, o **etanol hidratado** é agressivo às ligas API 5LX 46 e API 5LX 65. Em condições de movimentação, esta agressividade desaparece. O etanol anidro não é agressivo às ligas API 5LX 46 e API 5LX 65, nem em condições de estagnação e nem em condições de movimentação, a menos que uma absorção acidental de água ocorra. No entanto, quando tanto o etanol anidro quanto o hidratado passam através de tubos corroídos, os quais representam o transporte do etanol por meio de polidutos, a agressividade destes líquidos aumenta e uma mudança na coloração passa a ser observada. Mudança esta, a qual é inaceitável ao mercado. A gasolina brasileira (E25, mistura composta por 25 % etanol em gasolina tipo A) não é agressiva às ligas API 5LX 46 e API 5LX 65, tanto em condições de estagnação quanto em condições de movimento, a menos que uma absorção acidental de água ocorra. Na presença de água, esta passa a ser agressiva.

No sentido de evitar problemas de corrosão das paredes internas de polidutos é aconselhável que estas sejam pintadas. Apesar do processo corrosivo ser incipiente, ele determinará uma mudança da coloração do etanol, fato inaceitável pelo mercado externo. Em dutos dedicados, a pintura interna dos tubos não é necessária, uma vez que tanto o etanol anidro quanto o hidratado não são agressivos às ligas estudadas, desde que a condição de movimentação relativa metal/meio seja garantida.

Referências bibliográficas

ABNT – **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. 1982. **NBR 7413**: Metal - Corrosão por imersão – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1982. 17p.

ABNT – **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. 1982. **NBR 8265**: Materiais metálicos - Corrosão por imersão em meios alcoólicos. Rio de Janeiro, 1983. 12p.

ABNT – **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 6210:1987 – preparo, limpeza e avaliação da taxa de corrosão de corpos-de-prova em ensaios. Rio de Janeiro. 16p.

ABNT – **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 9771:1987 – Exame e Avaliação da Corrosão por Pite. Rio de Janeiro, 1987.

ANP – **AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS**. 2005 Resolução ANP n.36, de 6.12.2005 – DOU 7.12.2005. 6p. Disponível em <<http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes-anp/2005/dezembro/ranp%2036>>. Acesso em: 14/3/2008.

ASTM - **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS**. 1999. **G 46**: Standard Guide for Examination and Evaluation of Pitting Corrosion. Philadelphia, 1999.

ASTM – **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS**. G1:2003 - Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens. West Conshohocken. 9p.

NACE – **NATIONAL INTERNATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS**. 2001. TM-0172: determining corrosive properties of cargoes in petroleum product pipelines. Houston. 7p.

* * *