

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).

Integridade Dos Dutos: Pig De Limpeza X Corrosão Interna Em Dutos – Eficiência Aliada A Baixo Custo

Milene L. A. Desmarais¹, Carlos Augusto S. M. Cardozo²

Abstract

The cleaning pig is an equipment mainly used to clean inside the pipeline and it can be of various types and forms, depending on the desired purpose. Despite its such importance, many times the activity of passing the cleaning pig is understood only as a compliance inspection recommendations, without real evidence of its importance in maintaining the integrity of the pipeline. In order to maintain the integrity of the pipeline, these cleaning pigs have the characteristic of drag possible accumulations of water and waste embedded, and prevent the development of colonies of bacteria. The presence of these factors contributes to a corrosive action on the internal wall of the pipeline, either generalized or localized. This paper presents practical results of the efficiency of passage of cleaning pig in the treatment of internal corrosion in pipeline. Real data of internal corrosion rate and aspects of the surface of coupons (specimen) exposed to the different periods and products are shown. This pipeline carries oil and formation water to intermittently flow and it had a history of severe internal corrosion, but after treatment with cleaning pigs passed with a proper frequency, the corrosion rate reduced and consequently increased the life time of the pipeline.

Resumo

O pig de limpeza é um equipamento usado, principalmente, para limpar internamente os dutos e pode ser de vários tipos e formas, conforme a finalidade desejada. Apesar de sua tamanha importância, muitas vezes a atividade de passar o pig de limpeza é entendida apenas como cumprimento a recomendações de inspeção, sem ter evidências reais da sua importância na manutenção da integridade do duto. Visando manter a integridade do duto, esses pigs de limpeza têm a característica de arrastar possíveis acúmulos de água, bem como resíduos incrustados, além de evitar o desenvolvimento de colônias de bactérias. A presença desses fatores contribui para uma ação corrosiva na parede interna do duto, seja de forma generalizada e/ou localizada. Este trabalho apresenta resultados práticos da eficiência da passagem de pig no tratamento da corrosão interna em dutos. São mostrados dados reais de taxa de corrosão interna e aspectos da superfície de cupons expostos ao meio em diferentes períodos de um duto que transporta, intermitentemente, petróleo e água de formação, e que apresentava um histórico severo de corrosão interna, mas após o tratamento com pigs de limpeza passados com uma frequência adequada, reduziu bruscamente a taxa de corrosão, aumentando a vida útil do duto.

Palavras-chave: corrosão interna, oleoduto, pig de limpeza.

¹Bacharel, Técnica em Química - TRANSPETRO

² Técnico, Técnico em Química– Serviços de Engenharia Emílio Baumgart

1. Introdução

O pig é um equipamento que se desloca por dentro de um duto (seja oleoduto ou gasoduto), com o mesmo diâmetro do duto, impulsionado pelo fluxo do fluido.

Pode ser de vários tipos (Figura 01), desde os mais simples, como os de espuma, flex pig, esferas, copo/disco, com escova, entre outros, usados para diversas finalidades como limpeza, separação de batelada, arraste de água, remoção de condensados, etc, até os mais complexos, como geométrico, MFL (magnetic flux leakage), entre outros, que fornecem informações sobre o estado do duto, como amassamentos, corrosões, detecção de vazamento, etc, e por isso, chamados de pigs inteligentes ou instrumentados.

Esses pigs mais complexos, como os instrumentados, no intuito de avaliar a integridade do duto, têm uma frequência de passagem baixíssima, como por exemplo, a cada 5 anos, por ser, principalmente, uma prática bastante trabalhosa e muito dispendiosa. Já os pigs mais simples, usados para limpeza e arraste de água, são mais baratos e sua atividade operacional é mais simples. Eles possuem maior frequência de passagem, podendo ser semestral até semanal.

A frequência de passagem desses pigs de limpeza e arraste de água é determinada em função dos resultados obtidos no monitoramento da corrosão interna dos dutos.

O objetivo desse trabalho é mostrar a importância da passagem de pig de limpeza e arraste de água na manutenção e integridade interna do duto ao evitar ou minimizar a ação de agentes que, direta ou indiretamente, provocam a corrosão interna do duto.



Figura 01 – Alguns tipos de pig

2. Revisão bibliográfica

O monitoramento da corrosão interna tem como principal atividade determinar e classificar o potencial de corrosividade dos fluidos para controle da corrosão interna de dutos de transporte e transferência.

Para isso, empregam-se algumas técnicas na determinação e avaliação da corrosão interna, como, por exemplo, método do cupom de perda de massa e método via sondas de resistência elétrica. Realizam-se também, como complementação no estudo do potencial de corrosividade do fluido, análises específicas nos resíduos e fluidos coletados durante a troca de cupom por perda de massa e na passagem de pig de limpeza e arraste de água.

2.1 Método do Cupom de Perda de Massa

Consiste na avaliação da corrosão interna por meio de cupons de perda de massa (Figura 02a) instalados em provadores de corrosão.

Para efeito de monitoração da corrosão interna, os cupons consistem de corpos de prova de aço carbono, instalados tangencialmente à parede interna do duto e exposto ao meio corrosivo (próprio fluido que está sendo transportado no duto) para a verificação de seu comportamento, e os provadores de corrosão são dispositivos nos quais são instalados os cupons (Figura 02.b).

O cupom é trocado periodicamente, de acordo com a indicação da norma interna da Petrobras que trata da monitoração da corrosão interna dos dutos.

A velocidade de desenvolvimento do processo corrosivo, taxa de corrosão, é usualmente expressa pela variação de massa por unidade de tempo ou, após alguns cálculos, comprimento, representando a perda de espessura, por unidade de tempo.

O cupom tem suas dimensões (diâmetro interno, externo, espessura, chanfro) e seu peso iniciais anotados antes da instalação nos provadores de corrosão. Após o período de exposição ao meio corrosivo, o cupom é retirado, tratado quimicamente, e suas dimensões são determinadas novamente, assim como o seu peso final. Comparando-se os dados, e realizando alguns cálculos, consegue-se determinar a taxa de corrosão (mm/ano)

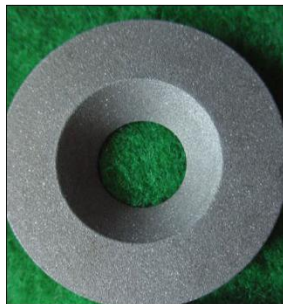


Figura 02 a – Cupom por perda de massa



Figura 02 b – Provador Hidráulico de Corrosão

2.2 Método via Sondas de Resistência Elétrica

Tem a mesma finalidade que o cupom por perda de massa e fica exposto ao meio da mesma forma (tangencial à parede interna do duto). Porém, a sonda (Figura 03) faz uso de um sensor que mede a resistência elétrica de acordo com as características do fluido que está sobre o sensor naquele momento. Periodicamente, de acordo com a configuração desejada pelo operador, uma estação de aquisição de dados, conectada à sonda por cabos, capta a resistência elétrica do sensor naquele momento e armazena esses valores. Após um tempo, o operador faz o download desses dados e lança em um software específico, onde são confeccionados gráficos que mostram a taxa de corrosão interna (em várias unidades, inclusive a mesma determinada no cupom, mm/ano).

A sonda só necessita ser trocada quando o sensor atingir uma espessura tal que ele não apresente a performance esperada.



Figura 03 – Sonda de resistência elétrica

2.3 Análises Específicas

As análises específicas são utilizadas como complemento no estudo da corrosividade do meio, e as principais são: as microbiológicas, onde é possível verificar a presença/ausência de bactérias na amostra, bem como os tipos e concentração das mesmas; as químicas, onde é possível verificar os principais compostos presentes na amostra, bem como suas características como salinidade, alcalinidade, teor de orgânicos, entre outros; e as de campo, onde *in situ* são verificados, dependendo do tipo de amostra, a concentração de oxigênio, pH, presença/ausência de sulfeto, carbonato e produtos ferromagnéticos, entre outras análises qualitativas.

As amostras podem ser realizadas nos resíduos e/ou fluidos coletados sobre os cupons (Figura 04 a) durante a troca dos mesmos ou no canhão recebedor de pig (Figura 04 b).



Figura 04 a – Resíduo sobre o cupom



Figura 04 b – Resíduo no canhão recebedor de pig

A norma que rege a monitoração da corrosão interna classifica o potencial de corrosividade do fluido em baixo, moderado e severo, conforme Tabela 01.

Tabela 01 – Potencial de corrosividade em função da taxa de corrosão

POTENCIAL DE CORROSIVIDADE	TAXA UNIFORME (cupom/sonda) (mm/ano)	TAXA DE PITES (cupom) (mm/ano)
Severo	> 0,125	> 0,201
Moderado	0,025 a 0,125	0,127 a 0,201
Baixo	< 0,025	< 0,127

A norma indica uma rotina de passagem de pig de limpeza e arraste de água como uma das medidas a serem tomadas para o controle da corrosão interna, onde essa rotina deve ser, em caso de potencial severo, a cada início de operação para arraste de água em oleodutos que operam de forma intermitente e mensal para remoção de resíduos.

Os resultados a seguir são referentes a um duto (“duto A”) de 32” de diâmetro e 13,7 km de extensão, que transporta, em regime intermitente, petróleo cru do navio para o terminal e, posteriormente, para uma refinaria, a uma pressão média de 10 kgf/cm² quando em operação, velocidade de 1,5 m/s e com um BSW < 1%. Além disso, ele também é utilizado para o deslocamento de água de formação.

3. Resultados / Discussão

O histórico das taxas de corrosão determinadas por cupons por perda de massa instalados no duto “A” pode ser visto na Figura 05.

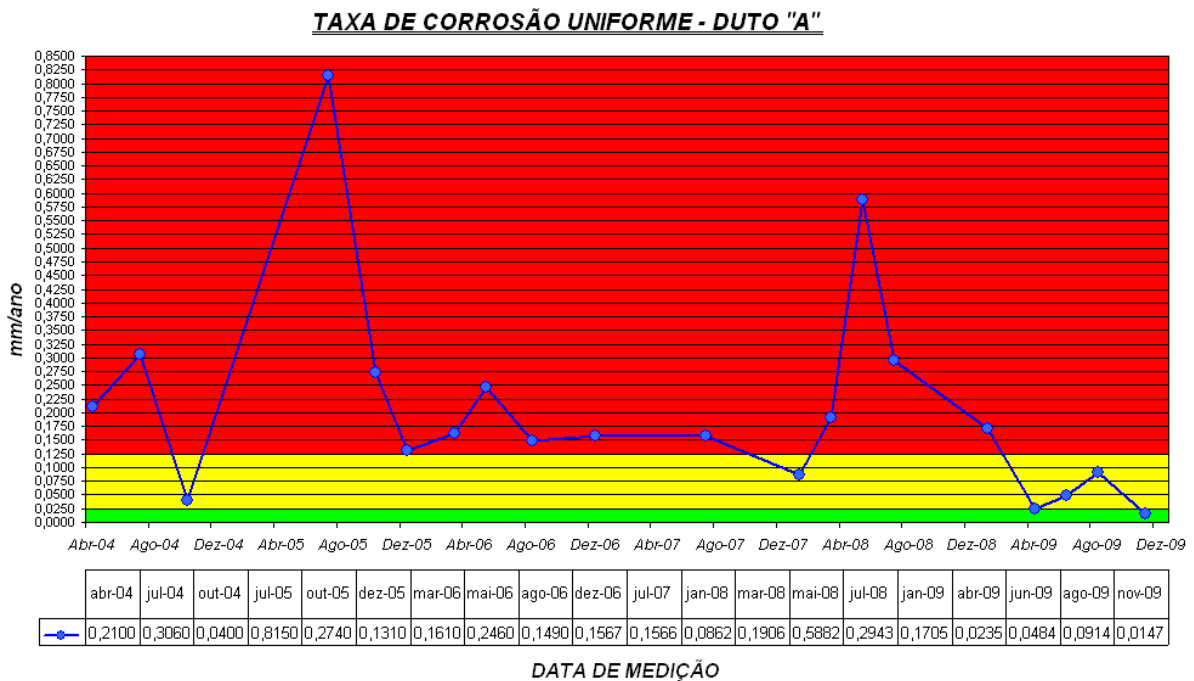


Figura 05 – Histórico da taxa de corrosão por perda de massa do duto “A”

Observa-se na Figura 05 acima que esse duto apresenta um histórico de severidade quanto ao potencial de corrosividade do meio, havendo uma queda significativa na taxa de corrosão determinada em abril e novembro/2009, passando de taxa de corrosão severa/moderada para baixa.

Os aspectos dos cupons retirados após um determinado período de exposição ao meio, bem como o seu aspecto após decapagem, podem ser vistos nas fotos abaixo (Figura 06).



Figura 06a – data: 29/01/09



Figura 06b – data: 16/04/09



Figura 06c – data: 19/06/09



Figura 06d – data: 18/11/2009

Observe que o cupom da Figura 06a, antes da decapagem, apresentou bastante resíduo aderido à superfície. Já os cupons das Figuras 06b e 06d não apresentaram nenhum resíduo aderido. O cupom da Figura 06c apresentou resíduo aderido, porém de forma menos intensa que o cupom retirado em 29/01/2009.

Após a decapagem, notou-se a presença de corrosão localizada tipo pite (marcações em vermelho) nos cupons das Figuras 06a e 06c.

Com o auxílio de um estereoscópio, é possível ampliar e verificar os pites na superfície do cupom, conforme Figura 07.



Figura 07 – Pites presentes no cupom retirado em 29/01/2009 no duto “A”

A taxa de corrosão por pite determinado no cupom da Figura 06a foi de 2,265 mm/ano, classificando o potencial de corrosividade do meio como severo de acordo com a Tabela 01. Esse cupom, com espessura original de 3,2 mm, apresentou pite com profundidade máxima de 1,18 mm, conforme pode ser visto na Figura 08.

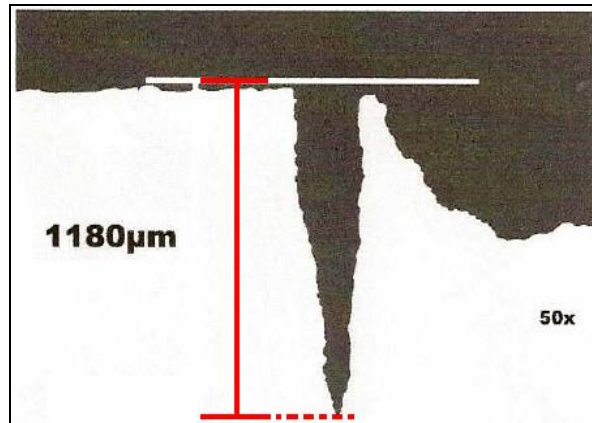


Figura 08 – Vista lateral, com presença de pite, do cupom retirado em 29/01/2009

As análises químicas, microbiológicas e de campo realizadas sobre os fluidos e resíduos coletados durante a troca de cupom (Figura 09) ou após passagem de pig de limpeza/arraste de água (Figura 10) no duto “A” mostram um meio altamente corrosivo, principalmente quando é água de formação ou há água livre no petróleo.



Figura 09 – Coleta de fase aquosa e de resíduo realizadas na troca de cupom



Figura 10 – Drenagem do canhão recebedor de pig após passagem de pig de arraste de água

Os resultados médios das análises de campo, químicas e microbiológicas sobre o resíduo e fluido coletados podem ser visto nas Tabelas 02, 03 e 04, respectivamente.

Tabela 02 – Resultados médios da Análise de Campo

Origem	Amostra	pH	S ²⁻	CO ₃ ²⁻	Ferro	Pot. Redox (mV)	T (°C)
Cupom	Resíduo	6,5	P	P	P	NA	NA
	Fluido	7,6	NA	NA	NA	-02	25,4
Canhão	Resíduo	5,5	N	N	P	NA	NA
	Fluido	7,8	NA	NA	NA	-64	23,8

N – Negativo P – Positivo NA – Não Aplicável

Tabela 03 – Resultados médios de Análise Química

Origem	Amostra	Teor Orgânico (%)	Elementos (% ou mg/L)						Compostos	Alcalinidade (mg/L)	Salinidade (%)
			Ca	Fe	S	Si	Na	Cl			
Cupom	Resíduo	24	12	47	7	9	ND	ND	CaCO ₃ FeS	NA	NA
	Fluido	NA	1068	ND	ND	ND	ND	19230	NA	2026	ND
Canhão	Resíduo	29	36	22	ND	2,9	ND	ND	CaCO ₃ CuFeS ₂ SiO ₂	NA	NA
	Fluido	NA	1300	ND	ND	ND	13000	18850	NA	1400	3,1

NA – Não Aplicável ND – Não Determinado

Tabela 04 – resultados médios de Análise Microbiológica

Origem	Amostra	BANHT (cel/g ou cel/mL)	BRS (cel/g ou cel/mL)	Produção S ²⁻ (µg/mL)	Ferrobactérias
Cupom	Resíduo	1,6x10 ⁴	3,7x10 ³	1,0x10 ³	0
		3,0x10 ³	0	ND	2,0x10 ²
	Fluido	1,4x10 ⁴	3,5x10 ²	9,4x10 ¹	1,0x10 ³
		1,4x10 ³	4x10 ⁰	2,1x10 ⁰	90
Canhão	Resíduo	2,2x10 ⁴	1,2x10 ⁴	9,8x10 ²	0
		1,5x10 ³	2,8x10 ²	1,0x10 ²	0
	Fluido	9,5x10 ¹	4,5x10 ¹	1,7x10 ¹	2,0x10 ²
		4,5x10 ¹	2,5x10 ¹	2,4x10 ⁰	0

ND – Não Determinado

Bactérias redutoras de sulfato (BRS) e Bactérias anaeróbias heterotróficas totais (BANHT) foram determinadas em cultivo de 28 dias.

Os diferentes aspectos dos cupons apresentados nas Figuras 06 foram acompanhados pela redução no valor das taxas de corrosão de 07/2008 a 11/2009, onde a taxa de corrosão foi baixa e o cupom não apresentou resíduo aderido à superfície e nem presença de pite.

Essas mudanças e reduções podem ser explicadas pelo aumento da passagem de pig de limpeza e arraste de água, conforme pode ser visto na Figura 11 e Tabela 05.

Essa maior frequência de passagem de pig também reduziu as concentrações de bactérias nocivas ao duto, tanto as planctônicas quanto as sésseis, principalmente as BRS que causam corrosão localizada, conforme mostrado acima na Tabela 04 (células em branco representam as concentrações de bactérias antes de uma rotina adequada de passagem de pig de limpeza e arraste de água, enquanto as células amarelas representam as concentrações de bactérias após uma rotina adequada de passagem de pig de limpeza e arraste de água).

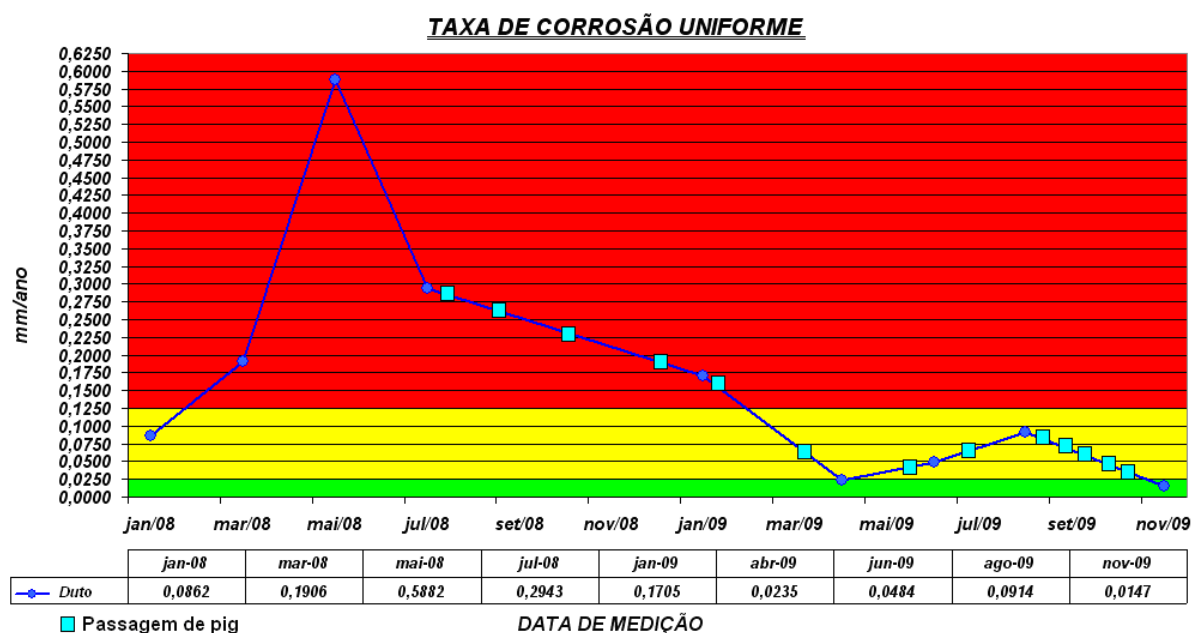


Figura 11 – Taxa de Corrosão X Frequência de Passagem de pig de limpeza

Tabela 05 – Relação Taxa de Corrosão x Frequência de Passagem de PIG

Data da passagem do pig de limpeza/arraste de água	Data da troca do cupom e frequência de passagem pig	Taxa de corrosão (mm/ano)
	15/01/2008	0,0862
	8 meses sem pig	Aumento da taxa de 7 X
	21/07/2008	0,5882
06/08/2008	6 meses – 4 pigs 1,5 mês/pig	Queda na taxa de 3,5 X
01/09/2008		
23/10/2008		
18/12/2008		
	29/01/2009	0,1705
03/02/2009	2,5 meses – 2 pigs 1,25 mês/pig	Queda na taxa de 7 X
27/03/2009		
	15/04/2009	0,0235
12/06/2009	2 meses – 1 pig 2 meses/pig	Aumento na taxa de 2 X
	17/06/2009	0,0484
10/07/2009	2 meses – 1 pig 2 meses/pig	Aumento na taxa de 2 X
	21/08/2009	0,0914
26/08/2009	3 meses – 5 pigs 0,6 mês/pig (1 pig a cada 18 dias)	Queda na taxa de 6 X
09/09/2009		
25/09/2009		
06/10/2009		
25/10/2009		
	18/11/2009	0,0147

No ano de 2008, a primeira passagem de pig só ocorreu em 06/08/2008. O cupom retirado em Janeiro de 2008 (instalado em Julho de 2007) apresentou uma taxa de corrosão moderada de 0,0862 mm/ano. O cupom instalado posteriormente ficou exposto ao meio por 6 meses (Janeiro a Julho de 2008) sem passagem de pig, e com isso, a taxa de corrosão aumentou quase 7x, indo para uma faixa de severidade (0,5882 mm/ano), conforme Tabela 01.

O cupom instalado em Julho de 2008 ficou exposto ao fluido por 6 meses (retirado em Janeiro/2009), onde, nesse período, ocorreram 4 passagens de pig de limpeza/arraste de água, conforme datas mostradas na tabela 05. Isso resulta em uma frequência média de 1 pig a cada 45 dias, reduzindo a taxa de corrosão em quase 30% (queda de 3,5x) quando comparada com a taxa determinada anteriormente (0,1705 mm/ano contra 0,5882 mm/ano), porém ainda em um nível de taxa de corrosão severa, conforme Tabela 01, além de apresentar resíduo fortemente aderido a superfície e presença de pites (Figura 06a).

Já o cupom instalado em Janeiro de 2009 e retirado em Abril de 2009 ficou exposto ao meio por 45 dias, onde ocorreram 2 passagens de pig de limpeza, resultando em uma frequência de passagem de 1 pig de limpeza por mês. Essa frequência de passagem mensal reduziu 7x a taxa de corrosão quando comparada com a taxa determinada anteriormente (0,0235 mm/ano contra 0,1705 mm/ano), levando a uma taxa de corrosividade baixa, de acordo com a Tabela 01, e sem presença de pite e resíduo aderido a superfície do cupom (Figura 06b).

Com relação aos períodos de abril a junho de 2009 e de junho a agosto de 2009, 01 pig de limpeza foi passado em cada período no duto “A”, resultando em uma frequência de passagem de pig bimestral, dobrando a taxa de corrosão com relação à taxa determinada anteriormente (0,0484 mm/ano contra 0,0235 mm/ano), levando a uma taxa de corrosão moderada, conforme Tabela 01, e voltando a apresentar resíduo aderido a superfície e presença de corrosão localizada (vide Figura 06c).

E no período de agosto de 2009 a novembro de 2009, 05 pigs de limpeza foram passados, resultando em uma frequência de passagem de pig a cada 18 dias, reduzindo a taxa em mais de 6 vezes com relação à taxa determinada anteriormente (0,0147 mm/ano contra 0,0914 mm/ano), levando o potencial de corrosividade para a classificação baixa, de acordo com a Tabela 01, além de não permitir a deposição de compostos na superfície do cupom e consequentemente a formação de pites (Figura 06d).

4. Conclusões

A Figura 11 e a Tabela 05 mostram a importância de se ter uma rotina adequada de passagem de pig de limpeza e arraste de água visando à redução da taxa de corrosão interna e consequentemente a manutenção da integridade da parede interna do duto.

A frequência de passagem de pig de limpeza e arraste de água reduz a taxa de corrosão interna ao evitar o desenvolvimento de colônias de bactérias nocivas ao duto e a formação de incrustações na parede interna do duto que criam uma condição de aeração diferencial, levando a corrosão não só generalizada como a localizada.

Como essa prática de passagem de pig de limpeza não era realizada de maneira correta há alguns meses atrás, provavelmente há uma camada de incrustação fortemente aderida à parede interna do duto. Nesse nível de deposição, a passagem de um pig de limpeza convencional pode não ter a eficiência esperada. Sugere-se então, inicialmente, realizar a passagem de pig com escova, de modo a ter um aparato abrasivo no pig de limpeza que remova de forma eficiente esses resíduos.

5. Referências bibliográficas

Normas internas PETROBRAS.