Copyright 2008, ABRACO
Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2008, em Recife/PE, no mês de maio de 2008.
As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Proteção Catódica para Superfície Interna de Tubulações de Água de Formação

Simone L.D.C. Brasil, Leandro B. S. Marques[2], Wilson G. Castinheiras Júnior [3], João P. K. Gervásio , Lincoln C. Vidal[5], José Antônio F. Santiago[6], José Claudio F.Telles

Abstract

Angra dos Reis Terminal Station – TEBIG, located in Rio de Janeiro – Brazil, has received petroleum with large volume of formation water. This water comes from several oil fields and depends on the reservoir characteristics. It is transferred to the terminal, decanted and drained from the tanks. Before being discarded, it must be processed in an Effluent Treatment Station that assures the good quality of the water in order to protect the environment. As an option, it can be used for injection in petroleum reservoirs. Formation water is usually the most expressive effluent with major contaminants concentration and is very aggressive to carbon steel. Steel piping has been built exclusively to its conveyance. Due to its corrosive effect, an anticorrosive system composed of internal coating complemented by galvanic cathodic protection with aluminum anodes has been adopted in this project. This system shall be capable to protect all internal surface of the piping, including regions around the welded joints. Therefore, the cathodic protection reach inside the piping had to be assessed. This work presents the results of experimental tests and computational simulations that were accomplished in order to evaluate the variables involved and to define the most appropriate cathodic protection system for the piping of TEBIG.

Resumo

O Terminal Aquaviário de Angra dos Reis – TEBIG recebe petróleo contendo grande volume de água de formação. Esta água é oriunda de jazidas de petróleo, em função das características de cada poço. Ela é transferida ao terminal, decantada e drenada nos tanques. Antes do seu descarte, deve ser processada em uma Estação de Tratamento de Efluentes, que assegura proteção do meio ambiente. Como opção, pode ser ainda utilizada na reinjeção em poços de petróleo. Normalmente, a água de formação é o efluente mais expressivo e de maior concentração de contaminantes, sendo muito corrosiva ao aço carbono. Tubulações de aço têm sido construídas exclusivamente para transportá-la. Devido à sua corrosividade, foi adotado neste projeto um sistema anticorrosivo constituído por revestimento interno associado ao emprego de proteção catódica utilizando-se anodos de alumínio. Tal sistema deve ser capaz de proteger integralmente a superfície interna da tubulação, incluindo as regiões de solda circunferencial. Desta forma, é necessário determinar o alcance da proteção catódica no interior

[1] D.Sc., Escola de Química/UFRJ
[2] Técnico em Mecânica – PETROBRAS
[3] Engenheiro Eletricista – PETROBRAS
[4] Engenheiro Eletricista – PETROBRAS
[5] Técnico de Inspeção de Equipamentos e Instalações sênior – PETROBRAS (cedido à TRANSPETRO)
[6] D.Sc., COPPE/UFRJ
[7] Ph.D., COPPE/UFRJ

dos tubos. Neste trabalho são apresentados os resultados de ensaios experimentais e simulações computacionais realizadas com o intuito de avaliar a influência das diversas variáveis envolvidas e que suportam o projeto do sistema de proteção catódica para as tubulações do TEBIG.

Palavras-chave: proteção catódica, corrosão**.**

1. Introdução

A exemplo de outros terminais da Petrobras, o Terminal Aquaviário de Angra dos Reis – TEBIG, nos últimos 10 anos, passou a receber petróleo contendo grande volume de água de formação. Esta água é oriunda de jazidas de petróleo em quantidades variáveis, em função das características de cada poço ou bacia. Quando não removida nas regiões de produção, é transferida aos terminais, decantada e drenada nos tanques. Em seguida ela deve ser, ainda, processada em uma Estação de Tratamento de Efluentes para o seu descarte no mar em atendimento as leis ambientais ou para a sua reinjeção em poços de petróleo.

Normalmente, a água de formação é o efluente mais expressivo e de maior concentração de contaminantes, sendo muito corrosiva ao aço carbono. O aumento do seu volume tem levado à construção de tubulações transportando unicamente este produto, o que é novidade nas unidades da Petrobras. Devido à sua corrosividade, foi adotado um sistema anticorrosivo constituído por revestimento interno em pintura epóxi associado ao emprego de proteção catódica galvânica com a utilização de anodos de liga de alumínio. Tal sistema deve ser capaz de proteger integralmente a superfície interna, incluindo as regiões de solda circunferencial das juntas de campo. Estas regiões podem não ser revestidas e a proteção deve ser conferida somente pelos anodos galvânicos sendo, desta forma, necessário determinar o alcance da proteção catódica considerando as dimensões dos tubos e as condições operacionais.

Técnicas computacionais permitem a análise de problemas bidimensionais, axissimétricos e tridimensionais que, no caso de sistemas de proteção catódica, são matematicamente descritos pela equação de Laplace ou Poisson. Através destas técnicas, as distribuições de potencial eletroquímico e de densidade de corrente na interface estrutura/eletrólito são calculadas.

Estas técnicas representam uma alternativa eficiente em comparação com métodos empíricos que são normalmente conservativos e, consequentemente, anti-econômicos, podendo ser empregadas nos seguintes casos: (i) determinação do nível de proteção de cada parte da estrutura ao longo de sua vida útil; (ii) verificação e modificação do projeto antes do sistema de proteção ser instalado; (iii) verificação da proteção catódica em estruturas já em estado de utilização, possibilitando identificar áreas críticas para inspeção; (iv) aumento da confiabilidade no sistema de proteção, possibilitando o posicionamento de anodos e de eletrodos de referência em locais apropriados.

O Método dos Elementos de Contorno (MEC) é o que se apresenta como o de aplicação mais prática na avaliação de sistemas de proteção catódica [1]. Este método é baseado em equações integrais e apresenta vantagens para este tipo de aplicação. Nesta técnica, a equação diferencial do problema, que envolve o comportamento da função incógnita no interior e no contorno do meio, é transformada em uma equação integral definida apenas sobre a interface metal/eletrólito. Portanto, a dimensionalidade do problema é reduzida de uma unidade. Simulações numéricas desta natureza, quando acopladas à rotina de projeto, possibilitam consideráveis aprimoramentos na definição e escolha (otimização) da configuração mais apropriada para os sistemas de proteção catódica.

Neste trabalho foi empregado um sistema computacional elaborado pela equipe do Laboratório do Método dos Elementos de Contorno/Mecânica Computacional (LAMEC) da

COPPE/UFRJ [2]. Diversos casos práticos foram realizados em trabalhos prévios, pela mesma equipe [3-6]. Os ensaios experimentais foram realizados nos laboratórios da Escola de Química da UFRJ, e consistiram na obtenção de parâmetros químicos, físico-químicos e eletroquímicos em amostras de água de formação.

2. Desenvolvimento

O desenvolvimento do projeto se divide basicamente em duas etapas: (i) determinação do alcance da proteção catódica através de simulação computacional, incluindo a realização de ensaios experimentais em laboratório; (ii) determinação do alcance da proteção catódica por meio de experimentos realizados em campo. Os ensaios de campo estão em andamento e foram definidos a partir dos resultados encontrados na primeira etapa que, por sua vez, forneceu subsídios importantes para que fosse possível diminuir o número dos testes a serem realizados.

2.1 Primeira Etapa – Simulação computacional

O sistema analisado consistiu em tubos com 11,7m e 12,3m de comprimento protegidos por anodos galvânicos de liga de alumínio. A variação do comprimento ocorre devido a tolerância de fabricação no processo de produção.

Os tubos são revestidos internamente por tinta epóxi líquida bicomponente. Cada tubo apresenta em suas extremidades uma região de 3cm sem revestimento, devido à realização da solda circunferencial. Nas simulações foram admitidos três valores de eficiência do revestimento interno (70%, 90% e 99%) e a possibilidade da região de conexão entre tubos ser revestida.

Foram considerados dois tipos de anodos galvânicos de alumínio: dois continodos tipo ACS 3,1/m (vide Figura 1) e três anodos tipo AES-0,9 (vide Figura 2). Os primeiros apresentam 1,5” de diâmetro e 11,2m de extensão, sendo dispostos paralelamente na geratriz inferior do tubo, com afastamento de 50mm entre eles, ou diametralmente opostos, sendo centralizados ao londo do comprimento. Os anodos AES-0,9 foram dispostos a 120º entre si a uma distância de 13,5cm entre a parte ativa do anodo e a extremidade do tubo.

Em virtude da variação do comprimento dos tubos, a distância ente as extremidades do anodo e do tubo varia entre 25cm e 55cm. Em função disso, diversas simulações numéricas foram executadas com o objetivo de avaliar o alcance da proteção catódica nas diversas situações.

Parâmetros físico-químicos e eletroquímicos foram obtidos experimentalmente, sendo considerados como condições de contorno nas simulações numéricas. De acordo com dados operacionais, foram admitidas duas temperaturas e diferentes condições de agitação do fluido. Curvas de polarização catódica foram obtidas em laboratório, nestas condições, visando avaliar a influência destes parâmetros na polarização do aço.

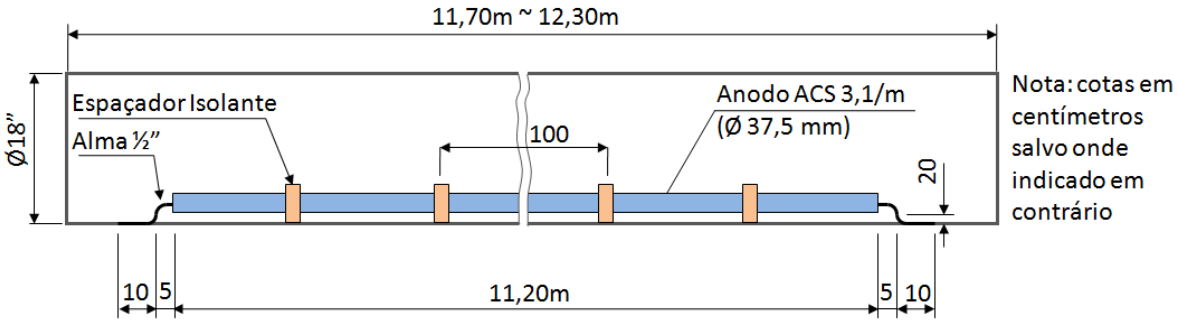

Figura 1 – Instalação no tubo do continodo de liga de alumínio ACS 3,1/m.

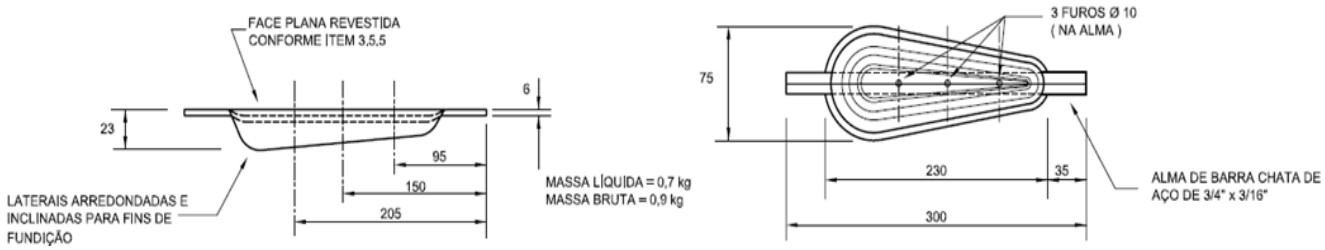

Figura 2 – Anodo de liga de alumínio tipo AES 0,9.

2.1.1 Ensaios experimentais para a simulação

a) Análises química e físico-química da água de formação

As amostras coletadas tiveram seus valores de pH e condutividade obtidos in situ e posteriormente em laboratório, visando avaliar possíveis variações nas medidas. A Tabela 1 apresenta os valores medidos, incluindo o pH e a resistividade da mistura das cinco amostras. Essa mistura foi considerada como representativa de condições médias. A Tabela 2 apresenta a variação da resistividade em função da temperatura do meio.

As seguintes análises químicas foram realizadas na mistura das cinco amostras coletadas em campo: concentração de cloreto, dureza total (cálcio e magnésio) e sulfetos, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 1 - Análises físico-químicas em campo e em laboratório

Medidas físico-químicas em amostras de água de formação						
Amostra	pH local	pH em laboratório	Resistividade local (ohm.cm)	Resistividade em laboratório (ohm.cm)	Condutividade local (S/cm)	Condutividade em laboratório (S/cm)
1	7,22	7,93	17,40	21,33	0,0575	0,0469
2	7,21	7,87	18,55	22,70	0,0539	0,0441
3	7,20	7,93	23,80	20,57	0,0420	0,0486
4	7,19	7,91	17,32	21,40	0,0577	0,0467
5	7,18	8,03	28,10	20,83	0,0356	0,0480
Mistura	-	8,10	-	22,97	-	0,0435

Tabela 2 – Influência da Temperatura

Temperatura (ºC)	Resistividade (ohm.cm)
25	23,4
40	25,2

Tabela 3 – Análises químicas

Análise química da Água de Formação	
Cloretos	25250 mg/L
Dureza	2350 mg/L
Sulfetos	12,09 mg/L

b) Medidas eletroquímicas

Quando se aplica simulação numérica a um sistema de proteção catódica, a curva de polarização é aplicada como condição de contorno para solução das equações diferenciais consideradas. Neste tipo de análise a distribuição de potencial é função da curva de polarização e da condutividade do meio. Com isso, é fundamental que a curva seja realizada considerando as condições operacionais de trabalho.

Desta forma, neste trabalho, as curvas catódicas foram obtidas em diferentes condições de agitação e temperatura, conforme apresentado na Figura 3. Como pode ser visto, em condições de agitação há um aumento na densidade de corrente, configurando o caso mais crítico. Ou seja, para obtenção de um mesmo valor de potencial de proteção catódica, é necessária uma corrente mais elevada.

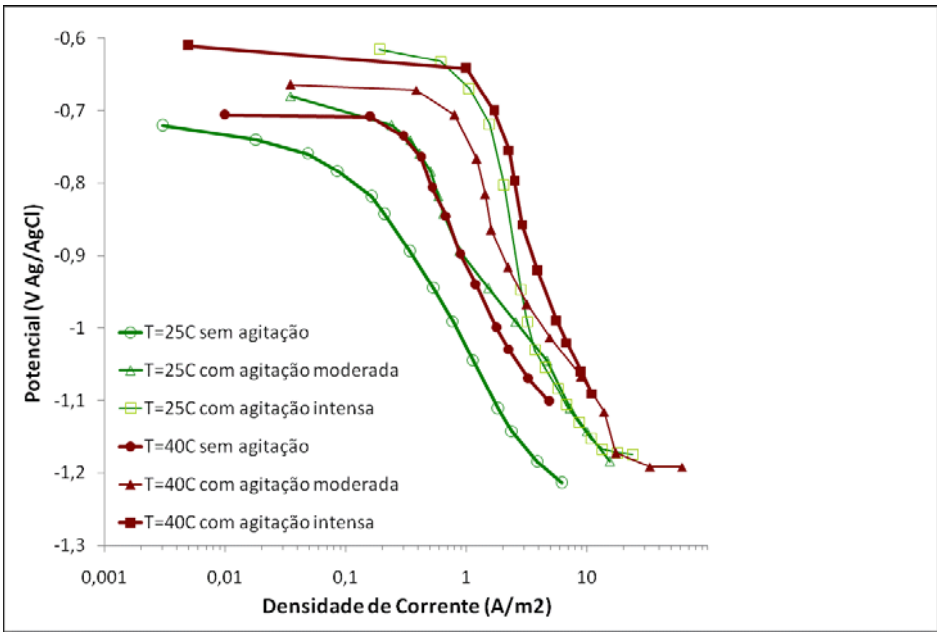

Figura 3 – Curvas de polarização catódica de aço-carbono em água de formação.

Densidades de corrente entre 21 e 241 mA/m^2 foram observadas por Sathler, à temperatura ambiente e sem agitação, para potencial mínimo de -0,8 Vecs. ("Determinação de Densidade de Corrente de Proteção Catódica em Águas de Formação", relatório Coppetec PEMM 9410, de maio/07). No presente trabalho foi observado um valor de 100 mA/m^2, para potencial mínimo de proteção de -0,8 $V_{Ag/AgCl}$, na temperatura ambiente e sem agitação. Este valor é ainda majorado pelo aumento de temperatura e agitação do eletrólito, podendo atingir valores da ordem de 2A/m^2 para o caso de agitação intensa e 40ºC, conforme a Figura 3 acima. Cabe mencionar que os valores obtidos diferem daqueles observados em água do mar.

2.1.2 Casos analisados

Foram analisados um total de 6 casos, descritos abaixo, para os quais foram consideradas diferentes condições de agitação, eficiência do revestimento, temperatura, diâmetro e extensão do tubo, totalizando 82 simulações.

- Dois continodos na geratriz inferior (vide Figura 4.a);
- Dois continodos diametralmente opostos (vide Figura 4.b);
- Três anodos tipo AES 0,9 (vide Figura 4.c);
- Três anodos tipo AES 0,9 em somente uma extremidade;
- Três anodos tipo AES 0,9 e dois continodos na geratriz inferior;
- Três anodos tipo AES 0,9 e um continodo na geratriz inferior.

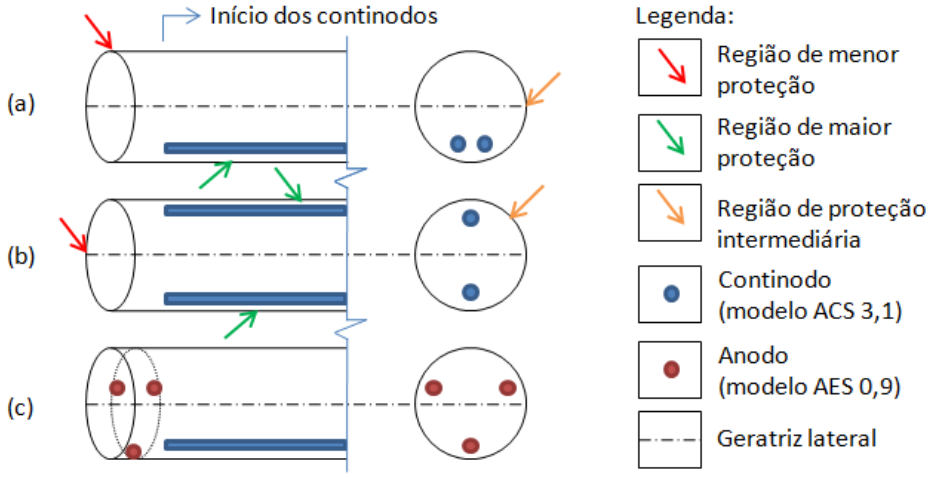

Figura 4 – (a) Representação esquemática dos continodos na geratriz inferior; (b) representação esquemática dos continodos diametralmente opostos; (c) representação esquemática dos anodos tipo AES-0,9.

2.1.3 Parâmetros avaliados

Diferentes combinações foram adotadas nas simulações, de forma a caracterizar a influência de cada um dos seguintes parâmetros:

- uso de revestimento na região de conexão entre tubos;
- três condições de agitação: sem agitação e em duas condições de agitação (moderada e intensa);
- temperatura: 25ºC e 40ºC;
- diâmetro do duto: 12”, 18” e 42”;
- comprimento do tubo: 12,3m e 11,7m;
- eficiência do revestimento: 70%, 90%, 99%;

2.1.4 Resultados das simulações

As Tabelas 4 a 8 apresentam os valores dos potenciais críticos em cada situação e o alcance da proteção catódica. O potencial crítico corresponde ao potencial observado na região de conexão entre tubos e o alcance é considerado total quando o valor mínimo de proteção catódica de -0,80$V_{Ag/AgCl}$ é observado nessa região. Nos casos em que a região de conexão não se encontra protegida, é apresentado o alcance da proteção catódica a partir dos continodos. O perfil do potencial no tubo varia ao longo do raio, em função do posicionamento dos continodos. Desta forma, o alcance da proteção catódica indicado nas tabelas corresponde à situação crítica, que corresponde à região mais distante dos continodos. Esta variação de potencial em relação ao posicionamento dos continodos pode ser tipicamente observada na Figura 5, onde são apresentados dois casos com continodos na geratriz inferior, para duas condições de temperatura e agitação. Essa diferença de potencial em uma circunferência pode ser minimizada para continodos diametralmente opostos.

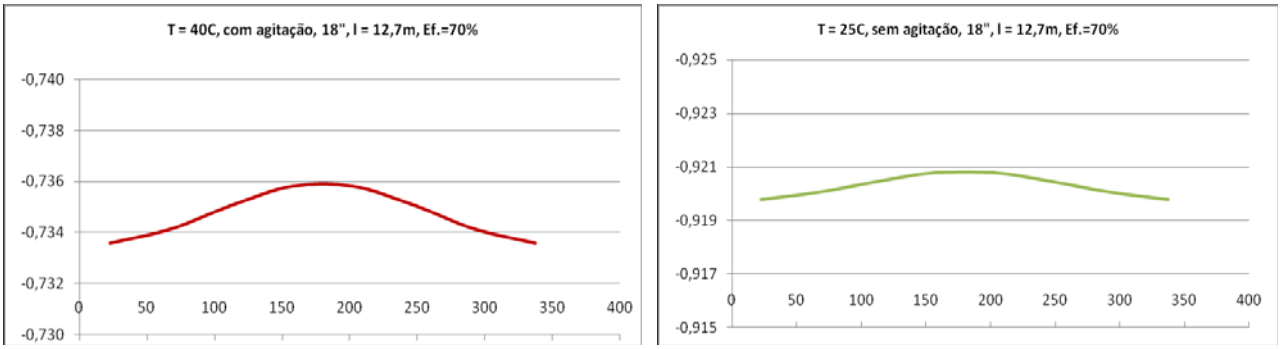

Figura 5 – Valores de potencial (em $V_{Ag/AgCl}$) na região de conexão vs ângulo em relação à geratriz superior do tubo

Tabela 4

TUBULAÇÃO COM DOIS CONTINODOS NA GERATRIZ INFERIOR DO TUBO						
Simulação	Diâmetro do tubo	Comprimento do tubo (m)	Temperatura (ºC)/Condição de agitação	Eficiência do revestimento (%): tubo / região de conexão (3cm)	Potencial crítico ($V_{Ag/AgCl}$)	Alcance da proteção (cm): potencial mínimo de 0,8 $V_{Ag/AgCl}$
1	18”	11,7	25/intensa	70/0	-0,782	15
2			40/moderada	70/0	-0,834	Total
3				90/0	-0,897	Total
4			40/intensa	70/0	-0,728	Nula
5				90/0	-0,834	Total
6		12,3	25/sem agitação	70/0	-0,920	Total
7			25/intensa	70/0	-0,674	Nula
8			40/moderada	70/0	-0,734	10
9				70/70	-0,758	20
10				90/0	-0,838	Total
11				90/90	-0,891	Total
12			40/intensa	70/0	-0,665	Nula
13				70/70	-0,674	Nula
14				90/0	-0,736	25
14ª				90/90	-0,824	Total
15	12”	12,3	40/moderada	90/0	-0,818	Total
16	42”	12,3	40/moderada	90/0	-0,825	Total
Número total de simulações				17		

Tabela 5

TUBULAÇÃO COM CONTINODOS DIAMETRALMENTE OPOSTOS						
Simulação	Diâmetro do tubo	Comprimento do tubo (m)	Temperatura (ºC)/Condição de agitação	Eficiência do revestimento (%): tubo / região de conexão (3cm)	Potencial crítico ($V_{Ag/AgCl}$)	Alcance da proteção (cm): potencial mínimo de 0,8 $V_{Ag/AgCl}$
17	12”	11,7	40/moderada	70/0	-0,875	Total
18				70/70	-0,905	Total
19				90/0	-0,918	Total
20				90/90	-0,974	Total
21				99/0	-0,952	Total
22		12,3	40/moderada	70/0	-0,738	25
23				70/70	-0,766	30
24				90/0	-0,826	Total
25				90/90	-0,897	Total
26				99/0	-0,903	Total
27			40/intensa	70/0	-0,667	10
28	18”	11,7	40/moderada	70/0	-0,875	Total
29				70/70	-0,902	Total
30				90/0	-0,921	Total
31				90/90	-0,972	Total
32				99/0	-0,956	Total
33		12,3	40/moderada	70/0	-0,764	30
34				70/70	-0,794	45
35				90/0	-0,860	Total
36				90/90	-0,911	Total
37				99/0	-0,920	Total
38		11,7	40/intensa	70/0	-0,795	20
39				70/70	-0,842	Total
40				90/0	-0,872	Total
41				90/90	-0,948	Total
42		12,3	40/intensa	70/0	-0,678	10
43				70/70	-0,693	10
44				90/0	-0,767	45
45				90/90	-0,858	Total
46	42”	11,7	40/moderada	70/0	-0,830	Total
47				70/70	-0,855	Total
48				90/0	-0,899	Total
49				90/90	-0,942	Total
50				99/0	-0,950	Total
51		12,3	40/moderada	70/0	-0,770	20
52				70/70	-0,794	30
53				90/0	-0,869	Total
54				90/90	-0,911	Total
55				99/0	-0,935	Total
56			40/intensa	70/0	-0,679	Nula
Número total de simulações				40		

Tabela 6

TUBULAÇÃO COM TRÊS ANODOS TIPO AES-0,9 NA EXTREMIDADE DE CADA TUBO					
Simulação	Diâmetro do tubo	Comprimento do tubo (m)	Temperatura (ºC)/Condição de agitação	Eficiência do revestimento (%): tubo / região de conexão (3cm)	Potencial crítico ($V_{Ag/AgCl}$)
57	18”	12,3	40/moderada	70/0	-0,919
58				70/70	-0,945
59				90/0	-0,947
60				90/90	-0,991
61				99/0	-0,970
62				99/99	-1,034
63		11,7	40/moderada	70/0	-0,919
64				70/70	-0,945
65				90/0	-0,947
66				90/90	-0,991
67				99/0	-0,970
68				99/99	-1,035
69		12,3	40/intensa	70/0	-0,870
70				70/70	-0,909
71				90/0	-0,911
72				90/90	-0,974
73		11,7	40/intensa	70/0	-0,919
74				70/70	-0,945
75				90/0	-0,946
76				90/90	-0,991
Número total de simulações				20	

Tabela 7

TUBULAÇÃO COM TRÊS ANODOS TIPO AES-0,9 EM SOMENTE UMA EXTREMIDADE					
Simulação	Diâmetro do tubo	Comprimento do tubo (m)	Temperatura (ºC)/Condição de agitação	Eficiência do revestimento (%): tubo / região de conexão (6cm)	Potencial crítico ($V_{Ag/AgCl}$)
77	18”	12,3	40/moderada	70/0	-0,822
78				90/0	-0,872
79			40/intensa	70/0	-0,750
80				90/0	-0,808
Número total de simulações				4	

Tabela 8

TUBULAÇÃO COM TRÊS ANODOS TIPO AES-0,9 E CONTINODOS NA GERATRIZ INFERIOR					
Simulação	Diâmetro do tubo/ Número de continodos	Comprimento do tubo (m)	Temperatura (ºC)/Condição de agitação	Eficiência do revestimento (%): tubo / região de conexão (3cm)	Potencial crítico ($V_{Ag/AgCl}$)
81	18”/ 1	12,3	40/moderada	90/0	-0,955
82	18”/ 2			90/0	-0,955
Número total de simulações				2	

2.1.5 Perfis de potencial

As figuras a seguir apresentam os perfis de potencial no tubo de 18 polegadas para as simulações 14, 14A, 80 e 82 das tabelas do item 2.1.4.

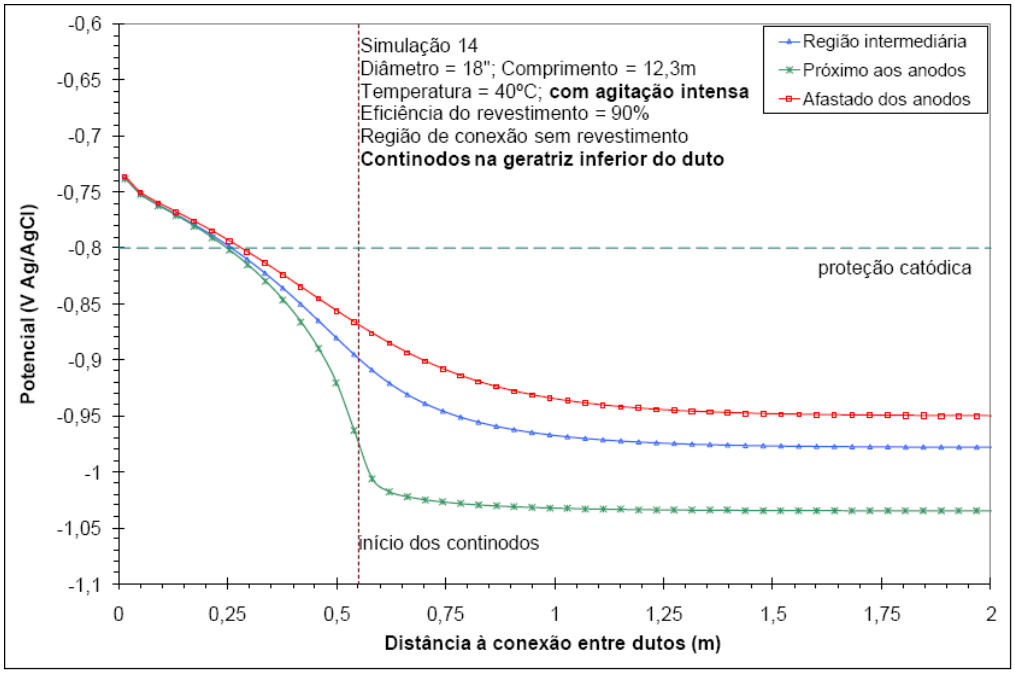

Figura 6 – Simulação 14.

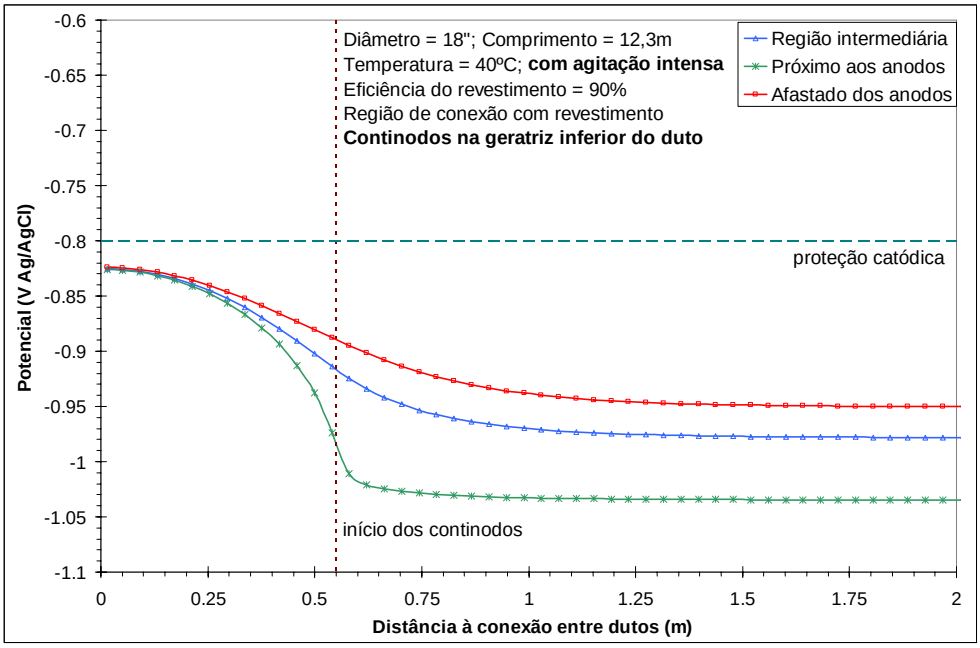

Figura 7 – Simulação 14A.

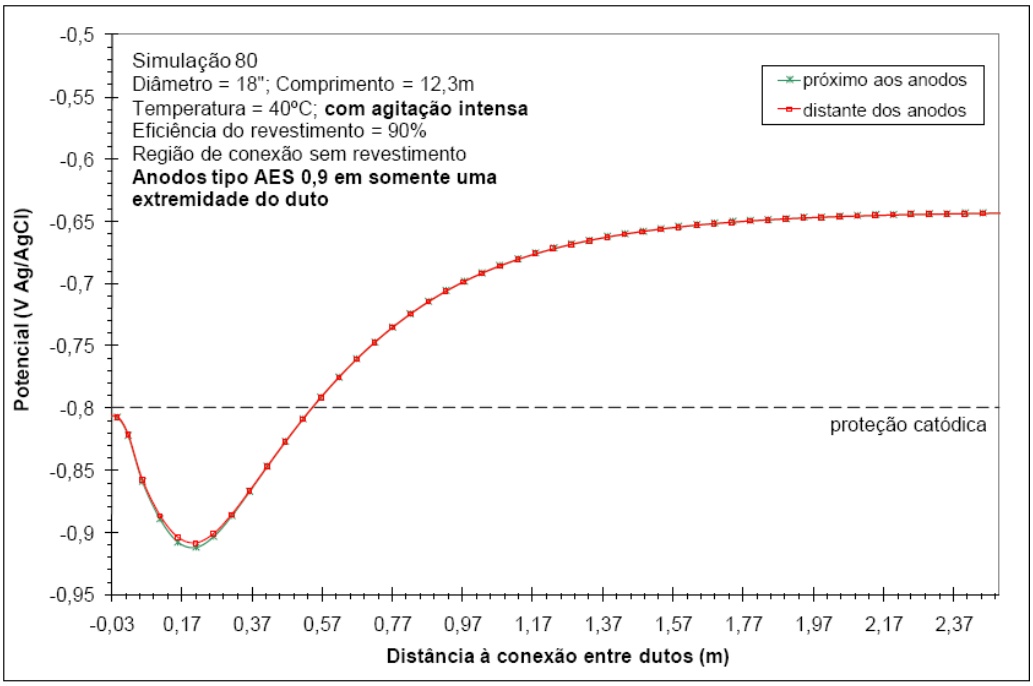

Figura 8 – Simulação 80.

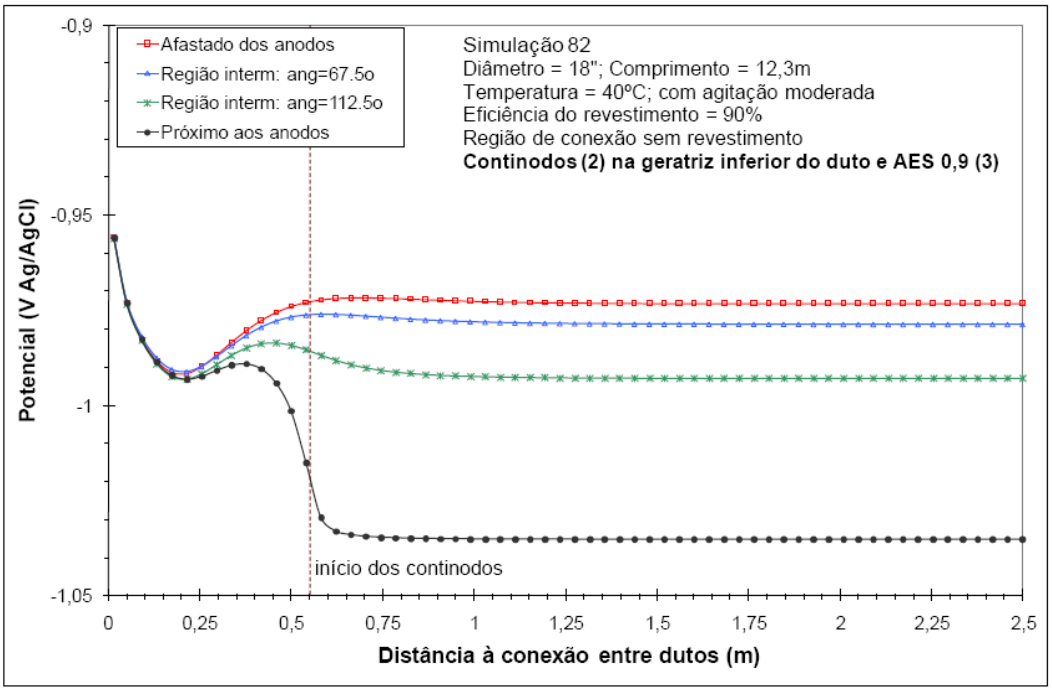

Figura 9 – Simulação 82.

2.2 Segunda Etapa – Testes de campo

Os testes de campo consistem em reproduzir algumas condições de operação simuladas na primeira etapa, objetivando: (i) comparar os resultados de campo àqueles encontrados pela simulação computacional; (ii) obter a eficiência inicial do revestimento interno (pintura epoxi bicomponente). Os testes, portanto, serão executados para dar continuidade a este estudo, mantendo-se os mesmos parâmetros adotados na simulação computacional, como descrito no item 2.1.3.

Cada tubo deve ser disposto na posição vertical conforme indicado na Figura 10. Uma chapa de aço é soldada em sua extremidade inferior e, em seguida, o tubo e a chapa recebem a aplicação do revestimento interno, deixando-se uma faixa anelar de 3cm de largura sem revestimento. Esta faixa simula a área a ser protegida por cada continodo na região da junta soldada. Para a agitação da água de formação, deve ser instalado um agitador mecânico na extremidade superior do tubo. Este equipamento encontra-se fixado sobre uma base isolante que permite a passagem do anodo e da semicélula de prata/cloreto de prata. A semicélula, por sua vez, descendo na geratriz oposta ao anodo, possibilita a medição do potencial eletroquímico na região de menor proteção.

É importante ressaltar que o anodo deve possuir um sistema de fixação que o isole do tubo e que perrmita ainda sua movimentação na vertical para o seu afastamento e aproximação da faixa anelar. A corrente de proteção catódica deve ser medida com um amperímetro pelo cabo que fará a interligação elétrica entre o anodo e o tubo. A eficiência do revestimento será obtida a partir da medição da corrente de proteção catódica, da área interna e da densidade de corrente necessária a uma dada temperatura (vide Figura 3).

Os detalhes do projeto para a fixação do anodo, assim como da semicélula e do agitador, fazem parte do projeto específico do teste e não estão indicados neste trabalho.

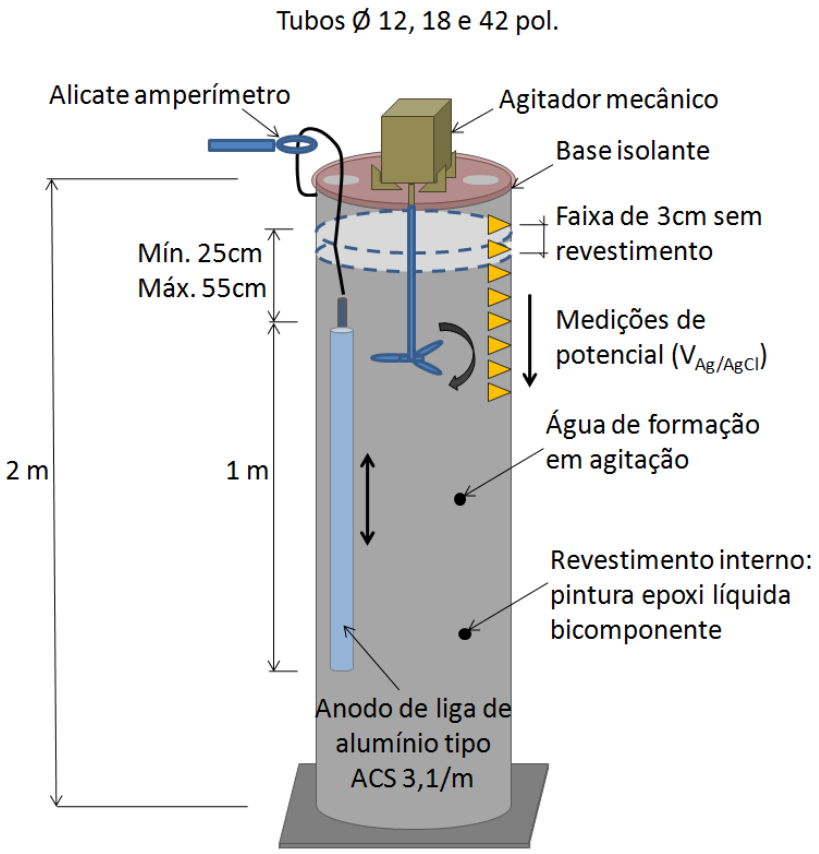

Figura 10 - Esquema básico mostrando o arranjo e a concepção do teste de campo.

3. Conclusão

O projeto de proteção catódica da superfície interna das tubulações de água de formação do TEBIG foi definido a partir das simulações realizadas neste trabalho, considerando os seguintes parâmetros:

- Critério de proteção catódica: potenciais mais negativos (mais catódicos) que -0,80mV$_{Ag/AgCl}$;
- Comprimento máximo do duto: 12,3m;
- Eficiência média do revestimento interno: 90%;
- Grau de agitação: intensa;
- Temperatura de operação: 40°C;
- Vida útil do sistema: 30 anos;
- Diâmetro nominal das tubulações: 18”;
- Faixa anelar de 3cm de largura nas extremidades do tubo: com o mesmo revestimento interno da tubulação ou sem revestimento;
- Continodos apoiados sobre espaçadores isolantes para não fletir.

A opção de intalação dos continodos diametralmente opostos foi descartada devido ao risco de flexão, já que pelo menos um dos anodos não estaria apoiado por meio dos suportes isolantes.

Havendo a possibilidade técnica de se revestir internamente as juntas de campo, os continodos instalados na geratriz inferior são suficientes para prover a proteção integral da tubulação.

A instalação de 3 anodos AES 0,9 de cada lado da junta soldada promove a proteção da região crítica, complementando a ação dos continodos.

4. Referências bibliográficas

[1] Mansur,W.J., Telles,J.C.F., Santiago, J.A.F., Boundary Element Technology VI,Ed. C.A.Brebbia, Computational Mechanics Publications, Betech, 1991.

[2] W.J.Mansur, L.C.Wrobel, J.C.F.Telles, J.P.S.Azevedo, “The PROCAT System for Cathodic Protection Design”, Boundary Element Techniques, C.A.Brebbia and W.S.Venturini, CML Publications, Southampton, 1987

[3] “Numerical Simulation of a Wet Christmas Tree Cathodic Protection System” J.C.F.Telles, W.J.Mansur, J.A.F.Santiago, S.L.D.C.Brasil, W.Baptista - Symposium on Cathodic Protection Systems - 181st. Meeting of Electrochemical Society, maio 1992, St.Louis, Missouri, Estados Unidos Extended Abstracts, vol. 92-1, p.97-98.

[4] “A Boundary Element Study of Cathodic Protection Systems in High Resistivity Electrolytes”, S.L.D.C.Brasil, L.R.M.Miranda, J.C.F.Telles CORROSION/99, 25 a 30 de abril de 1999, San Antonio, Texas. Publicado em Proceedings of the Corrosion/99 - Research Topical Symposium - Cathodic Protection: Modeling and Experiment, p.153-172.

[5] “Interference Evaluation Between the Manifold and the Wet Christmas Tree Cathodic Protection Systems”, Simone L.D.C.Brasil, Walmar Baptista, Materials Performance, vol 39, n 5, pp. 28-31, maio 2000

[6] “Assessment of Internal Cathodic Protection in Pipelines for Seawater Collection in Oil Platforms”, Walmar Baptista, Simone L.D.C.Brasil, José Claudio F.Telles, Materials Perfomance, abril 2004.