

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).

### **Avaliação de processos de corrosão em aços API 5L X70 em contato com o solo Neossolo Quartzarênico**

Sérgio Luís de Jesus<sup>1</sup>, Vírglio Franco do Nascimento Filho<sup>2</sup>, Isolda Costa<sup>3</sup>, Ricardo Espíndola Romero<sup>4</sup>, Antônio Carlos de Azevedo<sup>1</sup>, Jesualdo Luiz Rossi<sup>3</sup>

#### **Abstract**

Pipelines, fuel storage tanks and other metallic structures are in permanent contact with different types of soils, different horizons or layers, exposed to soil aggressiveness. In this interaction, there are possibilities of expressive damage to the structure. This implies that contamination may occur from leakage of stored products, splitting during transportation, accidents caused by pipelines without coveted maintenance besides financial losses. In order to recognize the dynamic interactions between metallic surfaces and the environment, it is crucial to have preventive actions and to develop better-applied materials. API steels have been used in structures of low and high pressure with high mechanical strength and good corrosion properties and, even so, it is susceptible to corrosion attack since it is in contact with different environments from mangrove regions to industrial environments. In this present work, it was evaluated the role of API 5L X70 steel bars buried in Typical Quartzipsamment (TQ) in Fortaleza city, in Brazil. This investigation evaluated the aggressiveness of this type of soil, in relation to different layers, after one year buried and, also, the formed corrosion products. Three bars of one meter in length were buried in TQ soil and unburied after one year. The results indicated that different soil horizons of analyzed soil produce specific attacks in metallic structures showing this selectivity action.

#### **Resumo**

Polidutos, tanques de armazenamento de combustíveis e outras estruturas metálicas estão em constante contato com diferentes tipos de solos, diversos horizontes ou camadas, expostos à ação corrosiva nessa interação. Isso possibilita a ocorrência de danos as estruturas. Isto pode implicar em contaminações derivadas por vazamento dos produtos de estocagem, derramamento durante transporte, acidentes causados por tubulações sem adequada manutenção além das perdas financeiras associadas. Conhecer a dinâmica de interações entre as superfícies metálicas e o entorno é fundamental a fim de prever comportamentos e desenvolver materiais melhor aplicados. Os aços classe API são utilizados em tubulações de alta e baixa pressão mantendo características de elevada resistência mecânica e à corrosão e, ainda assim, são suscetíveis de ocorrências do processo corrosivo, dado que, estão em

1 Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP

2 Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA/USP

3 Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – CNEN-IPEN

4 Universidade Federal do Ceará – UFC

contanto com diferentes ambientes desde regiões de mangue até atmosferas industriais. No presente estudo, avaliou-se como se comportam aços API 5L X70 em contato com diferentes horizontes do solo Neossolo Quartzarênico (NQ) presente na cidade de Fortaleza - CE. Foram avaliadas as características físicas e químicas como pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, entre outras, com as respostas quanto à resistência e formas de corrosão. Isto foi feito com a finalidade de obter a caracterização do solo, a avaliação do metal ensaiado e a classificação das formas e tipos de corrosão. Os resultados demonstraram que diferentes horizontes dos solos, produzem um ataque diferenciado na estrutura metálica evidenciando essa seletividade.

**Palavras-chave:** corrosão em solo, aço API 5L X70, Neossolo Quartzarênico.

## **Introdução**

O Brasil possui uma extensa malha de aquedutos, oleodutos e eletrodutos além de contar com, aproximadamente, 30 mil postos de gasolina no país [1]. Estas estruturas assim como diversas construções metálicas estão em constante contato com solos. Como conseqüências desses contatos entre estruturas metálicas e solos podem ocorrer danos por corrosão os quais implicam em contaminações do ambiente causadas por vazamento dos produtos de estocagem em tanques e derramamentos durante transporte em dutos, além de outros acidentes causados por tubulações sem adequada manutenção.

Estudos de corrosão são conduzidos com o intuito de propor alternativas de controle, prevenção, tratamento e interrupção de danos mais sérios. Estes estudos são temas constantes de trabalhos envolvendo a interação de solos e polidutos [2-5]. Aspecto semelhante ocorre com tanques de gasolina, de álcool, de óleo diesel e demais produtos químicos os quais estão expostos aos ataques corrosivos dos materiais contidos e no contato com solo no preenchimento externo, dando causas a vazamentos perenes de difícil detecção. Atualmente, usando jaqueteamento de tanques, isto é, tanques com paredes duplas, tais ocorrências têm sido minimizadas juntamente com a normatização adequada e a crescente fiscalização, além das práticas de revestimento interno e externo das tubulações [6-10].

Entretanto, alguns problemas persistem e continuam sob foco de avaliação de diversas fontes com trabalhos propondo novas alternativas em relação à estocagem, detecção de vazamentos e técnicas de acondicionamento estrutural [11,12]. Daí observa-se que outras áreas têm ligação expressiva com o assunto cujos desdobramentos do estudo da corrosão de polidutos podem influenciar positivamente. É o caso das redes de cabeamentos elétricos, telefônicos, linhas de transmissão e dutos de transporte de água, esgoto e efluentes, entre outros. De igual maneira, outra vertente que demanda atenção e trabalhos intensos são as instalações e recipientes para o uso na indústria nuclear. Instalações essas usadas no transporte de produtos ou rejeitos na planta nuclear e no armazenamento de resíduos. Neste caso, pressupõe-se que o estoque do material transportado seja por longos períodos e que estas instalações fiquem em contato com solo não podendo sequer considerar-se o derrame ou contaminação do produto no mesmo ou em lençóis freáticos. Isto é devido ao longo período de decaimento (ou meia-vida) do produto e a toxicidade produzida [13,14]. Uma boa parte dos trabalhos atualmente tem se concentrado no estudo da corrosão dos metais em contato com solo quanto aos parâmetros que relacionam a maior ou menor agressividade do meio. Ou ainda nas formas de inibição da corrosão como proteção catódica, revestimento, ligas mais resistentes, etc. [6,15]. Dentre os estudos mencionados, poucos abordam os mecanismos de corrosão que envolve a ação intrínseca dos constituintes do solo, suas propriedades e características. E é isto que pode diferenciar os comportamentos dos materiais sob corrosão

nos solos.

Fica indicada a importância desse estudo na expectativa de melhor compreender os mecanismos da ação agressiva dos solos em metais. Assim, este estudo teve como objetivo demonstrar a diferença de agressividade quanto a corrosão eletroquímica de diversos horizontes do perfil de um solo característico do Brasil, em contato com aço API 5L X70. Para isso, três barras metálicas foram enterradas pelo período máximo de um ano.

## Experimental

A seguir serão descritos os procedimentos para preparo das hastes e coletas do solo, as etapas de enterramento e desenterramento das hastes, assim como as análises gravimétricas e caracterização do solo.

### Aspectos gerais e preparo das hastes

A partir de uma chapa plana de aço API 5L X70, cuja composição química é apresentada na tabela 1. Foram feitas três hastes com 1.000 mm de comprimento, por 50 mm de largura e 12,5 mm de espessura. Em seguida as hastes foram ponteadas em uma extremidade, perfuradas com broca de bitola 3,3 mm na extremidade oposta e jateadas com esferas de aço com a finalidade de uniformizar e limpar a superfície de contaminantes como óxidos, graxas e sujeiras em geral. Em seguida as amostras foram numeradas com uso de punção tipográfico por pressão e as massas das hastes aferidas com balança eletrônica.

Tabela 1 – Composição química (% em massa) da liga utilizada (grau API 5L X70).

% C máx.	% Mn máx.	%P máx.	%S máx.
0,26	1,65	0,030	0,030

### Coleta de amostras de solo

Para o experimento foi selecionado um solo da cidade de Fortaleza, CE. Amostras desse solo foram efetuadas com trado holandês nas profundidades 0-10, 40-50, 90-100 cm e embaladas em sacos plásticos depois de adequada identificação totalizando 400 g de material de coleta para cada parcela amostrada. O produto dessa coleta foi utilizado nas análises granulométricas, pH e condutividade elétrica.

### Enterramento das hastes

As hastes foram enterradas no solo de Fortaleza (Neossolo Quartzarênico), solo este, localizado no campus da Universidade Federal do Ceará na cidade de Fortaleza, Estado do Ceará, Brasil. Para este experimento foram utilizadas hastes com 1.000 mm de comprimento em virtude da pequena profundidade do solo.

### Desenterramento das hastes

Após três meses foi desenterrada a primeira haste (nº. FI-1). Com trado holandês foi produzido um furo lateral à haste na mesma profundidade de enterramento e esta foi tracionada manualmente com uso de barra metálica de 5 mm de diâmetro trespassada no furo da haste. Em seguida, a haste foi acondicionada em tubo de PVC diâmetro de 100 mm vedado com tampas e transportadas para laboratório para limpeza e inspeção visual.

A haste foi lavada com água destilada e depois foi imersa em solução à base de ácido cítrico (20% m/v) por aproximadamente 2 minutos. Em seguida foi escovada, retirada da solução e enxaguada novamente com água destilada e seca. O procedimento foi repetido até a plena limpeza da haste. Dessa forma a remoção da fina camada de óxidos sobre a superfície possibilitou a avaliação mais precisa da perda de material por oxidação. Posteriormente, a

haste foi seca e pesada para avaliação da perda de massa.

Após sete meses do enterramento, foram retiradas as duas hastes seguintes (n°. FI-2) e, após 12 meses, o experimento de campo foi encerrado com a retirada da última haste (FI-3), sendo necessária a limpeza mais vigorosa com escovamento e raspagem superficial devido à impregnação de óxidos e aglomeração do solo na haste.

### **Análise granulométrica do solo**

Para as análises granulométricas, 20 g de cada amostra de solo foram submetidas à dispersão com solução de hexametáfosfato de sódio a 0,1 N e agitação por 16 horas. Em seguida, separou-se silte e argila da fração areia por peneiramento "via úmida" [16]. Para tanto, o conteúdo (solo e dispersante) passou através de peneira de 20 cm de diâmetro e malha de 0,053 mm (n°. 270 *mesh*), colocada sobre um funil apoiado em um suporte tendo logo abaixo uma proveta de 1.000 mL. O material retido na peneira foi lavado com água e o volume da proveta completado com água destilada até o aferimento. A fração areia (retida na peneira) foi transferida para recipiente de peso conhecido e colocada em estufa. Após a secagem o material esfriou em dessecador e foi pesado. A suspensão de silte e argila foi agitada por 20 s e, após o tempo de sedimentação, introduziu-se uma pipeta a 5 cm de profundidade para coletar uma alíquota de 50 mL da suspensão. O volume foi transferido para um béquer, colocado em estufa até completa evaporação e a massa avaliada para determinação da argila. As massas da areia e da argila foram medidas com balança eletrônica e o silte foi obtido pela diferença entre a pesagem inicial do material de análise e os valores finais obtidos.

### **Medidas de pH dos solo**

A avaliação da acidez e alcalinidade foi obtida com a medição do potencial com uso de eletrodo combinado imerso em suspensão solo / líquido (1:1) com adaptações do método de EMBRAPA [16]. Foram colocados 35 g de solo em copo plástico graduado de 100 mL e adicionados 35 mL de água destilada. Em seguida a amostra foi agitada com bastão de vidro individual e mantida em repouso por 30 minutos. Após nova agitação da amostra com bastão de vidro, os eletrodos foram imersos na suspensão homogeneizada e registradas as leituras do pH.

### **Condutividade elétrica do solo**

Os ensaios de condutividade elétrica de solos amostrados em laboratório foram adaptados de EMBRAPA [16]. Foi utilizada a suspensão proveniente da análise do pH (1:1 com 30 minutos de repouso) sendo que a temperatura da solução foi medida para correção devido à diferença de temperatura em relação a 25 °C. A célula de condutividade foi lavada com água destilada três vezes e preenchida com a mesma solução sendo, em seguida, feitas as leituras em condutímetro.

### **Análise gravimétrica das hastes**

Na pesagem das hastes foi utilizada balança eletrônica (carga máxima 15 kg; carga mínima 125 g; divisões 5 g; tara - 9 kg). Antes do início do processo de pesagem as balanças foram aferidas com a pesagem de Material de Referência Certificado (CRM, em inglês), em salas climatizadas a 23 °C. Foram executadas cinco pesagens de cada peça após estabilização do equipamento e avaliados os desvios como medidas de dispersão.

### **Tipo de solo**

A classificação do solo foi feita com base nos fatores de formação dos solos além das análises de granulometria, avaliação da paisagem e nos mapas existentes das áreas. Visto que a região é bem definida quanto à distribuição dos solos, a classificação foi restrita até o nível categórico de segunda ordem [17].

## Resultados e discussão

Os argumentos que justificam os resultados quanto à ação diferenciada dos horizontes são baseados em dois aspectos relevantes durante o experimento: as inspeções visuais após os desenterramentos das hastes e os resultados das análises gravimétricas. Em todas as etapas de desenterramento, até mesmo na primeira onde não se constata perda de massa expressiva nas hastes, ocorre clara diferenciação quanto ao ataque corrosivo em algumas porções visualmente bem definidas na haste (figura 1).



Figura 1. Aspecto da haste FI-1 – primeira etapa de desenterramento após procedimentos de limpeza.

Neste solo Fortaleza, de imediato é possível destacar as extremidades das hastes, tanto superior quanto inferior, onde o processo de corrosão é mais intenso. Ressalte-se aqui que a haste FI-3 desenterrada após 12 meses (Neossolo Quartzarênico – NQ) apresentou película mais espessa e compacta de óxidos na superfície da haste se comparada ao aspecto da haste FI-1 (figuras 1 e 2).



Figura 2. Aspecto da haste FI-3 – última etapa de desenterramento antes do processo de limpeza.

Quanto às extremidades superiores das hastes, em todos os experimentos seria de se supor que a lâmina de água retida pelos solos, seja em precipitações atmosféricas, seja por conta do orvalho, estivesse em contato por mais tempo na parte superior das hastes. Aliás, em alguns solos, tais como Planossolos [18], é comum a formação de lençóis freáticos temporários, em períodos com intensa pluviometria, o que é um fator relevante a contribuir no processo de corrosão de metais em contato com solos. O solo da área experimental, no entanto, apresentou boa drenagem, portanto, a percolação ocorre sem que se produza lençol freático temporário na seção controle (0 a 200 cm de profundidade), tal evento é um

contribuinte a intensificar a solubilização de íons na fração líquida do solo nessas camadas superficiais.

É verdade que se constatou, também, a ocorrência de mosqueados nas hastes, regiões de malhas escuras indicando ação corrosiva acentuada e limitada em regiões nas zonas intermediárias e inferiores das hastes, mas tais regiões parecem estar associadas a partes dos solos onde a intemperização agregou ou não decompôs plenamente fases minerais do solo.

Quanto às extremidades inferiores, o fato de apresentarem ataque diferenciado em relação às regiões intermediárias sugere uma estreita relação entre o horizonte de maior acúmulo de argila e o horizonte acima, o que poderia indicar maior reatividade em relação aos processos de corrosão, sem conflitar com a possibilidade de aeração diferenciada que ocorre nessas regiões de maior acúmulo de argila. Em geral, em ciências dos solos, a atividade química realmente se encontra onde há maior acúmulo de argilo-minerais, mas convém cautela em extrapolar esse efeito para a ação corrosiva do solo uma vez que o contrário (a não reatividade) também poderia ocorrer. De todo modo, além do ataque diferenciado nas extremidades, houve perda de massa em todas as hastes avaliadas, conforme mostra a tabela 2.

Nos desenterramentos iniciais, as perdas foram brandas, muito baixas, por esse motivo optou-se por diagramas de controle nas avaliações de perda de massa já antecipando a necessidade de um controle eficaz nos processos de pesagem das hastes. Contudo, nos desenterramentos sucessivos as perdas de massa foram gradativamente maiores, porém a ação corrosiva já produzia incrustações no corpo das hastes o que, em princípio, poderia dificultar ou produzir “falsos negativos” na pesagem das hastes. Essa restrição foi contornada com a raspagem e escovamento criteriosos das regiões onde ocorreu a formação de finas camadas de óxidos e com as limpezas em banhos químicos descritos no item ‘Desenterramento das hastes’.

Tabela 2. Massas das hastes antes e após enterramento.

Haste	Massa inicial (kg)	Desvio padrão (+/-g)	Desvio (%)	Massa final (kg)	Desvio padrão (+/-g)	Desvio (%)	Massa final - inicial (g)	$\Delta M$ (%)	Perda de massa (g/ano)
FI-1	4,997	0,003	0,245	4,980	0,0027	0,2449	-17,0	-0,340	-68,0
FI-2	4,765	0,000	0,000	4,730	0,0274	2,4495	-35,0	-0,734	-60,0
FI-3	4,740	0,000	0,000	4,694	0,0022	0,2000	-46,0	-0,970	-46,0

Dessa forma, nos momentos iniciais dos desenterramentos ou após a limpeza das hastes, já era possível observar claramente que haviam segmentos razoavelmente definidos nas hastes indicando ação corrosiva mais intensa, se comparada a outros segmentos da mesma haste avaliada, numa evidente manifestação da ação diferenciada dos horizontes dos solos. Por outro lado, é necessário fundamentar quais as características e propriedades físico-químicas que determinam um solo ser mais agressivo em relação ao outro quando se trata de corrosão. Nesse sentido, é bem conhecida a relação entre condutividade elétrica e pH como fatores que intensificam os processos de corrosão em solos. O solo de Fortaleza (NQ) apresentou acidez elevada vide tabela 3.

Tabela 3. Medida do pH do solo.

Área de teste FI (RQ)	pH
Solo 0-10 cm	5,0
Solo 40-50 cm	4,9
Solo 90-100 cm	-

Quanto às medidas de condutividade elétrica (tabela 4), essas são importantes na análise de solos uma vez que permitem a correlação com a força iônica sendo que esta última é fundamental nos mecanismos de adsorção ou dessorção de elementos químicos no solo [19]. Uma vez que a grandeza física força iônica indica a atividade dos íons em solução, é possível estimar como se comportam os elementos químicos em solos com diferentes valores de condutividade elétrica.

Tabela 4. Medidas de condutividade elétrica dos solos.

Área de teste/ condutividade elétrica (CE)	FI (NQ)
CE (mS.cm <sup>-1</sup> ) solo 0-10 cm	0,23
CE (mS.cm <sup>-1</sup> ) solo 40-50 cm	0,34
CE (mS.cm <sup>-1</sup> ) solo 90-100 cm	-

Como se vê, em ciências dos solos a condutividade elétrica carrega informações que podem ser utilizadas no estudo do comportamento das plantas e em certa medida à gênese dos solos. Em ciências dos materiais, o recíproco da condutividade elétrica, resistividade elétrica, parece fazer mais sentido, em especial na corrosão em solos. Isso porque, a resistividade elétrica indica a capacidade de um ambiente ou material resistir à passagem da corrente elétrica e, como os dutos metálicos têm baixa resistividade, a relação fica bem próxima quando se fala na resistividade do solo em relação a algum metal que se deve evitar corrosão, muito comum nos casos de proteção catódica. No entanto, desde que as grandezas são compatíveis, nesse trabalho a adoção do termo condutividade elétrica atendeu as necessidades de interpretação para as duas áreas simultaneamente.

O que se pode destacar na tabela 4 quanto à condutividade elétrica para esse solo é que ela decresce para as camadas mais profundas dos solos analisados, propondo um argumento adicional para a corrosão mais intensa nas extremidades superiores das hastes, como abordado anteriormente nesse texto.

Porém, uma outra variável também deve ser levada em conta: o teor de argila. Argilominerais são considerados componentes do solo que não raro, estão associados à alta reatividade e troca de cargas elétricas e, nesse caso, como mostram os resultados das análises granulométricas (tabela 5).

Tabela 5. Análise granulométrica dos solos.

Horizonte	areia fina (%)	areia grossa (%)	areia total (%)	silte (%)	argila (%)
FI (NQ) solo 0-10 cm	58,19	34,45	92,64	5,69	1,66
FI (NQ) solo 40-50 cm	54,81	36,03	90,84	5,51	3,65

Ressalve-se aqui, que textura em ciências dos solos tem conotação diferente à utilizada em ciências dos materiais. Na primeira, refere-se ao tamanho e distribuição de partículas no solo, em materiais o entendimento segue a conceituação cristalográfica, para o solo Fortaleza (RQ), este foi considerado arenoso.

A discussão da perda de massa nas hastes é fundamental já que é possível considerar parâmetros dos solos envolvidos como os teores areia / silte / argila, pH e condutividade elétrica. O solo FI (NQ), como já foi dito, exhibe maior condutividade elétrica, menor pH e textura arenosa além do ambiente climático mais propício à troca dinâmica de componentes do compartimento solo uma vez que se trata de região litorânea. A perda de massa ( $\Delta M$  %) da haste em FI (NQ) é elevada

Todavia, alguns aspectos externos ao sistema haste-solo poderiam causar alterações

nos resultados, como é o caso da variação de temperatura local e o regime de chuvas. No caso da temperatura, intensas variações ou amplitudes térmicas têm forte influência no solo causando expansão e retração em seus constituintes, em especial se fossem constituídos de minerais secundários. A incidência de chuvas acarreta outros problemas significativos que também poderiam desviar os resultados quando se compara regiões geográficas tão distantes como no caso desse estudo. Entretanto, este não foi o caso para o período em que foi conduzido o experimento haja vista que os dados climatológicos como variação de temperatura e precipitações pluviométricas estiveram dentro das médias históricas. Dessa forma, embora não tenham sido desconsiderados esses aspectos, não foi necessário somá-los nas análises parciais considerando-os como pano de fundo ao cenário avaliado.

Numa vista superior e levando-se em conta tubulações com vários quilômetros de extensão, diferentes solos também podem ser comparados como diferentes horizontes de um mesmo corpo de solo, conseqüentemente, também pode se esperar potenciais de corrosividade diferentes e o experimento deixou isso indicado.

## Conclusões

Os resultados obtidos das análises e ensaios determinaram experimentalmente a ordem de agressividade dos horizontes ou camadas de solos em contato com as hastes.

No aspecto geral, a metodologia empregada se mostrou adequada para esse tipo de investigação, em especial, pela adoção dos métodos de ensaios de campo.

Em acordo com a literatura vigente, as características e propriedades químicas mais proeminentes que interferem no potencial de corrosividade do solo também foram observadas nesse estudo. Dentre elas, pH, condutividade elétrica e teor de argila, porém, estudos mais profundos devem ser realizados a fim de obter correlações melhor definidas.

Com esse trabalho ficou patente mais um ponto de contato entre ciências dos materiais e ciências dos solos ocorrendo uma intersecção entre as duas áreas de estudo, a saber: metais e solos.

## Referências

- [1] **AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO**; Anuário estatístico brasileiro do petróleo e do gás natural; ANP, Rio de Janeiro, 2004.
- [2] **GARDINER, C. P.; MELCHERS, R. E.**; Corrosion of Mild Steel in Porous Media; Corrosion Science, vol. 44, pp. 2459-2478, 2002.
- [3] **BRADFORD, S. A.**; *Practical Handbook of Corrosion Control in Soils*, CASTI Publishing Inc. – ASTM, 2000. **COLE, G. M.**; *Underground Storage Tank Installation and Management*, Lewis Publishers, Inc., 1992.
- [4] **KIM, J.; KIM, Y.**; Cathodic Protection Criteria of Thermally Insulated Pipeline Buried in Soil; Corrosion Science, vol. 43, pp 2011-2021, 2001.
- [5] **PALMER, J. D.**; Environmental characteristics controlling the soil corrosion of ferrous piping; AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASM, Philadelphia, pp. 5-17; 1989.
- [6] **COLE, G. M.**; *Underground Storage Tank Installation and Management*, Lewis Publishers, Inc., 1992.
- [7] **EPA US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY**. Process affecting subsurface transport of leaking underground tank fluids. Environmental Monitoring Systems Laboratory, Las Vegas, NV, 2006.
- [7] **CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE**. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/conama>>. Consultado em 10/agosto/2006.
- [8] **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS**: E1526-93, Standard Practice for Evaluating the Performance of Release Detection Systems for Underground Storage Tank Systems, 2003.

- [9] **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS**: E1990-98 Standard Guide for Performing Evaluations of Underground Storage Tank Systems for Operational Conformance with 40 CFR, Part 280 Regulations, 2003.
- [10] **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS**: G158-98 Standard Guide for Three Methods of Assessing Buried Steel Tanks, 1998.
- [11] **HUDAK, P. F.; DAVID, J. W.; HUNTER, B. A.**; Managing subsurface property hazards: reactive soils and underground storage tanks. *Urban Water* 1, 237-241, 1999.
- [12] **LEAVENWORTH, G.**; Leaking underground storage tanks. *Insurance Review*, 48 (3), 20-27, 1987.
- [13] **CORBETT, R. A.; JENKINS, C. F.**; Soil characteristics as criteria for cathodic protection of a nuclear fuel production facility; **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASM**, Philadelphia, pp. 95-106, 1989.
- [14] **SAVOYE, S.; LEGRAND, L.; SAGON, G.; LECOMTE, S.; CHAUSSE, A.; MESSINA, R.; TOULHOAT, P.**; Experimental investigations on iron corrosion products formed in bicarbonate/carbonate - containing solutions at 90 °C. *Corrosion Science*, vol. 43, pp. 2049-2064, 2001.
- [15] **PARKER, M. E.; PEATTIE, E. G.**; *Pipe Line Corrosion and Cathodic Protection*. Gulf Publishing Company, 1984.
- [16] **EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA**; *Manual de Métodos de Análise de Solo*, 2<sup>a</sup> ed., 1997.
- [17] **EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA**; *Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2<sup>a</sup>. Ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2006. 306 p.
- [18] **OLIVEIRA, J. B.** *Pedologia Aplicada*. 2<sup>a</sup> ed. Piracicaba-SP, FEALQ, 2005. 574p.
- [19] **MCBRIDE, M. B.** *Environmental chemistry of soils*; Oxford University Press, Inc.: New York, 1994.