

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE BACIAS DE CONTENÇÃO ASSOCIADA A POSSÍVEIS DERRAMAMENTOS DE HIDROCARBONETOS DE PETRÓLEO

Sílvia Pedroso Melegari¹; José Carlos de Oliveira¹;
Jorge Ibirajara E. Coelho² & Henry X. Corseuil¹

Resumo - A eficiência das bacias de contenção na retenção do petróleo e seus derivados vêm despertando o interesse da comunidade científica. A norma NBR 7505-1 da ABNT recomenda localizar tanques de combustíveis em terrenos com condutividade hidráulica de 10^{-6} cm/s referenciados à água a 20°C. Este trabalho investigou como a condutividade hidráulica saturada de sedimentos argilosos depende das propriedades dos líquidos, e demonstrou também a incapacidade de impermeabilização do meio argiloso com relação ao óleo diesel. Nos meios com 10% de bentonita, encontrou-se a condutividade da água de 10^{-9} cm/s e do óleo diesel de 10^{-4} cm/s, ou seja, 5 ordens de grandeza mais permeável que o valor recomendado pela norma da ABNT. Desta forma, verifica-se que o critério de condutividade hidráulica estabelecido pela NBR 7505-1 da ABNT não é um parâmetro efetivo para avaliar a eficiência das bacias de contenção para o petróleo e seus derivados.

Abstract - The efficiency of containment basins in retaining petroleum and its derivatives is drawing the interest of the scientific community. Rule NBR 7505-1 of ABNT (Brazilian Technical Standards Association) recommends placing fuel tanks in areas with hydraulic conductivity of 10^{-6} cm/s for water at 20°C. This work investigated how saturated hydraulic conductivity of clays sediments depends on the properties of liquids, and also demonstrated that clay is incapable of waterproofing in case of diesel oil. In the experiment with 10% bentonite, it was found a hydraulic conductivity for water of 10^{-9} cm/s and of 10^{-4} cm/s for diesel oil, i.e., 10^{5th} times more permeable than the value recommended by the rule NBR 7505-1. Therefore, it is concluded that the criterion for hydraulic conductivity established by NBR 7505-1 is not an effective parameter to evaluate the containment basin efficiency for petroleum and its derivatives.

Palavras-Chave - condutividade hidráulica; bacias de contenção; hidrocarbonetos de petróleo.

¹ Universidade Federal de Santa Catarina – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Cx. Postal: 476 Campus Universitário – Trindade – Florianópolis/SC – CEP: 88040-970 – www.remas.ufsc.br

² Petrobrás Transportes S.A. – Rua Felipe Camarão, 393 – Prosperidade – São Caetano do Sul/SP – CEP: 09550-150.

INTRODUÇÃO

Um aumento significativo no número de acidentes com vazamentos de combustíveis vem despertando a atenção da comunidade científica (CORSEUIL et al, 2004; CORSEUIL e MARINS, 1997). Isso devido ao alto grau de periculosidade destes produtos à saúde humana e ao ambiente. A Agência de Proteção Ambiental dos EUA (US EPA) relatou aproximadamente 12.000 novos vazamentos em todo o território norte-americano até setembro de 2003 (US EPA, 2003). Dados do anuário estatístico da Agência Nacional do Petróleo de 2003 relata que no Brasil existem 51 terminais sendo 27 marítimos e 24 terrestres, que armazenam cerca de 10,5 milhões m³ de petróleo e derivados. Existem ainda 9.789 quilômetros de malha dutoviária e 32.697 postos de abastecimentos de combustíveis (ANP, 2003). As preocupações com o potencial de contaminação do solo e águas subterrâneas por vazamentos vêm crescendo no país.

Em um dos casos mais recente de vazamentos no Brasil, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Cetesb) identificou o vazamento de óleo bruto em canaletas dos diques de quatro tanques da Refinaria de Paulínia. Isso ocorreu porque o dique de contenção do excesso do material que sai do tanque não funcionou como deveria e o óleo está atingindo o solo (SINCOPEPETRO, 2004). No país, a legislação vigente segue uma Norma Brasileira (NBR) desenvolvida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). A NBR 7505-1 de agosto de 2000 fixa as condições exigíveis para projetos de instalações de armazenagem de líquidos inflamáveis e combustíveis contidos em tanques estacionários com capacidade superior a 250 L, à pressão manométrica igual ou inferior a 103,4 kPa (15 psig), medida no topo do tanque. De acordo com o item 4.3.1.1 desta norma, as bacias de contenção nas quais os tanques de armazenamento líquidos inflamáveis estão inseridos devem ter coeficiente de permeabilidade não superior a 10⁻⁶ cm/s, referenciado à água a 20°C e a uma coluna de água igual à altura do dique de proteção. A NBR 7505-1 não faz referências sobre o tipo de material de impermeabilização a ser utilizado. Nos EUA, o Registro Federal 40 CFR Part 112, intitulada “*Oil Pollution Prevention and Response - Final Rule*” (US EPA, 2002), define no parágrafo 112.7(c) que as bacias de contenção, diques e bermas sejam “suficientemente impermeáveis” sem definição do tipo de material de revestimento ou o coeficiente de permeabilidade máximo para o material impermeabilizante. No entanto, sabe-se que, na maioria dos casos, a impermeabilização com solo natural ($K \leq 10^{-6}$ cm/s) é efetuada através de revestimento com material argiloso compactado.

A impermeabilização com argila compactada têm larga aplicação em revestimento de açudes; de lagoas de estabilização; de células de aterros sanitários e para confecção de núcleo de argila para proteção de tanques subterrâneos de combustíveis contra vazamentos. Em geral, os solos com alto teor de argila apresentam baixos valores de permeabilidade e, devido a essa característica, são freqüentemente usados como barreiras naturais e artificiais em sítios de disposição de resíduos, para

limitar o escape dos contaminantes para o meio ambiente. No entanto, vários pesquisadores (Mesri and Olson, 1971; Gilligan and Clemence, 1984; Brown e Thomas, 1984; Fernandez e Quigley, 1985; Anderson et al., 1985; Oliveira, 2001) têm relatado que solos argilosos saturados e permeados por líquidos orgânicos resultam numa condutividade hidráulica maior, quando comparados com os mesmos solos saturados e permeados pela água. Além disso, não existe norma técnica brasileira que mencione os limites de validade das barreiras argilosas, para cada um dos aplicativos acima mencionados.

Os estudos de Fernandez e Quigley (1985) indicaram que a condutividade hidráulica de líquidos orgânicos em solos naturais argilosos da região de Sarnia, Ontário - Canadá, foram aproximadamente 10^5 vezes maior do que o valor da condutividade hidráulica medida para a água. A avaliação indicou que a condutividade hidráulica para o querosene foi de $1,0 \times 10^{-4}$ cm/s, ao passo que a condutividade hidráulica para a água foi de $5,0 \times 10^{-9}$ cm/s. Estes autores encontraram boa correlação entre os valores da condutividade hidráulica e a polaridade dos líquidos, através do inverso da constante dielétrica dos líquidos investigados. A constante dielétrica para a água (líquido polar), é aproximadamente 80, enquanto a constante dielétrica do querosene (líquido apolar) é de aproximadamente 2,5.

Oliveira (2001) investigou como a condutividade hidráulica saturada de sedimentos argilosos depende das propriedades dos líquidos e das propriedades dos argilominerais, presentes nos meios porosos. Foram avaliadas as propriedades mineralógicas das argilas empregadas nos experimentos utilizando-se o método de radiação infravermelho e as possíveis alterações na estrutura dos minerais de argila, após o contato com os líquidos utilizados: álcool, gasolina com álcool, gasolina pura, óleo diesel, tetracloreto de carbono, além da água, como caso base. Nos meios com 20% de bentonita, encontrou-se a condutividade da água de 10^{-9} cm/s e dos orgânicos de até 10^{-4} cm/s, ou seja, cem vezes maior que o valor recomendado pela NBR 7505-1.

Com base nesses resultados, fica claro que os modelos matemáticos que descrevem a permeabilidade dos líquidos nos meios porosos granulares não satisfazem os resultados experimentais de Fernandes and Quigley (1985), para solos com diferentes frações de argila. Em solos argilosos, de alta superfície específica e significativa densidade superficial de cargas elétricas, ou seja, de superfície reativa, outras variáveis desconsideradas nos modelos tornam-se importantes quando o fluxo é de líquidos orgânicos infiltrando em sedimentos argilosos. No caso de solos arenosos com baixa concentração de argila o modelo de Nutting (1930) se ajustou bem aos dados experimentais. Considerando que a condutividade dos hidrocarbonetos do petróleo através de camadas de impermeabilização argilosa pode ser até quatro ordens de grandeza superior ao da água e, que a US EPA (2002) define que a impermeabilização deve ser realizada de forma que o meio seja “suficientemente impermeável”, a questão fundamental que deve ser respondida na avaliação

da eficiência das bacias de contenção não deve ser apenas “qual é o valor do coeficiente de permeabilidade em função das características específicas do solo e dos produtos petroquímicos armazenados?”, mas “As bacias de contenção podem reter vazamentos em tempo suficiente para que os planos de contingência possam ser acionados sem que haja risco para a saúde humana e para o meio ambiente?”

OBJETIVOS

Este trabalho investigou a função condutividade hidráulica saturada de sedimentos argilosos percolados por uma única fase, água ou diesel. Para esta investigação, foi utilizado como sedimento uma mistura de areia/bentonita 10% e 20% com relação à areia pura, realizando experimentos de fluxo com permeômetros de parede fixa. Além disso, os trabalhos permitirão o estabelecimento de uma base científica para a proposição da reformulação da NBR 7505-1.

METODOLOGIA ANALÍTICA

Foram utilizados permeômetros de paredes fixas semelhantes aos projetados e construídos no Instituto de Física da UFBA. (Oliveira, 2001). Esses permeômetros oferecem a possibilidade de utilizar os métodos de carga constante ou carga variável, a depender das necessidades. Considerando-se também que o líquido utilizado (no caso o diesel) para as medidas de condutividade hidráulica é tóxico e muito agressivo, os permeômetros foram confeccionados com materiais resistentes ao ataque desse líquido. Todos os materiais utilizados na confecção dos permeômetros foram previamente testados para verificar sua resistência aos líquidos utilizados nos experimentos.

A areia utilizada foi extraída das dunas da Lagoa da Conceição e possuía grãos uniformes, não havendo necessidade de peneirar. Esta foi tratada com ácido clorídrico (HCl) para a remoção dos minerais carbônicos seguindo-se da lavagem da com água destilada. O processo de secagem foi realizado em estufa a 100°C. Após seca ao forno, a areia foi quarteada para se obter homogeneidade. A argila utilizada, a bentonita, foi adquirida numa companhia de mineração em Camaçari, BA, sendo o tipo empregado na elaboração de lama de perfuração de poços.

A metodologia de avaliação da permeabilidade das amostras foi conduzida através das etapas de preparação das amostras e análise das amostras. Estas etapas foram descritas a seguir.

Preparação das amostras

O meio poroso de utilizado no experimento de fluxo foi composto de uma mistura de argila e areia, com frações de bentonita de 10% e 20%, realizando experimentos de fluxo com

permeâmetros de parede fixa. De acordo com Oliveira (2001), para a água é impossível determinar a condutividade hidráulica para as amostras do meio poroso composto com concentrações superiores a 20% de bentonita. Utilizando-se a metodologia de empacotamento de Oliveira et. al. (1996), compactou-se manualmente camadas de aproximadamente dois milímetros de espessura de sedimento, até que essas atingissem a espessura desejada para a amostra. Para a suportaçã das amostras foram utilizados papel filtro e pérolas de vidro que também funcionaram como pré-filtro.

Análise das amostras

Após o acondicionamento das amostras e fechamento do sistema, direcionou o fluxo da garrafa de Mariotte para a célula, através do registro 2, e abriu o fluxo para a proveta através do registro 3. Nos procedimentos com carga constante, no caso para o óleo diesel, mediu o volume de líquido coletado num determinado intervalo de tempo, alternando os intervalos para evitar leituras constantes e, por conseguinte, a indução a condicionamento tendencioso. Para fluxo lento, no caso da água, mediu o decaimento do nível do líquido na coluna, ao longo de um intervalo de tempo, enquanto para fluxo rápido, determinou dois pontos, h_1 e h_2 , na coluna, mediu então o intervalo de tempo em que o menisco do líquido levou para passar entre esses dois pontos. Feito isto, completou a coluna com o líquido e mediu novamente. Esse procedimento foi repetido várias vezes e então se utilizou a média dos tempos para os cálculos da condutividade hidráulica. O esquema é melhor visualizado na **Figura 1**.

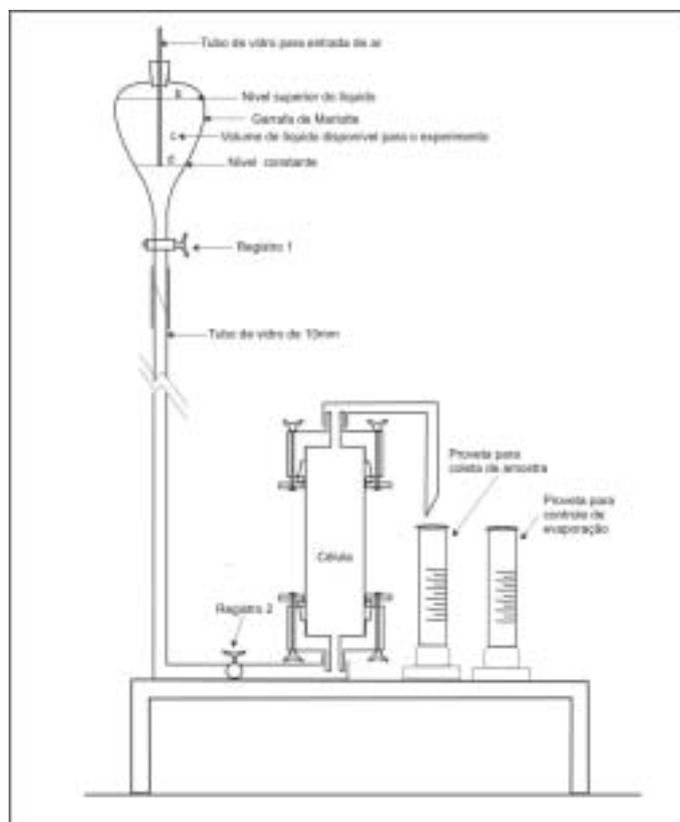


Figura 1 - Vista esquemática do sistema completo do permeâmetro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Equação 1, conhecida como a lei de Darcy, deduzida experimentalmente por Henry Darcy para o fluxo de água numa coluna completamente saturada, em que K é a condutividade hidráulica e $\Delta h/L$ é o gradiente hidráulico na coluna. Uma vez que a condutividade hidráulica K tenha sido medida, a permeabilidade intrínseca do meio poroso k poderá ser calculada utilizando-se a Equação de Nutting (1930) para a condutividade hidráulica saturada dada pela Equação 2.

$$Q = KA \frac{\Delta h}{L}$$

Equação 1

$$K = \frac{k\rho g}{\mu}$$

Equação 2

Onde:

K : Condutividade hidráulica

k : permeabilidade intrínseca

μ : Viscosidade

g : Aceleração da gravidade

ρ : Densidade

Tabela 1- Propriedades físicas da água e do óleo diesel (Oliveira, 2001).

Líquidos	Densidade ρ (g/cm ³)	Viscosidade μ (cP)	Mobilidade (ρ/μ)
Água	0,995413	0,81	1,229
Óleo Diesel	0,832294	3,75	0,222

As propriedades físicas da água e do óleo diesel estão apresentadas na **Tabela 1**. Observando os valores de mobilidade calculados, podemos verificar que o óleo diesel por possuir uma maior viscosidade, conseqüentemente possui uma menor mobilidade com relação à água. Sendo assim, o óleo diesel terá uma menor condutividade hidráulica. Mas esta característica física só é válida para solos granulares. Quando o solo é argiloso isto não é observado. Os valores de condutividade hidráulica saturada K_{sat} da mistura de areia/bentonita, com frações de bentonita a 10% e 20%, para os líquidos percolantes óleo diesel e água foram calculados e os valores de K_{sat} observados estão apresentados na **Tabela 2**.

Tabela 2 -Valores de condutividade hidráulica saturada K_{sat} , para os líquidos percolantes utilizados.

Líquido Percolante	K_{sat} (cm/s)	
	% de Bentonita	
	10%	20%
Água	$7,93 \times 10^{-9}$	$3,87 \times 10^{-9}$
Óleo Diesel	$3,65 \times 10^{-4}$	$3,06 \times 10^{-5}$

Observa-se que quando utilizado 10% de bentonita, a condutividade hidráulica saturada para a água possui valores muito pequenos, enquanto que para o óleo diesel a condutividade chega à ordem de 10^5 vezes maior que o valor determinado pela legislação vigente. Desta forma, verifica-se que o critério de condutividade hidráulica estabelecido pela NBR 7505-1 da ABNT não é um parâmetro efetivo para avaliar a eficiência das bacias de contenção para o petróleo e seus derivados.

A partir destes resultados, a preocupação fundamental é que as bacias de contenção possam reter vazamentos a tempo para que os planos de contingência possam ser acionados sem que haja risco para a saúde humana e para o meio ambiente.

CONCLUSÕES

Nesta pesquisa foi investigado como a condutividade hidráulica saturada de sedimentos argilosos depende das propriedades dos líquidos e das propriedades dos argilominerais, presentes nos meios porosos.

A principal conclusão obtida é que a condutividade hidráulica saturada, K_{sat} , de solos argilosos é fortemente influenciada pelas propriedades físico-químicas dos líquidos percolantes e pelas características dos argilominerais do meio, tal que, a equação para K_{sat} , determinada por Nutting em 1930, válida, com grande precisão, para solos granulares, torna-se incompleta para quantificar a mesma propriedade nos solos argilosos.

Nos meios com 10% de bentonita, encontrou-se a condutividade da água de 10^{-7} cm/s e dos orgânicos de até 10^{-4} cm/s, ou seja, cem vezes maior que o valor recomendado pela norma da ABNT.

Um estudo mais completo está sendo iniciado em escala real, onde serão avaliadas amostras de diferentes solos utilizados como impermeabilizantes em diversas bacias de contenção. Estes estudos têm como objetivo avaliar a eficiência de retenção do petróleo e seus derivados nas bacias de contenção no Terminal de Cubatão da PETROBRAS/TRANSPETRO e do risco associado a possíveis derramamentos, considerando as condições reais do local em relação ao solo e os diversos tipos de hidrocarbonetos armazenados.

Com base nos resultados obtidos, serão apresentadas proposições de melhorias que visem ampliar a capacidade de retenção para os casos de não conformidade em relação ao risco resultante em função de eventuais derramamentos nas bacias de contenção. O produto final desta pesquisa terá significância técnica e econômica para a PETROBRAS nos seus diversos segmentos de negócios em todo país, visando acima de tudo à proteção dos mananciais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ANDERSON, D. C., BROWN, K. W., AND THOMAS, J. C. Conductivity of compacted clay soils to water and organic liquids. *Waste Management & Research*, 3: 339-349, 1985.
- [2] ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. Disponível em: <http://www.anp.gov.br>. Capturado em 04/05/04.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Armazenagem de líquidos inflamáveis e combustíveis. Parte 1: Armazenagem em tanques estacionários. NBR 7505-1. Agosto de 2002.
- [4] BROWN, K. W., THOMAS, J. C., AND GREEN, J. W. Field cell verifications of effects of concentrated organic solvents on the conductivity of compacted soils *J. of Hazardous Wastes*, 3: 1/19, 1986.
- [5] CORSEUIL, H. X., KAIPPER, B. I. A., FERNANDES, M. Cosolvency effect in subsurface systems contaminated with petroleum hydrocarbons and ethanol. *Water Research*, v.38, n.6, p.1449-1456, 2004.
- [6] CORSEUIL, H. X. MARINS, M.D. Contaminação de Águas Subterrâneas por Derramamentos de Gasolina: O Problema é Grave? *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.2, n.2, p.50-54, 1997.
- [7] FERNANDEZ, F. AND QUIGLEY, R.W. Hydraulic conductivity of natural clays permeated with simple liquid hydrocarbons. *Canadian Geotechnical Journal*, 22: 205-214, 1985.
- [8] GILLIGAN, E. D., AND CLEMENCE, S. P. Fabric and engineering behavior of organic-saturated clays. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, 21: 515-529, 1984.
- [9] MCWHORTER, D.B. and SUNADA D.K. Ground-water hydrology and hydraulics. Colorado Water Resources Publications, p. 290, 1977.
- [10] MESRI, G., AND OLSON, R. E. Mechanisms controlling the permeability of clays. *Clays and Clay Minerals*, 19: 151-158, 1971.
- [11] NUTTING, P.G. Physical analysis of oil sands. *Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull.*, v.14, p.1337-1349, 1930.

- [12] OLIVEIRA, I. B., DEMOND, A.F. AND SALEHZADEH, A. Packing of sands for production of homogeneous porous media. *Soil Society of America Journal* 60: 49-53, 1996.
- [13] OLIVEIRA, J.C. Contaminação de sedimentos argilosos por combustíveis automotivos: problema de avaliação da permeabilidade, 2001. Tese (Doutorado em Geologia). Instituto de Geociências. UFBA.
- [14] SINCOPEIRO - SINDICATO DO COMÉRCIO VAREJISTA DE DERIVADOS DE PETRÓLEO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Disponível em: <http://www.sincopetro.org.br/mostranoticia.asp?m=1572>. Capturado em 05/05/04.
- [15] US EPA – U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Disponível em: <http://www.epa.gov/swerust1/cat/camarchv.htm>. Capturado em 04/05/04.
- [16] US EPA - US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 40 CFR Part 112. *Oil Pollution Prevention and Response*. Non-Transportation-Related Onshore and Offshore Facilities; Final Rule. July 17, 2002.