

Estudo da permeabilidade do solo da região de Ijuí-RS percolando água e óleo diesel

A study of the permeability soil percolating water and oil in the region of Ijuí-RS

Francielle Diemer¹, Luciano P. Specht¹, Carlos E. Lautenschlager² e Nilo C. Consoli²

¹*Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, RS*

²*Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, RS*

e-mail: franciellediemer@gmail.com, luspecht@gmail.com

RESUMO: O conhecimento do k (coeficiente de condutividade hidráulica) dos solos é essencial para qualquer obra de engenharia em que se deseje estimar a vazão que percolará através de um maciço, em obras de barragens, barreiras impermeáveis e até mesmo em camadas impermeabilizantes de aterros sanitários. Neste contexto, o trabalho buscou estudar o comportamento hidráulico do solo da região de Ijuí-RS, em seu estado natural e compactado, avaliando assim o efeito da estrutura, e a possibilidade de sua utilização em barreiras impermeáveis (*liners*). Foram realizados ensaios de condutividade hidráulica em permeâmetro de parede rígida e flexível e utilizando como fluido água e óleo diesel. A partir dos ensaios verificou-se que as amostras ensaiadas na condição natural no equipamento de parede flexível apresentaram um k na ordem de 10^{-4} m/s e a amostra ensaiada em permeâmetro de parede rígida apresentaram um k na ordem de 10^{-7} m/s e, quando compactado na energia normal, passa ter um k abaixo de 10^{-9} m/s, considerado impermeável e podendo ser utilizado como barreira impermeável no caso de contenção de plumas de contaminação e/ou derramamento de resíduos ou ainda com barreira em aterros sanitários.

ABSTRACT: The knowledge of k (coefficient of permeability) of the soils it is essential for many engineering work where the fluid flow are present, in works of dams, layers or sanitary embankments. This paper aims to evaluate the hydraulic behavior of the Ijuí-RS soil, on natural state and under compaction (effect of the structure), and the possibility to use it as liners. Hydraulic conductivity tests were performed on flexible and rigid wall permeameter and using as fluid water and diesel oil. It was found that on natural samples presents k approximately 10^{-4} m/s when tested on flexible wall permeameter and 10^{-7} m/s when tested on rigid wall. When compacted it was find k below to 10^{-9} m/s, considered impermeable and could be used as impermeable barrier or liner in case of soil contamination or still as sanitary embankments barrier.

1. INTRODUÇÃO

Sabe-se que cada vez mais é necessário conhecer a permeabilidade dos solos para realização de inúmeras obras de engenharia, principalmente, na estimativa da vazão que percolará através do maciço, em obras de drenagem, rebaixamento do nível d'água, barramentos, aterros sobre solos moles, etc.

Com a evolução e o desenvolvimento dos processos industriais, no Brasil, surgiram também grandes problemas de ordem ambiental,

principalmente com a questão da disposição inadequada de resíduos domésticos e industriais. Este fato ocasionou o aparecimento de várias áreas contaminadas, resultando em degradações ambientais acentuadas, destacando a contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas.

Destaca-se que são diversos os problemas causados pela presença de áreas contaminadas, que vão desde a restrição do uso e ocupação do solo, com conseqüente redução do valor imobiliário do local e seu entorno, até o

comprometimento da saúde pública e de ecossistemas locais [1].

Os resíduos industriais, principalmente os gerados nas indústrias petroquímicas, constituem-se em um dos graves problemas sócio-ambientais do país, e são apontados como um dos grandes desafios para as áreas responsáveis pelas pesquisas em planejamento e operação do sistema de destino final de resíduos sólidos.

O petróleo começou a ser economicamente explorado a partir da segunda metade do século XIX. Iniciando pelos EUA, a produção foi crescendo sistematicamente. Os derivados de petróleo se tornaram indispensáveis para a sociedade, na geração de energia, nos multíusos dos plásticos, nos transportes, nas tintas, na agricultura etc..

O resíduo mais abundante na natureza é o material oleoso, o qual apresenta capacidade adesiva de aglomerar areia ou pó de pedra, podendo formar uma massa de resíduo final entre 10-20 vezes maior que o resíduo inicial. Principalmente devido ao elevado teor de óleo, este tipo de resíduo não pode ser simplesmente disposto em lagos ou diques, dando origem a um problema de relevância ambiental [2].

Diante de toda essa estrutura logística da produção e comercialização do petróleo e de seus derivados, as preocupações relacionadas ao potencial de contaminação de solos e águas subterrâneas, principalmente por vazamentos de tanques de armazenamento subterrâneos em postos de combustíveis e acidentes envolvendo veículos transportadores vem crescendo, provocando a contaminação do solo e dos mananciais hídricos.

Em maio de 2007 aconteceu no município de Ijuí, no noroeste do estado do Rio Grande do Sul, o descarrilamento e tombamento de um comboio com 7 vagões da empresa América Latina Logística, provocando o vazamento (de um dos vagões) de cerca de 54 mil litros de óleo diesel próximo ao km 123 da RS 342, entre Ijuí e Cruz Alta [3].

Segundo pesquisa realizada pelo Fórum Biodiesel-BR, um litro de óleo diesel contamina 1 milhão de litros de água o equivalente ao consumo de uma pessoa no período de 14 anos. Isso acontece porque os óleos de origem fóssil, como o petróleo, são suficientes para prejudicar a transferência de oxigênio na interface ar-água além de ser tóxico, matando a vegetação e pequenos animais [4].

Para tanto, existem diversos métodos de retenção ou imobilização de materiais contaminados, podendo citar o processo de solidificação/estabilização ou encapsulamento de contaminantes. Este método é utilizado para transformar materiais sólidos ou líquidos potencialmente poluentes em materiais sólidos menos poluentes ou não poluentes.

Diante do exposto este trabalho tem como objetivo estudar as propriedades hidráulicas do solo de Ijuí-RS na condição natural e compactada, com água e óleo diesel, avaliando seu potencial de uso em barreiras impermeáveis.

2. METODOLOGIA

2.1 Planejamento do Experimento

Para a execução da pesquisa foram realizados ensaios de condutividade hidráulica em permeâmetro de parede rígida e flexível e utilizando como fluido água e óleo diesel; também foram executados ensaios *in situ* em furos de sondagens. Para o ensaio em permeâmetro de parede rígida o solo foi ensaiado na condição natural e compactado nas três energias de compactação (normal, intermediária e modificada) e para o ensaio no de parede flexível foi utilizada amostra indeformada.

2.2 Materiais Utilizados

2.2.1 Solo

O solo utilizado nesta pesquisa foi o solo residual de basalto encontrado na região de Ijuí, já explorado em inúmeras pesquisas [5;6;7;8]. Para os ensaios de laboratório foi coletado solo de um talude do campus da UNIJUÍ localizado próximo ao prédio de Engenharia Civil, e para execução dos ensaios *in situ*, além do talude do campus da UNIJUÍ, foram executados ensaios nos locais já estudados por Sala (2007)[8].

Na região de Ijuí os perfis de solos são homogêneos com espesso horizonte B de solo residual maduro, objeto deste estudo; suas propriedades físicas médias foram determinadas por [5] e estão apresentados na Tabela 1. O solo residual de Ijuí é composto por: 85% de argila, 10% de silte, 4,12 % de areia fina, 0,72% de areia média e 0,16 % de areia grossa, não possuindo fração de pedregulho. Segundo a classificação

HRB o solo classifica-se como sendo A-7-5. Conforme classificação unificada o solo classifica-se como MH (silte de alta compressibilidade).

Bonafé (2001) [6] determinou os parâmetros de compactação do solo em estudo nas três energias de compactação (normal, intermediária e modificada) conforme Figura 1 e Tabela 2. Este estudo é indispensável em obras de terra, principalmente na construção de aterros e barreiras impermeáveis.

2.2.2 Água

A água utilizada no preparo das mostras para os ensaios de laboratório foi do tipo destilada, de forma a não haver interferência de qualquer possível mineral presente na água sobre o solo. Para os ensaios de campo foi utilizada água potável da rede pública.

2.2.3 Óleo diesel

Empregou-se como contaminante o óleo diesel, obtido junto a Refinaria Alberto Pasqualini – REFAP, na cidade de Canoas/RS. O óleo diesel apresenta um comportamento não volátil, sendo imiscível em água. A densidade unitária do óleo diesel é de 0,839 e uma viscosidade $\mu=1,8\text{Pa}\cdot\text{s}$ à 20°C.

2.3 Ensaios Realizados

2.3.1 Coleta dos materiais e preparação dos corpos-de-prova

Para os ensaios com amostras indeformadas foi coletado um bloco de solo do talude do campus da UNIJUÍ, embalado com parafina e serragem, colocado em uma caixa de madeira e enviado ao ENVIRONGEO – Laboratório de Geotecnia da UFRGS, onde foi executado o ensaio de condutividade hidráulica. Para a execução do ensaio, as amostras foram cuidadosamente extraídas deste bloco e moldadas no tamanho (5x10cm e 15x15cm).

2.3.2 Ensaios de condutividade hidráulica em permeâmetro de parede rígida

Amostra indeformada

Para os ensaios em amostra indeformada foi utilizado o permeâmetro do tipo *Compaction mold permeameter*, o qual foi desenvolvido e construído no ENVIRONGEO/UFRGS. Entre as partes do

equipamento estão: cilindro de aço inox para colocação da amostra e em que é moldada, e cilindro, também em aço inox, para armazenamento do contaminante.

Neste ensaio foram utilizadas cargas hidráulicas constantes de 15kPa, através de aplicação de ar comprimido numa interface ar/água, regulada com um registro de pressão de precisão, resultando em um gradiente hidráulico de 10. O líquido percolante foi primeiramente água e após a saturação da amostra foi percolado óleo diesel. A Figura 2 apresenta fotos do permeâmetro, bem como alguns de seus detalhes.

Amostras compactadas

Para os ensaios em amostras compactadas utilizou-se o permeâmetro de parede rígida (diâmetro de 10cm e altura de 12,73cm) de carga variável disponível no LEC–Laboratório de Engenharia Civil da UNIJUÍ.

Estes ensaios foram compactados nas três energias de compactação (normal, intermediária e modificada) e percolou-se água e óleo diesel.

2.3.3 Ensaios de condutividade hidráulica em permeâmetro de parede flexível

Os ensaios de determinação do coeficiente de condutividade hidráulica em amostras deformadas e indeformadas, segundo a ASTM D 5084 (1990), [9], foram realizados no equipamento permeâmetro de parede flexível, ilustrado pela Figura 3.

Os ensaios de condutividade hidráulica foram realizados pelas seguintes etapas: instalação, percolação, saturação, adensamento e medição da condutividade hidráulica.

- instalação: o corpo-de-prova foi instalado na câmara do permeâmetro de parede flexível sobre o pedestal, com as pedras porosas convencionais e papel filtro nas extremidades. Posteriormente foi fixado por anéis de vedação nas extremidades, selada e preenchida com água.

- percolação: esta fase visa à eliminação de bolhas de ar na amostra e facilita a saturação do corpo-de-prova. O procedimento iniciou-se com a aplicação de uma contra pressão (altura de coluna de água disponível para percolação) e uma tensão de confinamento na amostra, de modo que a tensão efetiva fique em aproximadamente 10kPa. A base deve estar conectada ao reservatório de

água e o topo a pressão ambiente, para que aconteça o fluxo. Esta etapa dura até que se percole 2 vezes o volume de vazios da amostra, o que se dá em aproximadamente 24 horas.

- saturação: consiste na aplicação de incrementos de tensão de 50kPa na tensão confinante e na contra pressão, mantendo-se a tensão efetiva constante em aproximadamente 20kPa. O novo incremento só é aplicado depois que a contra pressão aplicada no topo da amostra atinge a base do corpo-de-prova. A garantia de saturação da amostra foi monitorada através da medição do parâmetro B de Skempton, medido nos dois últimos níveis de tensões possíveis, limitado pela contra pressão máxima utilizada.

- adensamento: no adensamento foi medida a variação volumétrica do corpo-de-prova quando aplicada a tensão efetiva média de 100kPa, conforme ASTM [9]. Constituiu-se em aplicar um incremento de tensão confinante desejada, deixando a drenagem aberta, verificando-se assim o volume de água que sai da amostra, até atingir constância.

- medição da condutividade hidráulica: as medidas do coeficiente de condutividade hidráulica foram realizadas com gradiente hidráulico constante de aproximadamente 10, sendo que foi admitida uma diferença máxima de 5% na medição da tensão de topo e base [9].

O gradiente hidráulico foi aplicado no corpo-de-prova através do incremento de tensão no topo da amostra e da diminuição, de mesma magnitude em sua base, registrada pelos transdutores eletrônicos de pressão. Baseando-se na medição do volume de água que entra e que sai da amostra, através de tubos graduados conectados aos acumuladores de entrada e saída de água e o tempo total de ensaio, calculou-se o coeficiente de condutividade hidráulica, de acordo com a lei de Darcy, utilizando a equação 1:

$$k = \frac{L \cdot Q}{A \cdot t \cdot h} \quad \text{Equação (1)}$$

onde:

k = condutividade hidráulica (m/s);

Q = vazão de água passante pela amostra (m³);

A = área transversal da amostra (m²);

L = comprimento da amostra (m);

h = carga hidráulica (m);

t = duração do ensaio (s).

Ao final do ensaio efetuou-se a correção da condutividade hidráulica segundo a viscosidade e temperatura da água à 20°C.

2.3.4 Ensaio de condutividade hidráulica *in situ* em furo de sondagem

O ensaio de condutividade hidráulica em furo de sondagens consiste na medida da vazão, representada pelo volume d'água absorvido ou retirado durante um intervalo de tempo, em função da aplicação de diferenciais de pressão induzidas por colunas d'água, resultante da injeção ou da retirada de água no furo.

Para realização deste ensaio foi necessário a implementação de um equipamento, que seguiu as orientações técnicas da ABGE (1999) [10].

Para o ensaio de infiltração foram utilizados os seguintes equipamentos:

- a) 01 trado, composto por peças de aço e cobre, de diâmetro igual a 2" (63,5mm) e altura de 1,60m;
- b) Tubo de acoplamento: composto por peças coladas de PVC rígido, diâmetro 75mm e altura 0,80m;
- c) Tambor graduado em litros com capacidade de aproximadamente 200 litros;
- d) 01 proveta com capacidade de 1 litro;
- e) Escarificador composto por peças metálicas e extremidade com elementos metálicos pérfuro-cortantes, diâmetro 2" (63,5mm) e altura 1,10m;
- f) Cronômetro.

Para a execução do ensaio seguiu-se os seguintes passos: primeiro faz-se o furo de aproximadamente 1 metro de profundidade com o auxílio de um trado elicoidal; escarificasse com o auxílio do escarificador; encaixa-se o tubo acoplador; enche-se o furo de água até a marca zero (determinada durante os ensaios), tomando-se este instante como tempo zero. O nível da água do furo foi mantido constante, alimentado por uma fonte apropriada, medindo-se o volume de água introduzido durante certo intervalo de tempo (vazão), e calculado através da equação 2.

$$k = \frac{Q}{h} \cdot \frac{1}{cu \cdot r} \quad \text{Equação (2)}$$

onde:

Q = vazão

h = profundidade

cu = coeficiente de condutividade de meios não saturados [10]

r = raio

Após o ensaio elaborou-se um gráfico onde foi lançado na abscissa o tempo, e na ordenada o

volume acumulado ou vazão. Este gráfico possibilita a observação da estabilização da vazão, que é caracterizada por uma reta. Essa então será a vazão utilizada no cálculo da permeabilidade (vazão constante).

3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O coeficiente de condutividade hidráulica (k) representa a característica hidráulica dos solos, que indica a velocidade e vazão de percolação da água pelo interior do material.

O coeficiente de condutividade hidráulica varia de um solo para outro em função de suas características físicas como: índice de vazios, grau de saturação, estrutura e anisotropia.

3.1 Coeficiente de condutividade hidráulica em permeâmetro de parede flexível

Os resultados do coeficiente de condutividade hidráulica (k) em permeâmetro de parede flexível da amostra do solo do talude do campus da UNIJUÍ, no estado natural são apresentados na Figura 4. Cada barra representa uma das leituras realizadas durante o ensaio.

Este equipamento traz como vantagens o completo selamento que a membrana proporciona no entorno da amostra, as amostras indeformadas podem ser facilmente testadas, a contra pressão pode ser utilizada para saturar a amostra e as tensões verticais e horizontais podem ser facilmente monitoradas.

Analisando os resultados observa-se que o coeficiente de condutividade hidráulica (k) deste solo em seu estado natural, utilizando este equipamento é da ordem de 10^{-4} m/s.

A partir destes resultados pode-se ratificar que as tabelas clássicas de classificação de permeabilidades dos solos sedimentares, como as apresentadas por Lambe, (1974) [11] ou Head (1986) [12] que mostra que solos com alto teor de argila apresentam baixos valores de k ($\cong 10^{-9}$ m/s) não são aplicáveis a solos residuais, pois não importa somente o teor de argila e sim a estrutura do solo; solos residuais e evoluídos apresentam estrutura com macroporos, nos quais a água percola com bastante facilidade.

3.2 Coeficiente de condutividade hidráulica em permeâmetro de parede rígida

Os permeâmetros de paredes rígidas consistem em tubos rígidos que contém a amostra a ser permeada. A amostra tende a apresentar menor expansividade que a amostra ensaiada em um permeâmetro de parede flexível além de uma maior facilidade no uso, porém apresenta como desvantagem a não saturação total da amostra, a impossibilidade de saturação por contra pressão, a não existência de controle sobre as pressões atuantes na amostra e a existência da possibilidade de haver fluxo lateral pelas paredes do tubo do permeâmetro.

3.2.1 Amostras indeformadas

A amostra de solo, quando percolada com água apresentou uma condutividade hidráulica na ordem de 10^{-7} m/s, conforme Figura 5.

Quando se alterou o fluido percolado de água para óleo, observou-se uma redução no valor do k com valores na ordem de 10^{-8} m/s.

Quando se comparam as amostras indeformadas ensaiadas, observa-se uma diferença nos valores encontrados quando comparado o permeâmetro de parede rígida ($1,9 \times 10^{-7}$ m/s) e o permeâmetro de parede flexível ($4,8 \times 10^{-4}$ m/s). Isto se deve a técnica empregada e à completa saturação da amostra.

3.2.2 Amostras compactadas

Foram preparadas amostras (em duplicata) nas três energias de compactação: normal, intermediária e modificada, conforme parâmetros apresentados na Tabela 2.

As amostras moldadas na energia normal (EN) de compactação, percolando água, apresentaram um coeficiente de condutividade médio na ordem de 10^{-9} m/s, e quando alteramos o fluido percolado, passamos a ter um coeficiente de condutividade médio mais baixo, na ordem de 10^{-10} m/s, conforme Figura 6.

As amostras moldadas na energia intermediária (EI) apresentaram resultados próximos da energia normal, na ordem de 10^{-9} m/s, e quando alteramos o fluido percolado, passamos a ter um coeficiente de condutividade médio na ordem de 10^{-10} m/s, como pode ser visualizado na Figura 7.

Para as amostras moldadas na energia modificada (EM), encontram-se valores para a

condutividade hidráulica mais baixa daqueles encontrados nas outras energias. Quando se percola com água, encontram-se valores na ordem de 10^{-11} m/s e quando altera-se o fluido percolado para óleo, os valores médios são da ordem de 10^{-12} m/s, conforme Figura 8.

A Tabela 3 e a Figura 9 apresentam o resumo dos resultados globais encontrados do coeficiente de condutividade hidráulica (k) do solo no seu estado compactado.

Foi observada a mesma tendência encontrada nos ensaios com o permeâmetro de parede rígida em que a alteração do fluido de água para óleo reduz os valores de k. Isso se deve provavelmente a maior viscosidade do óleo diesel ($\mu=1,8$ Pa.s) em comparação com a água ($\mu=1,0$ Pa.s).

Na Figura 10 são apresentados os valores de k encontrados *versus* a energia de compactação, onde percebe-se que quanto maior a energia de compactação menor o valor do k medido, como era de se esperar.

Também quando se altera a energia normal para a energia intermediária não se observa uma diferença muito significativa. As amostras compactadas ficaram na mesma ordem de grandeza, apenas quando se altera para a energia modificada é que se percebe uma diminuição significativa. Isso nos mostra que do ponto de vista prático isso seria pouco importante, pois solos com k na ordem de 10^{-9} m/s são solos praticamente impermeáveis; não valeria a pena gastar mais energia para ficar com o k na mesma ordem de grandeza.

Se compararmos o solo em seu estado natural ($k=10^{-7}$ m/s) e compactado na energia normal ($k=10^{-9}$ m/s) podemos afirmar que a condutividade hidráulica diminui consideravelmente, e se aumentarmos a energia para modificada, o k diminui mais ainda ($k=10^{-11}$ m/s); pode-se afirmar que então que este solo pode ser utilizado como barreiras impermeáveis em obras correntes de engenharia.

Nota-se a redução de k quando se altera a energia de compactação de 10^{-9} m/s (água) – 10^{-10} m/s (óleo) para 10^{-10} m/s (água) – 10^{-11} m/s (óleo) o que do ponto de vista prático pode ser pouco importante visto que nesta ordem de grandeza o material é praticamente impermeável, todavia é mais uma segurança ao projeto.

3.3 Coeficiente de condutividade hidráulica *in situ*

Os ensaios realizados *in situ* foram realizados em furos de sondagens em três locais distintos da cidade de Ijuí, já estudados anteriormente [7,8]. O primeiro local a ser ensaiado foi o talude do Campus da UNIJUÍ.

Foram realizados 5 furos ao longo do talude, como pode ser visualizado na Figura 11. Porém o furo 5 não foi possível realizar medições, pois se enquadrava no horizonte c, de solos residual jovem.

Para os furos ensaiados neste local encontrou-se um coeficiente de condutividade médio de $1,23 \times 10^{-6}$ m/s, conforme resultados apresentados na Figura 12, e mostra uma tendência de aumento no valor de k com a profundidade devido a variação nas propriedades do solo, o que é típico de solos residuais.

O segundo local estudado foi na Rua José Gabriel no bairro Independência. Foram realizados 2 furos neste local, o qual apresentou um coeficiente de condutividade médio de $8,48 \times 10^{-7}$ m/s. O terceiro local estudado foi na Rua Venâncio Aires, 356, no centro da cidade de Ijuí, onde se encontrou como valor médio $8,48 \times 10^{-7}$ m/s. As propriedades físicas médias destes solos estão em Sala (2007) [8].

A partir dos resultados apresentados anteriormente, foi possível extrair um valor médio para a condutividade hidráulica do solo de Ijuí. O qual ficou na ordem de $7,7 \times 10^{-7}$ m/s, como pode ser visualizado na Figura 13.

Os valores observados no ensaio de campo mostraram resultados de k médio na mesma ordem de grandeza (10^{-7} m/s) do encontrado em laboratório, no ensaio de parede rígida ($1,91 \times 10^{-7}$ m/s).

Porém se for comparada a amostra ensaiada em laboratório no permeâmetro de parede flexível ($k=10^{-4}$ m/s) e os ensaios *in situ* ($k=10^{-7}$ m/s) há uma diferença significativa no valor de k; existe a hipótese de possibilidade de colmatação da argila durante a perfuração o que causa uma redução no valor do k e/ou ainda a hipótese de não saturação completa do solo o que levaria ao fluxo em meios não-saturado, sabidamente menor que o fluxo em meios saturados.

4. CONCLUSÕES

A partir da base experimental coletada puderam-se estabelecer as seguintes conclusões:

- em relação às amostras indeformadas, observou-se uma diferença nos valores quando comparado o permeâmetro de parede rígida ($1,9 \times 10^{-7}$ m/s) e o permeâmetro de parede flexível ($4,7 \times 10^{-4}$ m/s); isto se deve a técnica empregada e à completa saturação da amostra.

- com relação ao permeâmetro de parede rígida, pode-se concluir que quando se altera o líquido percolado o k diminui de $1,9 \times 10^{-7}$ m/s para $5,9 \times 10^{-8}$ m/s, ou seja, o solo fica mais impermeável se percolado com óleo;

- quanto às amostras compactadas conclui-se que quanto maior a energia de compactação aplicada, menor é o valor encontrado de k , ou seja, o solo torna-se mais impermeável. Neste caso a alteração de energia de intermediária para modificada traria mais impacto do que de normal para intermediária;

- com relação à estrutura é possível afirmar que neste solo residual estudado tem grande importância; no estado natural os macroporos facilitam a percolação, todavia em amostras remoldadas (estrutura desfeita mecanicamente e em seguida compactada) o k é praticamente de um solo impermeável;

- em relação aos ensaios *in situ*, conclui-se que para o solo de Ijuí, o coeficiente de condutividade hidráulica (k) encontrado foi de $7,7 \times 10^{-7}$ m/s;

Sendo assim pode-se dizer que este solo quando exposto a líquidos contaminantes não tem total capacidade de impedir a percolação e contaminação, todavia quando compactado pode ser utilizado como barreira impermeável em obras correntes de engenharias.

REFERÊNCIAS

[1] COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas.

[2] SANTOS, A. B. Comportamento de *Liners* sob a influência de um contaminante orgânico. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre. 2005, 80p.

[3] CETRAN-RS. Conselho Estadual de Transito. <http://www.cetran.rs.gov.br>, acesso disponível em abril de 2008.

[4] BIODIESELBR. Fórum BiodieselBR. Disponível em www.biodieselbr.com/forum/. 2009.

[5] VIECILI, C. Determinação dos parâmetros de resistência do solo de Ijuí a partir de ensaios de cisalhamento direto. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. Ijuí. 2003, 76p.

[6] BONAFÉ, L. Estudo da Resistência de um Solo Residual de Basalto Estabilizado e Reforçado. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. Ijuí. 2004, 101p.

[7] DIEMER, F. SPECHT L. RAMBO, D. POZOBON, C. Propriedades geotécnicas do solo residual de basalto da região de Ijuí/RS. Teoria e Prática da Engenharia Civil. v.12, 25-36. 2008.

[8] SALA, M. Caracterização do solo residual de basalto encontrado na zona urbana do município visando seu emprego em estudos de fundações. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. Ijuí. 2007, 148p.

[9] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard test method for measurement of hydraulic conductivity of porous material using a rigid-wall, compaction-mold permeameter: D 5084. Philadelphia, 1990.

[10] ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. Boletim 04. Junho de 1996.

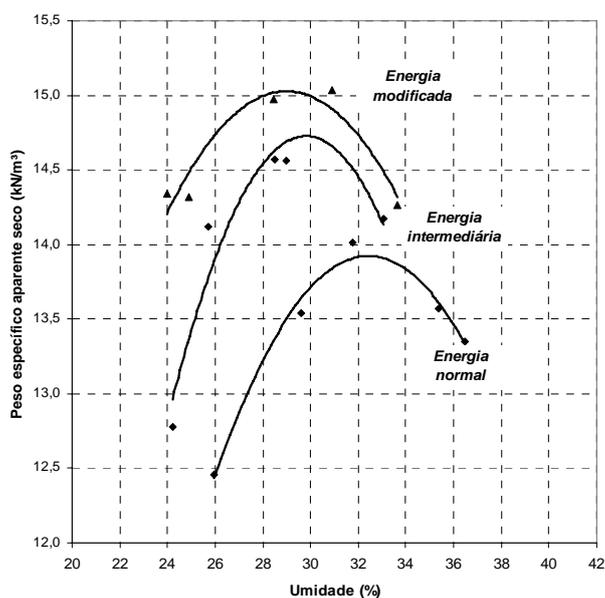
[11] LAMBE, T. W.; WHITMAN, R. V. Mecânica de Suelos. – México: Editorial Limusa S.A., 1974.

[12] HEAD, K. H. Manual of Soil Laboratory Testing. London: Pentech Press, 1986.

Tabela 1 - Propriedades físicas médias do solo [4]

Propriedades	Valores Médios
Limite de Liquidez (LL)	59%
Limite de Plasticidade (LP)	47%
Índice de Plasticidade (IP)	12%
Peso específico real dos grãos (G)	28,52 kg/cm ³
Índice de Atividade (Ia)	0,14
Umidade média de campo (h)	34,53%
Peso específico natural (γ_n)	13,74 kg/cm ³
Índice de vazios	1,65
Porosidade (n)	0,64

(a)



(b)

Figura 1 - Curvas de compactação com energias normal, intermediária e modificada [6]

Tabela 2 - Resumo dos parâmetros de compactação e CBR [6]

Amostra	Energia	w _{ót} (%)	γ_d máx (kN/m ³)	CBR (%)
Solo A	Normal	32,30	13,93	12
Solo A	Intermediária	30,00	14,73	12
Solo A	Modificada	29,00	15,03	22



Figura 2 - Vista geral do permeâmetro de parede rígida

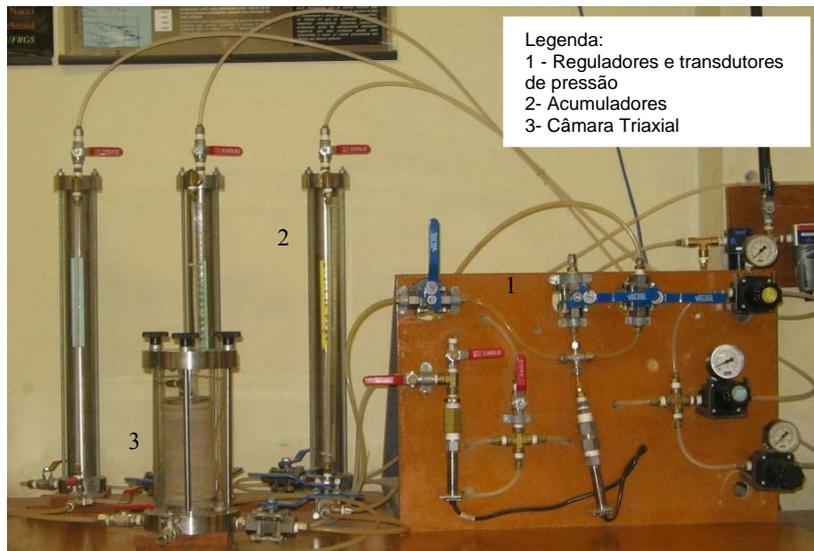


Figura 3 - Vista geral do permeâmetro de parede flexível

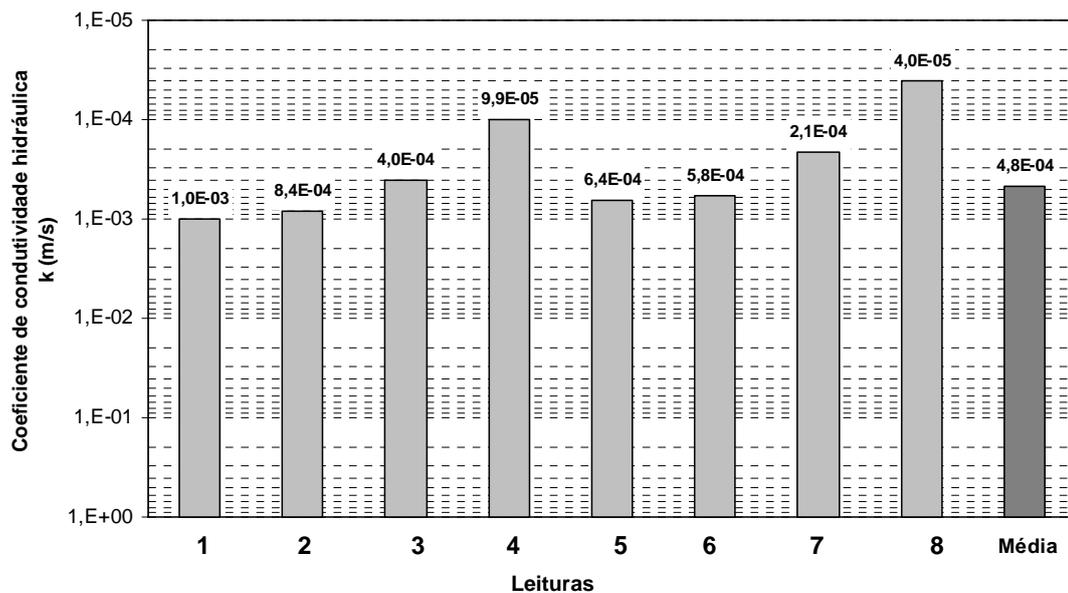


Figura 4 - Coeficiente de condutividade hidráulica do solo do campus

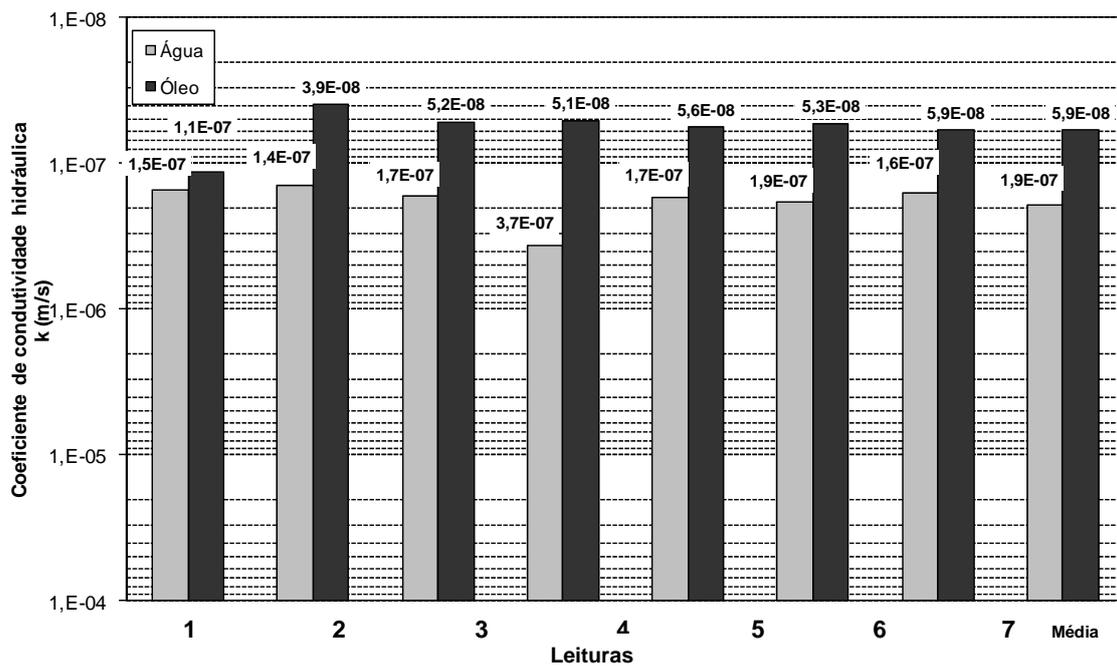


Figura 5 - Resultados das leituras do ensaio da amostra indeformada

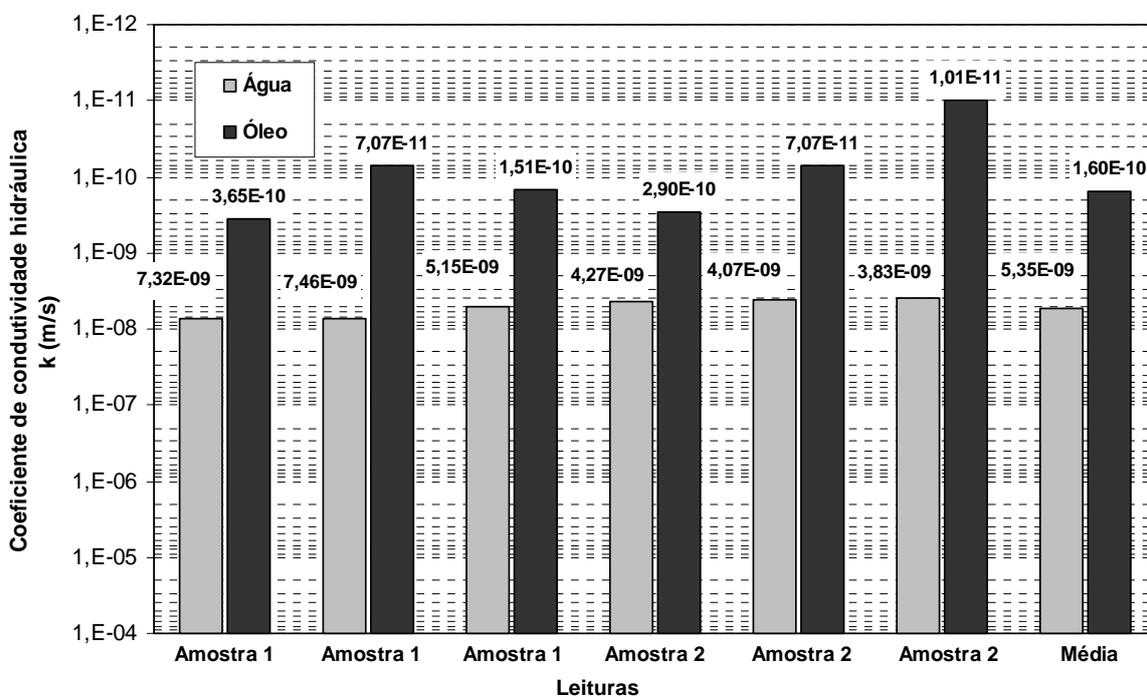


Figura 6 - Coeficientes de condutividade hidráulica - EN

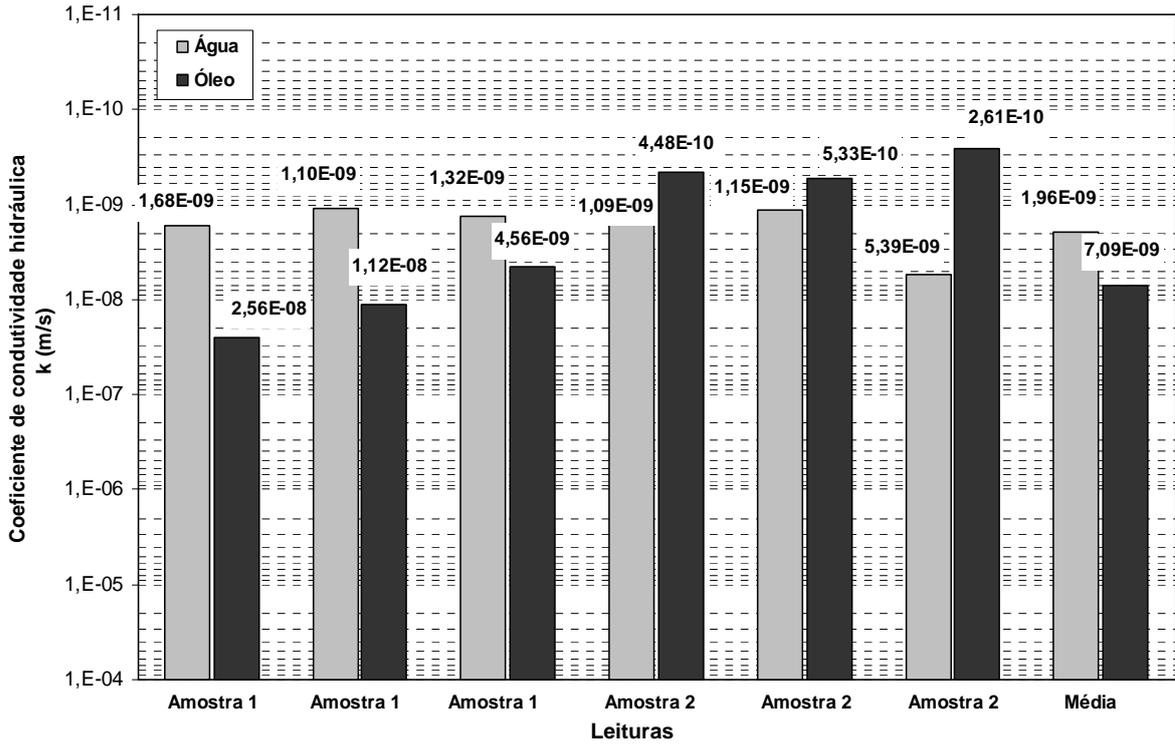


Figura 7 - Coeficientes de condutividade hidráulica – EI

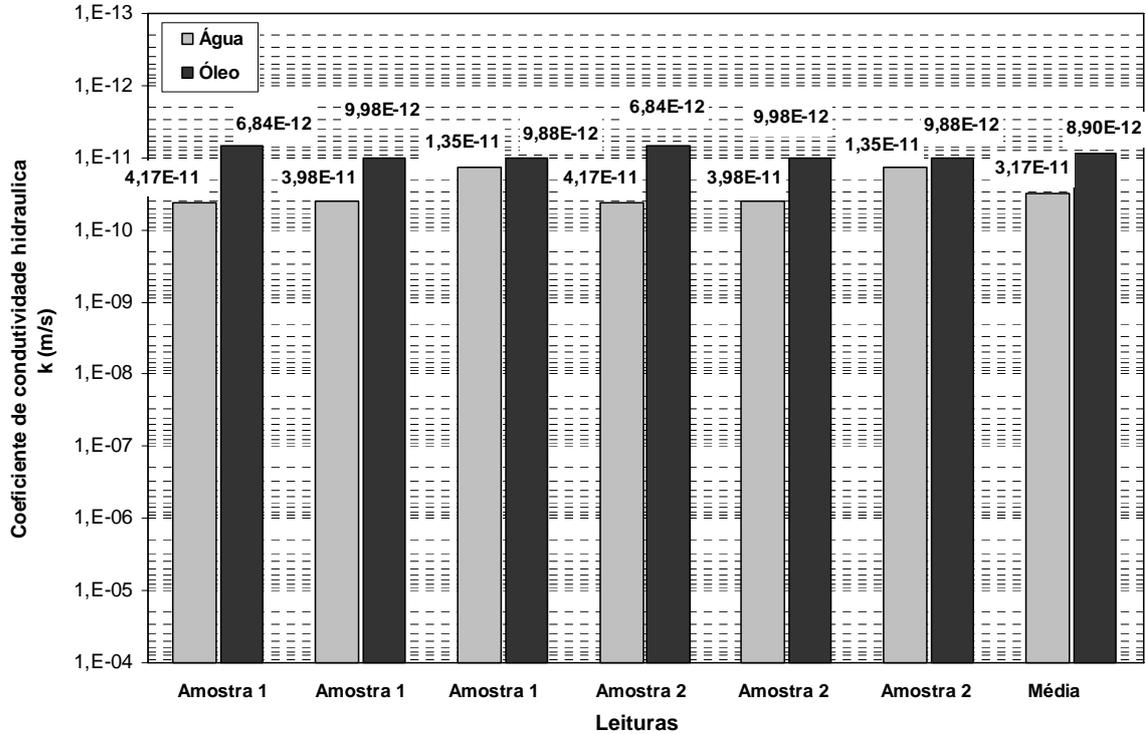


Figura 8 - Coeficientes de condutividade hidráulica – EM

Tabela 3 - Resumo dos coeficientes de condutividade hidráulica

Energia	Percolado	e	k (m/s)
Normal	Água	1,04	5,35E-09
Normal	Óleo	1,04	1,60E-10
Intermediária	Água	0,93	1,96E-09
Intermediária	Óleo	0,93	2,76E-10
Modificada	Água	0,89	3,17E-11
Modificada	Óleo	0,89	8,90E-12

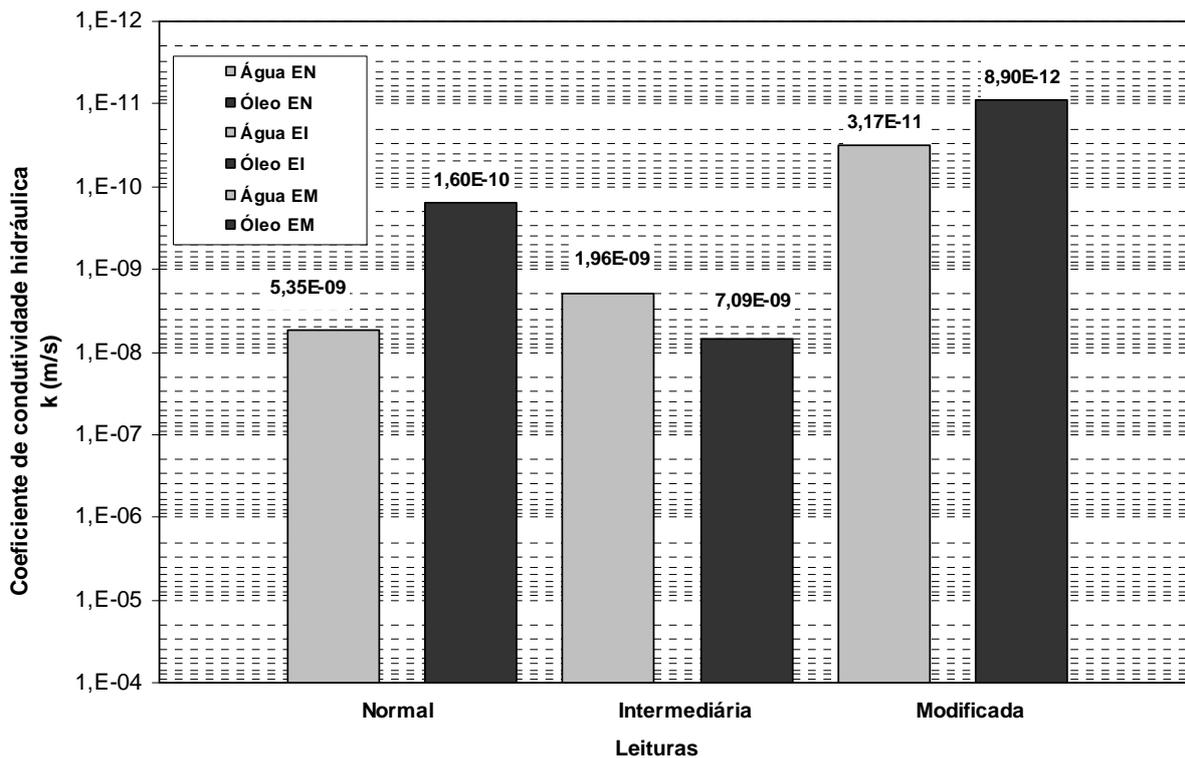


Figura 9 - Média dos resultados encontrados nas 3 energias de compactação

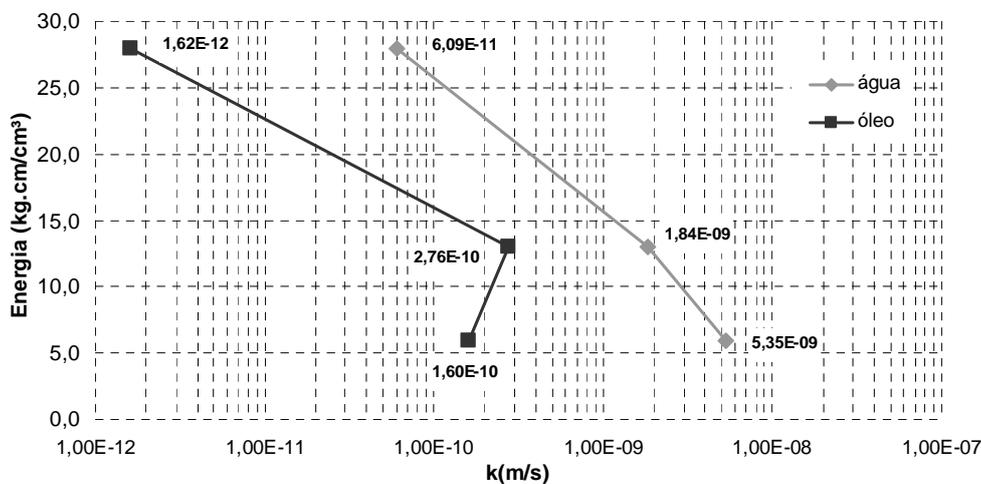


Figura 10 - Energia versus coeficientes de condutividade hidráulica



Figura 11: Locais ensaiados no talude do campus

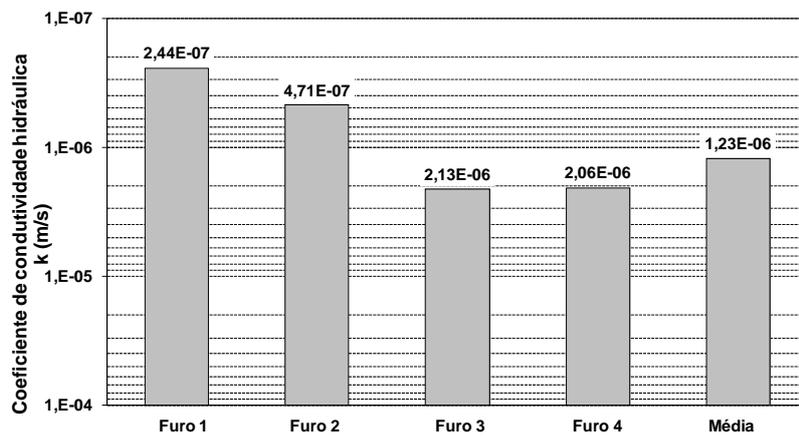


Figura 12: Condutividade hidráulica do talude do campus

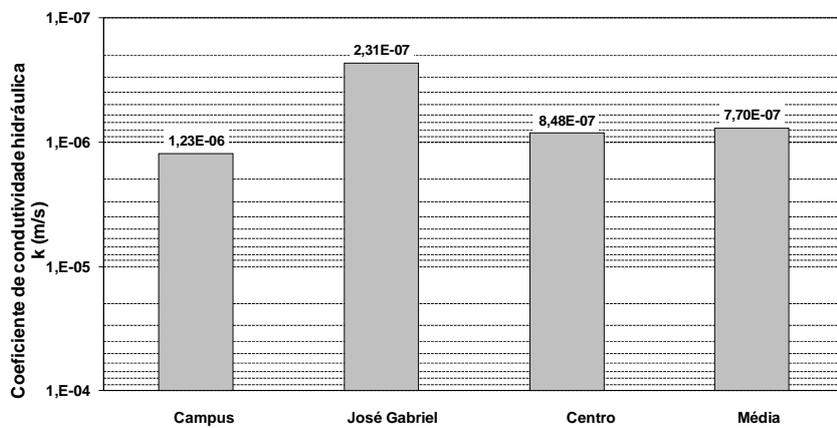


Figura 13: Média dos resultados de k *in situ*