



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS ERECHIM
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

DAIANE FARINA

**CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DO COEFICIENTE DE
PERMEABILIDADE DE UM SOLO RESIDUAL BASÁLTICO DE ERECHIM-
RS, COMPACTADO NAS CONDIÇÕES DE PROCTOR NORMAL, COM
PERCOLAÇÃO DE ÁGUA E ÓLEO DIESEL.**

**ERECHIM – RS
2017**

Daiane Farina

CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE DE UM SOLO RESIDUAL BASÁLTICO DE ERECHIM-RS, COMPACTADO NO PROCTOR NORMAL, COM PERCOLAÇÃO DE ÁGUA E ÓLEO DIESEL.

Projeto de conclusão de curso de graduação apresentado no curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal da Fronteira Sul – Campus Erechim. Orientado pelo Prof. Pedro Eugênio Gomes Boehl.

Erechim – RS

2017

DAIANE FARINA

**CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DO COEFICIENTE DE
PERMEABILIDADE DE UM SOLO RESIDUAL BASÁLTICO DE ERECHIM-
RS, COMPACTADO NAS CONDIÇÕES DE PROCTOR NORMAL, COM
PERCOLAÇÃO DE ÁGUA E ÓLEO DIESEL.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS, Campus de Erechim, como parte das exigências para obtenção do título de bacharel, com concentração na área de Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Prof. Pedro Eugênio Gomes Boehl

Este trabalho de conclusão de curso foi definido e aprovado pela banca em: 05/12/2017

Banca examinadora:

Prof.Msc. Pedro Eugênio Gomes Boehl
(orientador)
UFFS – Erechim

Prof. Dr. Lierson Borges de Castro
UFFS – Erechim

Prof^a. Dr^a. Marília T. Hartmann
UFFS – Erechim

AGRADECIMENTOS

A Deus por me guiar em minha caminhada até este momento, permitindo que obstáculos fossem superados e objetivos fossem alcançados.

Aos meus pais, e ao restante da família que me apoiaram em todos os momentos de minha vida de estudante, principalmente nesta etapa universitária. Só tenho a agradecer a vocês pelo imenso carinho e fé em mim depositados.

Ao meu orientador Prof Msc Pedro Eugênio Boehl, por ter aceitado a tarefa de me orientar neste trabalho e de se dedicar para a realização das atividades, como também na qualidade do estudo realizado.

Aos colegas do grupo de solos que sempre se dispuseram a me ajudar quando precisei.

Aos meus amigos que estiveram sempre ao meu lado nos momentos bons e também nos difíceis, sempre me dando apoio e incentivo.

É preciso força para sonhar e perceber
que a estrada vai além do que se vê.

Los Hermanos

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o coeficiente de permeabilidade para água e óleo diesel de um solo residual basáltico característico da cidade de Erechim – RS. Para isso, realizaram-se ensaios de permeabilidade em solo compactado utilizando-se para o ensaio o permeâmetro de carga variável. Outro objetivo do trabalho foi caracterizar o solo fisicamente, apontando-se as seguintes propriedades geotécnicas: teor de umidade 27,82%, peso específico natural de 16,80 kN/m³, peso específico saturado de 18,40 kN/m³, índice de vazios de 1,12 e grau de saturação de 68,31%. Além disso, a granulometria obteve os seguintes resultados: argila 70,65%, silte 21,27%, areia fina 6,46%, areia média 0,79% e areia grossa 0,83%, sendo classificado com um solo argilo-siltoso. Para os limites de Atterberg obtendo-se os seguintes resultados: limite de liquidez 58%, limite de plasticidade 38%, índice de plasticidade 20% e índice de atividade de 0,1 que refere-se a atividade da fração de argila do solo, classificando-se assim como inativa. O coeficiente de permeabilidade utilizando-se água obtido para este solo foi de $1,11 \cdot 10^{-7}$ m/s em uma temperatura de 20°C, para o óleo diesel obteve-se uma permeabilidade de $4,13 \cdot 10^{-8}$ m/s. Quando confrontado os valores desse trabalho com o de outros autores, observa-se: na percolação com água não houveram variações significativas, por outro lado, na percolação com óleo diesel, possuem permeabilidade menor. Constata-se que para este solo sobre essas condições, a técnica de compactação com proctor normal, foi insuficiente para produzir uma melhoria significativa na permeabilidade na percolação com água, de outra forma, para percolação com óleo produziu efeitos mais significativos na permeabilidade.

Palavras-chave: Coeficiente de permeabilidade, Índices físicos, Solo basáltico.

ABSTRACT

The present work had the objective of evaluating the permeability coefficient for water and diesel oil of a basaltic residual soil characteristic of the city of Erechim - RS. For this, permeability tests were performed on compacted soil using the variable load permeability for the test. Another objective of the work was to characterize the soil physically, pointing to the following geotechnical properties: moisture content 27.82%, natural specific gravity of 16.80 kN / m³, specific saturated weight of 18.40 kN / m³, voids of 1.12 and degree of saturation of 68.31%. In addition, the granulometry obtained the following results: clay 70.65%, silt 21.27%, fine sand 6.46%, medium sand 0.79% and coarse sand 0.83%, being classified with a single clay- silty. For the Atterberg limits, the following results were obtained: liquidity limit 58%, plasticity limit 38%, plasticity index 20% and activity index of 0.1, which refers to the activity of soil clay fraction, classifying itself as inactive. The permeability coefficient using water obtained for this soil was $1,11 \cdot 10^{-7}$ m/s at a temperature of 20 ° C, for the diesel oil a permeability of $4,13 \cdot 10^{-8}$ m/s. When comparing the values of this work with those of other authors, it can be observed that in the percolation with water there were no significant variations, on the other hand, in the percolation with diesel oil, they have lower permeability. It is noted that for this soil under these conditions, the normal proctor compaction technique was insufficient to produce a significant improvement in permeability in water percolation, otherwise, for oil percolation, it produced more significant effects on permeability.

Key words: Permeability coefficient, Physical indexes, Basaltic soil.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Esquema de um permeâmetro de carga variável.....	20
Figura 2 – Localização da área de estudo em Erechim-RS.....	23
Figura 3 – Pontos da coleta de amostras de solo.....	23
Figura 4 – Vista e corte esquemático do permeâmetro (método B).....	25
Figura 5 – Corpo de prova sendo retirado.....	26
Figura 6 – Montagem do permeâmetro.....	27
Figura 7 – Medição da carga hidráulica para água e óleo diesel.....	28
Figura 8 – Distribuição granulométrica das partículas do solo estudado.....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de coeficiente de permeabilidade.....	18
Tabela 2 – Resultados dos índices físicos para o solo estudado em condições de compactação tipo Proctor normal.....	28
Tabela 3 – Valores médios dos índices físicos para o mesmo solo em estado natural.....	29
Tabela 4 – Limites de Atterberg do solo estudado.....	29
Tabela 5 – Distribuição granulométrica das partículas.....	30

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Medições realizadas com água.....	31
Quadro 2 – Parâmetros obtidos com percolação de água.....	31
Quadro 3 – Medições realizadas com óleo diesel.....	32
Quadro 4 – Parâmetros obtidos com percolação de óleo diesel.....	32
Quadro 5 – Coeficiente de permeabilidade referente a diferentes autores.....	33

LISTA DE SÍMBOLOS

LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
IP	Índice de Plasticidade
IA	Índice de Atividade
w	Teor de Umidade
e	Índice de Vazios
n	Porosidade
Sr	Grau de Saturação
γ_n	Peso específico aparente natural (kN/m ³)
γ_s	Peso específico aparente seco máximo (kN/m ³)
γ_g	Peso específico real dos grãos (kN/m ³)
γ_{sat}	Peso específico saturado (kN/m ³)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 OBJETIVO.....	15
2.1 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	15
3 REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1 ÓLEO DIESEL.....	16
3.2 PERCOLAÇÃO DO CONTAMINANTE NO SOLO	17
3.3 PERMEABILIDADE NO SOLO	18
3.4 ÍNDICES FÍSICOS.....	21
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA	23
4.2 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E GEOTÉCNICA.....	24
4.3 DESCRIÇÃO DO MÉTODO.....	24
4.3.1 Equipamentos utilizados.....	24
4.3.2 Método experimental.....	24
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
5.1 ÍNDICES FÍSICOS DO SOLO	28
5.2 PERMEABILIDADE DO SOLO	31
6 CONCLUSÕES.....	35
7 REFERÊNCIAS.....	36

1 INTRODUÇÃO

As indústrias petrolíferas, frequentemente sofrem com algum tipo de problema relacionado com vazamento, derramamento e outros impactos ambientais causados pelos combustíveis e seus derivados. A partir disso, começou-se a haver uma preocupação maior em aspectos mundiais dos danos causados ao meio ambiente, diante disso, empresas consideradas altamente poluidoras junto com órgãos públicos e universidades buscam mecanismos para amenizar tais efeitos poluidores.

No Brasil, existem aproximadamente 27.000 postos de combustíveis, a maioria deles possui mais de 25 anos, acarretando em grandes riscos de vazamentos, em virtude de corrosão e rachaduras decorrentes do tempo de contato entre o combustível e o material do tanque (TIBURTIUS. et al, 2004). Os vazamentos normalmente são descobertos após um longo tempo, quando os efeitos já estão visíveis no ambiente. No Brasil, a porcentagem de postos com problemas varia de 20% a 30%, esses valores são considerados elevados. Em lugares como Joinville, realizou-se um estudo em que constatou-se que apenas um dos postos da cidade não estava com vazamentos (TIBURTIUS. et al, 2004).

O óleo diesel por ser parte dos hidrocarbonetos, não é solúvel em água de maneira geral, em seu estado original. O processo com que os contaminantes interagem com a água, solo e matéria orgânica presente nos solos é difícil de ser analisado fisicamente e quimicamente. O comportamento do contaminante, pode variar com o tempo, pois as condições biológicas afetam diretamente as propriedades do que está presente na área (MENEGHETTI, 2007).

Com o crescente aumento de distribuição dos derivados petrolíferos em diferentes áreas, nota-se que a contaminação se apresenta no solo e água, além disso, acarreta preocupações em relação a possíveis incêndios, explosões e poluição atmosférica. São encontrados diferentes grupos de contaminantes nas áreas que contem contaminação, dentro do grupo de poluentes líquidos, destacam-se os combustíveis: gasolina e óleo diesel (CETESB, 2010).

Segundo Carvalho et al (2016) “a permeabilidade dos solos é um parâmetro muito utilizado para modelar o movimento de líquidos no solo, assim como, a permeabilidade a água subterrânea, em eventuais vazamentos”. O solo age como um armazenador dos contaminantes inibindo a passagem desses poluentes para o meio ambiente. Devido à baixa permeabilidade os solos coesivos são muito como barreiras na engenharia. É feita

a utilização dessa camada impermeável como uma barreira para impedir a contaminação de camadas de solo próximas ao lençol freático (BOSCOV, 2008). Os variados tipos de solos interferem junto com os diferentes tipos de contaminantes para verificar os impactos causados por hidrocarbonetos no solo (BAPTISTA, 2007).

Sabe-se que é cada vez mais importante saber a permeabilidade de cada tipo de solo, correspondente para cada tipo diferente de utilização na engenharia, em virtude disso buscou-se nesse trabalho avaliar o coeficiente de permeabilidade para um solo residual basáltico de Erechim-RS com percolação de água e óleo diesel. Além disso, realizou-se a caracterização física do solo e os limites de Atterberg.

2 OBJETIVO

Avaliar a influência da compactação de um solo residual basáltico nas condições de compactação normal, sobre condições de percolação de água e óleo diesel.

2.1 OBJETIVO ESPECÍFICO

Caracterizar geotecnicamente o solo obtendo: granulometria, limite de liquidez, limite de plasticidade, índice de plasticidade e densidade das partículas.

Obter o coeficiente de permeabilidade do solo característico da Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Erechim, utilizando-se para tal um permeâmetro com carga variável através do método tipo B, ABNT NBR 14545 de 2000 para condições de percolação de água e óleo diesel.

Comparar a permeabilidade do solo, confrontando os valores obtidos com água pura e com a água contaminada por óleo diesel.

Confrontar os valores obtidos na pesquisa com os valores de outros autores, procurando correlações entre variáveis geotécnicas.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 ÓLEO DIESEL

A contaminação por hidrocarbonetos tem se tornado de grande relevância para estudos, em virtude dos danos ao ambiente e a saúde humana que eles causam. Esses poluentes podem afetar solo, ar, fauna, vegetação e águas superficiais e subterrâneas. Ao longo de décadas, pode-se notar um aumento na deposição de resíduos no ambiente, isso deve-se ao manuseio inadequado e conseqüentemente vazamento de substâncias altamente contaminantes (PEREIRA, 2009).

O petróleo e seus derivados começaram a ser explorados com fins econômicos no final do século XIX, inicialmente nos Estados Unidos e se espalhando pelo mundo. Esses derivados se tornaram indispensáveis para o crescente desenvolvimento da economia, eles podem ter diversas finalidades como: utilizado em indústrias, na agricultura, em transportes, na geração de energia, entre outros (DIEMER et al. 2010).

Com o aumento da produção e consumo do petróleo e seus derivados, as preocupações relacionadas a vazamentos e contaminação do solo e água subterrânea vem se tornando preocupantes. A crescente exploração desse recurso, acarreta aumento de acidentes envolvendo veículos de transporte e em tanques subterrâneos, que armazenam esses derivados afetando assim os mananciais (DIEMER et al. 2010).

O petróleo é um composto com diversas misturas orgânicas, contém pequenas parcelas de oxigênio, nitrogênio e enxofre, em sua maior parte constitui-se de hidrocarbonetos aromáticos e parte de alcanos (FETTER, 1993).

Segundo Mariano (2006), “no Brasil cerca de 20% do petróleo processado é convertido em gasolina automotiva e 36% em óleo diesel”. A composição do óleo diesel é basicamente hidrocarbonetos de cadeia simples. As partículas de óleo diesel têm um tamanho maior nas cadeias, conduzindo a uma menor volatilidade e conseqüentemente menor solubilidade na água em relação à gasolina (MARIANO, 2006).

Quando se fala em óleo diesel, os riscos ambientais ocasionados por ele são de suma importância, pois na sua composição possui (BTEX), benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos, que por apresentarem grande toxicidade podem causar graves problemas ambientais e na saúde humana (SERRANO, 2006).

3.2 PERCOLAÇÃO DO CONTAMINANTE NO SOLO

As águas subterrâneas sofrem contaminação a partir da percolação de poluentes no solo, esse processo em solos pouco permeáveis é muito lento, em virtude disso, a contaminação pode se tornar demorada dependendo das condições locais. Esse processo pode não ter consequências imediatas no solo, mas a longo prazo causam danos sérios e possivelmente irreversíveis. Pode-se descrever da seguinte forma o comportamento dos contaminantes no solo: advecção, a dispersão mecânica, a difusão, as reações químicas entre soluto e os sólidos e as reações químicas do próprio soluto (BOSCOV, 2008).

No processo de advecção, o contaminante é carregado pelo fluxo de água, apresentando-se constante a quantidade dos contaminantes. Pode-se considerar esse processo um fluxo químico, onde a água com contaminantes escoar pelas partículas carregando consigo as partículas de poluentes (FETTER, 1993).

A dispersão mecânica ou hidráulica, é a combinação que acontece na fase de advecção, é explicada microscopicamente dentro dos vazios e representa a movimentação do fluido. A velocidade da água é nula na superfície dos grãos e máxima a qualquer ponto dentro, o fluido pode variar em magnitude e direção em qualquer seção transversal do solo. Portanto, esse processo tem efeito similar ao da turbulência em regimes superficiais, ocorrendo um espalhamento em relação ao fluxo médio, de forma longitudinal ou perpendicular à direção do fluxo. Na forma longitudinal, pode se perceber que as partículas de água e contaminante deslocam-se mais rapidamente e outras lentamente em relação à média do fluxo (BOSCOV, 2008).

Associado a dispersão mecânica está a difusão, que é resultado da variação das concentrações de contaminantes na fase líquida. Esse processo provoca um formato microscópico no fluxo das partículas de menor para maior quantidade. A difusão pode ocorrer independentemente de haver movimento hidráulico (BOSCOV, 2008).

Os contaminantes podem ser produzidos em forma líquida (efluente), ou ser resultado da percolação de águas pluviais. O solo é um armazenador desses contaminantes a fim de inibir a percolação desses poluentes para o meio ambiente. Nesse caso, utiliza-se a camada de solo impermeável como barreira para impedir a percolação desses contaminantes para camadas do lençol freático (BOSCOV, 2008).

A difusão molecular ocorre quando o transporte do gradiente gerado pelo fluxo do contaminante, mais concentrado, até o menos concentrado, é menor que $1,1 \cdot 10^{-8} \text{m/s}$, esse processo químico acontece quando o fluido não possui velocidade suficientemente alta (ROWE, 1988).

A impermeabilidade do solo pode ocorrer a partir da utilização de solo compactado, que pode ser uma mistura com areia e bentonita ou mesmo pelo solo natural. Para evitar a percolação de poluentes, no solo, pode também ser utilizada uma manta de cobertura sintética, evitando assim a saída de gases formados pelos contaminantes presentes no solo (BOSCOV, 2008).

3.3 PERMEABILIDADE NO SOLO

A permeabilidade do solo é um importante parâmetro que determina o grau de percolação da água e outros elementos nos vazios do solo, expresso pelo Coeficiente de Permeabilidade (k). A determinação do coeficiente de permeabilidade do solo pode ser feita em laboratório ou em campo, quando for realizada em laboratório é necessário a retirada da amostra, porém a estrutura do solo não pode sofrer modificações, em virtude disso é necessária a determinação da permeabilidade média *in situ* (BERNARDI, 2006).

O coeficiente de permeabilidade (k) é determinado principalmente a partir das características que o solo apresenta. Os diferentes tipos de solos apresentam comportamentos distintos em relação a percolação, solos granulares apresentam uma permeabilidade maior quando comparados a solos coesivos que possuem seu (k) menor, como mostrado na tabela 1.

Tabela 1 – Valores de coeficiente de permeabilidade.

Fração de solo	K (m/s)
Argilas	$< 10^{-9}$
Siltes	10^{-6} a 10^{-9}
Areias argilosas	10^{-7}
Areias finas	10^{-5}
Areias médias	10^{-4}
Areias grossas	10^{-3}

Fonte: Caputo, 1996.

O coeficiente de permeabilidade juntamente com a densidade e a viscosidade é dependente dos índices de vazios presentes no solo, para os solos com granulometria maior, a falta de ligação entre os grãos do solo é mais elevada, em virtude disso, ocorre uma percolação maior em relação a solos argilosos, que possuem ligações mais fortes entre partículas, dificultando a passagem de líquido, tornando seu coeficiente de permeabilidade mais baixo (CHIOSSI, 2013).

De acordo com Caputo (1988) o Coeficiente de permeabilidade pode ser determinado a partir da Lei experimental de Darcy. Essa lei torna-se válida para escoamentos, onde o fluxo é lento, laminar e poroso.

A Lei de Darcy tem papel fundamental na determinação da permeabilidade. Ela é expressa na equação a seguir:

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

Onde:

Q = Vazão (cm³/s);

A = Área do Permeâmetro (cm²);

k = Coeficiente de Permeabilidade (cm/s);

h/L ou i = Gradiente Hidráulico.

Passando o fator h/L para a variável i e dividindo a vazão pela área podemos obter a equação que determina a velocidade de percolação no solo quando o gradiente hidráulico for igual a [1]:

$$v = k \cdot i \quad \text{ou} \quad k = \frac{v}{i} \quad \text{Equação (2)}$$

Sendo:

v = Velocidade (cm/s);

k = Coeficiente de Permeabilidade (cm/s);

i = Gradiente Hidráulico.

O uso desse método pode ser feito de diferentes formas. Nesse trabalho será utilizado o método de carga variável. Esse permeâmetro é normalmente usado em solos com coeficiente de permeabilidade baixo (argilas), pode ser calculado pela velocidade em que a água passa pelas partículas do solo, a partir da água que desce da bureta pela equação abaixo:

$$k = 2,3 \cdot \frac{a \cdot L}{A \cdot t} \cdot \log \frac{h_0}{h_1} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

K = Coeficiente de Permeabilidade (cm/s);

a = Área do tubo de carga (cm²);

L = Altura do corpo de prova (cm);

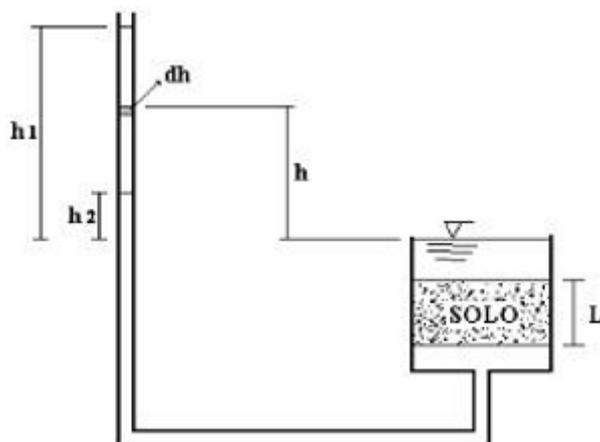
A = Área do corpo de prova (cm²);

t = Tempo de ensaio (s);

h_0 = Altura inicial da água (cm);

h_1 = Altura final da água (cm).

Figura 1 – Esquema de um permeâmetro de carga variável.



Fonte: Pinto, 2005.

A variação no coeficiente de permeabilidade não ocorre apenas em diferentes tipos de solos, pode ocorrer em um mesmo solo, desde que a temperatura do mesmo varie com o tempo (DANIEL, 1994). A força atrativa entre as partículas é outro fator para determinação do coeficiente de permeabilidade. Quanto maior for a atração entre as partículas sólidas e a água mais os vínculos tornam-se fortes, mesmo sobre variação na temperatura. A coesão total, a coesão aparente e a capilaridade influenciam a permeabilidade e as propriedades físicas dos solos (VARGAS, 1977).

Bishop (1972) definiu solo coesivo, como aquele em que as forças de união entre partículas, contribuem significativamente no comportamento físico mecânico do solo. Essas conexões interpartículas físico-químicas denominam-se coesão total, elas são provocadas pelos seguintes agentes: presença dos argilos-minerais, cimentações e capilaridade. A coesão total subdivide-se em verdadeira e aparente, a parcela de coesão aparente é temporária no solo, e pode ser removida através da inundação da massa de solo. Essas conexões interpartículas influenciam diretamente no coeficiente de permeabilidade, pois sua presença obstrui os canalículos porosos do arcabouço sólido do solo (BOEHL, 2011).

A permeabilidade está ligada às características físicas do solo, para caracterizar deve-se conhecer o peso específico natural do solo, o peso específico das partículas de solo, o teor de umidade, o peso específico seco, o grau de saturação e a densidade aparente das partículas (GRAIG, 2004).

3.4 ÍNDICES FÍSICOS

Os limites de Atterberg correlaciona a consistência dos solos argilosos com seus referentes teores de umidade. Os resultados de umidade nos limites entre sólido-semissólido e entre plásticolíquido são chamados de limites de consistência, estes limites são denominados limite de plasticidade (LP) e limite de liquidez (LL). Sempre que, o teor de umidade está baixo, o solo incorpora características de um sólido, no inverso, com altos teores de umidades, possui forma de um líquido, assim, o solo pode apresentar quatro diferentes estados: sólido, semissólido, plástico e líquido. Com esses dados de umidade é possível obter o Índice de Plasticidade (IP), sendo a diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade, denominado $IP = LL - LP$, ou seja, é a amplitude dos valores de umidade em que o solo admite condições de plasticidade (CARDOSO, 2011).

Para a determinação dos limites de Atterberg é preciso conhecer as características do solo, como peso específico, densidade, grau de saturação, assim como, a composição granulometria.

Peso específico natural é obtido pela seguinte expressão:

$$\gamma_i = \frac{P_T}{V_T} \quad \text{Equação (4)}$$

Onde, P_T é o peso total da amostra e V_T é o volume total.

O peso específico seco é dado pela expressão:

$$\gamma_s = \frac{\gamma_i}{(1+w)} \quad \text{Equação (5)}$$

Sendo w o teor de umidade do solo, este é um parâmetro obtido em laboratório.

O peso específico das partículas de solo é obtido por:

$$\gamma_g = \rho \cdot 10 \quad \text{Equação (6)}$$

Em que, ρ é a densidade das partículas, sendo igualmente obtido em laboratório.

O grau de saturação é dado pela expressão:

$$S_r = \frac{w \cdot \rho}{e} \quad \text{Equação (7)}$$

Onde, e é o índice de vazios do solo.

Segue uma breve elucidação sobre a permeabilidade dos solos.

A estrutura descontínua dos solos, forma um meio poroso, que possui pequenos vazios, sendo capaz de ser relacionado a um pequeno laço tubular interligado por canalículos, continuamente de natureza microscópica. Por outro lado, o material rochoso é contido por irregularidades e fraturas de procedência macroscópica, que por sua vez podendo ser semelhantes a pequenos dutos. Permeabilidade dos solos, é a resistência que o solo gera ao fluxo de água por meio de seus vazios. Os fragmentos líquidos que se encontram nos vazios, podem permanecer submetidas a uma mudança de potencial hidráulico que irá impulsioná-las (BOEHL, 2017).

Por tanto, para que haja deslocamento interno do líquido por meio da rede interligada de vazios dos solos, é fundamental que este potencial seja superior do que a perda de carga que é exigida como empecilho internamente, pela estruturação do arcaço sólido, tortuosidade destes canalículos, proximidade inter-partículas e forças de atração e repulsão interfases. A medida desta resistência, pode ser realizada em campo ou em laboratório, principalmente através de permeômetros. Pode-se fazer uma divisão segundo o conceito de matriz dominante dos solos, válida mais para os solos sedimentares em: granulares e coesiva. Admite-se que os vazios dos solos, estejam saturados e que sejam interligados internamente, formando um sistema de canalículos, interligados, e que o líquido percolante tenha viscosidade e esteja submetido a um regime contínuo e laminar (BOEHL, 2017).

Na matriz granular as partículas sólidas que constitui a massa de solo, são parcialmente grandes, por isso, as etapas do solo acabam por ficarem governadas com a ação das forças do campo gravitacional. Consequentemente, estes canalículos se tornam relativamente retos e desobstruídos, pois, a água pode sair por evaporação ou expulsão forçada. Este tipo de conduta é chamado permeabilidade aberta ou comportamento drenado (BOEHL, 2017).

Na matriz coesiva, as partículas sólidas são relativamente pequenas, sofrem efeito de atração e repulsão, armazenando entre as partículas sólidas, água e ar. Consequentemente, estes canalículos se tornam moderadamente tortuosos e obstruídos, e agora, a água dos vazios não está mais livre, portanto, não circula, entra sai ou destes vazios com facilidade, pois, para entrar uma partícula de líquido de fora, deve sair uma partícula interna que está armazenada. Este resultado é chamado permeabilidade fechada ou condições não drenadas (BOEHL, 2017).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA

A área estudada se localiza no município de Erechim, Rio Grande do Sul, no campus da Universidade Federal da Fronteira Sul, às margens da RS 135. As coordenadas do local de estudo são: latitude $27^{\circ}43'37.3''\text{S}$ e longitude $52^{\circ}16'58.3''\text{O}$.

Na figura 2 pode-se observar a localização da área. Assim como o local onde o solo foi retirado.

Figura 2 – Localização da área de estudo em Erechim-RS.



Fonte: Google Earth, 2017.

Na figura 3 é representado, através de um desenho técnico o ponto de coleta, sendo que para esse trabalho o solo foi retirado do ponto a 0,90 m de profundidade.

Figura 3 – Ponto da coleta de amostras de solo.



Fonte: Adaptado de Strehl, 2016.

4.2 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E GEOTÉCNICA

O espaço estudado é constituído por basaltos de altura média em relação ao nível do mar de 783 metros, composta por um agrupamento de materiais, do Grupo São Bento, agregado ao derrame Juro-Cretácio de magma basáltico, que constituem a bacia do Paraná, formação Serra Geral, mais exclusivamente constituída por Basaltos e andesitos toleíticos, de cor cinza escura à preta acinzentada, com conjugação colunar dominante e intercalações de lentes arenosas, denominado JKsg β (BIGARELLA et al, 1985).

O entorno dessas formações rochosas, são compostas por solos residuais predominantemente argilo-siltosos não saturados, com coloração avermelhada e compactos naturalmente, pertencendo ao horizonte intermediário B e C (BOEHL, 2011).

4.3 DESCRIÇÃO DO MÉTODO

4.3.1 Equipamentos utilizados

Para a realização deste estudo foram utilizados os seguintes materiais: permeâmetro de carga variável, argila plástica, areia grossa, equipamentos de escavação (pá, enxada), bureta graduada e solos.

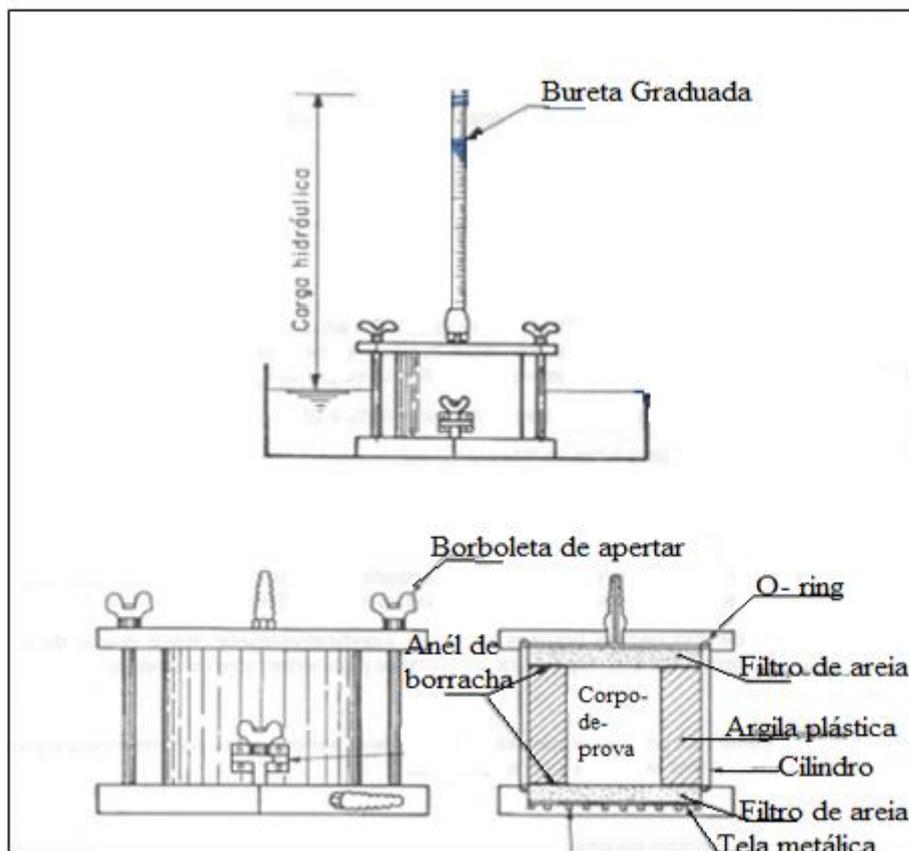
4.3.2 Método experimental

A obtenção dos índices físicos do solo foi realizada com amostra deformada, e seguiram os métodos descritos nas seguintes normas:

- Para a determinação do Limite de Liquidez será seguida a NBR 7180 de 1984;
- Para a determinação do Limite de Plasticidade será seguida a NBR 6459 de 1984;
- Para a determinação da Densidade Real do solo será seguida a NBR 093 de 1994;
- Para a determinação da Composição Granulométrica será seguida a NBR 248 de 2003.

Na realização desta pesquisa utilizou-se o permeâmetro de carga variável mostrado na Figura 4, descrito pela norma técnica afim de determinar o coeficiente de permeabilidade em solos argilosos com aplicação de carga variável. Na ABNT NBR 14545 descreve-se dois métodos para a determinação do coeficiente de permeabilidade, sendo que, neste caso, utilizou-se o método B, em virtude da não disponibilidade de alguns equipamentos para a realização do método A.

Figura 4 - Vista e corte esquemático do permeâmetro (método B).



Fonte: Adaptado pelo autor da ABNT NBR 14545, 2000.

O método utilizado para a determinação da permeabilidade consiste em um permeâmetro de carga variável, com fluxo do líquido em regime laminar através de um corpo-de-prova compactado. A compactação do solo foi realizada conforme as diretrizes e procedimentos da normativa técnica de Ensaio de Compactação NBR 7182 (1984), assim como as recomendações de Strehl (2016).

O corpo de prova reconstituído foi moldado a partir da coleta de material em campo, para tal, utilizou-se um molde de pvc dentro do cilindro com óleo nas laterais para que o corpo de prova não sofresse nenhuma modificação ao ser retirado, após compactou-se o solo no cilindro, e em seguida o corpo de prova foi retirado utilizando-se o extrator de amostras hidráulico como mostrado na figura 5. Observou-se que na implantação deste procedimento houve melhoria na amostra, que não apresentou mais danos e fissuras.

Figura 5 – Corpo de prova sendo retirado.



Fonte: Autor, 2017.

Preparou-se a base do permeâmetro colocando na tampa inferior uma tela de arame com malha de abertura de 2 milímetros, sobre esta, coloca-se uma camada de areia grossa com espessura aproximadamente de 1 centímetro, que por sua vez, foi recoberta por um anel de borracha para evitar o seu contato com a argila, que envolveu o corpo-de-prova.

Em seguida, apoiou-se o cilindro metálico à base preparada, posiciona-se o corpo-de-prova no centro do cilindro e envolveu-se o mesmo com argila. A colocação da argila é posicionada aproximadamente 2 centímetros de altura, compactando-se para evitar o aparecimento de caminhos entre as paredes do cilindro e do corpo-de-prova.

Posteriormente, colocou-se um anel de borracha, cobrindo o topo do anel formado pela argila envolto ao corpo-de-prova, preencheu-se o restante do cilindro com areia grossa, após fechou-se o cilindro com a tampa superior como mostrado na figura 6.

Figura 6 – Montagem do permeâmetro.



Fonte: Autor, 2017.

Saturou-se o corpo-de-prova por 7 dias no sentido ascendente, e a percolação foi feita pelo orifício localizado na tampa inferior do cilindro. O solo é considerado saturado, quando ocorrer o surgimento de água no orifício localizado na tampa superior, isso indica que os vazios foram preenchidos por água.

Conectou-se uma bureta graduada, para a aplicação de água e posteriormente demarcou-se alturas específicas para a medição do tempo e da temperatura, em que a água percolou pelo corpo-de-prova. Esse processo foi realizado até a obtenção de dados significativos para a determinações do coeficiente de permeabilidade, para água e posteriormente óleo diesel como ilustrado na figura 7.

Figura 7 – Medição da carga hidráulica para água e óleo diesel.



Fonte: Autor, 2017.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ÍNDICES FÍSICOS DO SOLO

Os dados utilizados na compactação, assim como, os índices físicos do solo estudado em condições reconstituído (compactado) são apresentados na tabela 2. As propriedades geotécnicas que se destacam, para o solo analisado, no ponto amostral são: teor de umidade ótimo 27,82% (compactado); peso específico natural de 16,80 kN/m³; peso específico saturado de 18,40 kN/m³; índice de vazios de 1,12 e grau de saturação de 68,31%.

Tabela 2- Resultados dos índices físicos para o solo estudado em condições de compactação tipo Proctor normal.

Parâmetros	Resultados
Teor de umidade ótimo (w)	27,82%
Índice de vazios (e)	1,12
Porosidade (n)	52,83%
Grau de saturação (Sr)	68,31%
Peso específico aparente natural (γ_n – kN/m ³)	16,80
Peso específico aparente seco máximo (γ_s – kN/m ³)	13,14
Peso específico real dos grãos (γ_g – kN/m ³)	27,50
Peso específico saturado (γ_{sat} – kN/m ³)	18,40

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Na tabela 3 são apresentados os valores dos índices físicos para o mesmo solo, mas em estado natural.

Tabela 3 – Valores médios dos índices físicos para o mesmo solo em estado natural.

Parâmetros	Resultados
Teor de Umidade (w)	42,00%
Índice de vazios (e)	1,38
Porosidade (n)	57,98%
Grau de saturação (Sr)	50,18%
Peso específico aparente natural (γ_n – kN/m ³)	16,42
Peso específico aparente seco máximo (γ_s – kN/m ³)	11,56
Peso específico real dos grãos (γ_g – kN/m ³)	27,50
Peso específico saturado (γ_{sat} – kN/m ³)	17,35

Fonte: Tortelli, 2016.

Os resultados obtidos para a caracterização física do solo estão de acordo com as características pedológicas esperadas para o tipo de solo analisado, tendo como peso específico dos grãos 27,50 kN/m³, esse valor está dentro dos valores esperados para solos originários de rochas basálticas (PINTO,2006).

Comparando os resultados obtidos para o solo em estado compactado e o solo em seu estado natural, o parâmetro que apresenta uma diferença significativa foi o teor de umidade (w), sendo que a compactação faz com que as partículas do solo estejam mais próximas, deixando menos espaço para a presença de moléculas de água no solo.

Os limites de Atterberg são classificados como: Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP), Índice de Plasticidade (IP) e Índice de Atividade (IA), esses parâmetros foram analisados para o solo estudado, obtendo-se para tais propriedades os resultados expressos na tabela 4.

Tabela 4 – Limites de Atterberg do solo estudado.

Parâmetros	Resultados
Limite de Liquidez (LL)	58%
Limite de Plasticidade (LP)	38%
Índice de Plasticidade (IP)	20%
Índice de Atividade (IA)	0,1

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Segundo Pinto (2006), o índice de atividade de 0,1 pode ser classificado como não elevado, indicando que ocorre inatividade na argila presente no solo estudado. Esse índice de plasticidade é a forma de avaliar, o potencial em que a argila pode conferir coesão e plasticidade ao solo. Sabe-se também que solos que apresentam limite de liquidez, maior que 50% tem alta compressibilidade e se o índice de plasticidade for maior do que 7% é inadequado para serviços de terraplanagem por ter plasticidade indesejável para tal prática (NOGUEIRA, 1988).

Segundo os autores acima o solo em estudo é de alta compressibilidade e inadequado para os serviços de terraplanagem, pois apresenta um limite de liquidez de 58%.

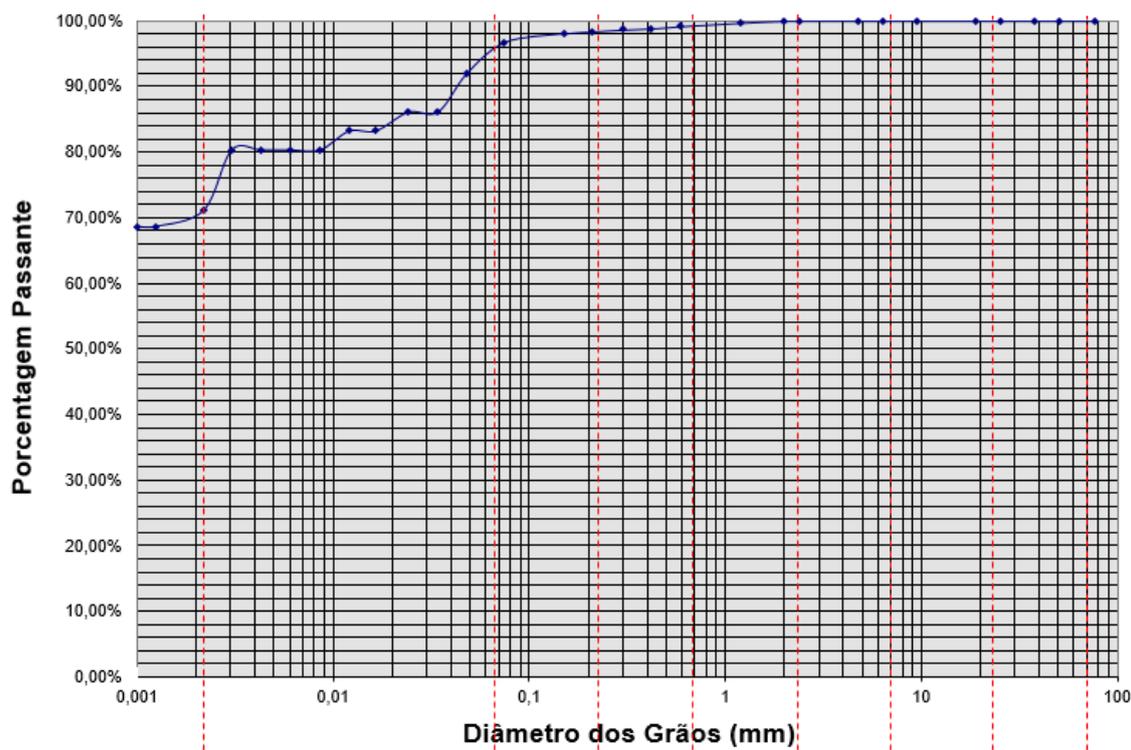
Os dados granulométricos dos solos foram obtidos a partir da NBR 7181 de 1984 e estão apresentados na tabela 5. O solo apresenta predominância de frações finas classificando-se como um solo argilo-siltoso, com presença de 70,65% de argila e 21,27% de silte.

Tabela 5 – Distribuição granulométrica das partículas.

Propriedades Físicas	Resultados
Argila	70,65%
Silte	21,27%
Areia Fina	6,46%
Areia Média	0,79%
Areia Grossa	0,83%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Figura 8– Distribuição granulométrica das partículas do solo estudado.



Fonte: Autor, 2017.

5.2 PERMEABILIDADE DO SOLO

Os resultados para o ensaio de permeabilidade (k) do solo estudado são apresentados no quadro 1. Neste pode-se observar os registros do coeficiente de permeabilidade para o solo. Obteve-se uma média dos valores na ordem de 10^{-7} (m/s) para uma temperatura de 20°C com percolação de água, tendo comportamento característico para solos residuais basálticos, apresentando permeabilidade de intermediária à fechada (PINTO, 2006).

Quadro 1 - Medições realizadas com água.

Amostragem	Δh (m)	Tempo (s)	K (m/s)
1	0,11	1070	$1,16. 10^{-7}$
2	0,06	561	$1,27. 10^{-7}$
3	0,04	512	$9,49. 10^{-8}$
4	0,07	759	$1,17. 10^{-7}$
5	0,11	1320	$1,12. 10^{-7}$
6	0,11	900	$1,39. 10^{-7}$
7	0,04	420	$1,17. 10^{-7}$
8	0,11	2740	$4,14. 10^{-8}$
9	0,11	3900	$2,90. 10^{-8}$
10	0,11	7380	$1,53. 10^{-8}$
11	0,11	660	$1,89. 10^{-7}$
12	0,04	360	$1,37. 10^{-7}$
13	0,11	840	$1,77. 10^{-7}$
14	0,04	360	$1,37. 10^{-7}$

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

A partir dos valores encontrados para as medições, calculou-se a média do coeficiente de permeabilidade e o desvio padrão, que estão apresentados no quadro 2.

Quadro 2 – Parâmetros obtidos com percolação de água.

Parâmetros	Resultados
Média	$1,11. 10^{-7}$
Desvio padrão	$5,11. 10^{-8}$

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

De acordo com Lambe e Whitman (1974) o valor médio de permeabilidade encontrado é considerado baixo. A dificuldade da água passar pelos poros desse solo com predominância de argila, faz com que o coeficiente de permeabilidade se reduza.

O coeficiente de permeabilidade, está diretamente ligado aos índices físicos do solo, sendo que os tamanhos das partículas e o índice de vazios são proporcionais ao

coeficiente de permeabilidade (PINTO, 2006). Nesse trabalho o índice de vazios foi de 1,12, podendo sofrer uma variação de 0,5 até 3 segundo o autor.

No quadro 3 são apresentados os resultados das medições com percolação de óleo diesel no solo. Esses ensaios foram realizados em dias com temperaturas mais baixas do que as realizadas com água, obteve-se uma média na ordem de 10^{-8} (m/s). Para Caputo (1988) a temperatura influencia na passagem do fluido pelas partículas do solo, com o aumento da temperatura ocorrerá, uma diminuição da viscosidade resultando em um coeficiente de permeabilidade maior, isso também ocorre em sentido inverso.

Quadro 3 - Medições realizadas com óleo diesel.

Amostragem	Δh (cm)	Tempo (s)	K (m/s)
1	0,11	3240	$3,26. 10^{-8}$
2	0,06	1620	$3,74. 10^{-8}$
3	0,04	1380	$3,02. 10^{-8}$
4	0,07	1440	$5,25. 10^{-8}$
5	0,11	3600	$3,51. 10^{-8}$
6	0,11	2640	$4,00. 10^{-8}$
7	0,06	1200	$5,05. 10^{-8}$
8	0,07	1560	$4,85. 10^{-8}$
9	0,07	1560	$4,85. 10^{-8}$
10	0,04	1620	$2,57. 10^{-8}$
11	0,07	2100	$3,60. 10^{-8}$
12	0,11	2280	$4,63. 10^{-8}$
13	0,06	1080	$5,61. 10^{-8}$
14	0,04	1080	$3,86. 10^{-8}$

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

A partir dos valores encontrados para as medições, calculou-se a média do coeficiente de permeabilidade e o desvio padrão, que estão apresentados no quadro 4.

Quadro 4 – Parâmetros obtidos com percolação de óleo diesel.

Parâmetros	Resultados
Média	$4,13. 10^{-8}$
Desvio padrão	$9,16. 10^{-9}$

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

A percolação de água e óleo diesel no solo, apresentou uma variação no coeficiente de permeabilidade na ordem de 10^{-7} para 10^{-8} m/s, sendo que a utilização de óleo diesel, nesse caso, teve um valor mais baixa do que a água, isso pode ser

ocasionado pela viscosidade do fluido percolado, pois o coeficiente de permeabilidade diminui em função da viscosidade ser maior (CAPUTO,1988). Estando de acordo com o estudo realizado por Cardoso (2011), em que o aumento da viscosidade do óleo diesel ocasionou uma redução no coeficiente de permeabilidade no solo.

O quadro 5 apresenta uma comparação dos coeficientes de permeabilidade para solo contaminado e natural obtidos para esse trabalho e outros autores.

Quadro 5 – Coeficiente de permeabilidade referente a diferentes autores.

Autor	K natural	K contaminado	K compactado sem contaminante	K compactado com contaminante
Farina.D	-	-	$1,11. 10^{-7}$	$4,13. 10^{-8}$
Tortelli.L	$7,38. 10^{-7}$	$3,18. 10^{-7}$	-	-
Morais, M.de. et al.	-	-	$7,0.10^{-7}$	-
Longo. A.E.D.V	-	-	$3,17. 10^{-8}$	-
Pinheiro.R.J.B	$3,3. 10^{-7}$	-	-	-
Diemer, F. et al.	$1. 10^{-7}$	-	$1. 10^{-9}$	-
Diemer, F. et al.	$7,7. 10^{-7}$	$5,9. 10^{-8}$	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Nesse trabalho, foi realizada medição do coeficiente de permeabilidade, para um solo predominantemente argiloso em condições compactadas sem contaminante e com a presença de óleo diesel. Para o (k) com a adição apenas água obteve-se um (k) de $1,11. 10^{-7}$ m/s, para a percolação com óleo diesel com solo compactado o (k) obtido foi de $4,13. 10^{-8}$ m/s.

Em comparação com os demais autores, pode-se notar que ocorre uma variação na ordem de 10^{-7} para 10^{-8} (m/s), em comparação com solos nas mesmas condições de compactação e percolação. Este fato deve-se a semelhanças na composição dos solos. As frações granulométricas interferem diretamente na percolação.

Em comparação ao estudo realizado por Tortelli (2016), para um solo residual basáltico com resultados apresentados no quadro 4, pode-se dizer que a diferença está relacionada com as condições em que o solo se apresentava, no trabalho do autor, o solo estava em seu estado natural, já nesse trabalho o solo estava em condições compactadas.

Quando confrontado os valores desse trabalho com o de outros autores, observa-se: na percolação com água não houveram variações significativas, por outro lado, na percolação com óleo diesel, ocorreu uma permeabilidade menor. Constata-se que para

este solo, sobre essas condições, a técnica de compactação com proctor normal, foi insuficiente para produzir uma melhoria significativa na permeabilidade na percolação com água, de outra forma, para percolação com óleo produziu efeitos mais significativos na permeabilidade.

6 CONCLUSÕES

O trabalho realizado teve como objetivo principal a obtenção do coeficiente de permeabilidade no solo através de permeâmetro com carga variável, para percolação com água e óleo e a respectiva caracterização deste material. Da mesma forma, foram confrontados os dados obtidos com os dados obtidos por outros autores. Os ensaios experimentais propostos foram realizados satisfatoriamente.

A caracterização física do solo residual de basalto em estudo, apresentou os seguintes resultados para as propriedades geotécnicas: teor de umidade 27,82% (compactado), peso específico natural de 16,80 kN/m³, peso específico saturado de 18,40 kN/m³, índice de vazios de 1,12. Além disso, na granulometria obteve-se os seguintes resultados: argila 70,65%, silte 21,27%, classificando-se como argilo-siltoso.

Determinou-se os limites de Atterberg para o solo, obtendo-se Limite de Liquidez 58%, Limite de Plasticidade 38%, Índice de Plasticidade 20% e Índice de Atividade 0,1 considerada como não elevado. Analisando os limites de Atterberg, encontrados no estudo pode-se classificá-lo pelo SUCS (Sistema Unificado de Classificação dos Solos) denominando-o MH, com alta compressibilidade e baixa plasticidade. O coeficiente de permeabilidade médio encontrado para água no solo em condições compactadas foi de $1,11 \cdot 10^{-7}$ m/s para uma temperatura média de 20°C, e o resultado para o coeficiente de permeabilidade utilizando óleo diesel como percolante, foi $4,08 \cdot 10^{-8}$ m/s em temperatura de 16°C, classificando a permeabilidade de ambos como sendo baixa, isso deve-se a predominância das partículas argilo-siltosas na matriz do solo em estudo.

Em comparação do coeficiente de permeabilidade para este tipo de solo com outros autores, obteve-se valores de permeabilidade diferentes para percolação com água e também para óleo diesel. Isso ocorreu em virtude do solo ter sido compactado neste estudo. Outro fator que pode ter ocasionado essa variação é a viscosidade do fluido em relação a temperatura no momento das medições.

A partir disso, pode-se verificar que a compactação nesse caso não proporcionou melhorias significativas no coeficiente de permeabilidade para que esse solo seja utilizado como barreira impermeável.

7 REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 093:1994. Solo - determinação da densidade real do solo.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14545:2000. Solo - determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 248:2003. Solo - determinação da composição granulométrica.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6459:1984. Solo - determinação do limite de liquidez.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7180:1984. Solo – determinação do limite de plasticidade.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7182:1984. Solo- Ensaio de Compactação.
- BAPTISTA, S. J. **Avaliação do Emprego de Biosurfactante na Biorremediação de Solos Contaminados com Óleo Diesel**. Tese de Dissertação, EQ/UFRJ. Rio de Janeiro, RJ, 141p. 2007.
- BERNARDI, J. **Caracterização de jazidas de solo residual de basalto visando seu emprego em barragens de terra**. Trabalho de conclusão de Curso (Curso de Engenharia Civil). Unijuí. Ijuí/RS, 2006.
- BIGARELLA, J. J.; LEPREVOST, A.; BOLSANELLO. **Rochas do Brasil**. São Paulo, v.01, p.310, 1985.
- BISHOP, A. W. **Shear strength parameters for undisturbed and remoulded soils specimens**. In **Stress-strain behaviour of soils**, pp.3-58 (ed.R. H. G. Parry). London. 1972.
- BOEHL, P. E. G. **Apostila de Mecânica dos Solos**. Erechim/RS, 2017.
- BOEHL, P. E. G. **Algumas observações sobre as propriedades geotécnicas de solos estruturados derivados de granito da Grande Florianópolis**. 2011 Dissertação (Mestrado) - Programa de PósGraduação em Engenharia Civil – PPGEC, Florianópolis, SC, 2011.
- BOSCOV M. E. G. **Geotecnia Ambiental**. São Paulo: Oficina do Texto, 2008.
- CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações: fundamentos**. 6^a ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1988, v. 1, 234 p.
- CAPUTO, H. P. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações**. Rio de Janeiro: LTC, 6^a edição, 1996.

CARDOSO, L. da S. **Estudo do transporte de poluente imiscíveis em solos**. 2011. 152 f. Tese (Doutorado) Engenharia e Ambiente da Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2011.

CARVALHO, Z. da S. et al. **Barreiras minerais de solo compactado: comparação da permeabilidade em campo e em laboratório, para diferentes tipos de fluidos**. In: XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Belo Horizonte, Minas Gerais. p.19-22.2016

CETESB (2010) - **Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental**. Secretaria do estado do Meio Ambiente. São Paulo. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 05 de mai. 2016.

CHIOSSI, N. J. **Geologia de Engenharia**. 3. ed. São Paulo: oficina de textos, 2013.

DANIEL, D.E. State-of-the-art: Laboratory hydraulic conductivity tests for saturated soils. **Hydraulic conductivity and waste contaminant transport in soil**. Philadelphia. ASTM STP 1142, ASTM, 1994. p. 30-78. 1994.

DIEMER, F. et al. **Estudo da permeabilidade do solo da região de Ijuí-RS percolando água e óleo diesel**. Porto Alegre/RS, n.16, p.29-41, 2010.

DIEMER, F. et al. **Propriedades geotécnicas do solo residual de basalto da região de Ijuí/RS. Teoria e Prática na Engenharia Civil**. Rio Grande/RS, v. 8, n. 12, p.25-36, out. 2008

FETTER, C.W. **Contaminant Hydrogeology**. Prentice-Hall, New Jersey, USA, p. 458. 1993.

GRAIG, R. F. Percolação: permeabilidade. In: _____. **Mecânica dos solos**. Trad. sob direção de Amir Kurban. Rio de Janeiro: LTC, ed.7, 2004, p. 25-31.

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

LONGO, A. E. D. V. **Ensaio para determinação do coeficiente de permeabilidade de solos**. Lages, Santa Catarina. 2016.

KNOP, A. **Encapsulamento de Solos Contaminados por Hidrocarbonetos**. Dissertação (Mestrado Engenharia) – PPGEC/UFRGS, Porto Alegre. 80p. 2003.

MARIANO, A.P. **Avaliação do potencial de biorremediação de solos e de águas subterrâneas contaminados com óleo diesel**. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente). Universidade Estadual Paulista. Rio Claro/SP. 162 f. 2006.

MENEGHETTI, L. R. R. **Bioremediação na descontaminação de solo residual de basalto contaminado com óleo diesel e biodiesel**. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia) – Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo. 113 f. 2007.

MORAIS, M de.et al. **Compactação e permeabilidade do solo da área experimental da UFFS – Campus Chapecó**. In: VI Jornada de Iniciação Científica e Tecnológica, Chapecó, Santa Catarina, 2016. Disponível em: <https://periodicos.uffs.edu.br/index.php/JORNADA/article/view/3465>. Acesso: 21 set 2017.

NOGUEIRA, J.B. **Mecânica dos solos**. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos-USP, 1988,197p., Pub. 036/88.

PEREIRA, C.A. et al. Avaliação da potencialidade de processos pseudo-fenton para remediação de solos contaminados por diesel. Rio de Janeiro/RJ, v.32, No.8, p.2200-2202, 2009.

PINHEIRO, R. J. B. Determinação da condutividade hidráulica das principais unidades geológico-geotécnicas de Santa Maria-RS. **Geociências**. UNESP. São Paulo, v.36, n.2, p.347-363,2017.

PINTO, J dos S. **Estudo da condutividade hidráulica de solos para disposição de resíduos sólidos na região de Santa Maria**. 2005. 154 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

PINTO. C. de S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

ROWE, R.K. Contaminant migration through groundwater. The role of modeling in the design of barriers. **Canadian Geotechnical Journal**. p. 778-798. 1988.

SERRANO, A. GALLEGRO, M. GONZÁLEZ, J.L. Assessment of natural attenuation of volatile aromatic hydrocarbons in agricultural soil contaminated with diesel fuel. **Environmental Pollution**. p.203 – 209. 2006.

STREHL, M. J. **Avaliação das propriedades geotécnicas de um solo do campus Erechim-RS através dos ensaios de compactação tipo Proctor**. 2016. 47 f. Erechim, RS. 2016.

TIBURTIUS,E.R.L., PERALTA-ZAMORA, P.P, LEAL, E.S **Contaminação de águas por BTXS e processos utilizados na remediação de sítios contaminados**. **Quim. Nova**, v. 27, n.3, p. 441-446, 2004.

TORTELLI, L. **Caracterização física de um solo residual basáltico e determinação do coeficiente de permeabilidade utilizando água e óleo diesel**. Erechim, RS. 41 f. 2016.

VARGAS, M. **Introdução à mecânica dos Solos**. Mcgraw-Hill do Brasil, Ed. Da Universidade de São Paulo. São Paulo.p.509. 1977.