

INFLUÊNCIA DA UMIDADE DE COMPACTAÇÃO NA PERMEABILIDADE DE UM SOLO COLUVIONAR DE BASALTO

João Alexandre Paschoalin Filho*, David de Carvalho**

RESUMO

A compactação poderá assumir diferentes papéis dependendo da utilização do solo. Para a execução de obras de terra, a boa compactação assume importante papel na estabilidade destas construções. Com o intuito de se estudar a permeabilidade, quando compactado em diferentes umidades, de um solo coluvionar de basalto, também classificado como um Latossolo Vermelho Distrófico Típico foi conduzido um programa de ensaios laboratoriais em amostras coletadas no Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp. Este solo se enquadra na unidade de mapeamento de Barão Geraldo e tem ocorrência em outros locais do Estado de São Paulo e do Brasil. Os corpos de prova foram compactados na umidade ótima e 4% abaixo e 4% acima desse valor. Inicialmente caracterizou-se o solo através de sua distribuição granulométrica, limites de consistência e índices físicos, para logo após serem conduzidos ensaios de permeabilidade à carga variável. Também foram confeccionadas lâminas para análise micromorfológica e realizados ensaios de difração de raios-X, além de ensaios de permeabilidade em campo, executados em furos de sondagem conforme recomendações da ABGE (1996) – “Ensaio de permeabilidade em solos”. Com os resultados obtidos pôde-se analisar a influência da umidade de compactação nos parâmetros de permeabilidade e índices físicos deste solo.

Palavras chaves: Compactação de Solos, Coluvião, Permeabilidade.

ABSTRACT

Compaction can assume different roles depending on the soil use. For the execution of earth works, good compaction plays an important role to stabilise constructions. Thus, aiming to study the behaviour of a typical Dystrophic Red Latosol when compacted at different moisture contents, there were conducted laboratory tests on samples collected at the Experimental Field for Soil Mechanics Studies situated at Agricultural Engineering Faculty of Unicamp. This soil fits the mapping unit of Barão Gerardo and has occurred elsewhere in the state of São Paulo and in other regions in Brazil. The specimens were compacted at it's optimum moisture content and at 4 % below and at 4 % above such value. In the compacted specimen and in the natural soil specimen, obtained from undisturbed sample, permeability tests were performed. Initially, the soil was characterised by it's grain size distribution, consistency and physical indices in natural state. Slides were prepared for micromorphological analysis and X-ray diffraction was also performed. There were also performed permeability field tests carried out in boreholes as recommend by ABGE (1996). With the obtained parameters, was possible to conclude how compaction moisture content influences the resistance parameters, permeability, and physical indices of such soil.

Keywords: Soil compaction; colluvium; Permeability

* Professor Doutor da Universidade Nove de Julho/SP – Uninove. Unidade Barra Funda, São Paulo (SP). Av. Dr. Adolpho Pinto 109. CEP 01156-050. Consultor de Geotecnia – Moretti Engenharia Consultiva. E-mail: jalexandre@uninove.br; joao@morettiengenharia.com.br

** Professor Doutor da Universidade Estadual de Campinas/SP – Unicamp. Faculdade de Engenharia Agrícola, Campus Zeferino Vaz, Campinas. Avenida Cândido Rondon 501. CEP 13083-875. E-mail: d33c@uol.com.br

1- INTRODUÇÃO

A compactação consiste na redução do índice de vazios do solo por meio da aplicação de uma energia dinâmica. Esta operação apresenta grandes vantagens em se tratando de obras de terra. Por meio da execução da compactação de campo, promovida por equipamentos adequados, o solo utilizado na construção de um aterro tem sua característica de resistência ao cisalhamento aumentada, e suas características de permeabilidade e deformabilidade reduzidas, o que são de interesse da obra. Paschoalin Filho (2002).

Esta pesquisa apresenta um estudo a respeito da variação das características de permeabilidade e índices físicos, em função da umidade em que foi compactado, de um solo resultante da intemperização de diabásio afetado por retrabalhamento local. São obtidos e analisados os coeficientes de permeabilidade do solo, tanto em seu estado natural quanto em seu estado compactado. Ressalta-se que solos semelhantes ao estudado por esta pesquisa recobrem aproximadamente 14% da área de Campinas e outras áreas do Estado de São Paulo e Sul do Brasil. Ressalta-se que este material é comumente utilizado nestas regiões como material de construção de aterros de barragens e rodoviários.

As amostras para realização dos ensaios foram coletadas em uma camada de solo homogêneo localizada no Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp, no distrito de Barão Geraldo, Campinas/SP. Neste local, o solo mantém com certa uniformidade suas características granulométricas, de plasticidade e de índices físicos até cerca de 6m de profundidade.

2- MATERIAIS E MÉTODOS

As seguintes atividades e metodologias foram desenvolvidas e aplicadas para o desenvolvimento desta pesquisa:

2.1 Caracterização do local de coleta das amostras

Caracterizou-se a área de onde foram coletadas as amostras em termos de posição geográfica, formação geológica e caracterização pedológica.

2.2 Coletas de amostras

Para a condução dos ensaios laboratoriais foram coletadas amostras indeformadas por meio da extração de blocos monolíticos de solo com dimensões de 0,3 x 0,3 x 0,3m de acordo com as recomendações da NBR 9604/1986. Também foram obtidas amostras deformadas de solo que foram imediatamente acondicionadas em sacos plásticos após a coleta como intuito de se manter inalterada sua umidade natural. Após a coleta as amostras foram preparadas de acordo com as recomendações apresentadas na NBR 6457/1986.

2.3 Ensaios de caracterização

Para as amostras indeformadas foram determinados seguintes índices físicos: peso específico natural (ρ_{nat}); teor de umidade natural (w_{nat} = massa de água/massa seca); peso específico aparente seco (ρ_d = massa seca/volume total); índice de vazios (e); porosidade (n) e grau de saturação (S_r).

A partir das amostras deformadas foram realizados os seguintes ensaios, seguindo-se os procedimentos recomendados por norma específica: análise granulométrica (NBR 7181/1984); limite de liquidez (NBR 6459/1984); limite de plasticidade (NBR 7180/1988); peso específico dos sólidos (ASTM D 854-10) e ensaio de compactação (NBR 7182/1986).

Os ensaios de compactação foram realizados com as menores energias de compactação previstas pela Norma: Cilíndrico metálico com massa de 2500 gramas, altura de queda de 305mm, compactando o solo em três camadas dentro de um cilindro de volume igual a 1000cm³ por meio da aplicação de 26 golpes em cada camada. Este ensaio é conhecido no meio técnico como ensaio Proctor Normal e dele se obtêm, para a massa específica aparente seca máxima ($\rho_{d_{máx}}$) a umidade correspondente, denominada umidade ótima ($w_{ótima}$).

Foram também conduzidos ensaios de difração de raios-X e confeccionadas lâminas para análises micromorfológicas do solo em estudo.

2.4 Corpos de Prova

Para a condução dos ensaios laboratoriais de permeabilidade foram utilizados corpos de prova talhados a partir dos blocos de amostras indeformadas obtidas em campo e corpos de prova moldados em laboratório utilizando-se amostras deformadas compactadas na umidade ótima e num intervalo de $\pm 4\%$ a partir desta. Este procedimento teve como intuito estudar a variação dos parâmetros físicos do solo com a umidade de compactação e também comparar estes valores com os obtidos para o solo em seu estado natural. A tabela seguinte apresenta a quantidade de corpos de prova utilizados para esta pesquisa.

Tabela 2.1 – Quantidade de corpos de prova utilizados.

Ensaio	-4% $w_{ótima}$	4% $w_{ótima}$	+4% $w_{ótima}$	Indeformada	Total
Permeabilidade à carga variável	5	5	5	5	20

2.5 Ensaios de permeabilidade em laboratório

Foram conduzidos em laboratório ensaios de permeabilidade a carga variável de acordo com as recomendações da NBR 14545/2000. O coeficiente de permeabilidade foi determinado considerando-se uma temperatura padrão da água de 20° (k_{20}). Com os valores encontrados verificou-se o valor do coeficiente de permeabilidade do solo em seu estado natural e o efeito da compactação neste coeficiente. Os coeficientes de permeabilidade foram obtidos, em laboratório, nas direções de fluxo vertical e horizontal. Este procedimento teve como intuito observar a variação deste parâmetro com a direção do fluxo, o que ocorre no interior de barragens de terra em função da laminação formada pela sobreposição das camadas de solo compactado.

Após a obtenção dos coeficientes de permeabilidade nas direções de fluxo horizontal e vertical foram calculados os coeficientes de permeabilidade equivalente por meio da equação a seguir apresentada em Cruz (1996).

$$k' = \sqrt{k_h * k_v}$$

Ressalta-se que este parâmetro é largamente utilizado em análises de estabilidade de taludes de barragens de terra e de estudos de fluxo nestas obras, sendo este parâmetro fundamental para cálculos de filtros e drenos.

2.6 Ensaios de permeabilidade em campo

Foram realizados ensaios de permeabilidade em sondagens de simples reconhecimento (SPT), seguindo as recomendações de ABGE (1996). Os ensaios foram realizados nas seguintes profundidades: 2,0m, 4,30m e a 7,0m.

2.7 Ensaios penetrométricos

Na área do Campo Experimental, com cerca de 400m², foram realizadas 5 sondagens de simples reconhecimento tipo SPT (*Standard Penetration Test*), de acordo com as recomendações da NBR 6484 – “*Execução de sondagens de simples reconhecimento dos solos*” e cinco ensaios de penetração estática CPT (*Cone Penetration Test*), utilizando-se cone elétrico e seguindo-se as recomendações relatadas na ABNT: MB 3406 – “*Ensaio de Penetração de Cone In Situ*” (CPT) – Método de Ensaio.

3- RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização da área de coleta das amostras

As amostradas de solo ensaiadas foram coletadas no Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, que se localiza na porção Centro-Leste do Estado de São Paulo, no Planalto Atlântico. Sua posição geográfica é determinada pelas coordenadas 22°53'22" de Latitude Sul e 47°04'39" de Longitude.

Quanto à Geologia, na região ocorre a presença de rochas intrusivas básicas da formação Serra Geral. A litologia predominante é o diabásio, mineralogicamente composto por labradorita, clinopiroxênio augita e/ou pigeonita, e acessórios de titanita, magnetita e apatita. Há também grande ocorrência de magmáticos básicos na parte norte da região de Campinas, perfazendo 98 km² e ocupando 14% área total da folha Campinas. Segundo Albuquerque (1996), os corpos de diabásio também são encontrados encaixados na Formação Itararé e no Complexo Cristalino, sob formas de *sills* e diques. Nos afloramentos, é possível verificar as fraturas do diabásio, formando blocos pequenos.

O subsolo do Campo Experimental é constituído por uma espessa camada de solo não saturado, encontrando-se o nível do lençol freático a cerca de 18m de profundidade. O leito rochoso não é verificado até uma profundidade de 40m. Paschoalin Filho (2002)

Os ensaios de difração de raios-X realizados em amostras obtidas a 0,5m de profundidade indicaram que os principais minerais presentes no solo são a caulinita e a gibbsita, havendo quantidades muito pequenas de minerais 2:1 interestratificados (vermiculita com inter camada de alumínio). Em amostras obtidas a 2,75m de profundidade os resultados foram os mesmos, mas com menos indícios de interestratificados. Em amostras obtidas a 6,0m de profundidade os ensaios indicaram a manutenção da caulinita, a pequena presença de illita e a ínfima presença de gibbsita.

As análises micromorfológicas através das lâminas confeccionadas com solo obtido a 0,5m de profundidade indicaram a presença de áreas distintas formadas por galerias de origem animal e vegetal, sendo seu interior preenchido por microagregados com formas arredondadas e subarredondadas, possuindo uma alta porosidade. O material nas galerias tem agregados bem delimitados e individualizados. A porcentagem apresentada de poro, esqueleto (areia e silte) e plasma (partículas dos tamanhos ou menores que os minerais de argila), no pedotúbulo é de 55%, 15% e 30% respectivamente. A maioria do esqueleto é do tamanho de silte, areia fina e média, com poucos quartzos de tamanhos grandes. A forma dos esqueletos menores é subangular. A porosidade é do tipo intergranular ou de empilhamento do tipo complexo com poros de tamanhos

médios. As análises de lâminas confeccionadas com solo obtido a 4,75m de profundidade indicaram uma massa contínua de plasma, com microagregados, com pouca distinção de seus contornos, sendo que muitas vezes estão unidos, formando agregados de tamanhos maiores, mas com alguma porosidade em seu interior. Suas formas são arredondadas e subarredondadas. Predominam esqueletos de silte e areia fina, tendo sido encontrado apenas um quartzo de tamanho maior que 1mm. Os poros são de tamanhos médios e do tipo intergranular complexo.

3.2 Características do subsolo local

No local de estudo encontra-se uma camada de colúvel com 6m de espessura. Os valores de índices físicos obtidos a cada metro de profundidade para o solo em seu estado natural, até o fim desta camada de solo homogênea são apresentados nas tabelas 3.1 e 3.2, onde se pode observar a alta porosidade em toda a camada. O teor de umidade do solo (massa de água / massa seca) foi obtido mensalmente ao longo do período de 12 meses e indicou valores variando de 22% a 28%.

Tabela 3.1. Índices Físicos obtidos para o local.

Profundidade (m)	ρ_{nat} (kN/m ³)	ρ_s (kN/m ³)	w (%)	e	n (%)	Sr (%)
1	13,4	29,7	24,3	1,77	64	40,8
2	13	29,1	23,4	1,76	64	38,7
3	13	29,5	22,8	1,79	64	37,6
4	13	30,1	23,7	1,86	65	38,4
5	13,3	30	24,2	1,75	63	45,0
6	15,4	30,1	24,6	1,44	59	51,4
Valor médio	13,52	29,75	23,83	1,73	0,63	41,98
Desvio padrão	0,94	0,40	0,67	0,15	0,02	5,33
Cv (%)	6,95	1,34	2,79	8,48	3,37	12,69

Onde: ρ_{nat} =peso específico natural; ρ_s =peso específico dos grãos; w=umidade natural; e=índice de vazios; n=porosidade; Sr=grau de saturação, Cv=coeficiente de variação.

Tabela 3.2. Granulometria e Limites de Liquidez e Plasticidade do solo.

Profundidade (m)	Granulometria			Limites de consistência		
	Argila (%)	Areia (%)	Silte (%)	Limite de Liquidez (%)	Limite de Plasticidade (%)	Índice de Plasticidade (%)
1	63	27	10	52	35	17
2	65	25	10	52	38	14
3	67	26	7	51	36	15
4	61	26	13	52	37	15
5	60	26	14	49	37	12
6	44	34	22	58	41	17
Valor médio	60	27,3	12,7	52,3	37,3	60,0

Desvio padrão	8,2	3,3	5,2	3,0	2,1	8,2
Cv (%)	13,7	12,2	41,1	5,8	5,5	13,7

Observando-se as tabelas 3.1 e 3.2 pode-se perceber que a camada coluvionar em estudo apresenta boa homogeneidade em relação aos parâmetros obtidos. Os altos valores de porosidade indicam a facilidade de drenagem do solo e a facilidade de ser compactado por tráfego de máquinas sobre ele. A distribuição granulométrica e os limites de liquidez e plasticidade indicam um solo predominantemente argiloso; tais solos apresentam grande redução de permeabilidade quando compactados. A alta porosidade observada nesta camada superficial também indica a possibilidade de deformações das bases de construções implantadas sobrejacentes a este, ao mesmo tempo em que indica a possibilidade de alta percolação de água, no caso de construção de barragens.

3.3 Ensaios de Compactação

Os valores médios de umidade ótima ($w_{ótima}$) e peso específico aparente seco máximo ($\rho_{d_{máx}}$), determinados por meio de 10 ensaios de compactação, foram de 28% e 15,3 kN/m³ respectivamente. Apresenta-se na Figura 3.1 a curva de compactação referente à umidade ótima de 28%.

Estes valores se mantiveram dentro de uma faixa de valores médios esperados para solos argilosos de uma maneira geral. Sousa Pinto (2000) comenta que os valores médios para solos argilosos, tanto para umidade ótima, quanto para seu peso específico aparente seco máximo, situam-se entre 25 e 30% e 14 e 15kN/m³ respectivamente.

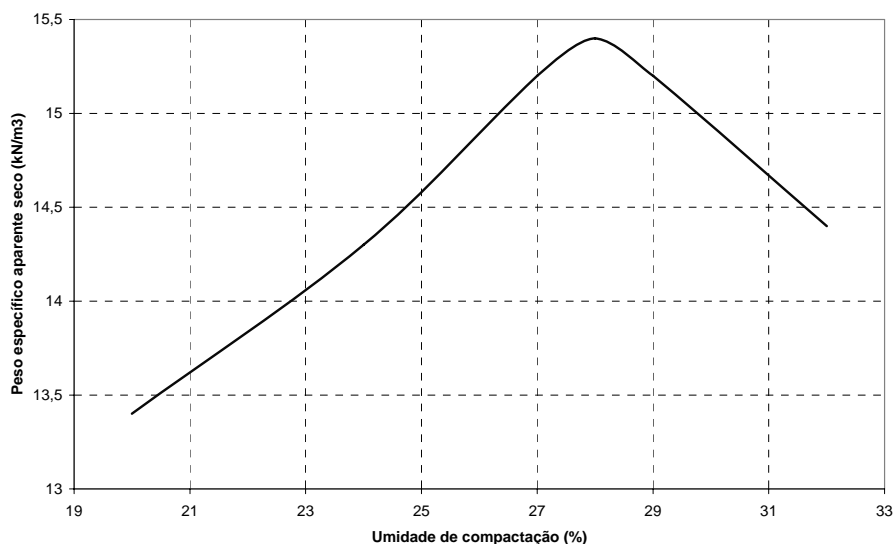


Figura 3.1. Curva de compactação obtida

São apresentados na tabela 3.3 os valores de índices físicos obtidos para os corpos de prova compactados nas umidades de 24% (-4% $w_{ótima}$), 28% ($w_{ótima}$) e 32% (+4% $w_{ótima}$).

Tabela 3.3. Índices físicos obtidos para o solo em seu estado compactado.

Umidade de compactação	ρ_{nat} (kN/m ³)	ρ_d (kN/m ³)	ρ_{sat} (kN/m ³)	e	n (%)	Sr (%)
24% (-4% $W_{ótima}$)	17,6	14,2	19,5	1,1	52	65
28% ($W_{ótima}$)	19,6	15,3	20,2	0,9	47	87
32% (+4% $W_{ótima}$)	18,9	14,3	19,6	1,1	52	88

Onde: w = teor de umidade; ρ_{nat} = massa específica natural; ρ_d = massa específica aparente seca máxima; ρ_{sat} = massa específica do solo saturado; e = índice de vazios; S_r = grau de saturação natural.

Observando-se os valores da tabela 3.3, ao se comparar o solo em seu estado natural com o compactado na umidade ótima, pode-se notar que houve uma redução de 25% em relação a sua porosidade e um aumento de 45% em relação ao seu peso específico natural. Pode-se perceber, como é esperado, que o solo compactado na umidade ótima foi o que apresentou, dentre as demais umidades de compactação estudadas, os maiores valores de peso específico natural (ρ_{nat}), peso específico aparente seco (ρ_d) e peso específico do solo saturado (ρ_{sat}). Nessa umidade o solo apresentou também menor valor de índice de vazios (e) e menor valor de porosidade. O ponto situado na umidade ótima corresponde ao melhor arranjo estrutural do solo, apresentando dessa forma baixos valores de índice de vazios e conseqüentemente maior densidade.

Ao ser incrementada uma quantidade de água no solo para que ele fique acima de sua umidade ótima, a sua estrutura passa gradualmente de floculada para dispersa. Tal aumento nos teores de umidade provoca forças de repulsão entre os argilo-minerais do solo, ocasionando uma menor densidade deste quando compactado. Solos compactados abaixo da umidade ótima apresentam estruturas denominadas floculadas, e a atração entre as faces e as arestas dos argilo-minerais não são vencidas pela aplicação da energia de compactação.

3.4 Ensaios de Permeabilidade

São apresentados nas tabelas 3.4 e 3.5 os coeficientes de permeabilidade médios obtidos por meio dos ensaios conduzidos.

Tabela 3.4. Parâmetros obtidos no ensaio de permeabilidade.

Amostra	k_{20} vertical (cm/s)	k_{20} horizontal (cm/s)	k_{20} equivalente (cm/s)	kh/kv
24% (-4% $W_{ótima}$)	$5,6 \times 10^{-6}$	$5,0 \times 10^{-5}$	$1,67 \times 10^{-5}$	8,9
28% ($W_{ótima}$)	$5,15 \times 10^{-7}$	$4,6 \times 10^{-6}$	$1,54 \times 10^{-6}$	8,9
32% (+4% $W_{ótima}$)	$6,41 \times 10^{-7}$	$5,5 \times 10^{-6}$	$1,84 \times 10^{-6}$	8,6
Indeformada	$4,04 \times 10^{-4}$	$4,52 \times 10^{-4}$	$4,27 \times 10^{-4}$	1,12

Tabela 3.5. Parâmetros obtidos no ensaio de permeabilidade executado “in situ”

Ensaio	k_{20} vertical (cm/s)
Ensaio <i>In situ</i> (Profundidade 2,0m)	$5,10 \times 10^{-4}$
Ensaio <i>In situ</i> (Profundidade 4.3 m)	$2,27 \times 10^{-4}$
Ensaio <i>In situ</i> (Profundidade 7,0 m)	$2,06 \times 10^{-5}$

O efeito da estrutura do solo compactado é bem evidenciado pelos resultados dos ensaios de permeabilidade expostos na tabela 3.4.

A amostra compactada na umidade correspondente a 4% abaixo da ótima apresentou maiores valores de coeficiente de permeabilidade. Apesar dos valores de índice de vazios deste serem bem próximos dos índices de vazios da amostra compactada 4% acima da umidade ótima, estes possuem estruturas diferentes, sendo a estrutura floculada, correspondente ao ramo seco da curva de compactação, a que proporciona maior facilidade para a percolação de água comparando-se com a estrutura dispersa, pertencente ao ramo úmido da curva. O ponto equivalente à umidade ótima foi o que apresentou menor valor de permeabilidade. A redução da permeabilidade causada pela compactação torna-se essencial ao se considerar a utilização do solo em estudo como material de construção de barragens de terra. Em relação aos valores de permeabilidade determinados “in situ” pode-se perceber que o coeficiente sofreu uma redução de aproximadamente 60% em função da profundidade.

3.5 Ensaio penetrométricos

São apresentados na tabela 3.6 os valores médios de Índice de Resistência à Penetração (N_{SPT}) obtidos das sondagens de simples reconhecimento tipo SPT, juntamente com os valores de resistência de ponta (q_c) e atrito lateral (f_s) obtidos dos ensaios de penetração estática com o cone elétrico (CPT).

Tabela 3.6. Parâmetros médios obtidos nos ensaios penetrométricos.

Profundidade (m)	N_{SPT} (golpes/30cm)	q_c (MPa)	f_s (MPa)
1	3	2,12	0,02
2	2	0,47	0,02
3	4	0,52	0,02
4	5	2,56	0,04
5	6	1,94	0,09
6	4	2,38	0,04

N_{SPT} = Índice de Resistência à Penetração do ensaio SPT; **q_c** = resistência de ponta do ensaio CPT ; **f_s** = atrito lateral do ensaio CPT

O ensaio SPT constitui em uma medida de resistência dinâmica conjugada a uma sondagem de simples reconhecimento. A perfuração é realizada por tradoagem e circulação de água utilizando-se um trépano de lavagem como ferramenta de escavação. Amostras representativas do solo são coletadas a cada metro de profundidade por meio de um amostrador-padrão, de diâmetro de 65kg, caindo em queda livre a uma altura de 750mm. O valor de N_{SPT} consiste no número de golpes para fazer um amostrador padronizado 300mm, após sua cravação inicial de 150mm. Schnaid (2000). Por meio da tabela 3.5 pode-se observar que os valores de N_{SPT} apresentaram tendência de incremento com a profundidade.

Em relação aos parâmetros obtidos pelo ensaio de CPT, pode-se notar o incremento nos valores de resistência de ponta (q_c) e atrito lateral (f_s) em profundidade.

4 CONCLUSÕES

Com base no exposto neste trabalho podem-se tecer as seguintes conclusões:

- A umidade de compactação influencia a magnitude dos parâmetros estudados. Os dados obtidos indicam a importância de um efetivo controle de compactação na obra, pois mesmo pequenas variações do teor de umidade em relação à umidade ótima de compactação podem afetar significativamente os valores de projeto esperados.
- Os ensaios de permeabilidade à carga variável executados nas direções de fluxo horizontal e vertical permitiram verificar a influência da anisotropia no comportamento do fluxo de água que poderá ocorrer no interior de um aterro compactado.
- O solo natural apresenta-se bastante permeável até alguns metros de profundidade o que possibilita a grande perda de água em reservatórios construídos sobre eles. Sendo assim é recomendável a construção de tapetes impermeáveis quando da construção de barragens.
- Quando compactado o solo possui coeficiente de permeabilidade da ordem de 10^{-7} cm/s indicando a possibilidade deste solo ser utilizado na construção de aterros e tapetes impermeáveis de barragens.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, P.J.R. *Análise do comportamento de estacas pré-moldadas de pequeno diâmetro, instrumentada em solo residual de diabásio da região de Campinas*. 1996. 170p Dissertação (mestrado). Dep. de Construções Rurais da Faculdade de Engenharia Agrícola. UNICAMP. Campinas.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL – ABGE. “Ensaio de Permeabilidade em Solos”. 1996. São Paulo, 35p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. NBR6459: “Solo-Determinação do Limite de Liquidez”, 1984, Rio de Janeiro, 6p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. NBR9604: “Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas - Procedimento”, 1986, Rio de Janeiro, 9p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. NBR6484: “Execução de sondagem de simples reconhecimento de solos”, 1980, Rio de Janeiro, 8p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. NBR 6457: “Amostras de solo-Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização”, 1986, Rio de Janeiro, 9p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. NBR7182: “Solo-Ensaio de compactação”. Rio de Janeiro, 1986, 10p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT. NBR14545: “Solo-Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável”. Rio de Janeiro, 2000, 12p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7181: “Solo – Análise Granulométrica. Método de ensaio”, Rio de Janeiro, 1984. 15p

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT: MB 3406: “Ensaio de penetração de cone *in situ* (CPT) – Método de ensaio”, Rio de Janeiro, 1991.20p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7180: “Solo – Determinação do limite de plasticidade. Método de ensaio”, Rio de Janeiro, 1984. 3p.
- AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS – ASTM D854-10: “Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer.
- PASCHOALIN FILHO, J.A. *Utilização de solo residual de diabásio como elemento de fundação e material de construção de aterros compactados para barragens de pequeno porte. 2002. 192p* Dissertação (mestrado). Dep. de Construções Rurais da Faculdade de Engenharia Agrícola. UNICAMP. Campinas.
- SCHNAID, F., *Ensaio de campo*. 1ª ed. São Paulo, Ed Oficina de textos, 2000, 189p.
- SOUSA PINTO, C., *Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas*. 1ª ed. São Paulo, Ed Oficina de textos, 2000, 250p.