



Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: 2011 SIC - XIX Seminário de Iniciação Científica

ESTUDO DA ESTABILIZAÇÃO MECÂNICA DE SOLO RESIDUAL DE IJUÍ/RS – EFEITOS NA PERMEABILIDADE E RESISTÊNCIA¹

Geannina Terezinha dos Santos Lima², Tamile Antunes Kelm³, Natália Guterres Mensch⁴, Luciano Pivoto Specht⁵, Rinaldo Pinheiro⁶.

¹ Projeto de Pesquisa do Curso de Engenharia Civil da Unijui

² Graduanda, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI, Bolsista PET EGC, Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, geanninasantos@hotmail.com.

³ Graduanda, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI, Bolsista PET EGC, Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, tamile@hotmail.com.br.

⁴ Graduanda, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI, Bolsista PET EGC, Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, nati_mensch1@hotmail.com

⁵ Prof. Dr, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Centro de Tecnologia, Departamento de Transportes, luspecht@gmail.com.

⁶ Prof. Dr, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, Centro de Tecnologia Departamento de Transportes, rinaldo@ufsm.br.

Resumo

A estabilização é um processo no qual se confere ao solo uma maior resistência estável às cargas, ao desgaste ou à erosão, por meio de compactação, correção da sua granulométrica e de sua plasticidade. A estabilização mecânica consiste em densificar o solo através de energia mecânica, reduzindo os índices de vazios, criando – se uma maior intimidade com os grãos, aumentando sua densidade e melhorando propriedades do solo como o aumento da resistência e a redução da permeabilidade. O objetivo desta pesquisa foi analisar a permeabilidade e a resistência ao cisalhamento do solo residual de Ijuí-RS ao longo da curva de compactação e analisar os seus desvios em relação à densidade aparente máxima seca e à umidade ótima. Os resultados mostraram que o menor valor de coeficiente de condutividade hidráulica e o maior ângulo foram encontrados na densidade máxima e na umidade ótima, importantes no controle de compactação em campo para que se possa maximizar os efeitos da estabilização mecânica.

Palavras-chave: estabilização mecânica; permeabilidade; resistência ao cisalhamento

Introdução

O solo se faz presente na construção de edificações, estradas, taludes, barragens, aterros sanitários e, ainda, em outras obras de engenharia, seja como material de construção ou como suporte das cargas atuantes (DIEMER, 2008). Sendo assim, o conhecimento de suas propriedades geotécnicas é de fundamental importância para se desenvolver projetos aliando assim segurança e economia.

A estabilização possui como objetivo alterar e melhorar as propriedades do solo quanto à aplicação em Engenharia. Os métodos de modificação das propriedades são:





Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: 2011 SIC - XIX Seminário de Iniciação Científica

drenagem, estabilização química, estabilização mecânica, estabilização granulométrica e reforço (DIEMER, 2008).

O método de estabilização mecânica é realizado essencialmente pela aplicação de energia mecânica. A compactação consiste em obter a maior quantidade de partículas sólidas por unidade de volume, aumentando sua massa específica aparente seca, conseguindo assim uma redução de vazios e conseqüentemente melhoria da impermeabilidade e da resistência do solo compactado, que são os principais fatores de estanquidade e estabilidade.

A permeabilidade é a propriedade que o solo apresenta de permitir o escoamento da água através dele. O coeficiente de condutividade hidráulica (k) é de extrema importância em diversos problemas práticos de engenharia. Este coeficiente é afetado por diversos fatores inerentes ao solo e ao líquido percolado, pode-se destacar, entre eles, o tamanho das partículas, o índice de vazios, a estrutura e anisotropias e o grau de saturação, a viscosidade do fluido etc (LAMBE e WHITMAN, 1974, PINTO, 2002). Trata-se de uma propriedade com enorme faixa de variação, sendo necessária a utilização de técnicas específicas para a sua determinação.

Outro fator de estabilidade, é a resistência ao cisalhamento, que pode ser definida como a máxima tensão cisalhante que o solo pode suportar, sem sofrer ruptura, ou a tensão cisalhante do solo no plano em que a ruptura estiver ocorrendo. O cisalhamento ocorre devido ao deslizamento entre corpos sólidos ou entre partículas do solo. Sendo que os principais fenômenos que permitem menor ou maior deslizamento são o atrito e a coesão (PINTO 2000). O ângulo de atrito (ϕ) está associado ao efeito de entrosamento entre as suas partículas, enquanto a coesão (c) está associada à natureza das partículas e/ou à presença de cimentação.

Este trabalho tem como objetivo analisar a condutividade hidráulica e a resistência ao cisalhamento de um solo ao longo da sua curva de compactação e analisar os desvios destes em relação a densidade aparente seca máxima ($\gamma_d^máx$) e umidade ótima ($w^ótima$).

Metodologia

Na realização desta pesquisa foi utilizado solo residual de basalto retirado do talude do campus da UNIJUI. A caracterização deste solo encontra-se em Diemer (2008).

O ensaio de Proctor foi realizado conforme a NBR 7182, na qual a amostra de solo foi previamente seca ao ar, destorroada e após passado na peneira nº 10 (2,0mm). Iniciou-se o ensaio com porcentagens crescentes de umidade em molde cilíndrico (diâmetro de 10cm e altura de 12cm), compactado em três camadas utilizando energia Normal.

Com os dados obtidos, traçou-se a curva de compactação (Figura 1), que consiste na representação da massa específica aparente seca (γ_d) em função da umidade (w), onde o teor de umidade correspondente à massa específica seca máxima é chamada de umidade ótima.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: 2011 SIC - XIX Seminário de Iniciação Científica

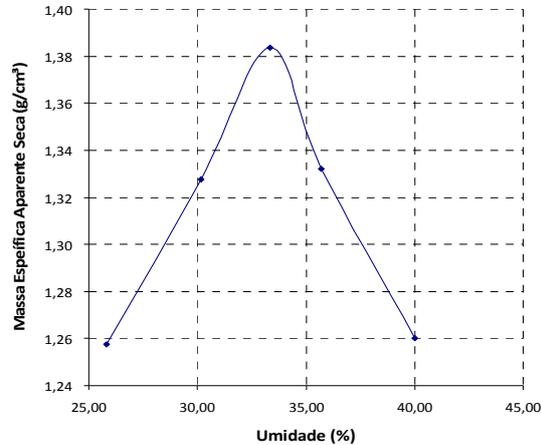


Figura 3: Curva de compactação obtida em ensaio.

No ensaio da determinação do coeficiente de condutividade hidráulica (k), foram usadas cinco amostras em um cilindro (diâmetro de 15,22 e altura de 11,5cm), moldadas na umidade ótima, 2% e 4% acima e abaixo desta. O ensaio foi realizado sem controle de golpes, mas objetivando obter a massa específica aparente seca do ponto da curva desejado.

Após a moldagem, o corpo de prova foi submerso em água, sendo submetido à pressão a vácuo. Depois de retirado o ar dos vazios, o corpo de prova foi levado ao permeâmetro de carga variável, onde foram realizadas as leituras da água percolada. O coeficiente de permeabilidade (k) foi determinado pela Equação (2).

$$K = 2,3 \times \frac{(a \times L)}{(A \times t)} \times \log \frac{h_0}{h_1} \quad (2)$$

Onde:

- k = Coeficiente de Permeabilidade (cm/s);
- a = área da bureta (cm²);
- A = área transversal da amostra (cm²);
- L = comprimento da amostra (cm);
- h_0 = altura inicial (cm);
- h_1 = altura final (cm);
- t = duração do ensaio (s).

Para o ensaio de cisalhamento direto foram moldadas corpos de prova para as cinco umidades propostas (umidade ótima, 2% e 4% acima e abaixo), onde o corpo de prova foi submetido a uma tensão normal constante (30, 60, 100 e 200 kPa), com o objetivo de determinar alguns pares de tensões, o que totalizou 20 amostras.

A amostra de solo, depois de moldada, foi colocada numa caixa de cisalhamento constituída de duas partes, conforme mostrado na Figura 2. Uma das partes permanece fixa, enquanto que a outra é movimentada horizontalmente com velocidade constante de 0,03 mm/min no estado inundado, submetida a uma força tangencial (T), provocando tensões

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: 2011 SIC - XIX Seminário de Iniciação Científica

cisalhantes no solo. Durante o ensaio é mantida uma tensão normal na amostra, resultante de uma carga vertical (N)

As pedras porosas, nas extremidades do corpo de prova, permitem a drenagem durante o ensaio. Na figura 3 está a seqüência de montagem da amostra na célula do equipamento de cisalhamento direto.

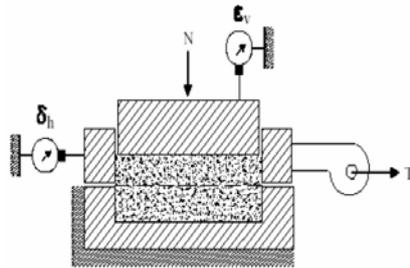


Figura 2: Esquema do ensaio de cisalhamento direto

Fonte: Machado (2004) apud Sala (2007)

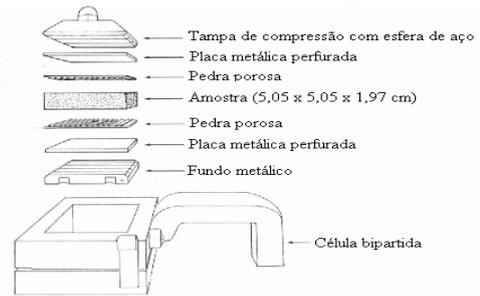


Figura 3 : Seqüência de montagem da amostra na célula de cisalhamento direto

Fonte: Head (1986)

O ensaio permitiu três leituras: deslocamento horizontal (dh), força cisalhante (T) e deslocamento vertical (dv), a qual fornece a variação de volume (deformação volumétrica) do corpo de prova. Em Viecili (2003) encontram-se maiores detalhes sobre a forma de execução do ensaio de cisalhamento direto.

Resultados e Discussão

Os resultados do ensaio de compactação e do ensaio de permeabilidade estão apresentados na Tabela 2, para os 5 pontos da curva de compactação, sendo que o ponto 3 corresponde a umidade ótima com Grau de Compactação de 100%. Comparando os valores com o k do solos natural de $4,8 \times 10^{-4}$ m/s nota-se que o efeito da compactação é bastante expressivo e reduz um muito a permeabilidade do material chegando a $3,38 \times 10^{-10}$ m/s, o que o torna praticamente impermeável.

Tabela 1: Resultados dos ensaios

Amostra	$\gamma_{dcurva}(g/cm^3)$	$\gamma_{dcurva}(g/cm^3)$	w (%)	e	S (%)	GC _{ymáx} (%)	k (m/s)
1	1,316	1,337	29,5	1,13	74,22	97	$4,71 \cdot 10^{-8}$
2	1,354	1,377	31,5	1,07	91,4	100	$1,11 \cdot 10^{-9}$
3	1,384	1,400	33,5	1,06	94,03	100	$3,38 \cdot 10^{-10}$
4	1,336	1,319	35,5	1,12	98,21	97	$7,60 \cdot 10^{-10}$
5	1,300	1,267	37,5	1,25	92,27	92	$5,10 \cdot 10^{-9}$

Na Figura 4 está apresentado o desvio da umidade ótima versus o coeficiente de permeabilidade, onde nota-se que o ponto mais impermeável corresponde à umidade ótima (ponto de desvio de umidade zero), e quanto mais distante desta maior é o coeficiente de permeabilidade.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: 2011 SIC - XIX Seminário de Iniciação Científica

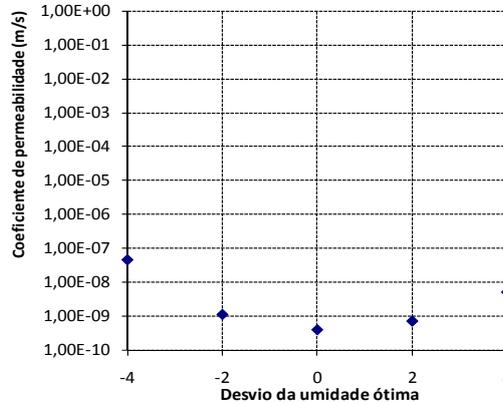


Figura 4: Coeficiente de permeabilidade *versus* desvio da umidade ótima

As Figuras 5 e 6 apresentam os resultados obtidos do ensaio de cisalhamento direto para os desvios da umidade; para o cálculo do c e ϕ foram considerados deslocamentos horizontais de 1mm, 1,5mm e 2mm, visto que as curvas não apresentavam pico bem definido.

Na Figura 5 está apresentado o ângulo de atrito em função do desvio de umidade. Através da interpretação gráfica pode-se concluir que para todos os deslocamentos, o ponto de umidade ótima foi o que obteve os maiores valores de ângulo de atrito, o que indica que as partículas dos solos estão mais entrosadas, dando maior rigidez ao solo. Isso também é corroborado pelo menor índice de vazios, obtido neste ponto (conforme Tabela 1). Vale lembrar que o valor de ϕ do solo natural é de $24,27^\circ$, muito menor que os valores das amostras compactadas, indicando a eficiência da técnica de estabilização mecânica.

A Figura 6 apresenta a representação gráfica dos resultados da resistência em relação a coesão. Segundo Pinto (2002) a atração química entre estas partículas pode provocar uma resistência independente da tensão normal atuante no plano e que constitui uma coesão real, como se uma cola tivesse sido aplicada entre dois corpos. O mesmo também explica que a coesão real deve ser bem diferenciada da aparente. A coesão aparente é na verdade, um fenômeno de atrito, onde a tensão normal que a determina é a tensão capilar.

O gráfico nos mostra que a coesão não é constante, mas possui uma maior variação em relação às outras umidades nos pontos de umidade ótima. Podendo ser explicado pela própria natureza do ensaio que inunda as amostras mas não garante a saturação gerando sucção e elevando o valor de c . Reforça-se que a principal parcela de resistência é o atrito, o qual tem pouca influência da umidade, ou seja em uma estação chuvosa ou em caso de falha no sistema de drenagem a coesão/sucção pode ser bastante reduzida enquanto que o atrito permanece inalterado.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: 2011 SIC - XIX Seminário de Iniciação Científica

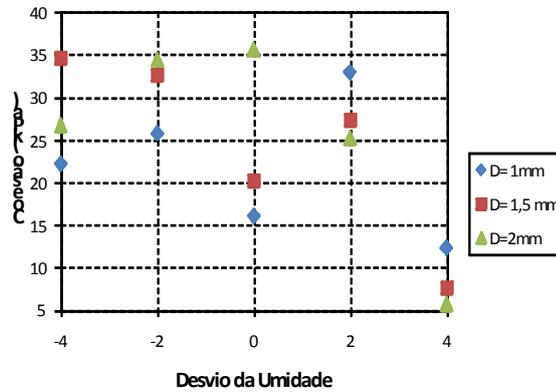


Figura 5: Ângulo de atrito em função do desvio da umidade ótica.

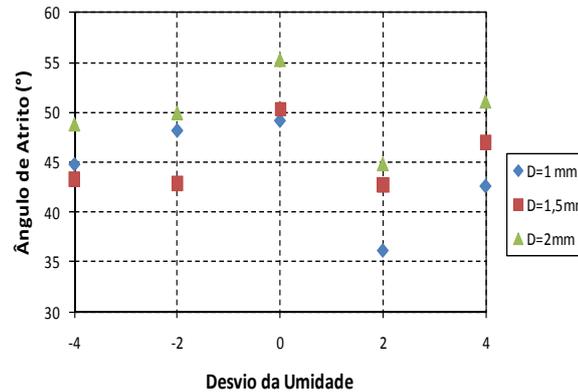


Figura 6: Coesão em função do desvio da umidade ótica

Conclusões

Na resolução de muitos problemas de engenharia é necessário melhorar as características do solo, como: material de fundação, construção de aterros, barragens, entre outros, de maneira a assegurar que o solo seja capaz de suportar as cargas aplicadas sem deformação excessiva, mantendo a sua resistência e estabilidade.

Através dos dados obtidos pela pesquisa conclui-se que a técnica da estabilização mecânica é bastante eficiente e o seu máximo potencia de redução da permeabilidade e elevação da resistência ao cisalhamento acontece quando compactado na umidade ótica, isto é, apresentando uma massa específica aparente seca máxima e menor índice de vazios sendo de suma importância o controle rigoroso da compactação em campo.

Agradecimentos

Ao MEC/SESu pela bolsa PET do Curso de Engenharia Civil e ao Laboratório de Engenharia Civil (LEC) que possibilita o desenvolvimento da pesquisa.



Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: 2011 SIC - XIX Seminário de Iniciação Científica

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7182:** Solo-Ensaio de compactação - Comissão de Estudo de Índice de Suporte Califórnia de Solos – Comitê Brasileiro de Construção Civil. **S.I.:** 1987.

DIEMER, F., RAMBO, D., SPECHT, L., POZZOBON, C. **Propriedades geotécnicas do solo residual de basalto da região de Ijuí-RS.** Teoria e Prática na Engenharia Civil, nº12 p. 25-36. Outubro de 2008.

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

PINTO, C. S. Curso **Básico de Mecânica dos Solos.** São Paulo. Oficina de Textos. 247p. 2002.

Projeto: Estudo da Estabilização Mecânica de um solo resíduo de Ijuí/RS – Efeitos na permeabilidade e resistência