



Análise do Comportamento do Solo de Cascavel/Pr Quanto ao Cisalhamento com Adição de Areia Fina e Média

Vanessa Wiebbelling

Centro Universitário Assis Gurgacz – FAG, Cascavel, Brasil, vanessawi2@hotmail.com

Maycon André de Almeida

Centro Universitário Assis Gurgacz – FAG, Cascavel, Brasil, mayconalmeida@creapr.org.br

André Alexandre Gomes Fazioni

Centro Universitário Assis Gurgacz – FAG, Cascavel, Brasil, andrefazioni@gmail.com

Rudimar Ferandin

Centro Universitário Assis Gurgacz – FAG, Cascavel, Brasil, rudimar.f@gmail.com

RESUMO: É comum em solos naturais a necessidade de um processo de melhoramento, com a inclusão de elementos resistentes, a fim de otimizar seu comportamento. Por essa razão, a presente pesquisa teve como objetivo realizar ensaios triaxiais com adição de diversos teores de areia fina e média, em amostras de solo superficial da região de Cascavel-PR, no intuito de avaliar o impacto do melhoramento mecânico nos parâmetros de resistência e no módulo de elasticidade do solo. Para isso, foram realizados ensaios do tipo triaxial rápido adensado não drenado, com medida de pressão neutra, em amostras de solo aditivadas com teores de 5%, 7,5%, 10% e 12,5% de areia fina e de 5% 7,5% e 10% de areia média. Verificou-se que a adição de areia confere um aumento no ângulo de atrito do solo de até 235% nas porcentagens utilizadas, quando comparado ao seu estado natural, havendo, conseqüentemente, a redução do intercepto coesivo ao adicionar porcentagens maiores do material ao solo.

PALAVRAS-CHAVE: Ensaios triaxiais; Estabilização granulométrica; Resistência ao cisalhamento.

1 INTRODUÇÃO

A cidade de Cascavel localiza-se no interior do estado do Paraná, na região oeste. Possui atualmente mais de 300 mil habitantes, sendo um polo econômico na região (IBGE, 2010). Em função da economia aquecida, diversos atrativos comerciais despontaram, e como consequência se faz necessário o aumento de infraestrutura para acomodar a população.

Por estar em uma região de clima tropical, possui um solo laterítico composto basicamente por argila com elevada porosidade. As

edificações nessas regiões estão sujeitas a recalques pelo adensamento de suas camadas de solo, devido à colapsibilidade do mesmo. Este tipo de solo, quando inundado, apresenta grande deformação e perda de resistência, o que pode causar o deslocamento da fundação e, conseqüentemente, o aparecimento de fissuras e rachaduras na edificação.

O solo em seu estado natural é composto por diversas variáveis ligadas diretamente à sua localização geográfica. É comum os solos naturais não satisfazerem às necessidades de um projeto geotécnico, sendo necessário o



desenvolvimento de soluções alternativas para que o projeto possa ser executado (Almeida, 2005). Uma das alternativas é seu melhoramento com a inclusão de elementos resistentes, de maneira a modificar e melhorar seu comportamento, originando um novo solo com características de resistência e deformabilidade adequadas.

A pesquisa proposta pelo presente artigo buscou verificar a influência da estabilização granulométrica com areia fina e média na resistência ao cisalhamento de solo superficial, característico do município de Cascavel/PR, através da realização de ensaios triaxiais adensado-rápidos, com concentrações variadas de areia fina e média no solo.

O ensaio de compressão triaxial realizado seguiu a modalidade CU (ensaio adensado não drenado). No que se refere à drenagem, foi optado por esse tipo de ensaio visto que, segundo Pinto (2006), em situações em que se deseja conhecer a resistência do solo (tensão de ruptura) no estado em que ele se encontra, é necessário realizar o ensaio que resulta na resistência não drenada do solo para que ele se equipare a situações reais do dia a dia, pois uma eventual ruptura ocorreria antes de qualquer drenagem. Os ensaios de compressão triaxiais foram realizados no laboratório de Mecânica dos Solos II, do Centro Universitário Assis Gurgacz - FAG.

Foram ensaiadas amostras de solo coletados no primeiro metro de solo do Campo Experimental de Engenharia do Centro Universitário Assis Gurgacz, sendo ensaiados os valores de 5%, 7,5%, 10% e 12,5% para areia fina e de 5%, 7,5% e 10% para areia média, utilizando amostras compactadas sob energia proctor normal.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Estabilização e melhoramento de solos

De acordo com Valinho (2005), o Brasil apresentou um aumento significativo de obras em regiões que possuem depósitos de argilas moles nos últimos anos. Em função disso, passou-se a estudar mais sobre as propriedades geotécnicas de solos regionais. A execução de obras nestes solos requer atenção e cuidado para que o empreendimento não se torne inviável financeiramente.

As técnicas de melhoramento de solos são de crucial importância para a resolução de problemas complexos, relacionados aos solos de fundação. Sales (1998) define o aperfeiçoamento do solo como a utilização de recursos físicos ou até mesmos químicos com o objetivo de melhorar as propriedades mecânicas dos solos. Este processo de melhoramento procura elevar a resistência do solo, reduzindo a sua compressibilidade e sua permeabilidade.

Dias (2012) define que existem três grupos de modelos de estabilização do solo: estabilização mecânica, física e química. A primeira busca reorganizar as partículas sólidas recorrendo a correções da sua composição granulométrica. Já a estabilização física recorre ao calor e à eletricidade para alterar as propriedades do solo. Por fim, a estabilização química recorre à aditivos para essa finalidade. O incremento de diferentes teores de areia para que ocorra a estabilização do solo se inclui na estabilização mecânica. Da junção das partículas de solo e areia origina-se um novo material com propriedades diferentes e com novos parâmetros.

2.2 Resistência ao cisalhamento

Para Caputo (1996), a propriedade dos solos de suportar cargas e conservar sua estabilidade depende da resistência ao cisalhamento dos mesmos. Quando o limite dessa resistência é excedido, toda a massa do solo se rompe. As características quanto ao cisalhamento são representadas pela coesão do solo, pelo ângulo de atrito interno e pela resistência do solo ao



cisalhamento (ORTIGÃO, 1995).

Segundo Silva e Carvalho (2007), os principais fatores que influenciam a resistência ao cisalhamento são a distribuição das partículas do solo, a densidade, a estrutura e o teor de umidade. Os autores explicam ainda que nos solos de textura arenosa, a resistência ao cisalhamento depende basicamente do atrito entre as partículas. Contudo, nos solos argilosos a resistência não depende apenas do atrito entre partículas, mas também da coesão do solo.

De acordo com Pinto (2006), a resistência por atrito das partículas de um solo pode ser analogicamente comparada ao deslizamento de um corpo sobre uma superfície plana horizontal, existindo entre a força tangencial e a força normal uma proporcionalidade, como pode ser visto na Equação 1, onde ϕ é o ângulo de atrito formado pela resultante de duas forças com a força normal.

$$T = N \times \text{tg}\phi \quad (1)$$

No fenômeno de atrito nos solos, o deslocamento abrange um grande número de grãos, que podem deslizar entre si ou rolar uns sobre os outros, acomodando-se em vazios no percurso. As forças transmitidas no contato entre os grãos de areia e os grãos de argila se diferenciam pelo fato de que, entre os grãos de areia, as forças transmitidas são suficientes para expulsar a água da superfície. Assim, o contato realmente ocorre entre os dois minerais, enquanto no caso das argilas, o número de partículas é imensamente maior, sendo extremamente reduzida a força transmitida em cada contato, não sendo suficiente e conseqüentemente gerando uma força para remover as moléculas de água (PINTO, 2006).

Segundo Silva e Carvalho (2007), a coesão do solo é a força de atração entre as superfícies de suas partículas, podendo ser real ou aparente.

A coesão real é derivada principalmente das cimentações presentes entre partículas, resultando da atração entre partículas próximas

por forças eletrostáticas, sendo muito comum em solos lateríticos e/ou solos argilosos/siltosos. Já a coesão aparente é resultado da tensão superficial da água formada dentro dos capilares do solo, originando meniscos de água entre as partículas dos solos parcialmente saturados, que como consequência aproximam-se entre si. A coesão aparente constitui uma parcela da resistência ao cisalhamento de solos parcialmente saturados.

Verifica-se o conceito de coesão aparente na utilização para estabilização de taludes de areia úmida e na construção de castelos com areia úmida nas praias (BUENO e VILAR, 1979).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização do solo local

O solo utilizado para a realização dos ensaios foi coletado da cota -1 metro do Centro Experimental de Engenharia da FAG (CEEFF) do Centro Universitário Assis Gurgacz. É classificado como argila siltosa de cor marrom avermelhada devido a alta concentração de óxido de ferro na sua composição (ZEN E ALMEIDA, 2018), apresentando consistência muito mole à média.

Caracteriza-se também por ser um solo residual, resultado da decomposição de rochas eruptivas. É originado do basalto e possui comportamento laterítico, sendo um solo de predominância argilosa, contendo silte e areia na composição. O solo apresenta-se em condição de pré-adensamento leve pois possui um peso específico aparente seco baixo (JUNIOR E ALMEIDA, 2017)

A caracterização geotécnica do solo de Cascavel foi realizada por Zen e Almeida (2018). Segundo os autores, a classificação do solo, conforme especificado pela ABNT NBR 7181 (2016) e de acordo com a curva granulométrica, é de uma argila silto arenosa. Em relação ao sistema unificado (SUCS), é



classificado como um solo argiloso muito compressível (CH), ao passo que no sistema rodoviário (TRB), foi identificado como A-7-6, correspondendo a uma argila siltosa medianamente plástica, classificada como regular a mau para utilização como subleito.

Realizando ensaios de compactação (Proctor normal) em corpos de prova com solo superficial do CEEF, Zen e Almeida (2018) determinaram uma massa específica seca máxima de 1,32 g/cm³ e um teor de umidade ótima de 32%, para energia normal de compactação.

A média dos valores de ângulo de atrito (ϕ) e do intercepto de coesão (c) dos 5 primeiros metros do CEEF foram apresentados por Almeida e Oliveira (2018), conforme apresenta a Tabela 2. Os valores foram aferidos através de ensaios triaxiais adensado rápidos, por meio de amostras indeformadas coletadas em campo.

Tabela 1. Parâmetros de resistência ao cisalhamento ao longo da profundidade determinados no CEEF

Profundidade (m)	Intercepto coesivo (kN/m ²)	Ângulo de atrito (°)
1	1,96	14
2	1,96	15
3	12,75	17
4	11,77	16
5	11,77	20
Média	8,04	17

Fonte: (Almeida e Oliveira, 2018).

3.2 Caracterização dos materiais granulares

A areia utilizada foi adquirida em uma loja de materiais de construção da cidade de Cascavel-PR. Para a moldagem dos corpos de prova, foram separados aproximadamente 2 kg de areia fina e 1,5 kg de areia média, que foram armazenadas em estufa, a fim de evitar contato com outros materiais e manter a areia sem umidade.

Os materiais granulares utilizados foram submetidos ao ensaio de peneiramento, de acordo com a ABNT NBR NM 248 (2003),

sendo possível a elaboração da curva granulométrica dos três materiais, conforme apresentado na Figura 1. A curva granulométrica da argila corresponde ao ensaio realizado por Zen e Almeida (2018) para o primeiro metro, com uso de defloculante.

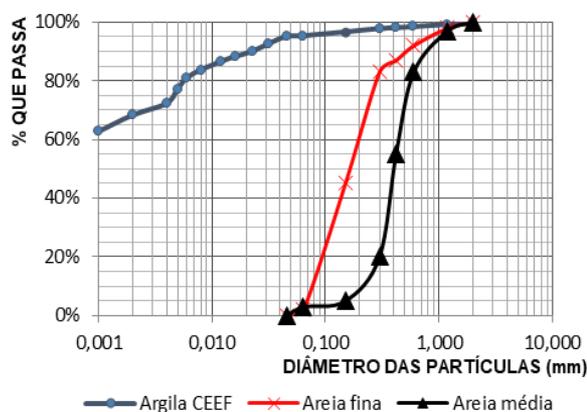


Figura 1. Curva granulométrica dos materiais

3.3 Moldagem dos Corpos de Prova

A moldagem dos corpos de prova para os ensaios de compressão triaxial foi realizada pelo método de compactação dinâmica por pisoteamento, utilizando o equipamento conhecido como Harvard Miniatura, apresentado na Figura 2. No preparo de cada corpo de prova, os materiais foram misturados em um recipiente até atingirem consistência homogênea.





Figura 2. Equipamento “Harvard miniatura” e conjunto molde cilíndrico

Segundo Contenco (2015), para corpos de prova com diâmetro de 2” e altura de 11 cm, a compactação é realizada em 7 camadas utilizando-se o pisoteador com sapata de $\frac{3}{4}$ ” de diâmetro, e aplicando-se 50 golpes por camada. Após a compactação de cada camada, foi realizada uma ligeira escarificação da camada anterior. A proporção de solo, areia e água para cada corpo de prova é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Dosagem de mistura dos materiais

% Areia	Solo (g)	Areias (g)	Água (g)
5,0%	1428,75	71,25	450,06
7,5%	1387,5	112,5	437,07
10,0%	1350	150	425,25
12,5%	1312,52	187,5	413,45

As misturas de materiais foram realizadas com solo seco, retirado da estufa, e adição de água suficiente para que o solo chegasse ao teor de umidade ótima. A extração dos corpos de prova dos moldes cilíndricos foi realizada com macaco hidráulico. Em seguida as amostras foram armazenadas em sacos plásticos e identificadas, a fim de controlar o teor de umidade, conforme demonstra a Figura 3.



Figura 3. Extração e armazenamento de corpos de prova

Para a determinação da resistência ao cisalhamento das amostras, os ensaios foram do tipo compressão triaxial consolidado não drenado (CU), já que em solos argilosos o atrito entre grãos é extremamente prejudicado devido à presença de água entre os mesmos. Por essa razão, optou-se por um ensaio que permitisse a consolidação do corpo de prova, fazendo com que as pressões neutras se dissipassem e houvesse uma variação volumétrica do corpo de prova. O ensaio CU foi o que melhor atendeu à essas condições, além de proporcionar o resultado em tensões totais, possibilitando analisar os parâmetros de resistência ao cisalhamento reais do solo da obra.

Após extração do cilindro, cada corpo de prova foi posicionado na câmara cilíndrica, entre duas pedras porosas e papel filtro. Na sequência, era envolvido por uma membrana fina de borracha e vedado com anéis de borracha na base e no topo. Com a câmara fechada e o extravasor superior aberto, encheu-se a câmara com água, cuidando para que não permanecessem bolhas de ar em seu interior. Apoiou-se a câmara na base do equipamento e a haste sobre a câmara.

Dentro da câmara de ensaio triaxial, a primeira etapa do ensaio foi realizar o adensamento aplicando uma pequena pressão hidrostática no corpo de prova e verificando as variações volumétricas (Figura 4). Em seguida, foi estabelecida a tensão confinante (σ_3) de ensaio e, com o fechamento da válvula de drenagem da câmara triaxial, aplicada uma tensão axial (σ_1) a uma velocidade de 0,10 mm/min, até que ocorresse uma deformação de 10% da altura do corpo de prova.

3.4 Ensaio de Compressão Triaxial



Figura 4. Corpo de prova antes e após a ruptura dentro de câmara de compressão triaxial

A velocidade de ruptura adotada se justifica pelo fato de que carregamentos rápidos podem gerar excesso de poro pressões positivas, reduzindo a resistência ao cisalhamento (GERSGOVISCH, 2016).

O procedimento foi repetido em pelo menos 3 a 4 amostras idênticas (mesmo teor de mistura), obtendo assim distintas variações de tensão desviadora ($\sigma_1 - \sigma_3$) para cada ensaio. De posse dos resultados, foram plotados os círculos de Mohr, determinando assim a envoltória de resistência de Mohr-Coulomb. Em seguida foram determinados os valores do intercepto de coesão (c) e do ângulo de atrito interno (ϕ), em função das tensões totais (situação não drenada).

Após a realização dos ensaios, o *software Triaxial Pavitest® estático I-1077* gerou os círculos de Mohr de cada amostra, determinando automaticamente o valor do intercepto de coesão e do ângulo de atrito para o teor analisado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Ensaios triaxiais

Foram conduzidos 12 ensaios considerados válidos para a mistura de solo-areia fina e 11 ensaios válidos para a mistura solo-areia média.

Para cada teor de areia fina/média analisada, foram moldados 3 corpos de prova, com tensões confinantes (σ_3) diferentes entre si.

A partir disso foram determinadas as curvas *tensão desviadora x deformação* e a envoltória de resistência de cada teor de areia analisado. Nas Figuras 5, 6 e 7 são apresentados gráficos relacionando as *tensões desviadoras x deformação* para 3 situações: adição de areia fina 5%, areia fina 12,5% e areia média 5%.

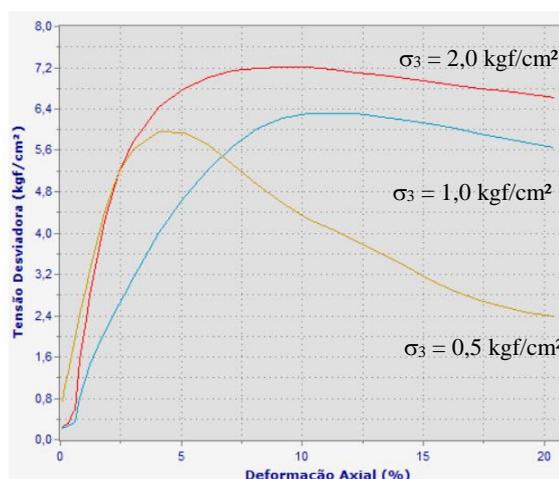


Figura 5. Tensão desviadora x deformação-A. fina 5%

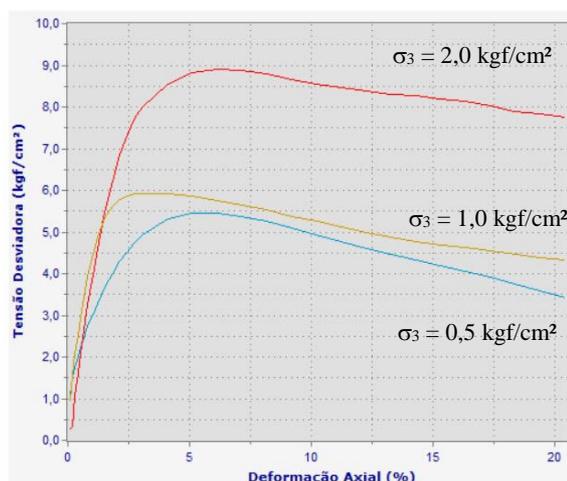


Figura 6. Tensão desviadora x deformação-A. fina 12,5%

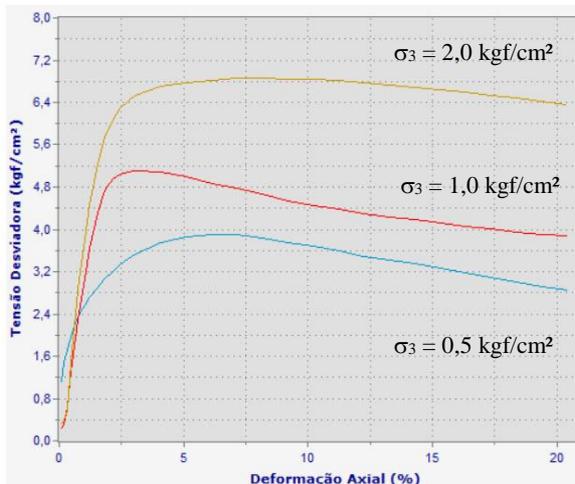


Figura 7. Tensão desviadora x deformação-A. média 5%

As envoltórias de resistência foram determinadas para todos os teores de areias analisadas. Nas Figuras 8 e 9 são apresentadas envoltórias de resistência para duas situações: areia fina 10% e areia média 10%.

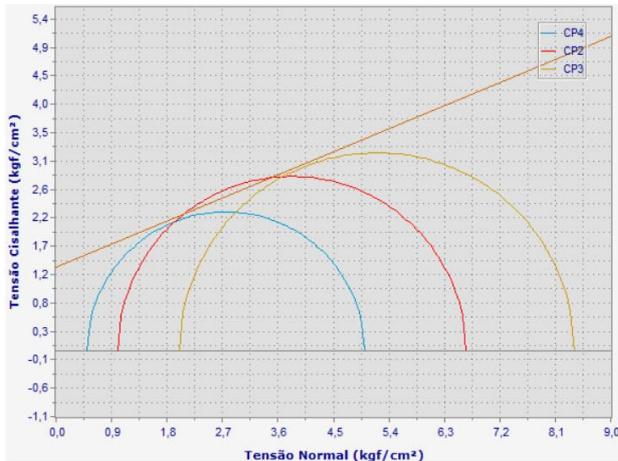


Figura 8. Envoltória de resistência com A. fina 10%

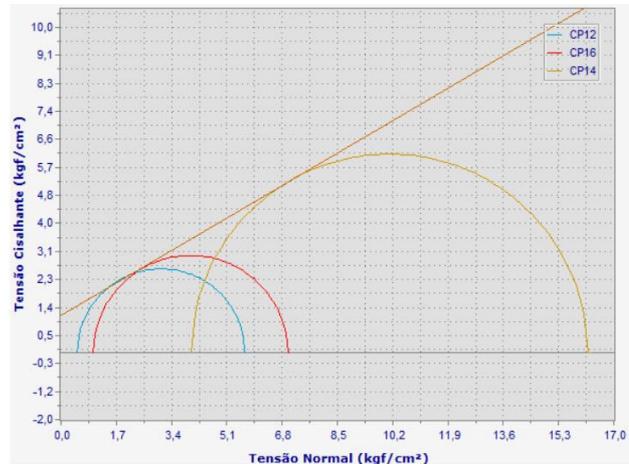


Figura 9. Envoltória de resistência com A. média 10%

De posse de todos os resultados, foram extraídos os valores de intercepto de coesão e ângulo de atrito para todas as concentrações de areia fina e média, além de serem determinados os módulos de deformabilidade através das curvas *tensão desviadora x deformação*. Na Tabela 2 são apresentados os resultados obtidos dos parâmetros (c , ϕ), incluindo os parâmetros obtidos para o solo do 1º metro do CEEF, determinados por Zen e Almeida (2018).

Tabela 2. Parâmetros de resistência do solo com adição de areia fina e areia média, em diversos teores

(%)	Areia Fina		Areia Média	
	In. coesão (kgf/cm ²)	Ângulo de atrito (°)	In. coesão (kgf/cm ²)	Ângulo de atrito (°)
0,0%	1,96	14	1,96	14
5,0%	2,06	17	0,81	30
7,5%	1,58	28	0,84	26
10,0%	1,16	30	1,36	23
12,5%	1,06	33		

Constatou-se que, ao adicionar 5% de areia fina, houve um ligeiro aumento do intercepto coesivo, e para dosagens de 7,5%, 10% e 12,5% ocorreu a redução do intercepto com relação ao solo nas condições naturais, o que já era esperado, devido à característica não coesiva da areia. Para a areia média, constatou-se reduções em todos os teores de adição, com uma ligeira dispersão na dosagem de 10%, indicada pelo



aumento do intercepto coesivo e redução do ângulo de atrito, com relação as demais. A Figura 10 indica o comportamento da coesão no decorrer de ambos os ensaios, sendo indicado suas linhas de tendência e suas equações características.

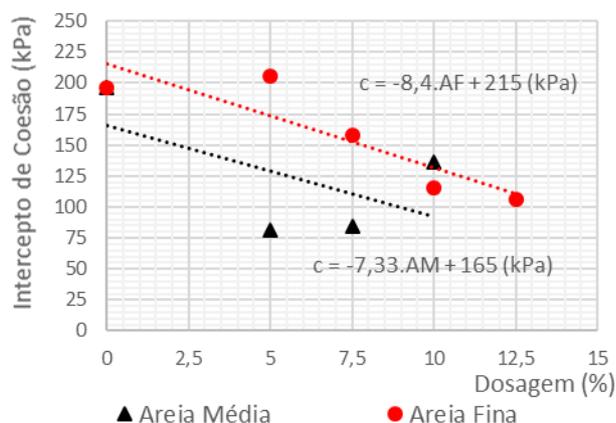


Figura 10. Interceção coesão de diversos teores de adição de areia fina e média no solo do CEEF

São apresentadas também, na Figura 10, equações para determinar o intercepto de coesão esperado (em kPa) para cada tipo de areia, em função do teor (em %) pretendido de adição.

Já na Figura 11 é apresentado o comportamento do ângulo de atrito com relação ao aumento dos teores de areia fina e média, considerando a condição natural do solo ensaiada por Zen e Almeida (2018). O melhor comportamento foi observado com a areia fina, que apresentou crescimento próximo a linear de aumento do ângulo de atrito com o aumento do teor, chegando a 235% de ganho com relação a condição natural. Já a areia média proporcionou um aumento expressivo no ângulo de atrito do solo no primeiro teor (5%) e constante redução conforme ocorreu o aumento do teor. É possível que, como os vazios da argila são extremamente pequenos para serem preenchidos pelos grãos de areia média, altos teores acabam prejudicando a mistura e conseqüentemente o ganho com a estabilização mecânica.

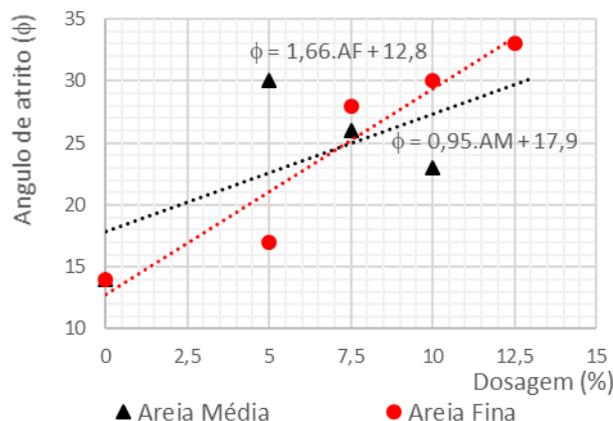


Figura 11. Ângulo de atrito considerando diversos teores de adição de areia fina e média no solo do CEEF

Quando comparam-se os valores é possível observar que, ao adicionar-se 5% de areia média, é necessário adicionar 10% de areia fina para que os ângulos sejam próximos, indicando que a areia média se torna uma opção mais atrativa para pequenas dosagens.

São apresentadas também, na Figura 11, equações para determinar o ângulo de atrito (em graus) para cada tipo de areia, em função do teor (em %) pretendido de adição. Atentar, no entanto, quanto a utilização da equação para a areia média devido ao comportamento constatado.

4.2 Módulo de Deformabilidade do Solo

O módulo de elasticidade ou de Young do solo (E_s) pode ser determinado a partir de correlações com o ensaio de sondagem SPT, ou através de ensaios triaxiais, através de sua relação *tensão x deformação*. Considerando isso, realizou-se uma análise quanto a alteração desse módulo devido a adição das areias.

O módulo foi determinado pela relação entre a variação da tensão desviadora atuante no trecho elástico (inicial), pela variação da deformação ocorrida. A Tabela 3 apresenta as faixas de valores de E_s determinados para cada teor de areia, em função das tensões confinantes aplicadas, e o valor determinado para o solo do CEEF, em condições naturais, por Almeida e



Oliveira (2018) para o 1º metro do CEEF.

Tabela 3. Valores do módulo de elasticidade do solo em função dos teores de areia adicionados nos corpos de prova

	Areia Fina	Areia Média
Natural	3,2 MPa	
5,0%	18 – 26 MPa	20 – 25 MPa
7,5%	20 – 30 MPa	20 – 32 MPa
10,0%	19 – 36 MPa	20 – 25 MPa
12,5%	20 – 30 MPa	-

Os módulos determinados para as amostras aditivadas com areia apresentaram valores bem superiores aos obtidos em amostras indeformadas do mesmo solo, indicando o efeito do melhoramento granulométrico que ocorreu na amostra, com grande redução de deformações ao serem submetidos a carregamentos. A proporção do ganho de resistência ficou em aproximadamente 10 vezes.

Os valores obtidos foram coerentes com os apresentados por Joppert Jr. (2007) para argilas porosas com N_{SPT} entre 0 e 3 (1 a 2,5 MPa) e argilas arenosas de alta resistência ou areias pouco argilosas (20 a 50 MPa), sendo interessante para situações de aplicação de carregamento em maciços muito compressíveis.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo realizar a análise da influência gerada pela adição de areia fina e média, na resistência ao cisalhamento do solo argiloso e laterítico da cidade de Cascavel/PR.

Baseando-se nos resultados obtidos, é possível concluir que as areias influenciam de forma positiva no comportamento da resistência ao cisalhamento do solo, quando comparado ao seu estado natural. A adição desse material promoveu a redução do intercepto de coesão e o aumento do ângulo de atrito, além do aumento expressivo no módulo de elasticidade do material, justificando sua aplicação em

situações em que seja necessário seu melhoramento mecânico.

A areia fina com maiores dosagens tende a aumentar a resistência ao cisalhamento do solo, enquanto a areia média diminui a resistência quando em maiores dosagens. Levando em consideração os resultados obtidos, pode-se afirmar que, ao adicionar 10% de areia fina ao solo, obtém-se praticamente a mesma resistência ao cisalhamento que ao adicionar-se 5% de areia média.

Já a areia média proporcionou um aumento expressivo no ângulo de atrito do solo no primeiro teor (5%), seguida de sensível redução conforme ocorreu o aumento do teor. É possível que, devido ao fato dos vazios do solo analisado serem extremamente pequenos comparativamente aos grãos de areia média, altos teores dessa adição acabam prejudicando a mistura e o contato entre os grãos, e conseqüentemente o ganho de resistência com a estabilização mecânica. Porém, recomenda-se a realização novos ensaios a fim de confirmar essa tendência.

Através da presente pesquisa é possível concluir que a utilização das areias como uma alternativa para o melhoramento da resistência ao cisalhamento dos solos é eficaz, sendo um material abundante, de fácil acesso e utilização considerável na construção civil. O material pode ser aplicado no melhoramento do solo em taludes, muros de arrimo e aterros compactos.

REFERÊNCIAS

- Almeida, G. C. P. Caracterização Física e Classificação dos Solos. Universidade Federal de Juiz de Fora, 2005.
- Almeida, M. A. e Oliveira, R. M. M. (2018). *Estimativa do Ângulo de Atrito e Coesão Através de Índices de Resistência Obtidos pela Sondagem SPT em Solo Laterítico e Colapsível Característico da Cidade de Cascavel no Estado do Paraná*. XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica Geotecnia e Desenvolvimento Urbano COBRAMSEG. Salvador -BA.



- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 7181 (2016). *Análise Granulométrica*, Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR NM 248 (2003). *Agregados - Determinação da composição granulométrica*, Rio de Janeiro.
- Bueno, B. S. e Vilar O. M. (1979). *Mecânica dos solos*. vol 1, São Carlos: EESC – USP.
- Caputo, H. P. (1996). *Mecânica dos Solos e suas aplicações*. Ed. LTC. Rio de Janeiro.
- Dias, J. J. F. M. S. (2012). *Tratamento de solos com cimento para obtenção de melhores características mecânicas*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil – perfil construção.
- Joppert Jr, I. (2007) *Fundações e Contensões de Edifícios*. São Paulo: Pini. ISBN 978-85-7266-177-5. 221p.
- Machado, S. L; Machado, M. F. *Mecânica dos Solos I – Conceitos introdutórios*. 1997.
- Molina, M. D., Gandin. *Determinação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento Através do ensaio de compressão triaxial rápido (CU) do Subsolo da FAG em Cascavel (PR)*. Trabalho de Conclusão de Curso. FAG – 2015.
- Pinto, C.S. (2006). *Curso Básico de Mecânica dos Solos*, em 16 Aulas. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos.
- Portal IBGE – Censo Demográfico – Disponível em: <<http://migre.me/vpr1E>> Acesso em 20 de Outubro de 2016.
- Ortigão, J.A.R. (1995). *Introdução à mecânica dos solos dos estados críticos*. 2.ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos
- Sales, L. F. P. (1998). *Estudo do comportamento de Fundações superficiais assentes em solos tratados*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil.
- Silva, A. J. N.; Carvalho, F. G. (2007). *Coesão e resistência ao cisalhamento relacionadas a atributos físicos e químicos de um latossolo amarelo de tabuleiro costeiro a RBCS – Revista Brasileira de Ciência do Solo*.
- Valinho, R. F. (2005). *Dimensionamento de um aterro sobre solo mole reforçado e com geossintético*. Trabalho de conclusão de curso. – UENP.
- Zen, B. A. B. e Almeida, M. A. (2018). *Implantação e Caracterização Geotécnica do Campo Experimental de Engenharia do Centro Universitário Assis Gurgacz em Cascavel/PR*. XIX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica COBRAMSEG. Salvador -BA.