

Influência da Fração Grosseira na Resistência ao Cisalhamento de um Solo Residual

Cesar Alberto Ruver

Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), Porto Alegre/RS, Brasil,
cesar.ruver@gmail.com

Leandro Olívio Nervis

Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), Santa Cruz do Sul/RS, Brasil, leandron@unisc.br

Charles André Lasch Bugs

Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), Santa Cruz do Sul/RS, Brasil, charlesbugs@unisc.br

Vinícius da Fontoura Werner

Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), Santa Cruz do Sul/RS, Brasil, vinni_fw@hotmail.com

RESUMO: Considerando que a resistência ao cisalhamento dos solos é comandada por suas diversas propriedades, o objetivo deste trabalho é mostrar a influência da granulometria no comportamento mecânico de um solo residual gneissico (saibro). Para tanto, preparou-se duas amostras do mesmo solo: (a) em uma eliminou-se o material retido na peneira com abertura de 4,8 mm (solo SEM) e (b) em outra usou-se toda a granulometria do solo (solo COM). Primeiramente, efetuou-se a caracterização das duas amostras. Em um segundo momento, realizou-se uma série de ensaios de cisalhamento direto (tensões normais de 100, 200 e 500 kPa) e no estado saturado e não saturado. Pela caracterização, verifica-se que todas as propriedades ligadas à fração fina são as mesmas para as duas amostras: Limite de Liquidez de 35%, Limite de Plasticidade de 26%, Índice de Plasticidade de 9% e classificação pela metodologia MCT de NA' (solo arenoso de comportamento não laterítico). A retirada ou permanência da fração retida na peneira com abertura de 4,8 mm altera as propriedades ligadas à granulometria. Neste sentido, a classificação textural do "solo COM" é pedregulho arenoso e do "solo SEM" é areia siltosa. Do ponto de vista de classificação pela HBR, o "solo COM" é classificado como A-2-4 (0) e o "solo SEM" é classificado como A-4 (1). Já pela classificação da SUCS ambas são classificadas como SM (areia siltosa). Do ponto de vista da resistência, verifica-se que a tensão cisalhante máxima é maior para o "solo COM". Para a condição saturada, verifica-se que as envoltórias de ruptura apresentam praticamente o mesmo valor de intercepto coesivo (74,2 kPa para o "solo SEM" e 73,9 kPa para o "solo COM"); porém o ângulo de atrito para o "solo COM" foi superior (43,7°) se comparado com o "solo SEM" (34,5°). Para as amostras não saturadas, verificou-se que a sucção (determinada pela técnica do papel filtro) para o "solo SEM" (21,2 kPa) foi superior ao "solo COM" (6,0 kPa). Tanto para a envoltória do solo saturado e quanto ao solo não saturado é possível verificar o mesmo ângulo de atrito para as duas amostras. Já o ângulo que controla a sucção para o "solo COM" é de 79,6° e para o "solo SEM" é de 33,7°. Por fim, verifica-se que a presença de material grosseiro, influencia significativamente na resistência ao cisalhamento do solo, principalmente no ângulo de atrito (aumenta) e sucção (diminui).

PALAVRAS-CHAVE: Resistência ao cisalhamento, Solo Residual, Granulometria, Grau de Saturação.

1 INTRODUÇÃO

A ruptura dos solos comumente ocorre quando o nível de carregamento ultrapassa a sua resistência ao cisalhamento. A resistência ao cisalhamento dos solos para o estado saturado é comandada pelo atrito e coesão. O atrito é reflexo do entrosamento e dos tamanhos dos grãos, que pode ser entendido como o esforço necessário para romper o intertravamento das partículas do solo, fazendo com que se movam ou deslizem entre si. A coesão refere-se ao fenômeno de cimentação entre as partículas de solo, resultando em força de aderência entre os grãos. Em solos não saturados, devido ao fenômeno de capilaridade, ocorre um aumento na aderência entre as partículas do solo, que tem como efeito um aumento da resistência ao cisalhamento do solo. Este fenômeno gera uma parcela extra de coesão que é conhecido como coesão aparente. Ainda em relação aos solos não saturados, surge o conceito de sucção, reflexo da poro-pressão negativa, que é definida por (BENEVILE, 2002), como a energia necessária para a retirada de água adsorvida e/ou retida nos poros do solo.

A resistência ao cisalhamento dos solos pode ser graficamente obtida pela envoltória de Mohr-Coulomb, que matematicamente pode ser expressa pela equação 1 (FLEDLUND *et al*, 1978). O solo saturado pode ser considerado um caso particular, modo que a equação 1 pode ser simplificada (equação 2), uma vez que a sucção é zero.

$$\tau = c' + (\sigma - u_a) \cdot \tan(\phi') + (u_a - u_w) \cdot \tan(\phi'_b) \quad (1)$$

$$\tau = c' + (\sigma - u_w) \cdot \tan(\phi') \quad (2)$$

Sendo: τ = tensão cisalhante na ruptura (kPa); c' = intercepto coesivo (kPa); ϕ' = ângulo de atrito ($^\circ$); ϕ'_b = ângulo que quantifica a contribuição da sucção na resistência; $(\sigma - u_a)$ = tensão normal líquida (kPa); $(u_a - u_w)$ = sucção (kPa); $(\sigma - u_w) = \sigma'$ = tensão efetiva; u_w = poro-pressão (- para solo não saturado e + para solo saturado); u_a = pressão de ar

A resistência ao cisalhamento é comandada

por diversas propriedades e características dos solos, sumarizadas por diversos autores (LAMBE e WHITMAN, 1969; DAS, 2006; PINTO, 2006; ORTIGÃO, 2007) tais como: índices de vazios, grau de compactação, tensão confinante, estado e trajetória de tensões, dissipação de poro-pressão, distribuição granulométrica, composição mineralógica, formato dos grãos, tamanho dos grãos, resistência dos grãos, presença de água (grau de saturação), evolução pedogenética (idade/envelhecimento e condição de formação), estado de saturação, entre outros.

Em termos de distribuição granulométrica, Pinto (2006) cita que quanto melhor a distribuição granulométrica, maior será o entrosamento entre as partículas do solo, e consequentemente, maior o ângulo de atrito do solo. Ainda conforme o autor, quanto há grande teor de finos, o comportamento do solo passa a ser comandado por estes, reduzindo o efeito do entrosamento entre as partículas.

Em solos não saturados, a sucção varia com o grau de saturação, sendo aquela maior, quanto menor este. A relação entre os dois parâmetros é representada pela curva característica ou de retenção, que depende da granulometria; uniformidade; histórico de secagem e umedecimento; da estrutura (macro e micro) entre outros fatores (TINJUM *et al*, 1997; VANAPALLI *et al*, 1999; ZHOU e YU, 2005; HO *et al*, 2006).

Neste sentido, o objetivo deste trabalho é verificar qual a influência da granulometria nas características geotécnicas e na resistência ao cisalhamento. Para tanto, escolheu-se um solo, sendo preparadas duas amostras. Em uma delas retirou-se uma parte da fração grosseira (partículas igual ou maiores que 4,8 mm) e em outra utilizou-se toda a granulometria. Com as amostras foram realizados ensaios de caracterização geotécnica e cisalhamento direto nas condições saturadas e não saturada, para a determinação dos parâmetros de resistência e as equações das envoltórias de ruptura.

2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

A amostra de solo utilizada para a realização do presente trabalho foi coletada no município de São Gabriel/RS, na localidade de Vacacaí, nas proximidades da RS-630, situado a 20 km ao sul da sede do município. A jazida pode ser localizada pela coordenadas geográficas: latitude S 30°29'25"/ longitude W 54°22'24" / Datum WGS'84.

Quanto à pedologia, segundo Streck *et al.* (2008) o solo estudado caracteriza-se como “neossolo regolítico distro-úmbrico típico”, pouco desenvolvidos, rasos a profundos, e uma sequência de horizontes A-Cr-R. A amostra empregada no estudo foi extraída a uma profundidade entre 1,5 a 2,5 m, pertencente ao horizonte C.

Do ponto de vista geológico, a rocha que deu origem ao solo residual pertence ao complexo geológico Cambaí, domínio ortogneisses. Nesta formação geológica há predominância de gneises, monzogranítico, granodiorítico, tonalítico e trondhjemitico, contendo enclaves de anfibolitos, metaultramafitos e metagrabos (CPRM, 2008). A sua formação ocorreu no éon Proterozóico, era Neoproterozóica, período Criogeniano (CPRM, 2008).

2.1 Caracterização Geotécnica

Para a caracterização geotécnica do solo foram realizados ensaios de análise granulométrica, limites de Atterberg e peso específico real dos grãos. Também foi realizada a classificação dos solos pelo sistema da SUCS (classificação unificada de Casagrande) e HRB (Highway Research Board, sistema rodoviário de classificação da AASHTO), além da classificação MCT, para solos tropicais, desenvolvida por Villibor e Nigami (2009). Apesar de ser um tipo de solo, foram preparadas duas amostras, sendo os ensaios realizados com toda a granulometria (“solo COM”) e outra extraíndo a fração com tamanho maior que 4,8 mm (“solo SEM”). A escolha do diâmetro de 4,8 mm justifica-se pelo fato deste diâmetro ser o da menor peneira do peneiramento grosso, que também coincide com a separação entre a granulometria fina e grosseira da classificação

unificada de Casagrande (SUCS). Além disso, a retirada do material com tamanho maior que 4,8 mm, teve a função de atender os limites dimensionais máximo para o equipamento de cisalhamento direto utilizado, impostos pela norma D3080 (ASTM, 2011).

A figura 1 apresenta a curva granulométrica das duas amostras. A tabela 1 apresenta as frações granulométricas e classificação textural. Já a tabela 2 apresenta as características gerais das amostras estudadas. A figura 2 apresenta o ábaco da classificação MCT.

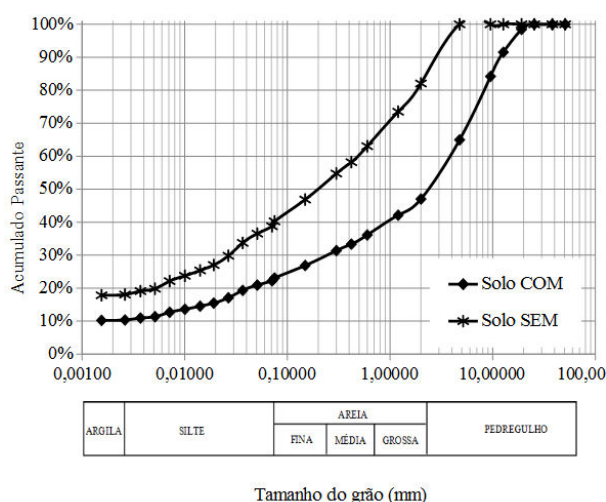


Figura 1. Granulometria das duas amostras de solo

Verifica-se que as propriedades ligadas à fração fina do solo, como LL e LP (partículas menores de 0,42 mm, conforme a ABNT, 1986) e classificação MCT (partículas menores de 2,0 mm, conforme VILLIBOR e NOGAMI, 2009), são as mesmas para as duas amostras por se tratar do mesmo solo. Em termos de classificação de solos, verifica-se que as amostras tem a mesma classificação pela classificação SUCS (SM – areia siltosa) e MCT (NA' – solo arenoso de comportamento não laterítico). Para classificação da HRB, o “solo SEM” é classificado como A-4 (solo siltoso não plástico a moderadamente plástico); já o “solo COM” é classificado como A-2-4 (material granular, cuja fração fina com comportamento de A-4). Neste sentido, embora tenha se alterado a granulometria de uma das amostras,

as propriedades geotécnicas e características de uma forma geral se mantiveram.

Tabela 1. Frações granulométricas e classificação textural.

Granulometria*	“Solo COM”	“Solo SEM”
Pedregulho ($2 < d \leq 60$)	53%	18%
Areia ($0,06 < d \leq 2$)	26%	45%
Silte ($0,002 < d \leq 0,06$)	11%	20%
Argila ($d \leq 0,002$)	10%	17%
Classificação textural	Pedregulho arenoso	Areia siltosa

* Conforme NBR 6502 (ABNT, 1995)
d = diâmetro da partícula (mm)

Tabela 2. Características gerais das amostras

Características	“Solo COM”	“Solo SEM”
Peso especif. real (γ_s)	2,515 g/cm ³	
Cor (solo seco)	avermelhado	
Diâm. Efetivo (D_{10})	0,0015 mm	< 0,001 mm
Coef. uniformidade (c_u)	2600 (D)	> 480 (D)
Coef. de curvatura (c_c)	10,7 (MG)	> 1,5 (I)
Liquidez (LL)	35%	
Plasticidade (LP)	26%	
IP = LL - LP	9%	
MCT	NA'	
HRB	A-2-4 (0)	A-4 (1)
SUCS	SM	

Observação: D = desuniforme, MG = mal graduado e I = indeterminado (podendo ser bem ou mal graduado)

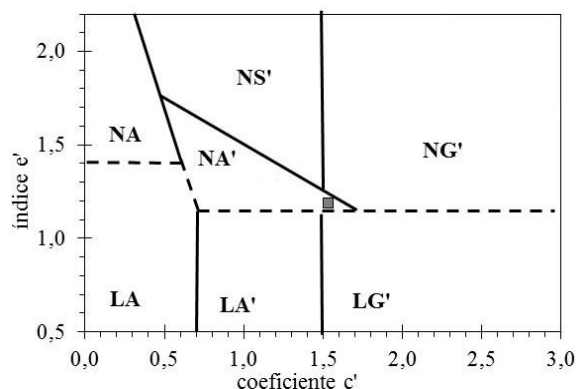


Figura 2. Ábaco de classificação MCT

Em análise à granulometria, verifica-se que as partículas com tamanho maior ou igual a 4,8 mm, correspondem a 1/3 do solo (35%).

Com isso, verifica-se que a retirada do material grosseiro, torna o solo mais fino, passando de um pedregulho arenoso, para uma areia siltosa. Embora as duas amostras sejam desuniformes ($C_u > 15$, “D” na tabela 2), o “solo COM” é mal graduado ($C_c < 1$ e > 3 , “MG” da tabela 2), o “solo SEM” é indefinido ($C_c > 1,5$, “I” da tabela 2), tendendo a ser bem graduado.

3 CISALHAMENTO DIRETO

3.1 Condições de ensaio

Para a determinação da resistência ao cisalhamento das amostras realizou-se ensaios de cisalhamento direto com deformação controlada. O equipamento utilizado (figura 3) e os procedimentos executivos seguiram as orientações da norma D3080 (ASTM, 2011). O equipamento é dotado de uma caixa bipartida com compartimento interno com diâmetro de 63 mm e altura de 20 mm. Para garantir a condição drenada ao longo do ensaio, aplicou-se uma velocidade horizontal constante na metade inferior da caixa cisalhante de 0,055 mm/min.

Os ensaios foram realizados com tensões normais de 100, 200 e 500 kPa, sendo transmitidas para a amostra por meio de um pendural. Os ensaios foram realizados na condição saturada (100% de saturação) e não saturada (11% de umidade, equivalente a 80% de saturação). Para as amostras na condição saturada, a caixa bipartida era mantida imersa em água ao longo do ensaio; para a condição não saturada, a caixa era mantida seca (sem água).



Figura 3. Equipamento de cisalhamento direto utilizado

3.2 Preparação das Amostras

Os corpos de prova a serem ensaiados, eram moldados em moldes, do mesmo tamanho da caixa cisalhante, em três camadas de igual altura, por meio de um soquete manual. A moldagem era realizada na condição de peso específico seco máximo ($\gamma_{dm\acute{a}x} = 18,9 \text{ kN/m}^3$) e umidade ótima ($\omega_{\acute{o}tima} = 12,1\%$), da energia normal, para a amostra com toda a granulometria.

Os corpos de prova na condição saturada eram colocados em imersão na caixa cisalhante somente após no mínimo 24 horas da moldagem (homogeneização da umidade), sendo cisalhadas, com imersão prévia mínima de 24 horas.

Para os corpos de prova não saturados, 24 horas após a moldagem, os mesmos eram colocados na estufa (100° C) para total secagem. Após a secagem era adicionado água por meio de um conta-gotas, até que fosse atingida a umidade de 11%. Para os corpos de prova não saturados era medida a sucção por meio da técnica de papel filtro (marca WhatmanTM n° 42). O papel filtro (dois pedaços de 1 cm x 1 cm) ficava em contato com os corpos de prova por 7 dias, sendo o corpo de prova envolto por duas camadas de filme de PVC. Transcorrido este prazo, determinava-se a umidade do papel que ficou em contato com os corpos de prova. A sucção era determinada pelas equações de correlação desenvolvidas por Chandler *et al.* (1992).

4 RESULTADOS DOS ENSAIOS

As tabelas 3 e 4 mostram os resultados individuais dos ensaios. A figura 4 mostra dois corpos de prova após a realização dos ensaios (já cisalhados). As figuras 5 a 8 mostram os resultados de tensão cisalhante pela deformação horizontal. A figura 9 a 11 mostram as envoltórias de ruptura de Mohr-Coulomb, respectivamente, para as amostras saturadas, “solo SEM” e “solo COM”. A tabela 5 compila os resultados dos parâmetros de resistência obtidos a partir da análise dos resultados.

Tabela 3. Resultados obtidos em cada ensaio de cisalhamento direto para o “solo SEM”

E	Cond	ψ (kPa)	S (%)	Rup.	ε_h	ε_v
1	Satur	0,00	95,5	P	6,9%	1,5%
2		0,00	100,0	D	10%	0,8%
3		0,00	100,0	D	10%	0,1%
4	Não satur	16,39	84,3	P	3,4%	0,8%
5		27,20	81,0	P	8,7%	0,9%
6		19,91	86,4	D	10%	0,6%

Sendo: E = número do ensaio; ψ ou $(u_a - u_w)$ = sucção; Cond = condição saturada ou não saturada; P = critério de ruptura de pico da curva de $\tau \times \sigma$; D = critério de ruptura de deformação de 10%; S = saturação ao final do ensaio; ε_h = deformação horizontal na ruptura; ε_v = deformação vertical na ruptura.

Tabela 4. Resultados obtidos em cada ensaio de cisalhamento direto para o “solo COM”

E	Cond	ψ (kPa)	S (%)	Rup.	ε_h	ε_v
7	Satur	0,00	100,0	D	10%	0,5%
8		0,00	100,0	D	10%	0,1%
9		0,00	90,3	D	10%	0,5%
10	Não satur	5,39	71,7	D	10%	5,2%
11		5,04	73,5	D	10%	2,9%
12		7,50	73,5	D	10%	2,4%

Para a determinação das envoltórias, utilizou-se a tensão cisalhante máxima de cada um dos ensaios. Alguns ensaios apresentaram um pico característico (P), outros não; sendo que neste caso utilizado o critério de deformação (ε_h) de 10% (D). Nas tabelas 3 e 4 é possível identificar o critério de ruptura utilizado (P ou D). Para os ensaios, aonde se utilizou o pico, a tabela mostra a deformação horizontal (ε_h) em que o mesmo ocorria. Em termos de deformação vertical (ε_v), verifica-se que todos os corpos de prova apresentaram compressão junto à ruptura, com tendência da compressão ser maior, quanto maior a tensão normal aplicada.

Nas tabelas 3 e 4 são apresentados os valores da sucção (ψ) obtida por meio da técnica do papel filtro. Para os ensaios saturados, não foi determinada a sucção, sendo considerado um valor de 0 kPa. Para o “solo SEM” obteve-se uma sucção (ψ) média de 21,2 kPa, para um grau de saturação (S) média de 84%. Para o “solo COM” obteve-se uma sucção (ψ) média de 6,0 kPa, para um grau de saturação (S) média de 73%. Analisando os resultados, verifica-se que a amostra de granulometria mais fina, “solo SEM”, apresenta uma maior sucção, se comparado com o “solo COM”. Isso ocorre

devido ao fato do primeiro ter uma macro estrutura menor se comparado com o segundo, tornando a saída de água/vapor mais difícil, o que aumenta a sucção do solo. Em termos de saturação verifica-se que o “solo SEM” apresenta uma saturação maior, em comparação ao “solo COM”, para a mesma umidade dos corpos de prova. Fato que também pode ser explicada pela do solo fino requer mais água para sua saturação.



Figura 4. Corpos de prova após a execução dos ensaios de cisalhamento direto: (a) saturado e (b) não saturado para o “solo SEM”

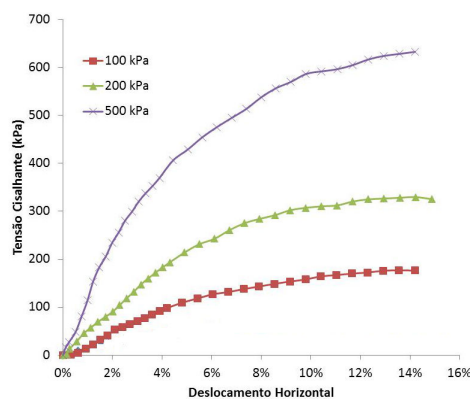


Figura 5. Resultado “solo COM” saturado

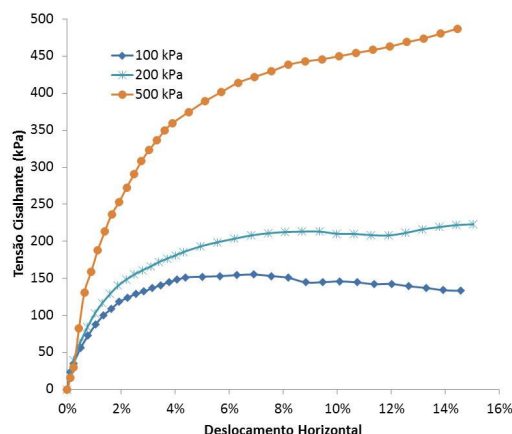


Figura 6. Resultado “solo SEM” saturado

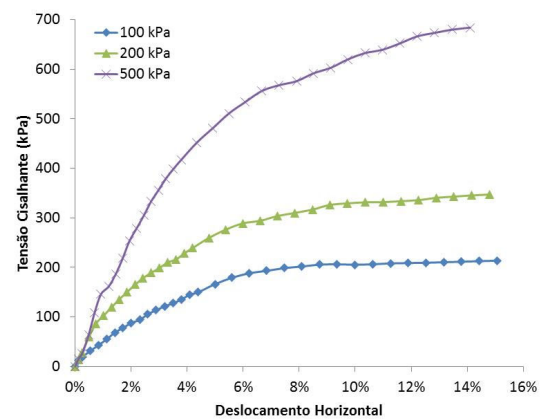


Figura 7. Resultado “solo COM” não saturado

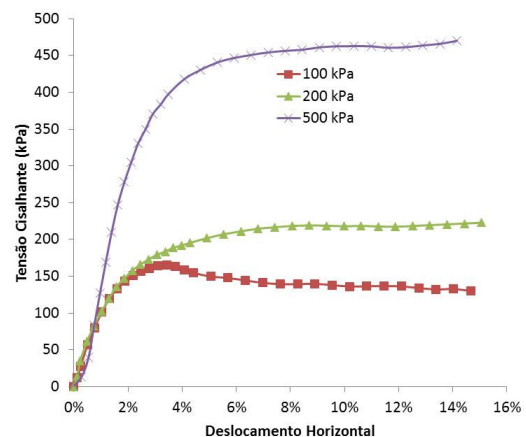


Figura 8. Resultado “solo SEM” não saturado

Analisando a figura 9, verifica-se que a resistência ao cisalhamento das amostras saturadas é maior para o “solo COM” em relação ao “solo SEM”. Em termos de parâmetros de resistência, verifica-se que o intercepto coesivo (c') é semelhante (~ 74 kPa). Como o intercepto coesivo é basicamente comandado pela fração fina (que é a mesma nas duas amostras), é perfeitamente aceitável que o valor tenha sido o mesmo. Quanto ao ângulo de atrito (ϕ'), verifica-se uma grande diferença entre as duas amostras, sendo que o “solo COM” apresenta um valor de $43,7^\circ$ e o “solo SEM” apresenta um valor de $34,5^\circ$. Esta diferença tem relação direta com a granulometria e o entrosamento entre as partículas, sendo que no material mais grosseiro o intertravamento é maior. Neste sentido, verifica-se que o ângulo de atrito é bastante influenciado pelas partículas grosseiras.

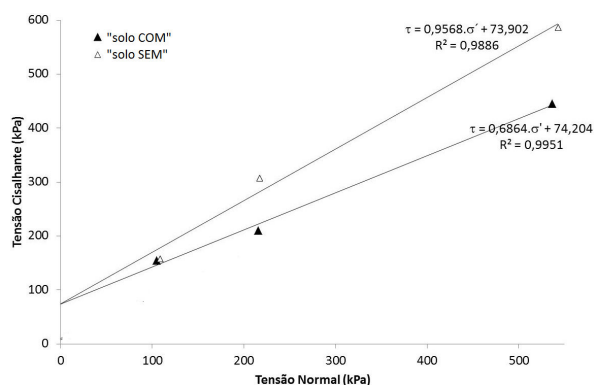


Figura 9. Envolvória de Mohr-Coulomb para os ensaios saturado

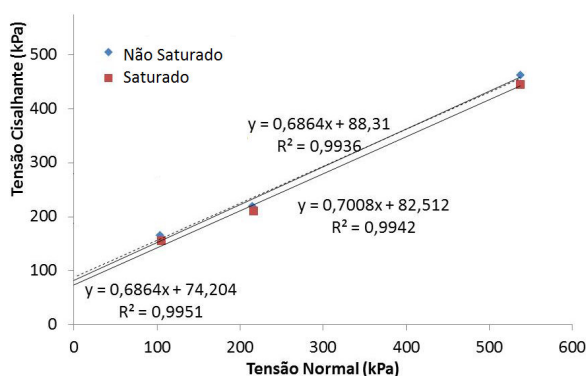


Figura 10. Envolvória de Mohr-Coulomb para o "solo SEM"

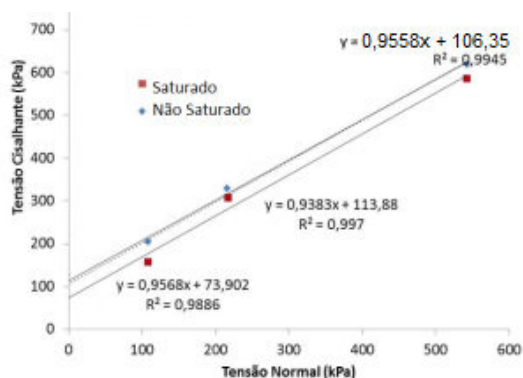


Figura 11. Envolvória de Mohr-Coulomb para o "solo COM"

Tabela 5. Parâmetros de resistência obtidos nos ensaios

Amostra	Melhor Ajuste (τ x σ')			Ajuste para mesmo ϕ'_{sat} (τ x σ')			ϕ'_b
	R^2	c'	ϕ'	R^2	c'	ϕ'	
S	0,99	74,2	34,5	0,99	74,2	34,5	33,7
	0,99	82,5	35,0	0,99	88,3		
C	0,99	73,9	43,7	0,99	73,9	43,7	79,6
	1,00	113,9	43,2	1,00	106,4		

Sendo: S = "solo SEM"; C = "solo COM", R^2 = coeficiente de determinação; c' = intercepto coesivo (kPa), ϕ' = ângulo de atrito ($^\circ$), ϕ'_b = ângulo de ajuste de sucção ($^\circ$)

Analisando as figuras 10 e 11, verifica-se que a resistência das amostras não saturadas é superior à das amostras saturadas, demonstrando que o incremento da resistência é devido à sucção. Embora a sucção do "solo SEM" seja superior à sucção do "solo COM", verifica-se que o mesmo não ocorre a coesão, que naquele é 82,5 kPa, neste é 113,9 kPa. Efetuou-se um ajuste linear, dos pontos das amostras não saturadas de forma torná-las paralelas à envoltória saturada (mesmo ϕ' saturado), obtendo-se novos valores para os interceptos coesivos, de 88,3 kPa e 106,4 kPa, para o "solo SEM" e "solo COM", respectivamente. Este paralelismo permite verificar que a sucção não causou alteração no ângulo de atrito, mas sim, somente no intercepto coesivo, que aumentou de 74,2 kPa para 88,3 kPa para o "solo SEM" e de 73,9 kPa para 106,4 kPa para o "solo COM". Considerando as envoltórias são paralelas, é possível verificar que a tensão cisalhante aumenta em um mesmo valor $[(u_a - u_w). \tan(\phi'_b)]$ constante], para qualquer uma das tensões normais estudadas. Com isso é possível determinar o ângulo de contribuição da resistência que depende da sucção (ϕ'_b), que para o "solo SEM" é de 33,7° e "solo COM" é de 79,6° (tabela 5).

Neste sentido, as envoltórias de ruptura para o estado não saturado das duas amostras podem ser expressas pelas equações 3 ("solo SEM", válida para $(u_a - u_w)$ entre 0 e 21,2 kPa) e 4 ("solo COM", válida para $(u_a - u_w)$ entre 0 e 6 kPa)).

$$\tau = 74,2 + (\sigma - u_a). \tan(34,5^\circ) + (u_a - u_w). \tan(33,7^\circ) \quad (3)$$

$$\tau = 73,9 + (\sigma - u_a). \tan(43,7^\circ) + (u_a - u_w). \tan(79,6^\circ) \quad (4)$$

5 CONCLUSÕES

Os resultados mostram que, mesmo alterando a composição granulométrica de um solo, neste caso pela retirada de partículas com tamanho igual e superior a 4,8 mm, correspondente a 35%, não se alterou as características correspondentes à fração fina, tais como limites de liquidez, limites de plasticidade e índice da

plasticidade. Também não se alterou a classificação geotécnica pelo sistema SUCS (SM) e MCT (NA'). Embora a classificação pelo sistema HRB, tenha sido diferentes: A-2-4 e A-4, verifica-se que a classificação A-2-4, herda as características do solo com classificação A-4 (fração fina).

Em termos de resistência ao cisalhamento, verifica-se que para os ensaios saturados, a alteração granulométrica não alterou o valor do intercepto coesivo ($c' \sim 74$ kPa). Houve diferença no ângulo de atrito, aonde a retirada do material grosseiro, fez o valor do ângulo de atrito baixar de $43,7^\circ$ para $34,5^\circ$. Com isso, verifica-se que a retirada do material grosseiro, faz com a resistência ao cisalhamento do solo seja menor.

Pela análise dos resultados, verifica-se que o solo não saturado, tem uma resistência ao cisalhamento superior ao solo saturado. Este aumento na resistência ocorre pelo incremento da parcela coesiva, pois o ângulo de atrito permanece inalterado.

A alteração granulométrica provoca alteração nos valores médios de sucção (ψ), sendo os valores menores para a amostra mais grosseira. Também se percebe uma alteração em termos de grau de saturação, para uma mesma umidade, sendo que no solo mais fino, o grau de saturação é maior.

REFERÊNCIAS

- American Society for Testing and Materials (2001). *D3080: Standard Test Method for Direct Shear Test of Soil Under Consolidated Drained Conditions*, West Coshohocken, USA, 9 p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1986) *NBR 6457: Amostras de Solo – Preparação para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização*, ABNT, Rio de Janeiro/RJ, 9p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1995) *NBR 6502: Solos e Rochas*, ABNT, Rio de Janeiro/RJ, 18p.
- Beneville, R. M. (2002) *Estudo dos Efeitos de Umidecimento e Secagem na Resistência ao Cisalhamento de um Solo Compactado em Laboratório*, Pontífica Universidade Católica do Rio de Janeiro, 182p.
- Chandler, R. J.; Crilly, M. S.; Montgomery-Smith, G. A. (1992) *Low-cost Method of Assessing Clay Dessication for Low-rise Buildings*. Institute of Civil Engineering, n. 92 (2), p. 82-89.
- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (2008)

- Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul*, CPRM;
- Das, M. B. Braja (2006) *Principles of Geotechnical Engineering*, 5th Ed., Thomson, Canada, 593p
- Fredlund, D. G.; Morgenstern, N. R.; Widger, R. A. (1978) *The Shear Strength of Unsaturated Soil*, Canadian Geotechnical Journal, v. 15, p. 313-321.
- Ho, K.M.Y.; NG, C.W.W.; Ho, K.K.S.; Tang, W.H. (2006) State-Dependent Soil-Water Characteristic Curves of Weathered Soils, *4th International Symposium on Unsaturated Soil*, Carefree, AZ, USA, vol. 1, p. 1302-1313.
- Lambe, T. W.; Whitman, R. V. (1979) *Soil Mechanics – SI Version*, Ed. John Wiley and Sons, 553p.
- Ortigão, J.A.R. (2007) *Introdução à Mecânica dos Solos dos Estados Críticos*, 3^a Ed., Terratek, 391p.
- Pinto, C.S. (2006) *Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas*, 3^a Ed., Oficina de Textos, São Paulo/SP, 359p.
- Streck, E. V.; Kampf, N.; Dalmolin, R. S. D.; Nascimento, P.C.; Schneider, P.; Giasson, E.; Pinto, L.F.S. (2008) *Solos do Rio Grande do Sul*, 2^a Ed., EMATER, Porto Alegre/RS, 222p.
- Tinjum, J.M.; Benson, T.H.; Blotz, R.L. (1997) Soil-Water Characteristic Curves for Compacted Clay, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, v. 123(11), p. 1060-1069.
- Villibor, D. F.; Nogami, J.S. (2009) *Pavimentos Econômicos – Tecnologia do Uso dos Solos Finos Lateríticos*, Arte e Ciência, São Paulo/SP, 292p.
- Zhou, J.; Yu, L. J. (2005) Influence Affecting of the Soil-Water Characteristic Curve, *Journal of Zhejiang University Science*, v. 6A(8), p. 797-804.