

# Avaliação da Relação Entre Sucção e Resistência De Solos Para Fundações Sobre Aterros

Gizelli Alves Lira

Instituto Federal do Ceará , Fortaleza, Brasil , gizellilira@gmail.com

Danielle Alexandre Carneiro

Universidade de Fortaleza , Fortaleza, Brasil, daany\_ce@hotmail.com

Fernando Feitosa Monteiro

Universidade Federal do Ceará , Fortaleza, Brasil , engffmonteiro@gmail.com

Marcos Fábio Porto De Aguiar

Universidade de Fortaleza / Instituto Federal do Ceará , Fortaleza, Brasil , marcosfpa@gmail.com

Fransisco Heber Lacerda de Oliveira

Universidade de Fortaleza , Fortaleza, Brasil , heberoliveiracivil@hotmail.com

## RESUMO

O trabalho analisa, através do estudo de caso de uma obra de edificação na região metropolitana de Fortaleza (CE), o comportamento qualitativo da influência da sucção mátrica na resistência de um solo utilizado como aterro, através de ensaios de caracterização e de determinação da sucção realizados em laboratório. Utilizando a técnica do papel filtro, a partir de corpos de prova compactados, foi possível estimar o valor da sucção e ainda, observar a umidade gravimétrica, através da retirada de amostras dos corpos de prova a partir do método do papel fitro. O solo estudado trata-se de um material predominantemente argiloso e que possui baixa plasticidade, visto que os ensaios de índice de suporte califórnia foram realizados com diferentes teores de umidade. A partir daí, determinou-se a sucção e os resultados relacionados com a resistência, que comprovou relação de proporção direta. A resistência obtida no estado seco em estufa à 105°C após 5 horas, mostrou-se 26 vezes maior que a encontrada no estado saturado, mostrando a importância do estudo da água presente no subsolo para camadas de aterros.

**PALAVRAS-CHAVE:** Solos não-saturados, Resistência, Sucção mátrica.

## 1 INTRODUÇÃO

Os conceitos da mecânica dos solos não saturados vêm exercendo um importante papel no entendimento do comportamento hidráulico e mecânico de solos cujas características não se adequam nas condições impostas pela mecânica dos solos clássica. Desse modo, diversas pesquisas estão sendo realizadas para que os parâmetros geotécnicos necessários para projetos de engenharia possam ser determinados por essa teoria, grande parte das obras de engenharia, como estradas, barragens,

estabilização de taludes e fundações, são exercidas acima do lençol freático e em solos não saturados, que encontram-se em grande extensão no nosso planeta. Além disso, 60% dos países localizam-se em regiões áridas e semi-áridas, onde ocorrem longos períodos secos e a evaporação acaba excedendo as precipitações. A água, na condição de solos não saturados, preenche parcialmente os vazios e é encontrada nos solos que se localizam acima do lençol freático, apresentando uma pressão negativa que causa um confinamento entre as partículas. Desta forma, o trabalho objetivou-se

em identificar a relação qualitativa existente entre a variação da sucção mátrica e a resistência dos solos não saturados, como também abordar a importância dos estudos relacionados aos mesmos e mostrar através de ensaios laboratoriais com materiais de um estudo de caso de uma obra na cidade de Fortaleza tal relação; sucção x resistência dos solos não saturados.

## 2 MECÂNICA DOS SOLOS NÃO SATURADOS

Diferentemente dos solos saturados, que constituem um sistema bifásico com partículas sólidas e líquido intersticial, os solos não saturados são compostos por um sistema multifásico, constituídos pelas fases sólida, líquida e gasosa. Fredlund e Morgenstern (1977), admitem ainda a existência de uma quarta fase, composta pela interface formada entre as fases líquida e gasosa, denominada membrana contráctil como visto na Figura 1. O conhecimento da constituição e distribuição de cada uma dessas fases na estrutura do solo é essencial para compreender o comportamento do mesmo, em termos de resistência ao cisalhamento, variação volumétrica, condutividade hidráulica, erodibilidade, entre outros.

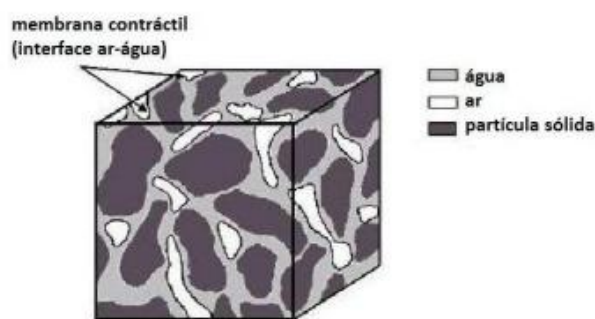


Figura 1. Elemento de solo não saturado com fase contínua de ar.

Além das tensões geostáticas comuns aos solos saturados, na condição não saturada manifesta-se uma pressão isotrópica resultante da interação entre o líquido e o gás nos poros do solo, denominada sucção

### 2.1 Sucção

Dentre as diversas definições existentes, Marinho (1994) afirma que a sucção é a pressão isotrópica que a água intersticial impõe para absorver mais água. De acordo com o mesmo autor, essa é dividida em duas componentes: a sucção mátrica ( $u_a - u_w$ ), que está relacionada à matriz do solo, ou seja, a combinação entre o tipo de partícula e o arranjo estrutural, e a sucção osmótica  $\pi$ , devida à concentração de sais na água do solo.

O significado físico da sucção total, mátrica e osmótica foi explicado por Marinho (1994) utilizando o conceito de uma membrana semipermeável (Figura 2). A sucção total é a diferença de pressão através de uma membrana semipermeável que separa a água pura de um sistema constituído pelo solo e água intersticial. A membrana semipermeável permite apenas a passagem da água e não dos solutos, e a pressão ocorre devido a uma diferença de concentração química entre a água pura e a água do solo. A sucção mátrica é dada pela diferença de pressão através de uma membrana que separa o sistema solo-água intersticial de uma solução idêntica à da água intersticial, mas sem o solo. Essa membrana é permeável à solução, permitindo a passagem da água e dos solutos. Sendo assim, não há diferença de concentração química nos poros. A sucção osmótica é obtida pela diferença entre as sucções total e mátrica.

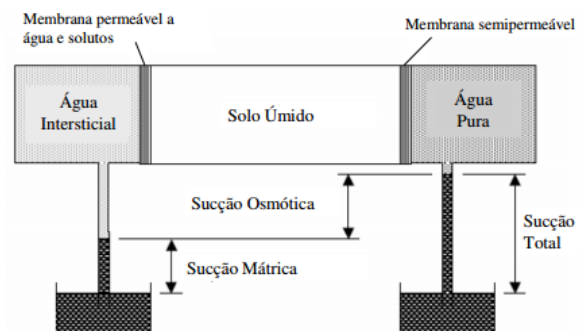


Figura 2. Sistema ilustrativo das componentes de sucção do solo (baseado em Hillel, 1971).

A sucção total  $\psi$  é definida pela soma das sucções mátrica e osmótica, de acordo com a Equação 1.

$$\psi = (u_a - u_w) + \pi \quad (1)$$

Embora a sucção regule o comportamento dos solos não saturados, este parâmetro é ainda pouco utilizado nos projetos de engenharia. Houston *et al.* (1994) citam duas razões pelas quais as medidas de sucção não são comumente inseridas nas análises. A primeira está relacionada às poucas publicações existentes sobre correlações entre essa variável e as propriedades básicas dos solos. A segunda refere-se à inexistência de um método padronizado de baixo custo para determinação da sucção. Por este motivo, nos últimos anos, diversos estudos estão sendo desenvolvidos com o intuito de promover uma maior confiabilidade às medições de sucção, com a melhoria de técnicas e correlações utilizadas.

## 2.2 Curva Característica

A curva característica representa a relação existente entre a quantidade de fluido presente nos poros do solo e a sua correspondente sucção. Quando o fluido em estudo é a água, sua quantificação pode ser expressa em termos de teor de umidade gravimétrico ( $w$ ), teor de umidade volumétrico ( $\theta$ ) ou grau de saturação ( $S_r$ ) de acordo com Vivian (2008).

De Campos *et al.* (1992) sugerem a representação da curva em termos de teor de umidade gravimétrico para problemas geotécnicos envolvendo ruptura, assim como o teor de umidade volumétrico para problemas envolvendo deformação em solos não saturados. Dentre os principais fatores que influenciam na forma da curva característica, podem ser citados o tipo de solo (estrutura e agregação), o teor de umidade inicial, o índice de vazios, a textura, a mineralogia, a história de tensões e os métodos de compactação (Vanapalli *et al.*, 1999).

A partir dessa relação constitutiva, é possível estabelecer, de maneira empírica ou teórica, as variações do comportamento do solo não saturado em diferentes condições de umidade.

As mudanças podem ocorrer em relação à condutividade hidráulica, resistência ao cisalhamento e a variação volumétrica, ao longo das trajetórias de secagem e umedecimento do solo. Existem diversos estudos referentes a estes temas, que utilizaram a curva característica e o coeficiente de condutividade hidráulica saturado para diversos tipos de solos a fim de prever a condutividade hidráulica não saturada a diferentes níveis de sucção. Agus *et al.* (2003), Escario e Jucá (1989), Fredlund *et al.* (1996), foram alguns dos estudos que estabeleceram relações entre a curva característica e a resistência ao cisalhamento saturada dos solos estudados, para prever os parâmetros de resistência ao cisalhamento não saturada.

## 2.3 Método do Papel Filtro

A obtenção da curva característica pode ser realizada por diversas técnicas, em campo ou em laboratório, através de métodos diretos ou indiretos. Os métodos diretos resultam nas medidas de sucção sem que sejam necessárias correlações entre esta e outros parâmetros do solo. Os métodos indiretos permitem a determinação da sucção do solo através da sua relação com propriedades de outros materiais. A escolha do melhor método a ser empregado depende do tempo para realização dos ensaios, do equipamento disponível, dos custos envolvidos, da precisão desejada, da complexidade do procedimento, entre outros (Vivian, 2008).

O método do papel filtro constitui um meio indireto para medição de sucção. Segundo Leong *et al.* (2002), entre as principais vantagens da técnica, pode-se citar a simplicidade, o baixo custo e a possibilidade de medir um grande intervalo de sucção. Além disso, a versatilidade desse método permite sua utilização tanto em laboratório como em campo. Os primeiros relatos sobre a utilização de papéis filtro para obter a sucção do solo aparecem nos trabalhos de Hansen (1926) e Gardner (1937), ambos citados por Marinho (1994). Hansen (1926) saturou o papel em uma solução de açúcar antes de mantê-lo em ambiente fechado com a amostra de solo, sem que houvesse

contato entre os mesmos. Gardner (1937) foi o pioneiro na utilização do papel filtro como um material absorvente, sem uso de quaisquer soluções para saturá-lo.

O princípio do método consiste em provocar uma transferência de água do solo para um material poroso (papel filtro), até que um equilíbrio seja atingido. O equilíbrio é definido pela igualdade de sucções entre os materiais, porém com diferentes teores de umidade (Marinho, 1994). Desta forma, conhecendo a relação entre sucção e umidade deste material poroso, através de uma curva de calibração, é possível determinar esta relação também para o solo.

Um importante aspecto do método do papel filtro é o fluxo de umidade entre o papel e o solo, que pode ocorrer através de fluxo capilar ou de vapor. O fluxo capilar surge através dos poros do solo e das fibras do papel, sem que a água perca sua continuidade. Este processo ocorre quando o papel filtro está em contato direto com o solo e o procedimento é denominado “método em contato”, conforme a Figura 3 (a). Neste caso, a parcela de sucção medida é a sucção mátrica. No fluxo de vapor, as moléculas de água devem sair dos poros do solo pela superação de forças capilares e osmóticas. As forças osmóticas estão presentes em solos que possuem água intersticial contendo sais dissolvidos. Para que esse fluxo ocorra, deve ser deixado um espaço entre o papel filtro e o solo, de acordo com a Figura 3 (b). A camada de ar entre estes materiais constitui uma barreira para os sais, permitindo apenas a saída de vapor de água do solo em direção ao papel. Neste processo, denominado “método sem contato”, o valor medido corresponde à sucção total. A determinação da sucção osmótica é permitida pela subtração entre a sucção total e a sucção mátrica.

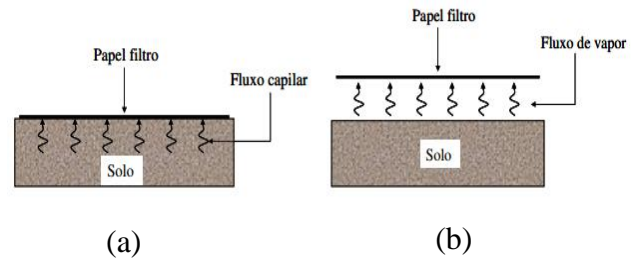


Figura 3. Princípio do método do papel filtro: (a) técnica em contato; (b) técnica sem contato (baseado em Marinho, 1994).

Marinho (1994) realizou, entre outras investigações, um estudo qualitativo para avaliar o efeito da distância entre a fonte de vapor de água e o papel filtro, na técnica sem contato. Os resultados mostraram que essa distância influencia no teor de umidade do papel para um dado tempo de equilíbrio. Outra tendência observada no ensaio está relacionada ao tempo de equilíbrio requerido, que pode ser menor para amostras com maior sucção. O mesmo autor ainda afirma que a curva de calibração de Chandler e Gutierrez (1986) pode ser utilizada para atribuir valores de sucção total, desde que o tempo de equilíbrio seja adequado, contudo, existem problemas para medições de valores de sucção com menos de 80kPa. Os tempos de equilíbrio sugeridos estão na Tabela 1.

Tabela 1: Tempo de equilíbrio sugerido para medida de sucção total, em função do nível de sucção.

Nível de sucção (kPa)	Tempo de equilíbrio (dias)
0 - 100	Indeterminado; > 30
100 – 250	30
250 – 1000	15
> 1000	7

Os papéis filtro mais utilizado para esse tipo de ensaio são Whatman nº. 42 e o Schleicher & Schuell nº. 589. Tem-se a seguir na Figura 4, curvas de calibração feita por pesquisadores e ainda, na Tabela 2, relações entre a umidade do papel filtro e a sucção obtidas com base nessas curvas .

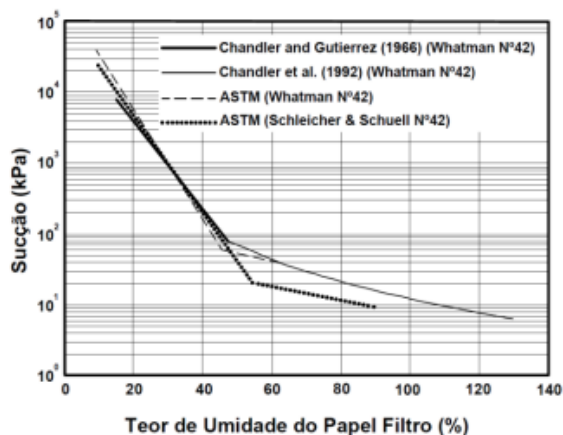


Figura 4. Curvas de calibração para os papéis filtro Whatman n.º. 42 e Schleicher & Schuell n.º. 589.

Tabela 2. Equações que relacionam teor de umidade do papel filtro e sucção

Papel filtro	Faixa de umidade	Equação
Whatman n.º. 42 (Chandler e Gutierrez, 1986)	$w \leq 47\%$	Sucção (kPa) = $10^{(4,84 - 0,0622 \log w)}$
	$w > 47\%$	Sucção (kPa) = $10^{(5,05 - 2,48 \log w)}$
Schleicher & Schuell n.º. 589 (ASTM D5298-1993)	$w \leq 54\%$	Sucção (kPa) = $10^{(5,056 - 0,0688 w)}$
	$w > 54\%$	Sucção (kPa) = $10^{(1,882 - 0,01202 w)}$

### 3 ESTUDO DE CASO

O presente artigo fez um estudo da importância da sucção em um aterro para fundação da edificação da Faculdade Integrada do Ceará - FIC, cuja sede encontra-se no bairro Parangaba, Fortaleza-CE. Foi coletado cerca de 100kg do material de aterro, usado para se determinar os parâmetros necessários para melhor conhecimento do comportamento geotécnico desse solo. Os ensaios executados para que se conseguisse alcançar as correlações do objetivo deste trabalho foram: ensaios de caracterização, ensaio de compactação, índice de suporte califórnia, curva de retenção (ensaio de sucção).

#### 3.1 Ensaios de Caracterização

Para execução de tais ensaios fez-se uso de uma estufa com temperatura controlada em 105°C e uma balança com precisão de 0,1g. A amostra de solo não saturado foi devidamente seca ao ar,

além de ser destorroada e homogeneizada.

#### 3.1.1 Análise Granulométrica

A granulometria do solo em estudo foi determinada a partir da norma ABNT(1984c), que prescreve uma metodologia realizada por peneiramento ou por combinação de sedimentação e peneiramento. A Tabela 3 mostra o resumo da granulometria realizada no ensaio.

Tabela 3. Resumo da granulometria por peneiramento

Pedregulho	0,00 %
Areia Grossa	3,18 %
Areia Média	16,69 %
Areia Fina	44,69 %
Silte e Argila	37,45 %

Na Figura 5 é possível observar o resultado da granulometria e a curva granulométrica do solo analisado.

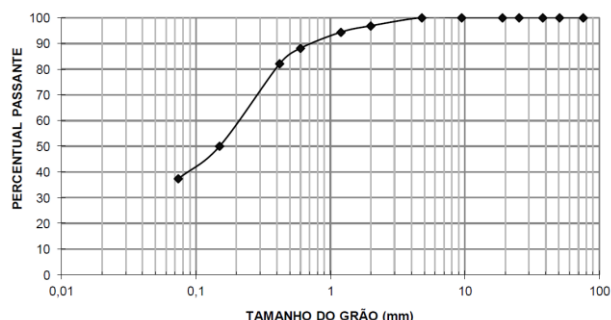


Figura 5. Curva granulométrica do solo

#### 3.1.2 Limites de Consistência e Densidade Real dos Grãos

Os valores encontrados para o limite de plasticidade, limite de liquidez, bem como o índice de plasticidade, determinados a partir da norma ABNT(1984a-1984b), são representados na Tabela 4.

Tabela 4. Resultados dos limites de consistência

LL	LP	IP
19,95%	12,95%	7,00%

Na Figura 6, é apresentado o gráfico encontrado para o limite de liquidez.

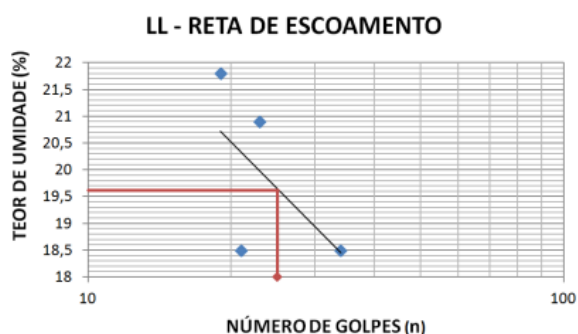


Figura 6. Obtenção do índice LL (%) - Retas de escoamento

A densidade real dos grãos, de acordo com a Tabela 5, exibe resultados de 5 picnômetros, mostrando os valores para densidade real do ensaio após correção da temperatura de 28°C. Realizando-se a média, podemos estimar uma densidade real do grão de aproximadamente 2,62.

Tabela 5. Densidade real dos grãos

Picnômetro Seco (g)	Picnômetro + água (g)	Picnômetro + solo (g)	Picnômetro + solo + água (g)	$\delta$ (corrigida)
46,40	147,60	57,48	154,72	2,79
43,18	146,76	54,24	153,47	2,53
42,91	144,11	52,88	150,22	2,57
45,76	147,96	55,98	154,24	2,58
44,98	146,18	55,26	152,55	2,62

### 3.2 Ensaio de Compactação e Índice de Suporte Califórnia

O ensaio de compactação foi realizado de acordo com a ABNT (1986), considerando a energia normal de compactação. Obtendo-se uma densidade máxima de 18,7 kN/m<sup>3</sup> e uma umidade ótima de 9,8%

Em seguida, foram realizados ensaios de Índice de Suporte Califórnia conforme a ABNT(1987) com três corpos de prova, moldados na energia normal e umidade ótima, contudo foram dispostos aos seguintes tipos de umidade: um corpo de prova ficou imerso em água por 4 dias, outro foi rompido na umidade ótima e por fim, o terceiro passou por processo de secagem em estufa à 105°C por 5 horas. Os

valores encontrados, assim como o gráfico comparativo das unidades nas 3 condições impostas estão representados a seguir pela Tabela 6 e pela Figura 7, respectivamente.

Tabela 6. Valores obtidos do Índice de Suporte Califórnia

Índice de Suporte Califórnia		
Condição saturada	Condição na umidade ótima	Condição seca (5 horas)
5,78%	33,61%	126,80%

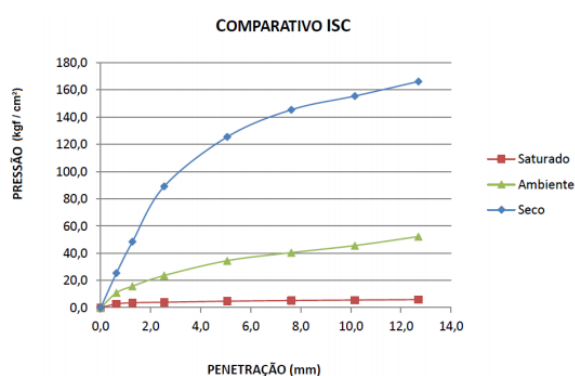


Figura 7. Gráfico comparativo relacionando (%) ISC com as situações impostas aos corpos de prova

### 3.3 Ensaio de Sucção

O ensaio foi feito através da metodologia do papel filtro, usando o papel filtro da marca Whatman n° 42, o mesmo foi manipulado cuidadosamente pra que fosse preservado a sua umidade higroscópica e ainda, colocado em contato com a amostra de solo, para que fosse encontrada a sucção matricial, ficando por 7 dias em tempo de equilíbrio como se exige.

Neste ensaio, foram feitos 5 corpos de prova que também foram submetidos a situações diferentes de umidade: saturação, onde ficou imerso em água por 4 dias; temperatura ambiente e em condições normais; e os três restantes foram seco em estufa à 105°C por 1h, 3h e 5h, respectivamente. De cada um desses corpos de prova foi retirada duas amostras para que fosse feito o ensaio de sucção. Passados os 7 dias, para que as amostras se encontrassem no equilíbrio de sucção, os papéis filtro, que se encontravam em contato com as mesmas,

foram pesados antes e depois de serem levados a estufa (105°C), com isso, foi obtido a umidade através dessa diferença de valores e da média aritmética dos papéis, conforme resultados na Tabela 7.

Tabela 7. Resultado dos ensaios com o papel filtro

Descrição	Saturado		Ambiente		Secagem (1h)		Secagem (3h)		Secagem (5h)	
	1a	1b	2a	2b	3a	3b	4a	4b	5a	5b
Nº cápsula	1a	1b	2a	2b	3a	3b	4a	4b	5a	5b
Peso Bruto úmido (g)	3,3199	3,7255	3,2155	3,2964	2,8951	2,9587	2,7568	2,5265	2,4952	2,5785
Peso Bruto seco (g)	2,1452	2,3975	2,1452	2,3774	2,1587	2,172	2,0777	2,0795	2,0528	2,0728
Peso do saco (g)	1,061	1,0852	1,0658	1,0755	1,0565	1,0658	1,0817	1,0637	1,0598	1,0625
Peso do papel filtro úmido (g)	2,2587	2,6403	2,1497	2,2209	1,8386	1,8929	1,6751	1,4628	1,4354	1,516
Peso do papel filtro seco (g)	1,084	1,3123	1,0794	1,3019	1,1022	1,1062	0,996	1,0158	0,993	1,0103
Umidade (%)	108,365	101,1936	99,1523	70,5891	66,8118	71,1128	68,1827	44,0028	44,5542	50,0501
Média das umidades (%)		104,778		84,871		68,962		56,093		47,302

Para umidade acima de 47%, utiliza-se a equação proposta por Chandler *et al* (1992), para cálculo da sucção.

A Tabela 8 apresenta as relações entre umidade e sucção encontradas.

Tabela 8. Relação entre umidade (w) e sucção (Ψ)

Umidade (w em %)	Sucção (Ψ em kPa)
104,77	10,9579
84,87	18,4790
68,96	30,9202
56,09	51,6073
47,30	78,7581

Foi ainda observada a umidade gravimétrica, através da retirada de amostras dos corpos de prova do método do papel filtro, e relacionando-a com a densidade do material, assim, estabelecendo a umidade volumétrica das amostras, conforme a Tabela 9.

Tabela 9. Valores da umidade gravimétrica e volumétrica do solo

Descrição	Saturado		Ambiente		Secagem (1h)		Secagem (3h)		Secagem (5h)	
	23	41	8	53	67	92	17	28	19	32
Nº cápsula	23	41	8	53	67	92	17	28	19	32
Peso Bruto úmido (g)	110,06	127,53	87,55	78,2	104,1	95,39	78,2	80,54	84,47	81,82
Peso Bruto seco (g)	98,67	113,81	81,43	74,03	97,95	90,1	74,46	76,55	80,86	78,55
Peso da cápsula (g)	23,3	23,83	22,14	23,22	23,36	23,67	23,69	23,13	23,21	1,076
Peso da água (g)	11,39	13,72	6,12	4,17	6,15	5,29	3,74	3,99	3,61	3,27
Umidade gravimétrica	0,151	0,152	0,103	0,082	0,082	0,08	0,074	0,075	0,063	0,042
Média das umidades (%)		0,152		0,093		0,081		0,074		0,052
Umidade volumétrica (%)		0,398		0,243		0,212		0,194		0,137

A Figura 8 mostra a curva característica do solo estudado baseada nas informações apresentada nas tabelas anteriores.

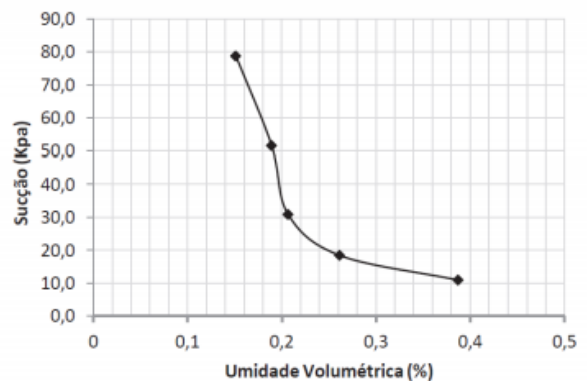


Figura 8. Curva Característica do solo

Por fim, foram selecionadas: a amostra saturada imersa em água por 4 dias, a amostra em temperatura ambiente e a amostra seca em estufa (105°C) por 5 horas. Essa seleção buscou relacionar os dados de índice de resistência do solo com os resultados de sucção, a fim de verificar qualitativamente a influência da sucção na resistência desse solo. A Figura 9 interpreta através de um gráfico essa tal relação.

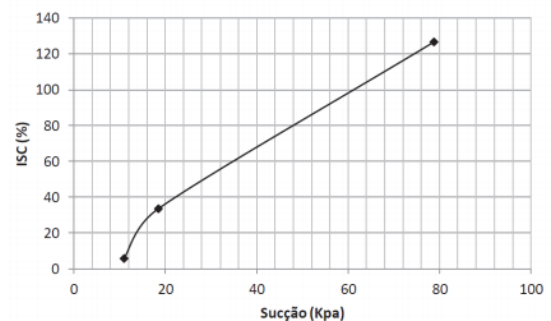


Figura 9. Correlação entre índice de suporte califórnia (%) e sucção (kPa)

#### 4 CONCLUSÃO

Aos estudos e resultados obtidos, destacamos que quando o solo se expõe a diferentes tipos de umidade a sua resistência sofre uma considerável mudança, assim como sua sucção. O método do papel filtro, escolhido para avaliar as correlações deste trabalho, foi assim selecionado pela facilidade de execução e seu baixo custo. A temperatura, para medição dos valores de sucção, é um parâmetro muito

importante, por isso o ensaio foi feito de forma a manter o ambiente com temperatura controlada. Porém, algumas falhas são apontadas por alguns autores por conta do cuidado que se deve ter com manuseio do papel filtro e o tempo de calibração. A relação da sucção com a umidade volumétrica, foi assim estabelecida, por recomendações de alguns autores, que à indicam no caso de problemas geotécnicos envolvendo deformação. De acordo com os ensaios, como o material em estudo trata-se de um solo predominantemente argiloso e com baixa plasticidade, é bem relevante a característica de suporte do mesmo. Tal característica, foi obtida no estado seco em estufa à 105°C após 5 horas, apresentando uma resistência de aproximadamente 26 vezes maior que a encontrada no estado saturado. Conclui-se então, que o valor de resistência do material é diretamente proporcional ao valor de sucção. O trabalho, portanto, comprova a importância do estudo da água no subsolo para camadas de aterros e pavimentos

## AGRADECIMENTOS

Gostariamos de agradecer a CAPES pela bolsa concedida a Fernando Feitosa Monteiro.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT (1984a) – NBR 6459: Solo – Determinação do Limite de Liquidez. Método de ensaio – RJ, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT (1984b) – NBR 7180: Solo – Determinação do Limite de Plasticidade. Método de ensaio – RJ, 1984. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS –
- ABNT (1984c) – NBR 7181: Análise Granulométrica. Método de ensaio – RJ, 1984. Gizelli Alves Lira, Danielle Alexandre Carneiro, Marcos Fábio Porto de Aguiar 17 XVI Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte – Santiago – 21 - 25 Octubre 2013
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT (1986) – NBR 7182: Solo: Ensaio de compactação. Método de ensaio – RJ, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT (1987) – NBR 9895: Solo - Índice de suporte Califórnia. Método de ensaio – RJ, 1987.
- AGUS, S.S.; LEONG, E.C.; SCHANZ, T. (2003). Assessment of Statistical Models for Indirect Determination of Permeability Functions from Soil-Water Characteristic Curves. *Geotechnique*, Vol. 53, Nº 2, p. 279-282.
- CHANDLER, R.J.; GUTIERREZ, C.I. (1986). The Filter-Paper Method of Suction Measurement. *Geotechnique*, Vol. 36, Nº 2, p. 265-268.
- CHANDLER, R.J.; CRILLY, M.S.; MONTGOMERY-SMITH, G. (1992). A Low-Cost Method of Assessing Clay Dessiccation for Low-Rise Buildings. Proc. of the Institute of Civil Engineering, Vol. 92, Nº 2, p. 82-89.
- DE CAMPOS, T.M.P.; DELGADO, C.C.; TIBANA, S.; AGUILAR, S.A.S.; FONSECA, E.C. (1992). Determinação da Curva Característica de Sucção em Laboratório. In: *1ª Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas – 1ª COBRAE*, Rio de Janeiro, Anais..., p. 835-851.
- ESCÁRIO, V.; JUCA, J. (1989) Strength and Deformation of Partly Saturated Soils. In: XII International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Rio de Janeiro. Proceedings..., v.1, p. 43-46.
- FREDLUND, D.G.; MORGENSTERN, N.R. (1977). Stress State Variables for Unsaturated Soils. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE, Vol. 103, Nº GT5, p. 447- 466.
- FREDLUND, D.G.; XING, A.; FREDLUND, M.D.; BARBOUR, S.L. (1996). The Relationship of Unsaturated Soil Shear Strength Function to the Soil-Water Characteristic Curve. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 33, Nº 3, p. 440-448.
- LEONG, E.C.; HE, L.; RAHARDJO, H. (2002). Factors Affecting the Filter Paper Method for Total Suction Measurements. *Geotechnical Testing Journal*, Vol. 25, Nº 3, p. 322-333.
- MARINHO, F.A.M. (1994). *Shrinkage Behaviour of some Plastic Soils*. PhD Thesis – Imperial College, University of London, 216p.
- HILLEL, D. (1971) – “Soil and water principles and processes” – academic press.
- HOUSTON, S.L.; HOUSTON, W.N.; WAGNER, A.M. (1994). Laboratory Filter Paper Suction Measurements. *Geotechnical Testing Journal*, Vol. 17, Nº 2, p. 185-194.
- VANAPALLI, S.K.; FREDLUND, D.G.; PUFAHL, D.E. (1999). The Influence of Soil Structure and Stress History on the Soil-Water Characteristics of a Compacted Till. *Geotechnique*, Vol. 49, Nº 2, p. 143-159.
- VIVIAN, J.B. (2008). *Utilização do Método do Papel Filtro para a Determinação da Curva Característica de um Solo Coluvionar Não Saturado Contaminado com Óleo Diesel*. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.