

Estudo da Espessura Mínima de Areia Fina Como Cobertura de Solo Sobre o GCL

Raquel Reschke Endler

Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Brasil, raquel_end@hotmail.com

Daniele Ghisleni

Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Brasil, 112848@upf.br

Marcio Felipe Floss

Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Brasil, marciofloss@upf.br

RESUMO: Considerando que o desempenho do Geocomposto Bentonítico (*Geosynthetic Clay Liners* - GCL) depende diretamente da disposição da bentonita no interior do produto, a presente pesquisa teve por finalidade avaliar uma espessura mínima de camada de solo sobre o GCL, de modo a evitar o *squeezing* (deslocamento lateral da bentonita). O fenômeno *squeezing* pode ocorrer no momento em que é aplicada uma carga concentrada sobre o GCL, uma vez que a resistência deste apresenta reduções de até 36% em seu coeficiente de atrito após a hidratação da bentonita. Dessa forma, buscou-se investigar a capacidade de carga suportada por geossintéticos argilosos sem que ocorresse o *squeezing*. Para tanto, foram realizados uma série de testes laboratoriais, através da adaptação do ensaio de capacidade de carga (*Califórnia Bearing Ratio* - CBR), analisando-se a influência do diâmetro do pistão, conforme correlações feitas entre a cobertura de solo e o diâmetro do pistão utilizado no estudo. Após a realização dos testes, estes foram comparados com ensaios já existentes a fim de avaliar os procedimentos e metodologias até então utilizados.

PALAVRAS-CHAVE: GCL, CBR, Squeezing.

1 INTRODUÇÃO

Os Geocompostos Bentoníticos (*Geosynthetic Clay Liners* - GCL) são constituídos de uma camada de argila em pó (usualmente bentonita sódica), a qual é unida química ou mecanicamente a um geotêxtil ou a uma geomembrana através de um processo de agulhamento, ponteamto ou adesivos químicos. Após tal união forma-se um único material - o GCL.

Este por ter as mais variadas vantagens (flexibilidade com os recalques diferenciais; pequena espessura; propriedade de auto cicatrização; fácil instalação; menor custo; e possível monitoramento de suas propriedades durante a fabricação) acaba sendo muito utilizado em substituição ou complementação a

camadas de argila compactadas em sistemas impermeabilizantes, com o fim de se evitar ou impedir a migração de fluidos contaminantes, sejam fluidos líquidos ou gases, que possam entrar ou sair de uma determinada obra ou sistema.

Em que pese o GCL ser considerado um impermeabilizante de grande potencial, alguns fatores podem levar a ocorrer o *squeezing* (deslocamento lateral da bentonita), o que afeta negativamente sua impermeabilidade.

Um desses fatores, segundo estudos efetuados por Viana (2003), seria que a resistência de GCL's, quando hidratados, pode apresentar reduções de até 36% em seu coeficiente de atrito. Isto se deve a perda de resistência ao cisalhamento da bentonita quando hidratada.

Considerando que o ângulo de atrito da bentonita tende a ser representado sendo superior a 30°, após a hidratação, esse ângulo pode reduzir a um valor inferior a 10°. Assim, ao ser aplicada uma carga concentrada, ocorre o deslocamento lateral e redução local na espessura da bentonita, podendo ocasionar um alto fluxo de líquido nesses pontos.

Tendo em vista que o desempenho do GCL depende diretamente da disposição da bentonita no interior do produto, a presente pesquisa objetivou investigar a capacidade de carga de geossintéticos argilosos hidratados suportada sem que ocorresse o *squeezing*.

Para tanto, foram realizados uma série de testes laboratoriais, através da adaptação do ensaio de capacidade de carga (*California Bearing Ratio* - CBR), onde foram feitas correlações entre a cobertura de solo e o diâmetro do pistão utilizado no estudo.

Após terem sido realizados os testes, estes foram comparados com ensaios já existentes a fim de avaliar os procedimentos e metodologias até então utilizados.

2 METODOLOGIA

2.1 Materiais

2.1.1 Areia de Osório

Para a realização dos testes laboratoriais utilizou-se Areia de Osório como solo de cobertura sobre o GCL, a qual apresenta uma granulometria fina, é limpa, uniforme e não contém matéria orgânica.

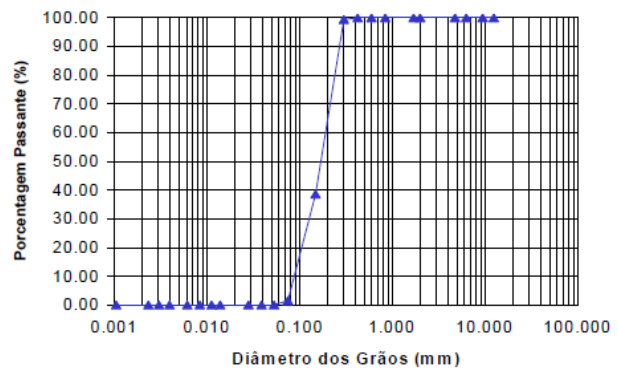
Sua distribuição, curva granulométrica e índices físicos, podem ser visualizados, respectivamente, nas Tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1. Distribuição granulométrica da Areia de Osório.

Abertura da peneira (mm)	% passante
0.60	100.00
0.425	99.97
0.30	99.47
0.15	38.50
0.075	1.55
0.0534	0.00

Fonte: Caberlon, 2008.

Tabela 2. Curva de distribuição granulométrica da Areia de Osório.



Fonte: Caberlon, 2008.

Tabela 3. Índices físicos da Areia de Osório

Índices Físicos	Areia de Osório
Peso Específico real dos grãos	26, 5kN/m ³
Coefficiente de uniformidade, C_u	2,11
Coefficiente de curvatura, C_o	1,15
Diâmetro médio, D_{10}	0,009mm
Diâmetro médio, D_{50}	0,17mm
Índice de vazios mínimo $e_{mín}$	0,60
Índice de vazios máximos $e_{máx}$	0,85

Fonte: Caberlon, 2008.

Nos ensaios realizados, a Areia de Osório foi escolhida como solo de cobertura do GCL, tendo como motivo principal o fato do material ser extensamente caracterizado e uniforme, tornando-se ideal para o que está sendo solicitado.

2.1.2 Geocomposto bentonítico – GCL

São várias as configurações de GCL's existentes no mercado mundial, sendo determinadas de acordo com cada situação específica.

Para o presente estudo, optou-se por utilizar o modelo de geocomposto argiloso FL 4100R, o qual é constituído pela associação de dois geotêxteis a uma camada de bentonita sódica por meio de um processo intenso de agulhagem.

Tendo este uma alta capacidade de absorção devido à bentonita, que garante uma camada impermeabilizante, auto cicatrizante e com baixo coeficiente de permeabilidade (10^{-11} m/s).

Segue a tabela com algumas informações técnicas:

Tabela 4 - Especificações Técnicas Geocomposto Bentonítico – GCL.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS			
Propriedades	Norma	Unidade	FL 4100R
GEOCOMPOSTOS BENTONÍTICO - GCL			
Massa de bentonita por unidade de Área	ASTM D 5993	g/m ²	4100
Espessura	EM 964-1	mm	7,0
Resistência à Tração Faixa Larga – SL	ASTM D 4632	kN/m	12,2
Alongamento da Ruptura	ASTM D 4632	%	35
Resistência de Adesão	ASTM D 6496	N/m	340
Coeficiente de Permeabilidade	ASTM D 5887	m/s	3 x 10 ⁻¹¹
CAMADA DE BENTONITA			
Índice de Inchamento	ASTM D 5890	ml/2g	24
Perda de Fluido	ASTM D 5891	ml	≤ 18
Teor de Umidade	ASTM D 4643	%	12
GEOTÊXTIL TECIDO			
Gramatura	ASTM D5261	g/m ²	120
Matéria-Prima			100% Polipropileno
GEOTÊXTIL NÃOTECIDO			
Gramatura	ASTM D 5261	g/m ²	350
Matéria-Prima			100% Polipropileno

Fonte: Catálogo OBER S.A

2.2 Método

Através da adaptação do ensaio de capacidade de carga (*Califórnia Bearing Ratio* - CBR), investigou-se a capacidade de carga de geossintéticos argilosos hidratados suportada sem que ocorresse o *squeezing*.

Para a realização desta pesquisa foi utilizado como base as considerações do estudo

experimental de Fox et al. (1997), com algumas adaptações, aproximando o estudo para a realidade cotidiana.

Uma dessas adaptações foi o tipo de molde utilizado, o estudo não aconselha a utilização de um molde CBR padrão para a realização da pesquisa, porém, com a dificuldade de adquirir um molde CBR em que o diâmetro não fosse o padrão, foi investigada a possibilidade de reduzir o diâmetro do pistão e não alterar o diâmetro do molde.

Com esta investigação se constatou que esta correlação seria possível, uma vez que a proporção existente entre o molde CBR com 305 mm de diâmetro e o pistão de 50 mm utilizados na tese de Fox et al. (1997) e a proporção que então foi adotada para estes ensaios é equivalente, onde o molde CBR utilizado é o padrão, com 152mm de diâmetro, e o pistão de 25mm.

Outra consideração relevante para os testes foi a relação entre a cobertura de solo (H) e o diâmetro do pistão (B). Como foi avaliado o comportamento da cobertura de solo com dois tipos diferentes de diâmetros de pistão, a relação H/B variou conforme o diâmetro utilizado.

O tipo de produto, o cobrimento mínimo de solo sobre o GCL, o tempo de hidratação, as tensões, o diâmetro do molde e do pistão, a taxa de deslocamento, a sobrecarga, a compacidade relativa, a relação entre a cobertura de solo e o diâmetro do pistão (H/B) serão parâmetros para o ensaio e estão indicados na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores variáveis e fixados para o ensaio CBR modificado.

VALORES VARIÁVEIS		
Diâmetro do pistão	50 mm	25 mm
	0.5	0.5
Relação H/B	1.0	1.0
	1.5	1.5
	2.0	2.0
	3.0	3.0
VALORES FIXADOS		
Tensão	0.69 kPa	
Tempo de hidratação	24 horas	
Diâmetro do molde	152 mm	
Taxa de deslocamento	1.27 mm/min	

Seguindo estes valores, o desenvolvimento dos ensaios se caracterizou em três fases principais: hidratação do GCL, penetração da cobertura de solo pelo pistão e, por fim, a medição do perfil de espessura do GCL.

2.2.1 Hidratação do GCL

Antes de começar a primeira fase preparou-se o perfil para o ensaio, que constitui num recorte circular de GCL colocado dentro do molde, com a parte não tecido para cima, sendo este ligeiramente menor que o diâmetro do molde.

Acima do GCL colocou-se um geotêxtil igualmente circular, uma placa porosa e uma sobrecarga. Como mostra a figura 1.

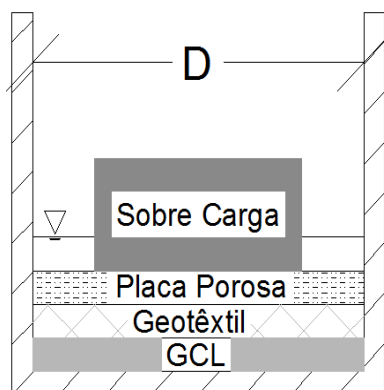


Figura 1 - Estado de hidratação.
Fonte: Modificado de Fox et al. (1997).

Seguindo a referência da tabela 5, a hidratação teve tempo fixado em 24 horas, já que como alguns estudos apontam períodos acima de 24 horas até 72 horas quase não influenciam o inchamento da bentonita. Durante este período os moldes ficaram intactos em um recipiente com água de abastecimento público.

Ao longo do processo de hidratação aplicou-se uma pressão confinante no valor de 0,69 kPa sobre o GCL, pois segundo Koerner (2005), GCLs sem qualquer pressão de confinamento no decorrer de sua hidratação terão, após esta, uma menor resistência ao cisalhamento interno.

2.2.2 Penetração da Cobertura de Solo pelo Pistão

Dado o fim do tempo de hidratação, retirou-se o molde do recipiente com água, deste mesmo

molde retirou-se a sobrecarga, a placa porosa e o geotêxtil.

Após tal procedimento, mediu-se o inchamento do GCL e sobre ele colocou-se uma camada de solo com espessura H , dando uma leve acomodada no material.

Posteriormente, encminhou-se o molde para a prensa e se deu início a penetração, esta podendo ser visulazada de forma simplificada na figura 2.

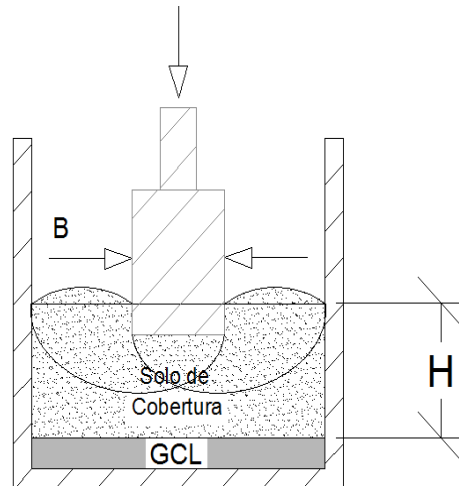


Figura 2 - Fase de penetração da cobertura de solo.
Fonte: Modificado de Fox et al. (1997).

A penetração foi constituída de ciclos de carga constantes sobre o perfil de material no molde CBR, onde a célula de carga, localizada abaixo do molde, realizava as medidas de tensão, e o extensômetro junto à prensa efetuava a medida do deslocamento do pistão penetrando no solo.

Durante o ensaio foram registrados dados de carga e de deslocamento a cada 30 segundos e o término do ensaio se deu quando houve um deslocamento de 20mm, exceto nos ensaios com pistão de 25mm de relação H/B 0.5, que devido a pequena espessura de solo, foi finalizado aos 10 mm de deslocamento.

2.2.3 Medição do Perfil de Espessura do GCL

Finalizado o ensaio modificado CBR, retirou-se o molde da prensa, realizou-se a medição da deformação do solo, e, feito isso, retirou-se o solo cuidadosamente de dentro do molde e mediu-se o perfil de GCL após a aplicação de carga. Como mostra a figura 3.

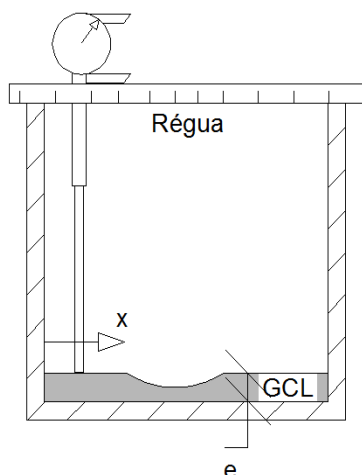


Figura 3 - Medição do perfil de espessura do GCL.
Fonte: Modificado de Fox et al. (1997).

Assim tendo conhecimento da profundidade da placa do molde e a espessura real do GCL foi possível calcular o perfil da espessura do GCL.

Os ensaios propostos foram realizados por três vezes, para que assim pudesse haver uma comparação mais detalhada dos mesmos.

3 RESULTADOS

3.1 Pistão 50 mm

Ensaio de relação H/B de 3.0, 2.0 e 1.5, obtiveram comportamentos similares, apresentando tensões muito próximas durante os 20 mm de deslocamento, conforme pode ser visualizado na Figura 4.

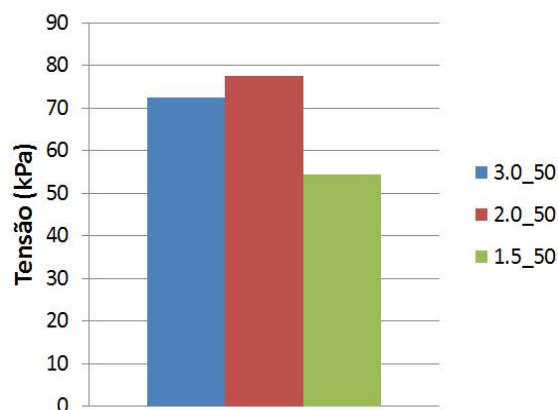


Figura 4 – Comparação das tensões dos ensaios com pistão 50 mm e relação H/B de 3.0, 2.0 e 1.5.

A aplicação destas cargas sobre a espessura de solo determinada para cada ensaio não gerou deformações significativas capazes de alterar a

capacidade de barreira hidráulica do GCL.

Já os ensaios de relação H/B de 1.0 e 0.5, além de apresentarem uma carga mais elevada, apresentaram maior espalhamento de bentonita no ponto de carga, gerando deformações que afetaram negativamente o desempenho do GCL. Como mostra a figura 5.

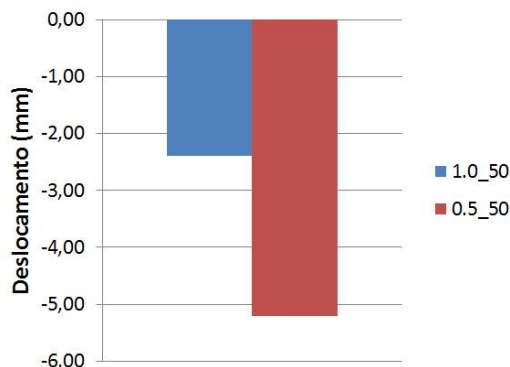


Figura 5 – Deslocamento da bentonita devido a penetração do pistão de 50 mm nos ensaios com relação H/B de 1.0 e 0.5.

O grande aumento de carga na relação H/B de 0.5 pode ser associado a menor espessura de solo, que em certo momento não consegue mais suportar as cargas aplicadas, então estas são transmitidas para o material GCL e em seguida para o molde de CBR.

3.2 Pistão 25 mm

A respeito de sua deformação, os resultados para o ensaio com relação de H/B de 3.0 continuaram não apresentando deformações significativas.

Já nos ensaios de relação H/B de 2.0 pode-se notar que as deformações decorrentes das cargas aplicadas seriam significativas, podendo até mesmo alterar a função do material devido ao deslocamento da bentonita.

Para os ensaios de relação H/B de 1.5 e 1.0, acerca da deformação do GCL, os dois ensaios mostraram que a espessura de solo não é a adequada, pois é visível pela Figura 6 o descolamento da bentonita e a redução da mesma no interior do produto. A relação de H/B de 1.0 apresentou maiores deformações devido à espessura de solo ser menor.

O deslocamento para o ensaio com relação de H/B de 0.5 é mostrados também na Figura 6. Neste ensaio a carga passou das duas toneladas,

não deixando proteção alguma sobre o GCL, ficando evidente sua deformação, a qual quase ocasiona a ruptura do material. Essa configuração afeta integralmente a função de barreira hidráulica que o GCL vem a exercer.

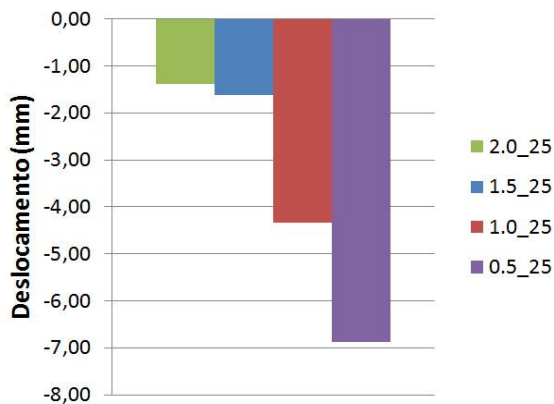


Figura 6 – Deslocamento da bentonita devido a penetração do pistão de 25 mm nos ensaios com relação H/B de 2.0, 1.5, 1.0 e 0.5.

Finalizando, ao compararmos os ensaios com pistão de 50 mm e 25 mm referente ao deslocamento devido à tensão, pode-se notar uma diferença no pico de ruptura por mais que ambos tenham a mesma relação de solo sobre o GCL, como mostra a figura 6.

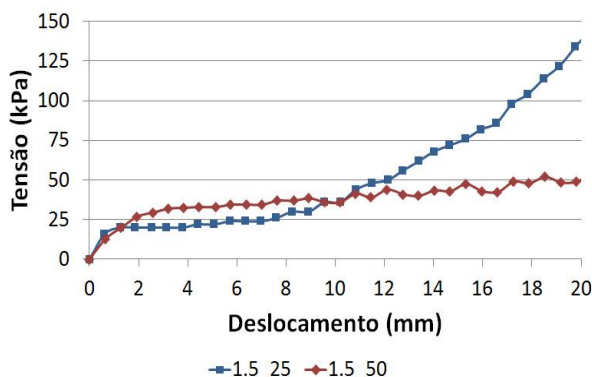


Figura 7 – Gráfico tensão deformação para relação H/B de 1.5 para os pistões de 25 mm e 50 mm.

4 CONCLUSÕES

Analisando os ensaios com pistão de diâmetro 50mm, observa-se que para relações acima de H/B de 1.5 as deformações decorrentes das cargas aplicadas não foram significativas, no entanto para os ensaios com pistão de 25mm este comportamento só pode ser visto a partir da relação de H/B de 2.0.

Assim, pode-se concluir que quanto menor o diâmetro do elemento perfurante maior tem que ser a relação de espessura de solo sobre o GCL. E ressaltando que quanto maior a razão de solo sobre o GCL, menor sua deformação.

De forma parcial, podemos confirmar que a correlação adotada na pesquisa para os ensaios com molde de CBR padrão de 152mm de diâmetro e o pistão de 25mm poderá ser utilizada para estudos de capacidade de suporte de carga de GCLs hidratados.

Porém, esses resultados ainda não podem ser considerados consolidados, pois, para que haja melhores conclusões a respeito se faz necessário ensaios de maior escala, como ensaios de campo, no qual o material pode ser submetido a cargas e esforços reais de trabalho, podendo assim ser simulada a instalação do material.

REFERÊNCIAS

- Pimentel, V. E. (2008). *Avaliação da resistência ao cisalhamento em GCLs – Uma nova metodologia de ensaio*. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.
- Souza, R. F. C. *Migração de poluentes inorgânicos em lines compostos*, 2009. 100 f. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2009.
- Viana, H. N. L. (2007). *Estudo da Estabilidade e Condutividade Hidráulica de Sistemas de Revestimento Convencionais e Alternativos para Obras de Disposição de Resíduos*. Tese de Doutorado, Publicação G.TD-048/07, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 259 p.
- Fox, P. J., De Battista, D. J., and Chen, S.-H., “A Study of the CBR Bearing Capacity Test for Hydrated Clay Liners.” *Testing and Acceptance Criteria for Geosynthetic Clay Liners, ASTM SPT 1308*, Larry W. Well, Ed., American Society for Testing and Materials, 1997, 251 p.
- Caberlon, R. C. *Influência de parâmetros fundamentais na rigidez, resistência e dilatância de uma areia artificialmente cimentada*. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.
- Koerner, Robert M.. *Designing with geosynthetics*. 5th ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2005. 796 p.
- FortLiner – Geocomposto Bentonítico GCL. Disponível em: <http://www.obergeio.com.br/fortliner-geocomposto>, Acesso em: 18 ago 2015.