

Avaliação Experimental da Compressibilidade e Permeabilidade de Rejeitos Muito Moles Obtidas Via Ensaios do Tipo CRS

Lúcio Flávio de Souza Villar

Departamento de Engenharia Transportes e Geotecnia, Escola de Engenharia, UFMG, Brasil

Tácio Mauro Pereira de Campos

Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio, Brasil

Roberto Azevedo

Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, UFV, Brasil

Jorge Gabriel Zornberg

Civil Engineering, University of Texas at Austin, USA.

RESUMO: Este artigo apresenta funções de permeabilidade e compressibilidade obtidas para rejeitos industriais e de mineração com consistência muito mole pelo ensaio de adensamento com taxa de deformação constante (CRS) e analisados pelo método simplificado proposto por Martinez et al (1987). Fatores que interferem no desempenho do ensaio foram verificados, tais como velocidade de deformação, tamanho e condições iniciais da amostra. Para verificar a qualidade dos resultados, eles foram comparados aos obtidos por outros pesquisadores usando outros tipos de ensaios nestes mesmos materiais. Os resultados também foram comparados com medições de campo. Pôde ser concluído que a função de compressibilidade foi muito bem determinada pelos ensaios CRS e o método de análise empregado. As funções de permeabilidade apresentaram uma maior dispersão. Porém, tendo em vista a heterogeneidade que um reservatório de resíduos depositados na forma de lama pode apresentar, elas também foram consideradas satisfatórias para o uso em termos práticos.

PALAVRAS-CHAVE: Compressibilidade, Permeabilidade, Ensaios de Adensamento, Resíduos Industriais e de Mineração.

1 INTRODUÇÃO

O estudo do enchimento dos reservatórios de rejeitos depositados na forma de lama é baseado principalmente na teoria de adensamento com grandes deformações e depende das relações entre a tensão efetiva e o índice de vazios (compressibilidade) e a entre a permeabilidade e o índice de vazios. No laboratório, estas características podem ser obtidas através de ensaios edométricos de diversos tipos e dimensões e ensaios de coluna. Vários tipos de ensaios de adensamento foram desenvolvidos nas últimas décadas, podendo-se citar os com taxa de deslocamento ou deformação constante – CRS (e.g. *Wissa et al., 1971*); com gradiente controlado (e.g. *Lowe et al., 1969*); com taxa de

carregamento constante (e.g. *Aboshi et al., 1970*); com fluxo restringido (e.g. *Sills et al., 1986*); adensamento hidráulico (e.g. *Imai, 1979*). Botelho (2001) apresenta uma revisão sobre estes ensaios.

Nesta pesquisa, o ensaio CRS foi usado para obtenção da permeabilidade e compressibilidade de um rejeito de lavagem de bauxita com consistência inicial muito mole. Os ensaios foram executados nas mais diferentes condições e foram interpretados pelo método proposto por Martinez et al (1987). Também são apresentadas funções de permeabilidade e compressibilidade de um outro tipo rejeito, uma *lama vermelha*, resíduo de processamento da bauxita para obtenção de alumínio via o Sistema Bayer. Para efeito de comparação,

foram coletados resultados previamente publicados de ensaios realizados neste mesmo material por diversas técnicas, tais como o ensaio de coluna, o HCT e o próprio CRS. Para ambos os resíduos, o desempenho dos ensaios de laboratório foi comparado com o de ensaios de campo, com o objetivo foi averiguar o desempenho do ensaio CRS, que é relativamente simples e barato, analisado pelo método simplificado proposto por Martinez et al (1987). Este ensaio foi escolhido por ser mais fácil e barato de ser executado que outras técnicas, tais como o ensaio de adensamento hidráulico (HCT).

2 RELAÇÕES $e \times \sigma'$ E $e \times k$ DE RESÍDUOS DE BAUXITA

Segundo Vick (1983), rejeitos de mineração são, em geral, mais compressíveis que solos na mesma consistência. No caso de rejeitos de bauxita, alguns pesquisadores também têm relatado comportamento incomum durante o processo de consolidação, o que poderia ser resultado ou de *creep* individual das partículas ou de ligações especiais entre elas (Somogyi & Gray, 1997). Rodrigues (1987) afirma que, no campo, lamas vermelhas apresentam menor compressibilidade que a prevista teoricamente devido à aderência química entre as partículas, o que impediria o avanço dos recalques, reduzindo a capacidade dos reservatórios.

O comportamento geral de campo de resíduos de mineração depositados na forma de lama varia muito, já que suas características mudam de local para local pelo uso de técnicas não padronizadas para acelerar a sedimentação e o adensamento. Por isso, é comum o uso de correlações empíricas para descrever as suas relações constitutivas. Algumas delas são apresentadas na Tabela 1. Os símbolos apresentados significam: C_c – índice de compressibilidade; e – índice de vazios; k – permeabilidade; σ' – tensão efetiva, o subscrito “ o ” indica uma referência especial (em geral, tempo) e A, B, C, D e Z são coeficientes empíricos. No caso específico de resíduos de bauxita, podem ser mencionadas as correlações empíricas propostas por Stinson (1981) (lamas vermelhas) e Mello (1985) (lama de lavagem).

O índice de compressão destes resíduos podem variar de 0.26 a 0.8 para tensões entre 10 e 1000kPa (e.g. Somogyi & Gray, 1997 e Elias, 1995). O índice de compressão secundária de lamas vermelhas australianas foi reportado de ser em torno de 0.005 (Elias, 1995). O coeficiente de adensamento de lamas vermelhas dos Estados Unidos foi calculado como variando de 10^{-3} a 10^{-2} cm^2/seg (Somogy & Gray, 1977), mesma ordem de grandeza do de lamas vermelhas australianas (Elias, 1995).

Tabela 1. Correlações empíricas de permeabilidade e compressibilidade de solos muito moles.

Referência	Compressibilidade	Permeabilidade
Liu (1990)	$e = e_o - C_c \log_{10} \left(\frac{\sigma'}{\sigma'_o} \right)$	$e = e_o + C_k \log_{10} \left(\frac{k}{k_o} \right)$
Somogyi (1979)	$e = A \sigma'^B$	$k = C e^D$
Liu & Znidarcic (1991)	$e = A(\sigma' + Z)^B$	

A função de permeabilidade destes resíduos é ainda mais difícil de determinar. A heterogeneidade do reservatório causada pela segregação das partículas após a deposição afeta muito este parâmetro. Além disso, para obter bons resultados de laboratório é necessário executar ensaios com gradiente hidráulico muito pequeno. A melhor maneira de conseguir isto é através do ensaio HCT, já que ele permite o controle do gradiente e realmente mede a permeabilidade ao longo do teste. O inconveniente deste ensaio é ele é caro e demorado. Ensaio realizados por Lapa & Cardoso (1988) mostram a permeabilidade de lamas de lavagem de bauxita variando entre 10^{-6} a 10^{-9} m/seg para índice de vazios entre 10 e 1. Mello & Silveira (1991) apresentam a mesma ordem de grandeza para lamas vermelhas, considerando a mesma faixa de índice de vazios.

3 O ENSAIO DE ADENSAMENTO CRS

O ensaio de adensamento com deformação controlada tem sido amplamente usado para solos convecionais. Ele foi primeiro

documentado por Hamilton & Crawford (1959) e, agora, é padronizado pela ASTM (D-4386-06). Um dos seus inconvenientes é que a taxa de deformação escolhida pode influenciar nos resultados. Além disso, a correlação entre a sua resposta e o comportamento de campo é questionada, já que as taxas de deformação empregadas são muito maiores que as *in-situ* (Sheahan & Watters, 1997).

De uma maneira geral, a determinação da velocidade de deformação na qual o teste será executado dependerá do coeficiente de poro pressão, que é como é chamada a relação entre o excesso de poro pressão na base da amostra pela tensão total aplicada. As recomendações para este valor variam de 2 a 5% (Wissa et al. 1971) a 50% (Smith & Wahls, 1969). A ASTM D4186-06 usa o método proposto por Wissa et al. (1971) como referência. Para assegurar um estado estável de deformação, o valor que é recomendado para o coeficiente de poro pressão varia entre 5 a 15%. Sheahan & Watters (1997) ensaiaram um material não cimentado e concluíram que para este tipo de solo a dependência da taxa de deformação seria menos significativa. Rejeitos depositados na forma de lama não apresentam cimentações a curto prazo.

Vários métodos de análise de resultados de ensaios CRS têm sido desenvolvidos. Alguns admitem somente deformações infinitesimais, como os de Smith & Wahls (1969) e Wissa et al. (1971). Já outros, como o proposto por Umehara & Zen (1980), aceitam grandes deformações porém considerando o coeficiente de adensamento constante durante todo o ensaio. Os métodos propostos por Znidarcic et al. (1986) e Mikasa & Takada (1986) consideram deformações finitas e a possibilidade de variação do coeficiente de adensamento. Uma descrição mais detalhada destes métodos de análises pode ser encontrada em Botelho (2001).

Martinez et al. (1987) propuseram um método que, de acordo com eles, é baseado em princípios básicos da mecânica dos solos e valores médios de algumas incógnitas do problema. Eles utilizaram um equipamento com medição de poro pressão em vários pontos ao longo da altura da amostra e, assim, a tensão efetiva média pôde ser calculada como sendo a área abaixo da curva de tensão efetiva ao longo

da profundidade. Eles recomendam que o gradiente hidráulico seja pequeno ao longo do ensaio para manter a amostra homogênea, o que pode ser conseguido com baixas taxas de deformação. O coeficiente de permeabilidade é calculado baseado na lei de Darcy-Gersevanov e na hipótese de que a velocidade de sólidos é o valor médio da taxa de deformação imposta.

Alves (1992) apresentou resultados de permeabilidade de amostras de uma lama vermelha obtidos tanto por ensaios de coluna quanto por ensaios CRS interpretados pelo método simplificado de Martinez et al (1987). A concordância entre eles foi considerada boa. Já Santos (2000) comparou resultados de permeabilidade e compressibilidade obtidos via ensaios CRS e dois métodos de análise, o simplificado de Martinez et al (1987) e o de Znidarcic et al. (1986), considerado mais rigoroso, além de resultados via ensaios do tipo HCT. Para a compressibilidade, foi constatada uma boa concordância entre todos os métodos. Porém, com relação a permeabilidade, os resultados do ensaio CRS para os dois métodos de análise ficaram distante dos apresentados pelo HCT.

4 METODOLOGIA ADOTADA

A célula de adensamento usada nesta pesquisa foi descrita por Guimarães (1990). Ela utiliza amostras cilíndricas de 20 cm de diâmetro por 6 cm de altura, dimensões que garantem condição unidimensional. O nível de tensão total aplicado pode ser de até 400kPa. Uma outra célula de adensamento também foi usada. Ela tinha dimensões menores, exigindo menor volume de amostra e sendo mais fácil de manusear. Para efeito de distinção entre este equipamento e o maior, ele foi chamado de CRS-2. Seu tamanho era de 10 cm de diâmetro por 4 cm de altura e tinha uma célula de carga logo acima do quepe usado para aplicação da tensão, que foi admitida de ser uniforme no topo da amostra. O efeito do atrito entre o pistão e as paredes foi quantificado e o nível de tensão atingido poderia ser até 2500kPa. Um transdutor de poro pressão instalado da base foi usado em ambos os tipos de células. Também foi utilizado um LVDT em ambos os aparelhos para verificação

da taxa de defloração.

A preparação da amostra foi idêntica para todos os testes. O rejeito era homogeneizado e colocado na célula de adensamento em camadas, tornando a ser homogeneizado ao final, quando o teor de umidade era medido e considerado como o valor inicial. Algumas vezes, amostras foram retiradas do primeiro equipamento ao final do teste e colocadas no segundo para confirmar a continuidade de respostas. Em outras ocasiões, os ensaios eram iniciados simultaneamente, com amostras o mais idênticas possível. Procurou-se seguir as recomendações da ASTM D-4186 e o método de análise foi o proposto por Martinez et al (1987).

Os ensaios foram realizados em uma lama de lavagem de bauxita extraída na região norte do país. O material é chamado de LL (lama de lavagem), sendo água o fluido de preenchimento dos poros. Os resultados de laboratório foram comparados com os obtidos no campo descritos por Villar et al (1998). Um outro tipo de resíduo também teve dados de ensaios de campo e laboratório coletados na literatura para comparação. Trata-se de uma lama vermelha proveniente de uma indústria de alumínio da região sudeste do Brasil. Este material é chamado aqui de LVN (lama vermelha neutralizada), pelo fato de seu pH ter sido neutralizado pela adição de ácido sulfúrico à soda cáustica, que é o fluido que normalmente constitui as lamas vermelhas oriundas do Sistema Bayer. Estes dois resíduos já tiveram suas características geotécnicas descritas em Villar & de Campos (2003) e algumas informações básicas são resumidas na Tabela 2.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 1 mostra resultados de compressibilidade da LL obtidos via ensaios CRS-2. As condições iniciais estão resumidas na Tabela 3. A faixa de velocidades escolhida foi condicionada pela prensa utilizada. Pode ser percebido que, excetuando três dos ensaios (01, 05 e 11), as curvas são semelhantes entre si. Elas apresentam dois comportamentos distintos. No primeiro, para menores valores de tensões efetivas, a relação é não linear. Nesta etapa, o

contato intergranular é pequeno e os grãos estariam se rearranjando no consolidômetro. De acordo com Bo et al. (2002), em ensaios de adensamento em solos muito moles ocorrerá uma migração das partículas finas em direção aos contornos de drenagem, formando uma pasta em torno da pedra porosa, enquanto a consistência da amostra ainda for muito baixa. No segundo tipo de comportamento, tem-se uma relação mais linear. Com exceção dos ensaios já mencionados, os resultados mostram inclinações semelhantes, indicando mesma característica de variação de volume. O valor médio do índice de compressão neste trecho foi calculado como aproximadamente 0.50.

Tabela 2: Características geotécnicas dos resíduos analisados

GRANULOMETRIA							
Material	Limite superior (água) (%)			Limite inferior (licor) (%)			
	areia	silte	arg.	areia	silte	arg.	
LVN	0	49	51	62	30	8	
LL	3	17	70				
DENSIDADE DOS GRÃOS							
Material		>#60	> #100	> #200	< #200	Integr.	
LVN	água	3.66	3.65	3.65	3.57	3.68	
	licor	3.49	3.49	3.51	3.54	3.39	
LL		2.96	2.96	2.92	2.92	2.96	
LIMITES DE CONSISTÊNCIA							
Material		<#40			Integral (por secagem)		
		LL	LP	IP	LL	LP	IP
LVN	água	41.4	32.7	8.7			
	licor	33.4	27	6.3	48.8	34	14.8
LL		48.1	23.8	24.3	53.8	25	28.8

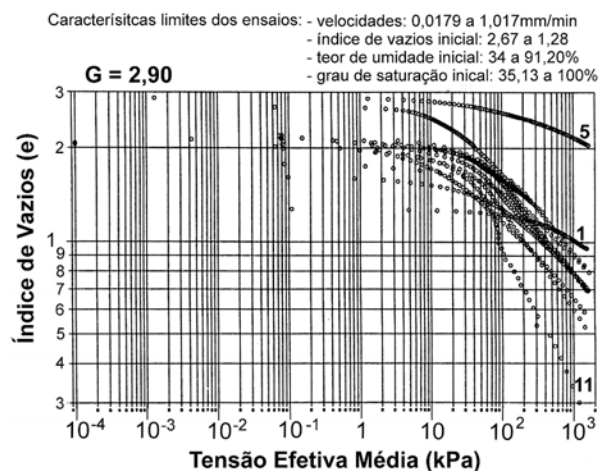


Figura 1. Curvas de compressibilidade da LL.

Tabela 3: Informações gerais sobre ensaios CRS-2 realizados na LL.

ENSAIO	VELOC. (mm/min)	e_0	$W_{inicial}$ (%)	S (%)	Relação Máxima entre $\Delta u/\sigma_{total}$ (%)	OBS.
01	0.0219	1.28	44.51	100	2	Pré adensada (300kPa). Ensaio inundado
02	0.0179	2.69	91.21	100	7	Sem inundação
03	0.0427	2.05	71.5	100	0	Sem inundação
04	0.0862	2.1	76.3	100	50	Ensaio inundado
05	0.0565	2.87	34	35.13	2,3	Não saturado
06	0.1802	1.78	60	100	10	Ensaio inundado
07	0.0233	1.62	58.25	100	15	Ensaio inundado, amostra pouco amolgada
08	0.318	2.13	73.56	100	45	Sem inundação
09	0.4137	2.14	73.9	100	0	Sem inundação
10	0.644	2.15	73.63	100	125	Sem inundação
11	1.0170	1.99	69.46	100	88	Sem inundação, amostra muito amolgada
12	0.4386	2.18	72.78	100	70	Sem inundação
13	0.9117	2.08	71.98	100	0	Ensaio inundado

Os três ensaios destacados tiveram condições iniciais diversas dos demais. O ensaio 01 foi realizado com amostra pré-adensada a 300kPa. O seu comportamento muda em torno deste valor de tensão mas, mesmo após, o seu índice de compressão não foi o mesmo que o das outras amostras, ficando em torno de 0.30. O ensaio 05 foi realizado em uma amostra com grau de saturação inicial de 35%. Percebe-se que seu comportamento é similar ao ensaio 01, indicando que o efeito do ressecamento seria equivalente ao de um carregamento. A amostra usada no ensaio 11 teve sua estrutura original deliberadamente bastante amolgada. Além disso, foi utilizado neste teste a maior velocidade de deformação, o que resultou em uma maior compressibilidade. Os mesmos dados foram normalizados em relação ao índice de vazios inicial (ver a Figura 2). As curvas agora representam o volume de vazios no tempo “t” pelo volume de vazios inicial. Assim, fica mais evidente a semelhança de comportamento entre a amostra pré-adensada e não saturada e a maior compressibilidade da amostra 11 desde o início do teste. O ensaio 7, com amostra também ligeiramente amolgada, apresentou resultados diferentes dos demais especialmente nos trechos iniciais.

A Figura 3 mostra os resultados de permeabilidade. Pode se perceber que eles estão mais dispersos e uma razão para isso é a diferença entre os coeficientes de poro pressão de cada ensaio. A Tabela 3 só mostra o valor máximo deste coeficiente, mas é importante que ele seja estável durante todo o ensaio, apresentando tendência de crescimento uniforme e constante. Pode ser percebido que as

curvas de permeabilidade também apresentam dois estágios. Segundo Bo et al. (2002), o primeiro, não linear, seria o estágio de rearranjo dos grãos e os valores calculados nesta fase não seriam nem a média da amostra nem a permeabilidade da pasta formada nas pedras porosas, mas sim equivalentes à permeabilidade que controlaria o processo de fluxo da amostra para a face drenante. No segundo estágio, linear, a taxa de variação da permeabilidade seria mais elevada. Eles também alertam que nestes dois estágios iniciais, a permeabilidade é controlada pelo material adjacente à pedra porosa enquanto que o índice de vazios está sendo calculado como uma média de toda a amostra. Bo et al. (2002) ainda falam de um terceiro estágio, que seria quando a amostra passaria realmente a se comportar como um solo. Aí, a variação da permeabilidade seria constante e independente da umidade inicial. Esta terceira fase não foi identificada nos ensaios aqui apresentados.

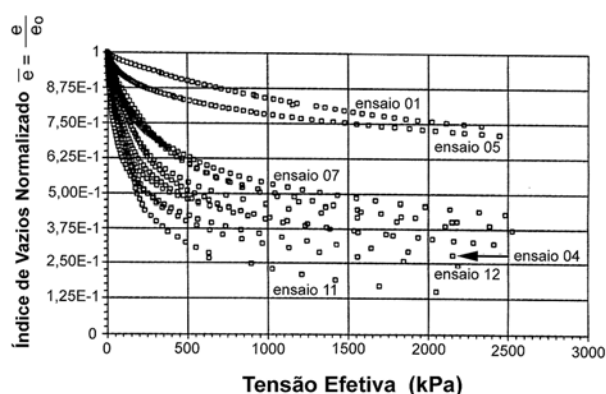


Figura 2. Curvas normalizadas de compressibilidade de LL obtidas via ensaios CRS-2.

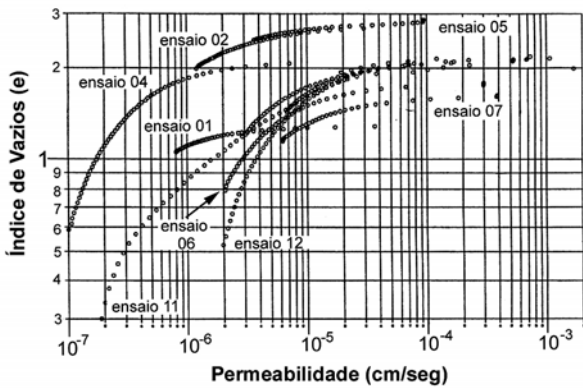


Figura 3. Curvas de permeabilidade da LL.

O mesmo material foi ensaiado no equipamento maior (CRS) para verificação do efeito escala. Foram utilizadas amostras com diferentes teores de umidade iniciais, submetidas às mesmas velocidades de deformação (0.034mm/min). Também foram ensaiados rejeitos da lavagem de um tipo de bauxita chamado “nodular”, que é a camada de bauxita acima da considerada economicamente explorável. Os resultados de compressibilidade foram comparados com os apresentados anteriormente, já eliminados os ensaios 01, 05 e 11. Além disto, no caso da permeabilidade a comparação não considerou os resultados que apresentaram coeficiente de poro pressão fora da faixa do limite definido pela ASTM D-4186. Os resultados são mostrados nas Figuras 4 e 5.

Com relação à compressibilidade, pode ser percebido que as curvas apresentam índice de compressão bem similares quando entram no estágio linear. Parece não haver influência da velocidade de deformação na definição do índice de compressão, conforme já havia mencionado Sheaham & Watters (1997) para solos sem cimentações. O teor de umidade inicial também parece não influenciar este índice. Em relação à permeabilidade, tendo em conta a diversidade dos ensaios e amostras, pode ser visto que a taxa de variação da permeabilidade no trecho linear é razoavelmente próxima.

Para verificar se a resposta do ensaio reflete o comportamento *in-situ*, ensaios de campo foram realizados neste mesmo material (Villar et al, 1998). A comparação em relação às curvas de compressibilidade pode ser vista na Figura 6. Mais uma vez, apesar das variações

nas condições iniciais dos testes de laboratório e a heterogeneidade das condições de campo, os resultados da fase linear se ajustam bem aos de campo para tensões efetivas maiores que 10kPa. Para a permeabilidade, foram usados na comparação somente dados do ensaio CRS (maiores dimensões). As curvas estão na Figura 7. Os resultados se apresentam mais dispersos, provavelmente devido à heterogeneidade das condições de campo. Mesmo assim, pode se assumir que os valores da taxa de variação da permeabilidade obtidos no laboratório são razoavelmente próximos aos obtidos *in-situ*.

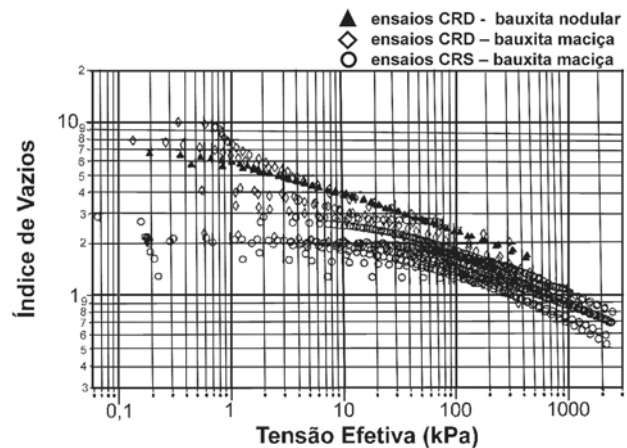


Figura 4. Curvas de compressibilidade da LL.

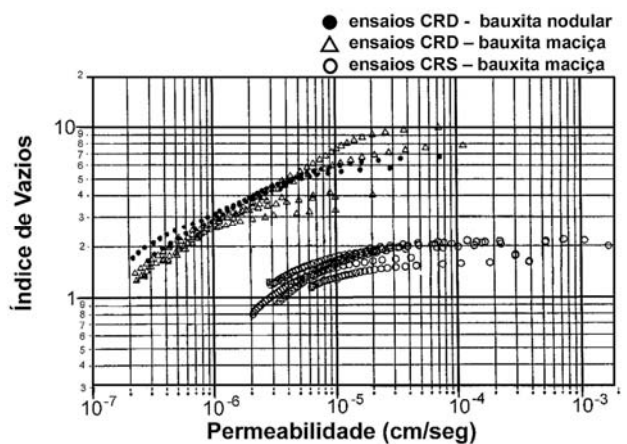


Figura 5. Curvas de permeabilidade da LL.

Para a LVN, vários resultados previamente publicados de diferentes tipos de ensaios de laboratório e de campo foram reunidos para efeito de comparação. A curva de compressibilidade está na Figura 8. Nela, pode ser visto que os resultados do ensaio CRS interpretados pelo método simplificado se ajustam bem aos fornecidos pelo ensaio HCT e aos valores de campo. As curvas de permeabilidade estão na Figura 9 e também aí, é

bom o ajuste. Os valores de campo se mostraram superiores em aproximadamente uma ordem de grandeza que os de laboratório, o que para a permeabilidade não é muito, considerando as diferenças já apontadas.

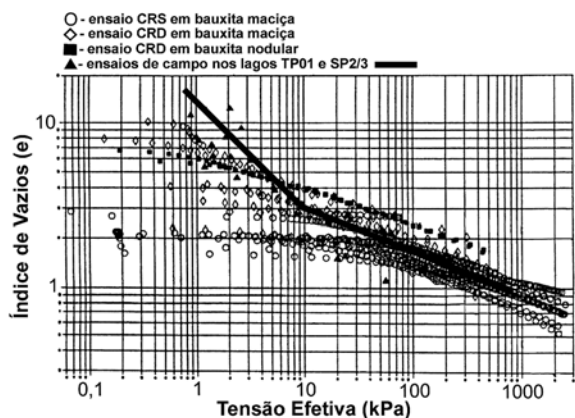


Figura 6. Comparação entre curvas de compressibilidade de campo e laboratório da LL.

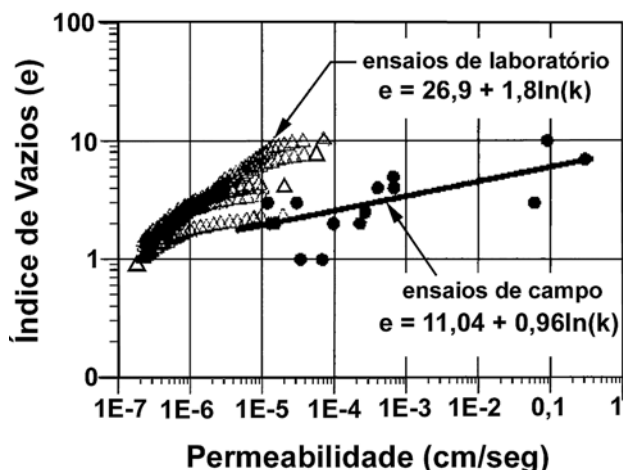


Figura 7. Comparação entre curvas de permeabilidade de campo e laboratório da LL.

6 CONCLUSÕES

O presente trabalho investigou a qualidade das respostas fornecidas por ensaios do tipo CRS realizados em amostras de resíduos inicialmente em consistência de lama, comparando-os com os de outros ensaios considerados mais rigorosos e medições de campo. Foram realizados ensaios em uma lama de lavagem e bauxita variando-se taxas de deformação, teores iniciais de umidade, tamanho da amostra. Os resultados foram analisados pelo método proposto por Martinez et al (1987). Também foram comparadas curvas de compressibilidade

e permeabilidade obtidas por técnicas diversas previamente publicadas para um outro resíduo. Pôde ser concluído que:

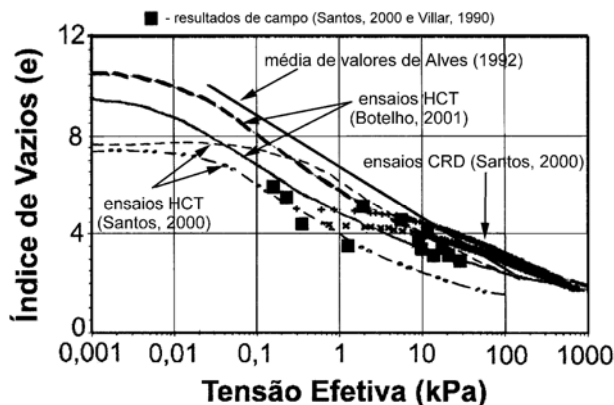


Figura 8. Curvas de compressibilidade de campo e laboratório de diferentes ensaios para a LVN.

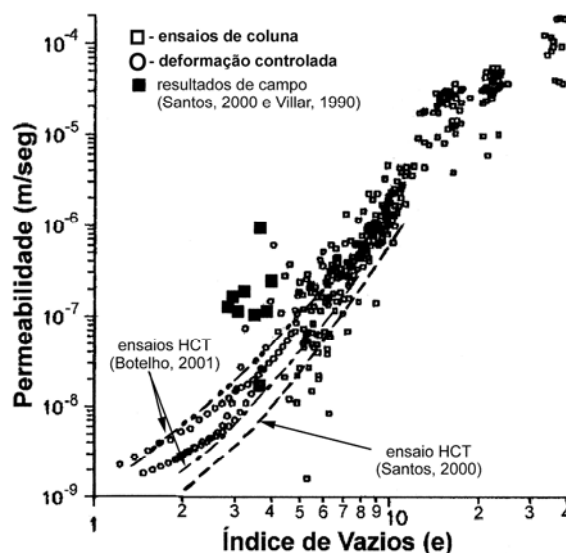


Figura 9. Curvas de compressibilidade de campo e laboratório de diferentes ensaios para a LVN.

1. Os resultados de compressibilidade obtidos do ensaio CRS são similares aos de técnicas mais sofisticadas e medições de campo, e podem ser utilizados com confiabilidade para determinação do índice de compressão de resíduos de mineração e industriais.
2. O índice de compressão obtido pelos ensaios CRS e o método simplificado não foram influenciados pela velocidade de deformação, nem pelo teor de umidade inicial e nem pelo tamanho da amostra usada, desde que respeitada a condição unidimensional.
3. Para obtenção de boas relações entre a

permeabilidade e o índice de vazios utilizando o ensaio CRS e o método simplificado é importante que se tenha coeficiente de poro pressão crescendo monotonicamente ao longo do ensaio, e que ele não seja superior a 15%.

- Os valores de permeabilidade fornecidos pelo ensaio CRS e o método simplificado foram menores que os valores obtidos por ensaios de campo. Mesmo assim, foi considerado que, em função das heterogeneidades de um reservatório de resíduos depositados na forma de lama, a aproximação é razoável para uso em termos práticos. Estudos adicionais, porém, ainda são necessários.

AGRADECIMENTOS

Os autores registram os seus agradecimentos ao Projeto PRONEX e à CAPES pelo auxílio fornecido para execução deste trabalho. Também agradecem a Joaquim Pimenta de Ávila e a Novellis de Ouro Preto, MG, pelo fornecimento das amostras.

REFERÊNCIAS

Aboshi, H. et al. – *Constant loading rate consolidation test*. **Soils and Foundations**, 10 (1), 43 – 56, 1970.

Alves, C. M. - **Comportamento de Sedimentação e Adensamento de uma Lama Vermelha** - Tese de Doutorado - DEC - PUC – Rio, 1992.

Bo, M. et al. 2002. *Compression tests on a slurry using a small-scale consolidometer*. **Canadian Geotech. J.** 39. 388-398, 2002.

Botelho, A. P. D. – **Implementação de metodologias para determinação de relações constitutivas em solos com a utilização da bomba de fluxo**. 2001, Dissert. de Mestrado, D.E.C. UFOP, 254 pp, 2001.

Elias, D. C. – *Geotechnical Properties of Bauxite Residue and Their Use in Planning Disposal Facilities*. **LIGHT METALS, Proc.** 1995, pp 149-164

Guimarães, J. L. - **Ensaio Edométrico com Taxa Constante de Deslocamento em Rejeitos**. Dissert. de Mestrado - DEC - PUC – Rio, 1990.

Hamilton, J. L. & Crawford, C. B. (1959). “Improved determination of preconsolidation pressure of a sensitive clay.” *Papers on Soils, ASTM Spec. Tech. Publ. No. 254*, ASTM, Philadelphia, 254-270.

Imai, G. – Development of a new consolidation test procedure. **Soils Found.**, 19 (3), pp. 45 – 60, 1979.

Lapa, R. P. & Cardoso, W. S. – Tailings disposal at Trombetas bauxite mine. In **LIGHT METALS, Proc...**Phoenix, Arizona, 1988.

Lima, P. P. – **Ensaio edométrico com taxa de deslocamento constante em solos muito moles**. 1996, Diss. Mest., DEC. - UFV, MG. 110 pp. 1996.

Lowe, J. et al. – Controlled gradient consolidation test. **JSMFD**, 95, pp. 77 – 97, 1969.

Martinez, R. E. et al. - Automated Large Deformation Consolidometer. In VIII CPMSFE, Colômbia, 1987.

Mello, L. G.; et al. - Deposição dos Rejeitos de Lavagem de Bauxita de Trombetas. 1^o REGEO, R.J., 1987, vol 1, pp. 112 - 132.

Mello, L. G. & Silveira, A. A. – Compressibility and permeability of Brazilian wastes. In II REGEO, Anais... 1991, (1): 67 – 76.

Mikasa, M. & Takada, N. – Determination of coefficient of consolidation (c_v) for large strain and variable c_v values. In **CONSOLIDATION OF SOILS, ASTM STP 892**, ASTM, pp. 526 – 547, 1986.

Rodrigues, I. L. - Estruturas de Retenção de Resíduos Industriais de Mineração (Resíduos de Bauxita) – In 1^o REGEO, **Anais...**RJ, 1987 vol 1, p.p.349 - 363.

Santos, D. C. D. – Determinação das Propriedades de Compressibilidade e Permeabilidade do Rejeito de Bauxita da Barragem de Marzagão. 2000. diss. de Mest. – DEC – UFV, 2000.

Sheahan, T. C. & Watters, P. J. – Experimental verification of CRS consolidation theory. **J. Geot. Environ. Eng.**, Vol 123 (5), pp. 430 – 437. 1997.

Sills, G. C. et al – An experimental assessment of the restricted flow consolidation test. In **CONSOLIDATION OF SOILS. Specialty Publication 892**, ASTM, 1986, pp. 203 – 216.

Smith, R. E. & Whals, H. E. – Consolidation under constant rates of strains. **Jour. Soil Mech. And Found. Division**, ASCE, vol 95, pp. 519 – 539. 1969.

Somogyi, F. & Gray, D. 1977. Engineering Properties Affecting Disposal of Red Muds. *Geotec. Practice for Disposal of Solid Wastes Materials*, ASCE, Michigan, pp. 1-22.

Stinson, J. M. – Correlation of red mud consolidation with its soil properties. **LIGHT METALS**, Chicago, Illinois. 1981.

Umehara, Y. & Zen, K. – Constant rate of strain consolidation for very soft clayey soils. **Soils and Found.**, Vol 20 (2), pp. 79 – 95. 1980.

Vick, S. G. - **Planning, Design and Analysis of Tailings Dams**. Willey Series in Geotech. Eng. 1983

Villar, L. F. S. 2002. *Estudo do Adensamento e Ressecamento de Resíduos de Mineração e Processamento de Bauxita*. Tese de Doutorado. DEC Puc-Rio, 511 p.p.

Villar, L. F. S. & de Campos, T. M. P. 2003. *Caracterização geotécnica de resíduos de mineração e processamento de bauxita*. V REGEO, Porto Alegre, Brasil.

Villar, L. F. S.; de Campos, T. M. & Costa Filho, L. M. – Avaliação In Situ de Características de Adensamento de Resíduos Descartados sob a Forma de Lama. In XI COBRAMSEF, **Anais...** Brasília, 1998, Vol 3, pp 1837 - 1844.

Wissa, A. E. Z. et al. – Consolidation at constant rate of strain. **Jour. Soil Mech. And Found. Division**, ASCE, 97, pp. 1393 – 1413. 1971.