

Influência do Tempo de Cura Úmida no Comportamento Mecânico das Misturas Solo-fosfogesso Hemi-hidratado

Kárita Christina Soares Kanaïama Alves

Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil, karitakanaïama@gmail.com

Márcia Maria dos Anjos Mascarenha

Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil, marciamascarenha@gmail.com

Clayton Alves de Santana

Instituto Federal de Goiás, Goiânia, Brasil, clayton_sep@hotmail.com

Renan Ferreira Nunes

Instituto Federal de Goiás, Goiânia, Brasil, renan.92.n.unes@hotmail.com

Lilian Ribeiro de Rezende

Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil, rezende.lilian@gmail.com

RESUMO: O fosfogesso é um subproduto das indústrias de adubos e fertilizantes fosfatados, utilizados na recuperação de solos agrícolas. Em Goiás, no município de Catalão, em uma das indústrias instaladas são produzidas cerca de 60 mil toneladas mensais de fosfogesso. Devido à grande quantidade produzida, esse gesso químico tem sido objeto de estudo em pesquisas em todo mundo e se mostra como material alternativo nas obras geotécnicas. Neste trabalho, foi desenvolvido o estudo comparativo de quatro misturas, contendo solo tropical, fosfogesso (di-hidratado e hemi-hidratado) com e sem cimento, com objetivo de avaliar o tempo de cura úmida como parâmetro para uso dessas misturas em obras geotécnicas. Tanto o solo como o fosfogesso apresentam granulometria de silte. Foram realizados ensaios de compactação, expansão e CBR em equipamento miniatura, na energia Proctor intermediária, para tempos de cura úmida de cinco minutos e de duas horas. Posteriormente, foram realizados ensaios de compressão simples com ruptura aos 28 dias de corpos de prova compactados com tempos de cura úmida de cinco minutos e de duas horas. Os resultados dos ensaios de compactação, expansão e CBR mostraram que o tempo de cura úmida gera mais influência nas misturas contendo fosfogesso hemi-hidratado e também nas misturas contendo cimento. Os resultados dos ensaios de compressão simples revelaram ainda que a mistura com solo tropical e fosfogesso HH apresenta resistência maior do que a mistura correspondente com fosfogesso DH; ou seja, somente o tratamento térmico, com a transformação do tipo de fosfogesso é suficiente para o aumento de resistência, podendo o cimento ser dispensado, em função da aplicação geotécnica da mistura.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento térmico do fosfogesso, Solos tropicais, Metodologia MCT.

1 INTRODUÇÃO

Os solos tropicais são comuns nos países de clima tropical como o Brasil e são amplamente

utilizados nas obras geotécnicas. No entanto, materiais com bom comportamento mecânico, sobretudo para execução de aterros, têm se tornado escassos. Dessa forma, é importante o

desenvolvimento de pesquisas com objetivo de avaliar misturas alternativas para substituição, mesmo que parcial, desses materiais.

O fosfogesso, também chamado gesso químico, é um subproduto da produção de ácido fosfórico nas indústrias de adubos e fertilizantes fosfatados. Sua composição química é a mesma da gipsita, ou seja, é um sulfato de cálcio, porém apresenta diversas impurezas como fluoretos e fosfatos, matéria orgânica, minerais como alumínio e ferro, metais pesados e elementos radioativos provenientes da rocha de origem. O fosfogesso é um subproduto produzido em diversos países, como Brasil, Algéria, Egito, Índia, Turquia, China, Marrocos, Tunísia e Estados Unidos. No Brasil, as maiores indústrias produtoras de ácido fosfórico estão instaladas em Cubatão-SP, Uberaba-MG e Catalão-GO. Em Catalão, são produzidas cerca de 60 mil toneladas mensais desse material.

A principal reação química que acontece no processo de formação do fosfogesso é o ataque da rocha fosfática pelo ácido sulfúrico. De acordo com a temperatura média durante as reações, o fosfogesso ($\text{CaSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) formado por ser di-hidratado, hemi-hidratado ou anidro.

As misturas com fosfogesso são objeto de estudo em diversos países, devido às quantidades geradas pelas indústrias. Diversos pesquisadores têm avaliado o uso do fosfogesso produzido no município de Catalão, desde o ano de 2007, na Universidade Federal de Goiás e na Universidade de Brasília. Ensaio ambientais realizados por Mesquita (2007) mostraram que o fosfogesso produzido na cidade de Catalão não produz riscos ao meio ambiente, pois foi classificado como pertencente à Classe II-A (não perigoso não inerte), além de apresentar baixa emissão de radiação.

Mesquita (2007), Rufo (2009) e Metogo (2010) avaliaram diversas misturas com fosfogesso di-hidratado (DH) e solo tropical, com objetivo de avaliar sua aplicabilidade na pavimentação. Mesquita (2007) concluiu que não é adequada a incorporação de altos teores de fosfogesso, recomendando trabalhar com teores inferiores a 30% devido ao comportamento mecânico das misturas. Rufo (2009) e Metogo (2010) observaram que as misturas com solo, fosfogesso e cal,

apresentaram-se muito expansivas, sendo necessário uso criterioso dessas misturas no campo.

Matos (2011) e Chagas (2014) avaliaram a deformabilidade do fosfogesso DH e de suas misturas com solo tropical de modo a ampliar seu uso nas obras geotécnicas. Chagas (2014) verificou que não há estabilização das deformações da mistura com 10% de fosfogesso, mesmo para tempos de carregamento maiores, relacionando à ocorrência de adensamento secundário (*creep*). Matos (2011) verificou que misturas com teores acima de 20% de fosfogesso apresentam comportamentos mecânicos semelhantes ao do fosfogesso puro, sofrendo deformações bastante significativas, devendo seu uso, portanto, ser avaliado com cautela.

Devido a esses resultados, que tanto limitavam o uso do fosfogesso DH, Silva e Rezende (2013) apresentaram resultados satisfatórios ao avaliar misturas com solo tropical, fosfogesso tratado termicamente e cimento. Alves (2015) desenvolveu sua pesquisa avaliando misturas com solo tropical, fosfogesso tratado termicamente (TT), com e sem cimento, concluindo ser possível o uso do fosfogesso TT em teores de até 50%, apresentando comportamento hidromecânico satisfatório.

Alves (2015) notou um aquecimento das amostras com fosfogesso TT durante sua homogeneização para a realização dos ensaios de compactação. A autora ainda observou a mudança do aspecto das misturas úmidas, que apresentavam aspecto seco após algumas horas de cura úmida, não sendo possível realizar os ensaios de compactação após as 24 horas de cura úmida sugeridas pela NBR 7182 (ABNT, 1986). A autora também concluiu, pela análise de difração de raios-X em uma amostra de fosfogesso DH submetida à variação de temperatura, que a partir dos 110°C há formação do fosfogesso HH, e pela análise de uma amostra de fosfogesso tratado termicamente a 130°C a autora identificou que o fosfogesso resultante é uma mistura de hemi-hidratado e anidro, os quais são passíveis de reidratação para a forma DH. Essa questão justifica a avaliação da influência do tempo de

cura úmida na análise do comportamento hidromecânico das misturas solo fosfogesso.

Nesse sentido, este trabalho apresenta o estudo comparativo de quatro misturas, contendo solo tropical, fosfogesso (DH e HH) com e sem cimento, com vistas a ampliar seu uso em obras geotécnicas. Logo, o objetivo principal deste trabalho é apresentar a influência do tempo de cura úmida no comportamento hidromecânico dessas misturas.

2 METODOLOGIA

O solo utilizado na pesquisa é um silte de baixa compressibilidade utilizado nas pesquisas de Metogo (2010), de Matos (2011), de Silva e Rezende (2013) e Chagas (2014). Metogo (2010) também fez sua classificação MCT (Miniatura, Compactado, Tropical), resultando em um solo de comportamento argiloso laterítico (do grupo LG').

A coleta do solo foi realizada em outubro de 2013, no setor Vila Brasília, em Aparecida de Goiânia, Goiás nas proximidades da pista experimental executada por Metogo (2010). O fosfogesso di-hidratado foi coletado no mesmo período, nos depósitos da indústria instalada no município de Catalão, Goiás. Os materiais coletados foram armazenados em sacos plásticos, identificados e transportados para o Laboratório de Geotecnia da Escola de Engenharia Civil e Ambiental (EECA) da Universidade Federal de Goiás (UFG).

O fosfogesso HH foi obtido por tratamento térmico em estufa a 130°C, até constância de massa das amostras, como foi feito por Silva e Rezende (2013).

Quanto à granulometria do fosfogesso, os ensaios realizados por Mesquita (2007), Rufo (2009), Metogo (2010) e Matos (2011) apresentaram os mesmos resultados, sendo classificado como um silte de baixa compressibilidade (ML) pelo Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) e como um solo siltoso (A-4) de acordo com a *Transportation Research Board* (TRB). Alves (2015), também por análise granulométrica pelo granulômetro a laser, concluiu que tanto o fosfogesso DH como o HH apresentam

granulometria de silte, e esse aspecto foi refletido nas misturas.

Alves (2015) realizou ensaios de determinação de massa específica no equipamento pentapícnômetro, tendo verificado que o fosfogesso HH apresenta uma massa específica maior do que do fosfogesso DH (2,64 g/cm³ e 2,43 g/cm³, respectivamente).

O cimento Portland CP II Z-32 RS foi escolhido como estabilizante químico para as misturas desta pesquisa, pois é resistente ao ataque de sulfatos devido ao baixo teor de aluminato tricálcico. O seu teor de incorporação na mistura foi o mesmo adotado no trabalho de Silva e Rezende (2013), ou seja, 9% em massa.

As misturas avaliadas nesta pesquisa foram as mesmas de Alves (2015), as quais foram definidas após a realização de ensaios de limites de consistência, de modo que fosse possível incorporar o máximo teor de fosfogesso possível, e a mistura ainda apresentasse plasticidade. Isto porque, como relatado por Ortiz (1997), Mesquita (2007), Matos (2011), Silva e Rezende (2013) e Chagas (2014), o fosfogesso DH é um material não plástico, o que dificulta a manipulação das misturas que o contém em elevado teor. Assim, as misturas aqui avaliadas foram 50% de solo, 41% de fosfogesso HH e 9% de cimento (S+HH+Ci), 50% de solo, 41% de fosfogesso DH (S+DH+Ci), 50% de solo, 50% de fosfogesso HH (S+HH) e 50% de solo, 50% de fosfogesso DH (S+DH).

2.1 Ensaios

Durante a homogeneização das misturas com fosfogesso HH, notou-se a ocorrência das reações de reidratação evidenciada pelo aquecimento após a adição de água. Além do aquecimento, as misturas apresentaram avidez por água, apresentando aspecto seco durante o período de cura úmida. Dessa forma, foram realizados ensaios para avaliação do comportamento hidromecânico das misturas compactadas com tempos de cura úmida de cinco minutos e duas horas. O tempo de duas horas foi definido por ser um intervalo razoável para uma possível aplicação da mistura em campo. O tempo de cinco minutos foi definido

para efeito de comparação.

Foram realizados ensaios de compactação, expansão e CBR em equipamento miniatura, segundo as normas DNER-ME 228 (DNER, 1994) e DNER-ME 254 (DNER/ 1997), o que foi possível porque tanto o solo quanto o fosfogesso são materiais finos. O ensaio de compactação foi feito na energia Proctor intermediária. Embora a norma DNER-ME 254 (DNER/ 1997) recomende que as leituras de expansão sejam feitas após no mínimo 20 horas de imersão dos corpos de prova no tanque, neste trabalho as leituras foram feitas até 72 horas, de modo a compreender melhor o comportamento das misturas. O ensaio de mini-CBR foi feito após o ensaio de expansão, na prensa elétrica com aquisição automática de penetração e carga. Para adaptação da prensa ao cilindro miniatura, foi usado um pistão de 16 mm de diâmetro para execução do ensaio.

Posteriormente, foram realizados ensaios de compressão simples, de acordo com a norma NBR 12770 (ABNT, 1992), em amostras compactadas no equipamento miniatura, na energia Proctor intermediária, nas condições ótimas. A ruptura dos corpos de prova foi feita após 28 dias. Devido às restrições do equipamento, foi possível obter apenas carga máxima de cada corpo de prova.

Nesses ensaios, as amostras contendo fosfogesso HH foram levadas a estufa de 130°C e as amostras com DH foram levadas a estufa a 65°C, para determinação do teor de umidade.

3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A mistura S+HH apresentou as curvas de compactação mostradas na Figura 1. A redução do peso específico seco com o aumento do tempo de cura úmida foi expressiva, tanto no ramo seco como no úmido, corroborando para o entendimento que a reidratação do fosfogesso hemi-hidratado gera influência nos parâmetros da compactação em campo, de acordo com o tempo de cura úmida.

Já a mistura S+DH apresentou as curvas de compactação mostradas na Figura 2. Como esperado, as curvas não se diferenciam

significativamente. No ramo úmido as pequenas diferenças podem ser devidas ao excesso de água que dificulta a compactação do fosfogesso DH, como já foi pautado por Mesquita (2007), Matos (2011) e Chagas (2014). O peso específico seco máximo foi dado pela curva de duas horas, sendo de 15,02 kN/m³, e o teor de umidade ótimo foi de 18,5%.

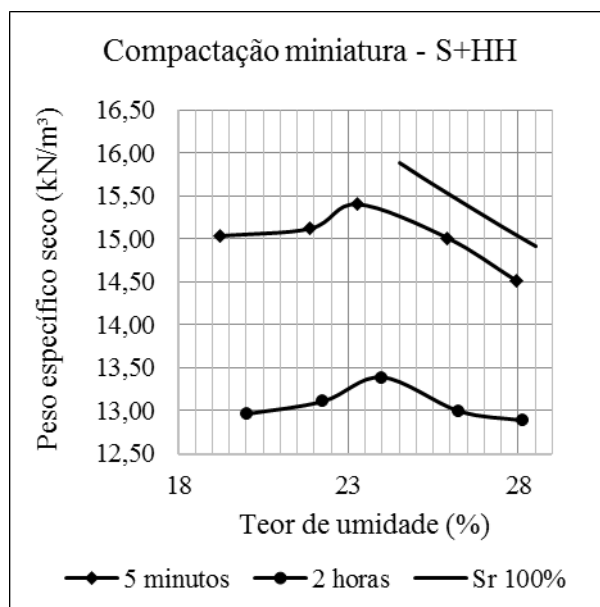


Figura 1. Curva de compactação da mistura S+HH.

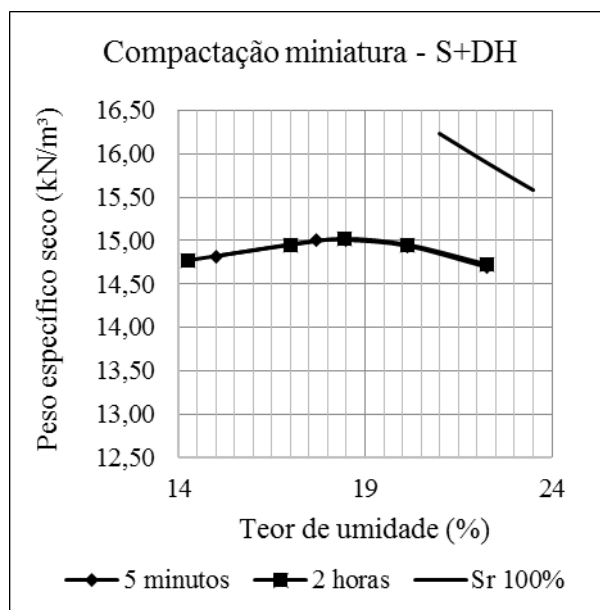


Figura 2. Curva de compactação da mistura S+DH.

A mistura S+HH+Ci apresentou as curvas de compactação mostradas na Figura 3. A influência da cura úmida é nítida, ao que se observa a redução dos pesos específicos secos (tanto no ramo seco como no ramo úmido) com

o aumento do tempo. Embora tenha ocorrido redução do peso específico seco máximo (de 15,21 kN/m³ a 14,43 kN/m³), o teor de umidade ótimo pouco se alterou. Os resultados dessa mistura também mostraram que o cimento, em relação ao fosfogesso hemi-hidratado, tem menor influência na variação do peso específico em função do tempo de cura úmida, pois provocou uma menor redução dos pesos específicos em relação à mistura S+HH.

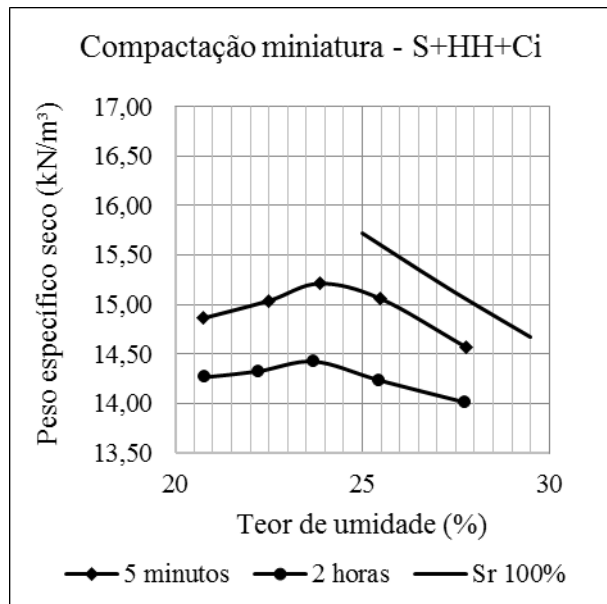


Figura 3. Curva de compactação da mistura S+HH+Ci.

A mistura S+DH+Ci apresentou as curvas de compactação apresentadas na Figura 4. A influência da cura úmida foi menos expressiva na variação do peso específico seco do que na mistura S+HH+Ci, porém houve redução dos valores máximos em cada curva (de 15,05 kN/m³ para 14,77 kN/m³). O teor de umidade ótimo foi pouco alterado na curva de cinco minutos comparada à de duas horas, sendo em torno de 18,0%.

As curvas de expansão e de mini-CBR da mistura S+HH estão apresentadas na Figura 5. As curvas de expansão apresentaram aspectos similares, com maiores valores no ramo seco em relação ao ramo úmido. Também se nota que a curva de duas horas apresentou valores superiores aos da curva de cinco minutos, com exceção de um ponto. Em geral, os valores de expansão foram baixos, com máximo de 0,23%.

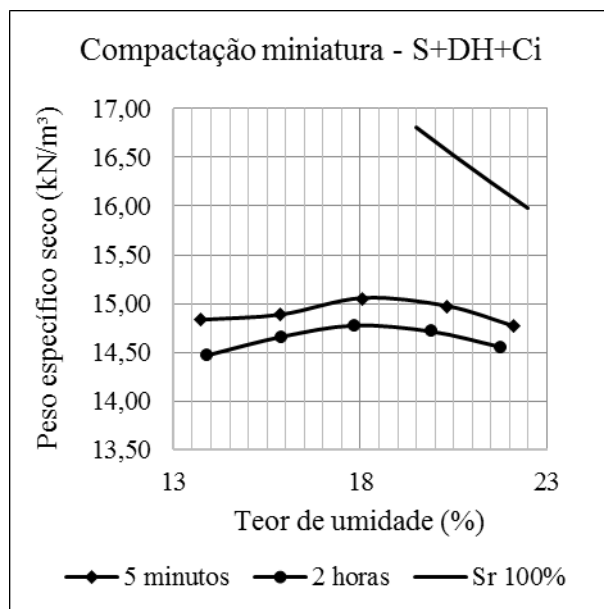


Figura 4. Curva de compactação da mistura S+DH+Ci.

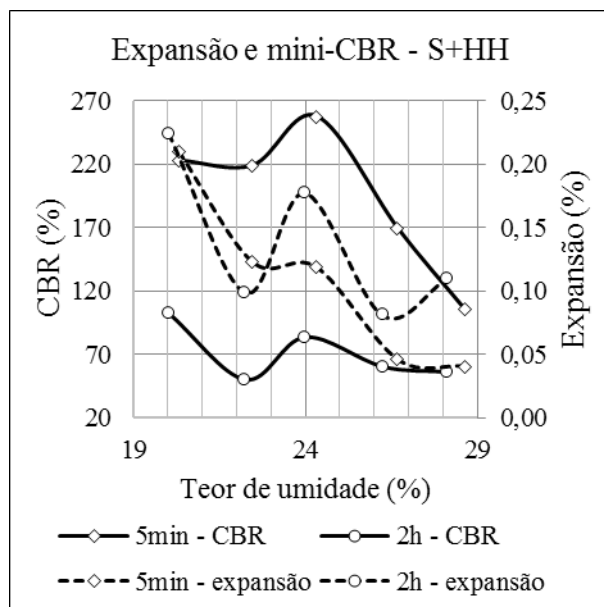


Figura 5. Curvas de expansão e CBR da mistura S+HH.

As curvas de expansão e mini-CBR da mistura S+DH estão apresentadas na Figura 6. Os pontos dos ramos úmidos apresentaram expansões maiores do que os pontos dos ramos secos, e os pontos ótimos valores intermediários a esses. Nota-se também que essa mistura apresentou os maiores valores de expansão, comparada às outras, com valores de até 0,74%.

As curvas de expansão e de mini-CBR da mistura S+HH+Ci estão apresentadas na Figura 7. Observa-se que há uma relação inversa entre as curvas, pois quanto maior os valores de expansão, menores os de CBR, e vice-versa. No entanto, de modo geral os pontos ótimos

apresentaram valores intermediários aos dos ramos seco e úmido. Nota-se que os valores da expansão de duas horas são superiores aos de cinco minutos e o contrário ocorre nos valores de CBR. Apenas dois pontos apresentaram expansão superior a 0,50%, na curva de duas horas.

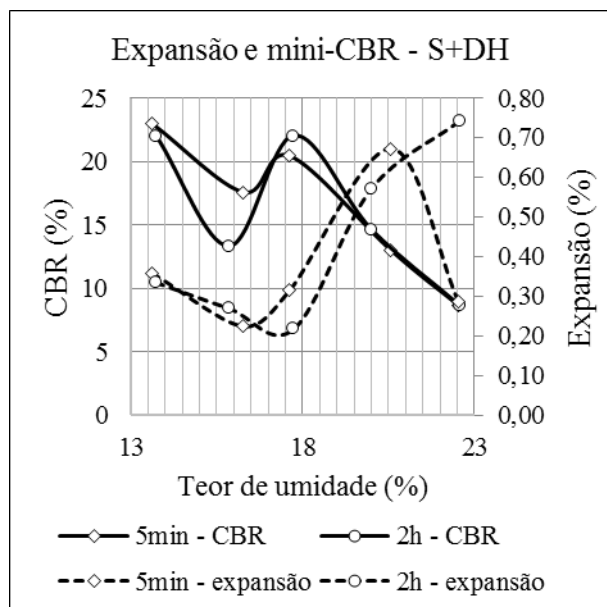


Figura 6. Curvas de expansão e CBR da mistura S+DH.

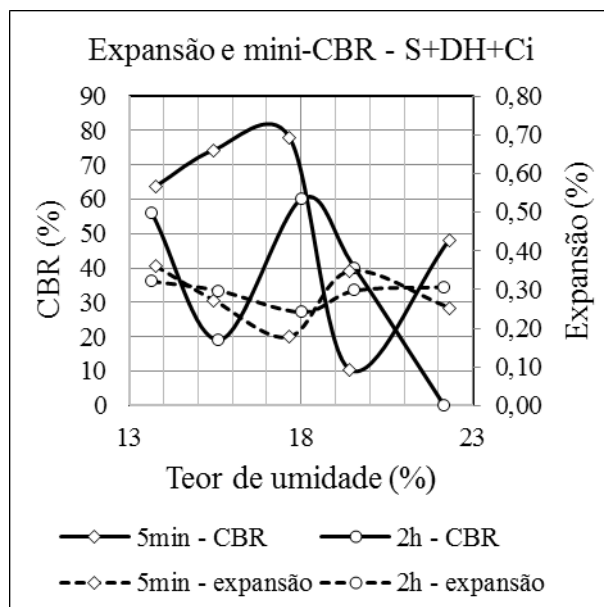


Figura 8. Curvas de expansão e CBR da mistura S+DH+Ci.

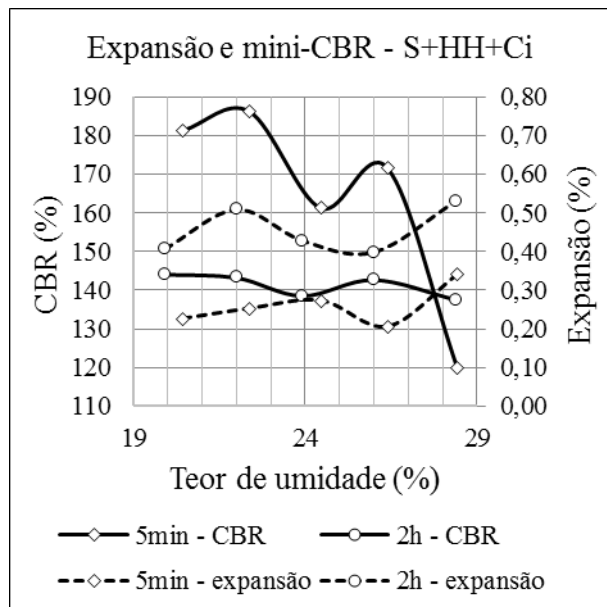


Figura 7. Curvas de expansão e CBR da mistura S+HH+Ci.

As curvas de expansão e de mini-CBR da mistura S+DH+Ci estão apresentadas na Figura 8. Ambas as curvas de expansão apresentaram valores próximos entre si, evidenciando a pouca influência do tempo de cura úmida. Os pontos

ótimos, por sua vez apresentaram as menores expansões, e o maior valor de expansão foi de 0,36%. Em relação ao CBR, as maiores porcentagens foram da curva de duas horas, com exceção de um ponto, e os pontos ótimos apresentaram os maiores valores, chegando próximo de 80%.

Em relação às curvas de mini-CBR das misturas S+HH e S+DH, a forma foi similar aos resultados convencionais para solos, sendo os valores do ramo seco superiores aos do ramo úmido, e os valores máximos apresentados pelo ponto ótimo. A forma não convencional das curvas das misturas S+HH+Ci e S+DH+Ci é devida, certamente, à presença do cimento, mas tal aspecto não foi estudado neste trabalho.

Os ensaios de compressão simples foram executados após 28 dias da compactação das amostras, com tempo de cura úmida de cinco minutos e duas horas. Os resultados dos ensaios podem ser vistos na Tabela 1. Nota-se que todos os corpos de prova apresentaram grau de compactação maior ou igual a 97%. Isso foi possível devido ao controle do tempo de compactação, não sendo maior que 10 minutos após o seu início. Quanto à variação do teor de umidade dos corpos de prova (do dia da compactação para o dia da ruptura), nota-se que as amostras com fosfogesso e cimento apresentaram as maiores perdas, em torno de

5,0% (o que está relacionado à reidratação do fosfogesso HH).

Tabela 1. Resultado dos ensaios de compressão simples.

	Misturas							
	S+TT+Ci		S+DH+Ci		S+TT		S+DH	
Ponto	(5min)	(2h)	(5min)	(2h)	(5min)	(2h)	(5min)	(2h)
Grau de compactação (%)								
CP 01	100	98	98	99	99	100	101	101
CP 02	99	99	97	98	99	102	100	100
Variação do teor de umidade na ruptura (%)								
CP 01	-5,21	-4,74	-5,83	-4,43	-3,06	-3,54	-1,31	-1,17
CP 02	-5,05	-3,74	-5,60	-4,21	-3,05	-2,81	-1,21	-1,59
Tensão de ruptura (kPa)								
CP 01	7325	5300	3090	3552	5312	2882	314	308
CP 02	7779	6180	3115	3142	5149	3141	313	304
Deformação axial específica máxima (%)								
CP 01	1,44	1,60	1,29	1,18	1,28	1,21	2,92	3,04
CP 02	1,43	1,41	1,19	1,18	1,18	1,23	3,01	2,74

Em relação à tensão de ruptura, as misturas S+HH+Ci e S+DH+Ci apresentaram resultados superiores às respectivas misturas sem cimento, confirmando o ganho de resistência promovido pelo estabilizante; no entanto, o aumento na mistura com fosfogesso DH foi mais expressivo do que na mistura com fosfogesso HH. Também se nota que as misturas com fosfogesso HH apresentaram melhores resultados do que aquelas com fosfogesso DH, confirmando a hipótese de que somente o tratamento térmico aumenta a resistência das misturas, como já visto por Ortiz (1997) e Silva e Rezende (2013). Como esperado, a cura úmida pouco alterou os resultados das misturas com fosfogesso DH, com exceção do CP 01 da mistura S+DH+Ci (2h). Em contrapartida, as misturas com fosfogesso HH compactadas com duas horas de cura úmida, tiveram resultados inferiores àquelas compactadas com cinco minutos de cura úmida. Essa queda de resistência está relacionada com a redução do peso específico seco em função do tempo, sofrida por essas misturas, como já foi analisado durante os ensaios de compactação.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Das análises da influência do tempo de cura

úmida, confirmou-se que tanto o fosfogesso HH quanto suas misturas, apresentaram redução do peso específico seco com o aumento do tempo, mas o teor de umidade ótima permaneceu praticamente inalterado. Já nas misturas com fosfogesso DH, o tempo influenciou apenas na mistura S+DH+Ci, devido à hidratação do cimento.

Dos ensaios de expansão e mini-CBR notou-se que os diferentes tempos de cura úmida influenciaram mais nas misturas com fosfogesso HH do que naquelas com fosfogesso DH, mas as misturas com fosfogesso HH apresentaram maior capacidade de suporte do que aquelas com o tipo DH.

Em relação aos ensaios de compressão simples, de modo geral, o fosfogesso HH promoveu maior ganho de resistência do que o cimento, ao se comparar as misturas com e sem cimento, justificando a aplicação do tratamento térmico para obtenção de fosfogesso HH para aplicação no campo.

Em relação à aplicação da mistura S+HH em obras geotécnicas, é importante considerar que os parâmetros de projeto devem ser obtidos por meio da realização de ensaios de compactação com tempo de cura úmida compatível com o tempo de aplicação da mistura no campo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES, à FAPEG e à Anglo American pelo fomento à esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7182: *Solo – Ensaio de compactação*. Rio de Janeiro, 1986, 10p.
- ABNT: _____. NBR 12770: *Solo coesivo – Determinação da resistência à compressão não confinada*. Rio de Janeiro, 1992, 4p.
- ALVES, K. C. S. K. *Estudo do fosfogesso tratado termicamente e de suas misturas com solo tropical*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, 2015.
- CHAGAS, J. V. R. *Análise da deformabilidade do fosfogesso*. Dissertação (Mestrado em Engenharia

- Civil) - Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, 2014.
- DNER: DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. ME-228: *Solos – compactação em equipamento miniatura*. Rio de Janeiro, 1994, 14p.
- DNER_____. ME-254: *Solos compactados em equipamento miniatura - Mini-CBR e expansão*. Rio de Janeiro, 1997, 14p.
- DNER_____. ES-378: *Pavimentação – base estabilizada granulometricamente com utilização de solo laterítico*. Rio de Janeiro, 1998, 7p.
- DNIT: DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. ME 160: *Solos – Determinação da expansibilidade*. Rio de Janeiro, 2012. 7p.
- MATOS, T. H. C. *Caracterização hidromecânica do fosfogesso e das misturas solo-fosfogesso*. 2011. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, 2011.
- MESQUITA, G.M. *Aplicação de misturas de fosfogesso e solos tropicais finos na pavimentação*. 2007. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) - Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, 2007.
- METOGO, D. A. N. *Construção e avaliação inicial de um trecho de pavimento asfáltico executado com misturas de solo tropical, fosfogesso e cal*. 2010. 195 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, 2010.
- ORTIZ, J. A. *Estudo de misturas de solo e fosfogesso com vistas a sua utilização em rodovias*. 1997. 179 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, USP, São Carlos, SP, 1997.
- RUFO, R. C. *Estudo laboratorial de misturas de fosfogesso, solo Tropical e cal para fins de pavimentação*. 2009. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) - Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, 2009.
- SILVA, M. V.; REZENDE, L. R. *Estudos laboratoriais de misturas com solo tropical, fosfogesso anidro, cimento e cal para pavimentação*. Relatório de Iniciação Científica. Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, 2013.