

Estudo da Estabilização de um Solo Expansivo Através da Incorporação de Areia Verde de Fundição Residual

Lucas Coelho Dos Santos

Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, lucass_cs@hotmail.com.

Marcelo Heidemann

Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, marcelo.heidemann@ufsc.br.

Rodrigo Machado

Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, digomachado@gmail.com

Breno Salgado Barra

Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, breno.barra@ufsc.br

Yader Guerrero Pérez

Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, guerrero.y@ufsc.br

RESUMO: Este trabalho apresenta um estudo sobre a estabilização volumétrica de um solo residual expansivo, em estado compactado, através da incorporação de areia verde de fundição residual (ADF). Foram executados ensaios de caracterização física básica do solo, bem como ensaios de compactação Proctor para determinação dos parâmetros de controle de compactação. Ensaios de CBR com medida de expansão, empregando energias normal e intermediária de compactação, foram utilizados para determinação da expansibilidade em estado compactado, bem como do índice de suporte, que pode ser tomado como um indicativo de resistência mecânica. Ensaios de expansão LNEC também foram efetuados para confirmar a natureza expansiva do solo, sobretudo da fração fina. Os ensaios indicaram tratar-se de um solo siltoso de alta plasticidade. Os resultados obtidos nos ensaios Proctor mostraram que o aumento do teor de ADF provoca redução da umidade ótima de compactação e aumento da densidade seca máxima. Os ensaios CBR evidenciaram que sob energia normal de compactação a adição de 50% ou mais de ADF provoca redução da expansão. Para percentuais adicionados inferiores a 30% o solo tem seu desempenho piorado. Sob energia intermediária de compactação a expansão é tanto mais baixa quanto maior o teor de ADF incorporado. Em relação ao CBR, verificou-se que a incorporação de 10% de ADF é prejudicial seja sob energia de compactação normal ou intermediária. Também na mistura com 10% de ADF verifica-se redução do valor de CBR, enquanto que para as demais foram observados leves ganhos de Índice de suporte com relação ao solo puro. A composição de solo com 70% de ADF, em relação ao seu peso seco, resulta no melhor desempenho mecânico, com níveis de expansão próximos à zero.

PALAVRAS-CHAVE: solo expansivo; areia de fundição, estabilização de solos.

1 INTRODUÇÃO

O fenômeno de mudança abrupta de volume em solos é uma questão que afeta a sociedade como um todo. Porém, segundo a *New York State Division of Homeland Security and Emergency Services* - NYS DHSES (2014) a população tem

pouco conhecimento sobre o tema, de forma geral, devido ao fato de que os danos se propagam de forma lenta.

A NYS DHSES (2014) menciona que as variações volumétricas compreendem um dos perigos geológicos mais caros, estimando-se que 1/4 de todas as casas nos EUA têm algum dano

causado pela expansão dos solos, resultando em prejuízos de aproximadamente US\$ 300 milhões/ano.

Jones e Holtz (1973) reforçam este fato relatando que o dano dos solos expansivos para estruturas de edifícios e pavimentos é maior do que os danos causados por outros desastres naturais, incluindo terremotos, furacões, inundações e tornados.

Mahler (1994) alega que este tipo de solo é comum em regiões onde a evapotranspiração anual excede a precipitação, fenômeno presente nas Zonas semiáridas. E que “a capacidade de expansão é função de sua natureza mineralógica, tamanho de grão, densidade seca e formação estrutural, permeabilidade, condição de tensão local, e cargas externas aplicadas”.

Devido à presença dos solos expansivos em todos os cinco continentes e o alto custo devido às consequências de variações volumétricas, o enfoque deste trabalho é realizar um estudo para estabilizar um solo expansivo, em estado compactado, através da incorporação de areia verde de fundição residual (ADF).

Em meio aos processos industriais geradores de resíduos sólidos a indústria metalúrgica se sobressai em âmbito mundial, impondo desafios para o setor devido à dificuldade do reaproveitamento da matéria advinda do processo de fundição (FERREIRA et al. 2012).

De acordo com Casotti et al. (2011), a indústria de fundição tem como principal resíduo sólido a areia de fundição, em que a quantidade consumida de areia depende do tipo da peça produzida e varia entre 0,8 e 1 tonelada para cada tonelada de fundido, e após a etapa de desmoldagem cerca de 10% da areia é impossibilitada de ser reinserida no processo de produção, sendo assim, descartada.

A *American Foundry Society* - AFS (2013) relata que a fundição gera em todo o mundo cerca de 100 milhões de toneladas de metal, e para suprir a produção mundial do mesmo, utilizam-se aproximadamente 100 milhões de toneladas de areia. Neste contexto, estima-se a geração anual de 3 milhões de toneladas de ADF no Brasil, colocando-o na sétima posição do *ranking* entre os maiores produtores globais de fundidos, onde 600 mil toneladas são geradas pelo estado de Santa Catarina (ABIFA, 2014).

A realização de estudos que propõem a estabilização dos solos com o reaproveitamento

da ADF, a fim de obter ganhos ambientais, técnicos e econômicos, justifica-se diante do percentual descartado de areia de fundição, reflexo da elevada produção de materiais fundidos, e devido à grande ocorrência de danos associados à expansibilidade dos solos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste estudo utilizou-se um residual de gnaiss que ocorre em boa parte do litoral norte do estado de Santa Catarina, próximo à cidade de Joinville. Este material é formado pelo intemperismo de rochas metamórficas do Complexo Granulítico Santa Catarina, expondo-se como horizonte B de alteração.

O solo é classificado como um silte de alta plasticidade (ML na classificação SUCS), com densidade real das partículas da ordem de 2,796, Limite de Liquidez da ordem de 47% e Índice de Plasticidade de 16%. No que tange à textura, a Figura 1 mostra a curva granulométrica do solo estudado.

No ensaio de CBR este solo apresentou caráter expansivo após as 96 horas de imersão. A expansão medida foi de 1,36% para o solo compactado sob energia normal e 2,03% no caso do material compactado com energia intermediária.

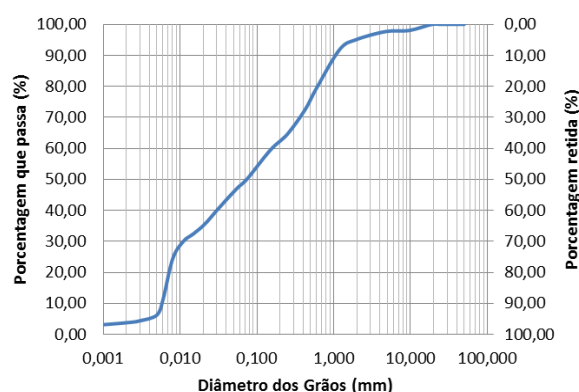


Figura 1. Curva granulométrica do solo Siltoso.

Para comprovar o potencial expansivo foi realizado o ensaio LNEC. A expansibilidade medida para a fração passante na peneira 0,42 mm foi de 11,92%, conforme mostrado na Figura 2. De acordo o Laboratório de Engenharia Civil de Cabo Verde (LEC, 2012), é considerado solo expansivo aquele que no ensaio LNEC exibe índice de expansibilidade superior a 8 %.

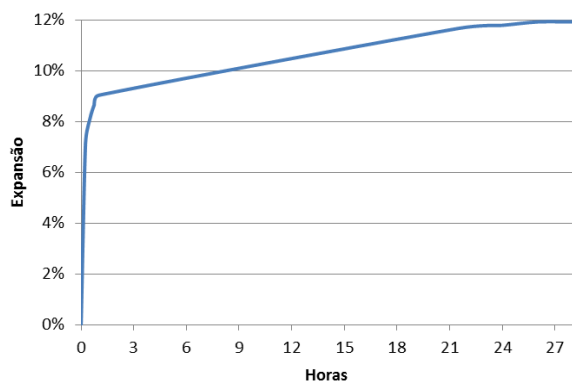


Figura 2. Variação da expansão em relação ao tempo.

Como agente estabilizante foi utilizada uma areia verde de fundição, proveniente de uma indústria localizada no mesmo município, derivada da moldagem de peças, oriunda de resíduos de amostra de silo de descarte da Fundição “C”, responsável pela produção voltada à manufatura de blocos e cabeçotes para motores de veículos.

A areia de fundição foi classificada como areia mal graduada (SP, na classificação SUCS), não plástica, com densidade real das partículas de 2,785, e granulometria conforme apresentado na Figura 3.

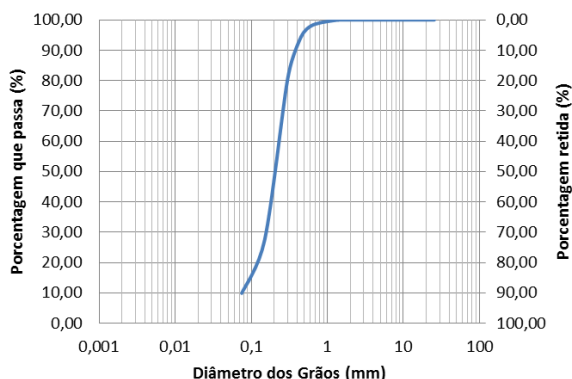


Figura 3. Curva granulométrica da ADF.

Com base em trabalhos anteriores, como Domingues (2015) e Klinsky (2013), optou-se por avaliar os efeitos da adição de ADF às curvas de compactação e CBR, variando a porcentagem adicionada em relação ao peso seco do solo, em intervalos de 20%.

As misturas do solo e areia de fundição foram realizadas de forma manual, com ambos os materiais secos em estufa.

3 RESULTADOS E ANÁLISE DOS ENSAIOS

As diferentes misturas de solo e ADF apresentam as curvas granulométricas conforme Figura 4.

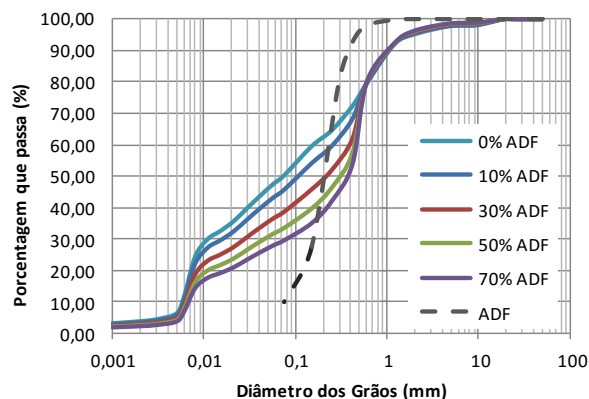


Figura 4. Curvas granulométricas para diferentes porcentagens de ADF.

As curvas de compactação obtidas nos ensaios Proctor, com energia normal e intermediária, são exibidas nas Figuras 5 e 6.

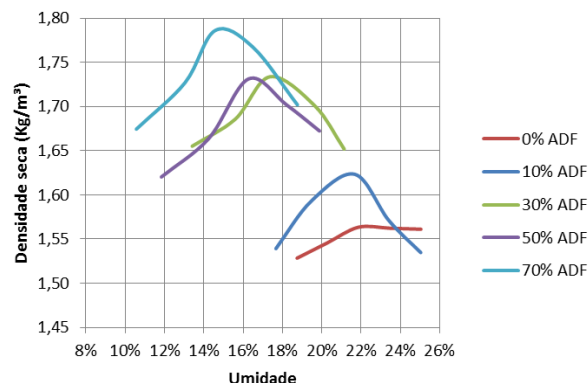


Figura 5. Curvas de compactação (Energia normal).

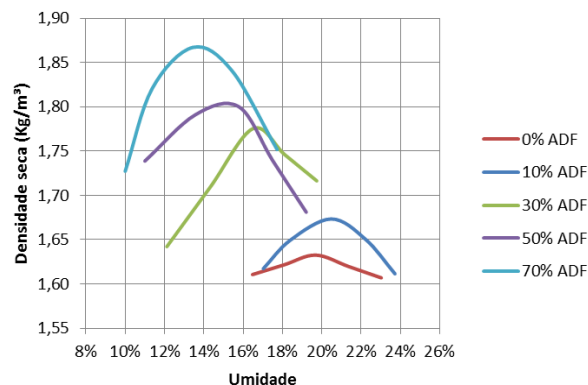


Figura 6. Curvas de compactação (Energia intermediária).

É possível observar que à medida que a areia de fundição é acrescida, as curvas deslocam-se para a esquerda e para cima, assim como se tornam mais sensíveis as variações de umidade.

Essa tendência também é observada por Domingues (2015), Klinsky (2013), Teixeira (2014) e Sharma e Gupta (2013).

Esse comportamento é discutido por Pinto (2006), que descreve que solos siltosos e argilosos, frequentemente apresentam valores baixos de densidade seca máxima e umidade ótima alta, com curvas de compactação bem abatidas, enquanto que o inverso é representativo das areias.

O motivo para tal é o fato de que à medida que a amostra vai apresentando uma curva granulométrica mais graduada, as partículas de menor diâmetro do solo vão preenchendo os vazios entre as partículas de areia de fundição. Com isso, reduz-se o índice de vazios da mistura, uma vez que favorece o entrosamento entre as partículas e consequentemente obtêm-se valores de densidade seca máxima maiores que no solo puro.

A umidade ótima decresce devido a menor necessidade de água para lubrificar as partículas de areia, que tem sua área específica menor, além de, no caso específico de areias de fundição, apresentarem natureza hidrofóbica.

Nas Figuras 7 e 8 são apresentadas as variações da umidade ótima e densidade seca máxima, de acordo com o percentual de ADF presente nas amostras.

Observa-se que os gráficos apresentam um padrão de comportamento bem definido para as duas energias, diminuindo continuamente o valor da umidade ótima e aumentando a densidade seca máxima até alcançar a mistura de solo e 70% de ADF.

Assim como feito por Sharma e Gupta (2013), foram traçadas linhas de tendência para as variações de densidade seca máxima e umidade ótima com o acréscimo de ADF, as linhas representativas são expressas a partir de funções logarítmicas de base e, logaritmo natural.

A similaridade entre as tendências mostra que no caso das misturas a variação da umidade ótima e densidade seca máxima pouco depende da energia de compactação.

Cabe salientar que os pontos experimentais obtidos apenas com solo não foram considerados para determinação das tendências, já que estas se referem unicamente as misturas.

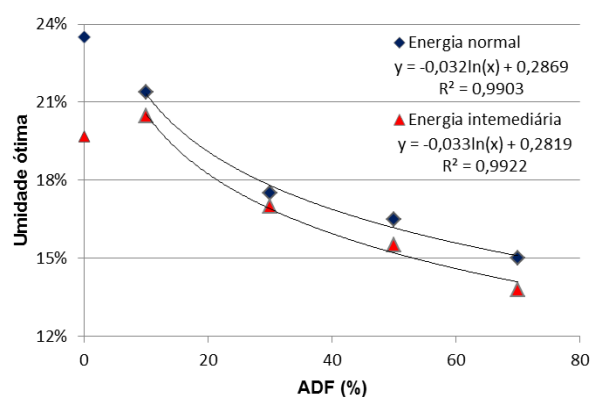


Figura 7. Variação da umidade ótima em relação à porcentagem de ADF.

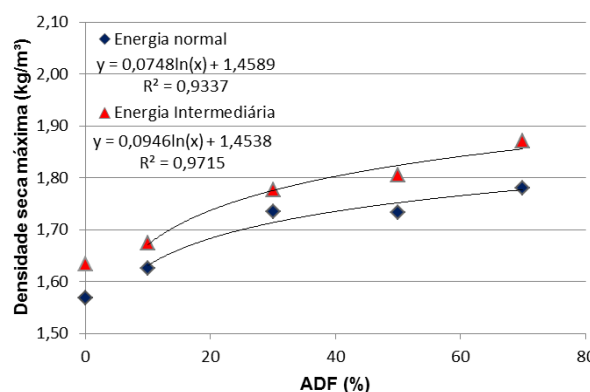


Figura 8. Variação da densidade seca máxima em relação à porcentagem de ADF.

Percebe-se que a umidade ótima do solo puro, quando compactado em energia normal, pode ser congregado por este modelo. Contudo, isto não é possível sob energia intermediária de compactação, já que a umidade ótima mostra-se “discrepante” com relação à tendência.

Este resultado foi confirmado por meio da repetição do ensaio, indicando os mesmos resultados encontrados.

A expansão dos corpos de prova de solo e mistura solo-ADF foi medida após quatro dias (96 horas) de imersão. Os resultados obtidos são mostrados na Figura 9.

A expansão reduz de 1,36 para 0,7% na energia normal e de 2,03 para 0,2% na energia intermediária. A linha de tendência mostra ainda que a expansão tende a zero para maiores percentuais de ADF. Esta redução da expansão é mais expressiva até 50%, já que após este valor as variações tornam-se menos sensíveis. O mesmo fenômeno é relatado por Mgangira (2006), Klinsky (2013) e Teixeira (2014).

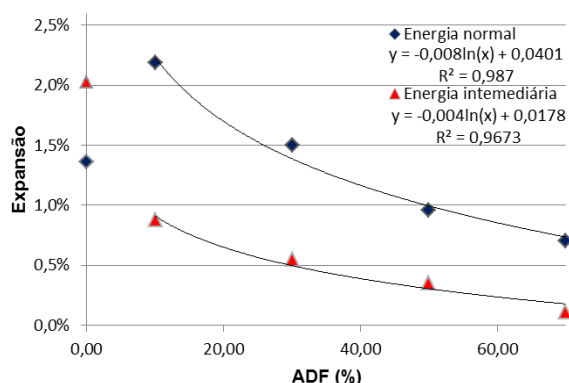


Figura 9. Variação da expansão em relação à percentagem de ADF.

De acordo com Louafi e Bahar (2012) a redução da expansão pode ser explicada pelo fato de que as partículas de argila e silte, que podem se mostrar expansivas, são substituídas pela adição da ADF, que é normalmente um material inerte.

Cabe citar o que ocorre quando 10% e 30% de ADF são adicionados ao solo. No caso do solo compactado sob energia normal, a adição de ADF nestes teores promove um aumento da expansão do solo se comparado ao que se observa no solo puro. Não está claro o motivo para tal, sendo recomendado um estudo futuro mais detalhado deste caso. Quando empregada energia intermediária a mistura mostra-se sempre menos expansiva que o solo puro.

Os resultados da adição de ADF referente ao CBR são mostrados na Figura 10.

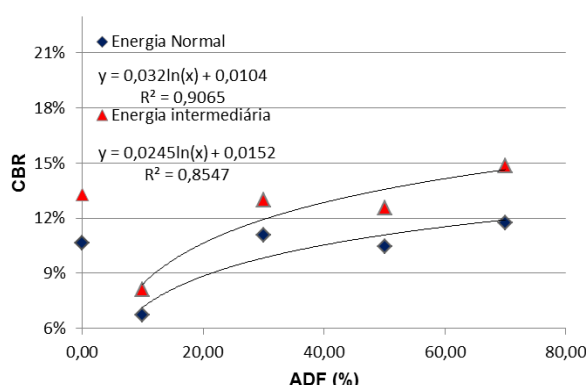


Figura 10. Variação do CBR em relação à percentagem de ADF.

Com relação ao CBR, nota-se que as modificações em ambas as energias de compactação não foram bruscas em relação ao valor obtido no ensaio em solo puro. A adição de ADF ao solo não resulta em ganhos de índice de

suporte, pelo contrário, a adição de 10% de ADF provoca uma queda brusca, em aproximadamente 4 unidades, apresentando um CBR de 6,71 em comparação com 10,65 medido no solo puro. O mesmo se observa sob a energia intermediária, em que a redução é ainda maior. As misturas com 30% ou mais de ADF tem CBR similar ao valor de referência (solo puro) ou até mesmo superior.

Tratando-se da energia normal, o maior valor de CBR, da ordem de 11,7% foi obtido com a adição de 70% de ADF. Na energia intermediária este teor de ADF também foi o que conduziu ao maior valor de CBR, da ordem 14,9%. Nesta energia o menor CBR foi da ordem de 8,1%, quando com 10% de ADF.

Analisando unicamente os resultados obtidos nesta pesquisa não foi possível justificar a causa para este comportamento. Também na literatura não são apresentadas explicações claras para a causa da queda do CBR, embora resultados similares já tenham sido reportados por Teixeira (2014) e Mgangira (2006).

Assim como Klinsky (2013) e Teixeira (2014), conclui-se que a ADF, por ser inerte, não provocou claro aumento da resistência do solo.

Sugere-se que o comportamento variável em termos de CBR obtido neste trabalho possa ser explicado pela dificuldade na homogeneização das amostras, havendo constante deposição de ADF no fundo dos recipientes empregados.

Assim como feito para umidade ótima e densidade seca máxima, foram traçadas linhas de tendência para a expansão e CBR, verificando que, igualmente, as alterações de índice de suporte com o acréscimo de ADF seguem tendência logarítmica.

4 CONCLUSÕES

Com base nos dados obtidos, por meio de ensaios em amostras preparadas com diferentes porcentagens de areia de fundição incorporada ao solo siltoso, concluiu-se que a estabilização de solos expansivos com a utilização de areia de fundição é possível, tal qual reportado nos estudos realizados por Mgangira (2006), Louafi e Bahar (2012), Klinsky (2013), Sharma e Gupta (2013), Teixeira (2014) e Domingues (2015).

Os ensaios de CBR e expansão LNEC confirmaram a natureza expansiva do solo residual de gnaisses estudado neste trabalho. No

caso do ensaio de CBR a expansão é mais baixa porque a amostra apresenta todas as frações granulométricas, sendo também composta por materiais não expansivos, diferente do LNEC, que ensaia apenas a parcela de silte e argila.

A redução da expansão é mais expressiva na medida em que há o aumento do teor de ADF incorporado ao solo. Porém, vale ressaltar que a diminuição da expansibilidade do solo em questão não é acompanhada por ganhos de CBR, tampouco este parâmetro se mantém inalterado. O que se verifica é uma tendência de oscilação sem razões claras.

Uma análise conjunta do comportamento das misturas estudadas, mostra que a adição de 70% de ADF conduz ao melhor desempenho deste material quando utilizado como camada de suporte, já que ocorre a maior redução da expansão e o maior aumento do CBR.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), à Paviplan Pavimentação Ltda, Tupy Fundição S/A e Britagem Vogelsanger Ltda.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN FOUNDRY SOCIETY - AFS (2015). Disponível em: <<http://www.afsinc.org/>>. Acesso em 11/jun 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE FUNDIÇÃO - ABIFA (2014) *Caminho Sustentável para as Areias Descartadas de Fundição Evolui*. Revista da Abifa. ed. 171. pp. 20-22.
- CASOTTI, B.P., FILHO, E.D.B., CASTRO, P.C. (2011) *Indústria de fundição: situação atual e perspectiva*. BNDES Setorial 33, p. 121-162.
- DOMINGUES, L.G.C (2015) *Viabilidade ambiental e econômica da utilização de areia descartada de fundição (ADF) na cobertura de aterros sanitários*. Dissertação de mestrado. UNICAMP: Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Limeira, 85p.
- FERREIRA, K; PADULA, F; SILVA, S. FERREIRA, P. (2012) *Gerenciamento de Resíduos em Indústrias de Biomateriais*. Congresso Latino Americano de Órgãos Naturais e Biomateriais, Natal, 5 p.
- JONES, D.E., Holtz, W.G. (1973). *Expansive soils – the hidden disaster*. Civil Eng, ASCE, v. 43, n.8, pp 87-89.
- KLINSKY, L.M.G. (2013) *Avaliação do reaproveitamento de areia de fundição residual em camadas de pavimentos*. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos (USP), São Carlos, 279 p.
- LOUAFI, B.; BAHAR R. (2012) *Sand: An additive for stabilization of swelling clay soil*. International Journal of Geosciences, n. 3, pp. 719-725.
- MAHLER, C.F. (1994) *Análise de obras assentes em solos colapsíveis e expansivos*. Tese de Doutorado: COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro. 267 p.
- MGANGIRA, M.B. (2006) *Laboratory assessment of the influence of the proportion of waste foundry sand on the geotechnical engineering properties of clayey soils*. J. South African Institution of Civil Eng., v.48 n.1, pp. 2-7.
- NEW YORK STATE DIVISION OF HOMELAND SECURITY AND EMERGENCY SERVICES (NYS DHSES). (2014) *Land Subsidence and Expansive Soils Hazard*. New York State Standard Multi-Hazard Mitigation Plan Draft, Section 3-13. 14 p.
- PINTO, C.S. (2006) *Curso Básico de Mecânica dos Solos*. São Paulo, Oficina de Textos. 367 p.
- SHARMA, K. R.; GUPTA C. (2013) *Influence of waste materials on geotechnical characteristics of expansive soil*. Int. Journal of Engineering Research and Technology v.2. n.10. pp. 2536-2542
- TEIXEIRA, I. (2014) *Estabilização de um solo laterítico argiloso para utilização como camada de pavimento*. Dissertação de mestrado – Universidade Estadual de Campinas – Campinas, 167 p.