

Estudo do Comportamento Mecânico de Misturas Solo-Resíduo Compactadas a Diferentes Energias

Cristiane Garcia P. Goulart

UFSJ, Ouro Branco-MG, Brasil, cristianegarciapgoulart@gmail.com

Guilherme de Souza Marçal

UFSJ, Ouro Branco-MG, Brasil, guilherme_s_marcal@hotmail.com

Michelle Cristine Nascimento

UFSJ, Ouro Branco-MG, Brasil, mcristinenascimento@gmail.com

Ricardo Cabette Ramos

UFSJ, Ouro Branco-MG, Brasil, ricardo.cabette@hotmail.com

Robinson de Souza Marinho

UFSJ, Ouro Branco-MG, Brasil, robinson@ufs.edu.br

Heraldo Nunes Pitanga

UFV, Viçosa-MG, Brasil, heraldo.pitanga@ufv.br

RESUMO: A eventual indisponibilidade de jazidas naturais de solos que, na condição compactada, possam apresentar propriedades de engenharia compatíveis com as especificações mínimas de projetos impõe, à Engenharia Civil, a busca por soluções alternativas a esta limitação, dentre as quais a estabilização granulométrica desses solos se apresenta como uma das opções. Essa opção pode se tornar ainda mais atrativa caso esteja associada à possibilidade de aproveitamento de resíduos como matéria-prima a ser empregada no processo de correção granulométrica do solo original, visto que, neste caso, a perspectiva de viabilidade técnica do material resultante (solo estabilizado) pode estar atrelada à perspectiva de viabilidade ambiental (substituição parcial do solo por resíduo). Assim, este programa experimental de ensaios avaliou a viabilidade técnico-ambiental de aproveitamento de um material residual gerado em grandes volumes diários por empresas do setor da construção civil da região do Alto Paraopeba, aqui denominado de filer mineral, visando o seu emprego em misturas com solos destinados à aplicação em obras rodoviárias regionais. A pesquisa promoveu a caracterização geotécnica de um solo residual regional e de misturas desse solo com o resíduo, caracterizou o comportamento mecânico dos solos e das misturas solo-resíduo na condição compactada e comparou os respectivos desempenhos de engenharia dos solos e das misturas solo-resíduo compactadas. Para as energias de compactação adotadas na pesquisa (Proctor Normal e Proctor Modificado), foram constatadas alterações nas respectivas condições de ótimo das misturas solo-resíduo comparativamente ao solo sem resíduo (incremento da massa específica aparente seca máxima). Para os ensaios de compressão não confinada, não foi constatada melhoria no desempenho mecânico do solo com a adição do resíduo. Porém, particularmente para a adição a 10% de resíduo, na energia do Proctor Normal, não houve deterioração significativa na resistência mecânica investigada. Independente da energia, as reduções na resistência mecânica foram mais significativas para as misturas a 20%. A constatação de incrementos nas densidades secas máximas das misturas para as energias de compactação aplicadas acena para a possibilidade de viabilização das mesmas por meio de ensaios mecânicos distintos daquele considerado no trabalho.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos da construção civil, Misturas solo-resíduo, Sustentabilidade.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização do problema

O termo "estabilização do solo" corresponde a qualquer processo, natural ou artificial, pelo qual um solo, sob o efeito de cargas aplicadas, se torna mais resistente à deformação e ao deslocamento, do que o solo original. Tais processos consistem em modificar as características do sistema solo-água-ar com a finalidade de se obter propriedades de longa duração compatíveis com uma aplicação particular (HOUBEN E GUILLAUD, 1994).

Para Baptista (1978), estabilizar um solo é, de um modo geral, utilizar um processo qualquer de natureza física, físico-química ou mecânica, de maneira a tornar esse solo estável para os limites de sua utilização, fazendo com que esta estabilidade permaneça sob ações de cargas exteriores e ações climáticas variáveis. O autor complementa sua definição comentando que o processo de estabilização de um solo envolve propriedades de resistência do solo e da suplementação necessária desta resistência para um determinado uso, em termos mecânicos, físicos, físico-químicos e químicos.

Na construção de estradas, os terrenos existentes no local apresentam, frequentemente, características que não satisfazem às especificações exigidas. A substituição desses materiais por outros convenientes ou a correção dos materiais existentes de modo a conferir-lhes as características necessárias é realizada por meio de um método adequado de estabilização de solos. Muitas vezes, a escolha do método depende de fatores, entre eles o de ordem econômica (CASTRO, 1969).

A estabilização de solos pode ser obtida por várias técnicas segundo Guimarães (2002), podendo ser reunidas em dois grandes grupos, correspondendo o primeiro grupo para aquelas estabilizações que empregam meios mecânicos, como correção da granulometria e da plasticidade através da incorporação ou retirada de determinadas quantidades de frações constituintes do solo, até a obtenção de parâmetros estabelecidos por normas; o segundo grande grupo engloba as estabilizações que empregam meios químicos, utilizando de aditivos orgânicos ou inorgânicos, como a cal, o

cimento Portland, silicatos de sódio, materiais betuminosos, resinas, compostos de fósforo e outros.

Particularmente no que concerne ao primeiro grande grupo, segundo Gondim (2008), são considerados métodos de estabilização mecânica os procedimentos que alteram apenas o arranjo das partículas do solo ou a granulometria deste. A referida autora menciona, ainda, que dentre os métodos existentes se sobressaem a compactação e a estabilização granulométrica.

A correção granulométrica é feita quando se deseja, por algum motivo específico, alterar a distribuição das partículas do solo. Segundo Barbosa *et al.* (2002), o teor de cada fração granulométrica do solo é relevante. Segundo Pinto (2008), neste tipo de estabilização, as propriedades do solo são modificadas, alterando-se a sua textura.

O princípio da estabilização granulométrica consiste no emprego de um material ou na mistura de dois ou mais materiais que se enquadrem dentro de uma determinada especificação, de tal forma que resulte em uma mistura na qual a resistência seja garantida pelo contato entre os grãos das partículas maiores e os vazios sejam preenchidos pelos grãos das partículas mais finas, de maneira a propiciar uma menor permeabilidade e uma maior densidade (GONDIM, 2008).

A estabilização granulométrica deve corrigir a granulometria e a plasticidade, sendo necessária a composição artificial do solo estabilizado, conferindo-lhe proporcionamento adequado das frações do solo e sua mistura, obtendo uma granulometria final desejada (VARGAS, 1977).

Baptista (1978) destaca que a estabilização granulométrica de um solo visa obter determinadas condições granulométricas, limites físicos e limites de resistência apropriados. Ainda segundo este autor, a estabilização mecânica através da correção granulométrica consiste no emprego de um material ou na mistura de dois ou mais materiais que se enquadrem dentro de determinada especificação.

A estabilização granulométrica consiste, portanto, na combinação e manipulação de solos, em proporção adequada, de maneira a se obter um produto de estabilidade maior que os

solos de origem e adequado para aplicação em cada caso particular. Baptista (1978) menciona também que alguns fatores, tais como a natureza das partículas dos solos, influenciam diretamente no comportamento das composições granulométricas dos materiais resultantes.

A estabilização mecânica através da compactação, por sua vez, é entendida como a ação mecânica imposta ao solo quando submetido a um esforço de compressão, provocando a redução do seu índice de vazios, decorrente da expulsão de ar contido em seu meio (TRINDADE, 2008).

A finalidade da compactação é elevar a densidade do solo, aumentando ao mesmo tempo a sua resistência. Para que a compactação atinja melhores resultados, solos que possuam grãos de variados tamanhos e com uma pequena quantidade de argila são preferíveis. Os autores afirmam ainda que as melhores técnicas de construção com solo são aquelas nas quais a compactação é utilizada, mas para resultados ainda melhores, tal técnica pode ser combinada com a adição de um aglutinante ou um impermeabilizante.

LITTLE (1995) relata que, frequentemente, os solos utilizados em obras de pavimentação requerem uma estabilidade mecânica adicional, a fim de propiciar a estes uma maior durabilidade. No processo de compactação do solo, as partículas são forçadas a agruparem-se mais estreitamente, aumentando a densidade de um solo pelo acúmulo das partículas, reduzindo o seu volume de ar e permanecendo inalterado o seu volume de água (CRAIG, 1980). Pressupõe-se que a redução do volume de vazios do solo relaciona-se com um ganho de resistência mecânica (LIMA *et. al.*, 1993).

Para Baptista (1978), alguns fatores exercem influência na compactação, como a natureza do solo e sua compactabilidade, a natureza do esforço de compactação e o teor de umidade para o qual o solo é compactado e, aliado a esses fatores, a temperatura do solo, a manipulação do solo e o tempo de cura. Os solos, quando bem compactados em um teor de umidade ótimo, possuem propriedade de capacidade de suporte de cargas satisfatória, porém se tornam instáveis quando seu teor de umidade é alterado.

1.2 Justificativas e objetivos

A eventual indisponibilidade de jazidas naturais de solos que, na condição compactada, possam apresentar propriedades de engenharia compatíveis com as especificações mínimas de projetos de engenharia tais como os rodoviários impõe, à Engenharia Civil, a busca por soluções alternativas a esta limitação, dentre as quais a estabilização granulométrica desses solos se apresenta como uma das opções. Essa opção pode se tornar ainda mais atrativa caso esteja associada à possibilidade de aproveitamento de resíduos como matéria-prima a ser empregada no processo de correção granulométrica do solo original, visto que, neste caso, a perspectiva de viabilidade técnica do material resultante (solo estabilizado) pode estar atrelada à perspectiva de viabilidade ambiental (substituição parcial do solo por resíduo).

Assim, justifica-se um programa experimental de ensaios destinado a avaliar a viabilidade técnico-ambiental relacionada ao aproveitamento de um material residual gerado em grandes volumes diários por empresas do setor da construção civil da região do Alto Paraopeba, aqui denominado de filer mineral, visando ao seu emprego em misturas com solos destinados à aplicação em obras rodoviárias regionais.

Dentro dessa perspectiva, este trabalho tem como principal objetivo estudar a viabilidade técnico-ambiental de emprego de um material residual (filer mineral) na estabilização granulométrica de solos regionais, visando ao emprego dos materiais resultantes em obras rodoviárias.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Este programa de pesquisa contemplou o uso de um solo residual característico da região do Alto Paraopeba, estado de Minas Gerais. Esse solo foi coletado de uma jazida de empréstimo em um perfil de solo residual existente na zona rural do município de Ouro Branco-MG (Figura 1).



Figura 1. Jazida de empréstimo do solo residual empregado na pesquisa.

A estabilização granulométrica do solo investigado se deu por meio da adição ao mesmo de filer mineral (Figura 2), o qual constitui um dos resíduos resultantes do processo de fabricação de argamassas industrializadas produzidas por uma empresa regional do setor da construção civil.



Figura 2. Amostra de filer mineral empregado na pesquisa.

2.2 Métodos

2.2.1 Proporção dos componentes das misturas solo-filer mineral

As misturas do tipo solo-filer mineral investigadas no presente estudo são constituídas por percentagens de 10% e 20% de filer mineral, em termos de massa seca total da mistura.

2.2.2 Ensaios de caracterização geotécnica

Foram realizados os seguintes ensaios de caracterização geotécnica do solo: (i) análise granulométrica conjunta – NBR 7181 (ABNT, 1984a); (ii) limites de Atterberg: limite de liquidez - NBR 6459 (ABNT, 1984b) e limite de plasticidade – NBR 7180 (ABNT, 1984c); (iii) massa específica real dos grãos – NBR 6508 (ABNT, 1984d). As amostras deformadas do solo foram preparadas para os referidos ensaios de acordo com a NBR 6457 (ABNT, 1986).

2.2.3 Ensaios de compactação

O solo e as misturas solo-filer mineral foram submetidos aos ensaios de compactação Proctor Normal e Proctor Modificado, conforme a norma NBR 7182 (ABNT, 1986), para fins de determinação das respectivas massas específicas aparentes secas máximas ($\rho_{dm\acute{a}x}$) e umidades ótimas (w_{ot}) dos materiais compactados nessas diferentes energias. Esses parâmetros (condição de ótimo) foram empregados na compactação de corpos-de-prova destinados aos ensaios de avaliação do comportamento mecânico dos materiais estudados (solo e misturas solo-filer mineral).

2.2.4 Ensaios de resistência à compressão não-confinada

O solo e as misturas solo-filer mineral foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão simples ou não-confinada conforme MB-3361 (ABNT, 1990) de corpos de prova das amostras desses materiais compactados nas respectivas condições de ótimo do Proctor Normal e do Proctor Modificado. Os corpos de prova foram moldados no cilindro pequeno do ensaio de compactação Proctor e rompidos à velocidade de 1mm/min.

3 RESULTADOS E ANÁLISE

3.1 Caracterização geotécnica do solo

Apresentam-se, na Figura 3 e na Tabela 1, os dados resultantes do ensaio de granulometria conjunta realizado sobre o solo residual empregado na pesquisa.

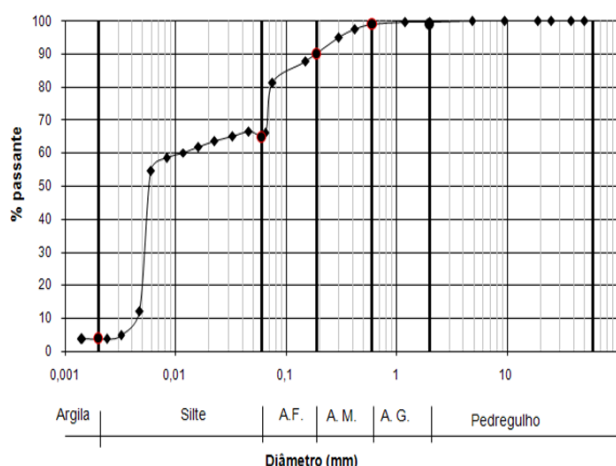


Figura 3. Distribuição granulométrica do solo ensaiado.

Tabela 1. Percentagens das faixas granulométricas do solo ensaiado (Classificação ABNT).

Faixa	(%)
Pedregulho [$2\text{mm} < \phi < 60\text{mm}$]	1
Areia [$0,06\text{mm} < \phi < 2\text{mm}$]	34
Silte [$0,002\text{mm} < \phi < 0,06\text{mm}$]	61
Argila [$\phi < 0,002\text{mm}$]	4

Os limites de consistência do solo são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Limites de consistência do solo estudado.

Limite de Liquidez [LL]	59%
Limite de Plasticidade [LP]	38%
Índice de Plasticidade [IP]	21%

Na Tabela 3, estão representados os grupos em que o material se classifica.

Tabela 3. Classificação do solo em diferentes sistemas de classificação.

Sistema de classificação	Grupo	Designação
SUCS	MH	Silte elástico
TRB	A-7-6(20)	Solo argiloso
MCT	LG'	Argila laterítica arenosa

3.2 Curvas de compactação dos materiais

As respectivas curvas de compactação do solo e da mistura solo-filer mineral, nas energias do Proctor Normal e do Proctor Modificado, são apresentadas, respectivamente, nas Figuras 4 e 5. Com base nas curvas de compactação, foi possível determinar os parâmetros de ótimo de

compactação [massa específica aparente seca máxima (ρ_{dmax}) e umidade ótima (w_{ot})] dos respectivos materiais, nas referidas energias, conforme apresentados nas Tabelas 4 e 5. Consta-se que, para cada energia de compactação, não há diferenças significativas entre as condições de ótimo dos materiais investigados. Apesar disso, a mistura solo-filer mineral a 20% apresenta o maior valor de massa específica aparente seca máxima dentre os materiais ensaiados, para as duas energias de compactação contempladas na pesquisa.

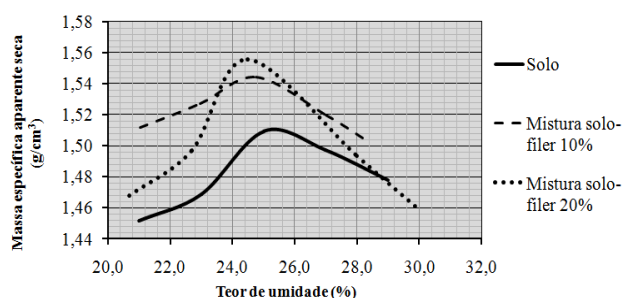


Figura 4. Curvas de compactação dos materiais ensaiados (energia do Proctor Normal).

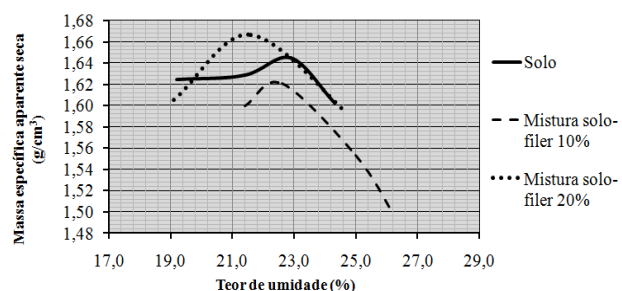


Figura 5. Curvas de compactação dos materiais ensaiados (energia do Proctor Modificado).

Tabela 4. Parâmetros de ótimo da curva de compactação para a energia de compactação Proctor Normal aplicada aos materiais estudados.

Material	ρ_{dmax} (g/cm³)	w_{ot} (%)
Solo	1,510	25,0
Solo-filer mineral 10%	1,545	24,8
Solo-filer mineral 20%	1,556	24,5

Tabela 5. Parâmetros de ótimo da curva de compactação para a energia de compactação Proctor Modificado aplicada aos materiais estudados.

Material	ρ_{dmax} (g/cm³)	w_{ot} (%)
Solo	1,645	22,9
Solo-filer mineral 10%	1,623	22,4
Solo-filer mineral 20%	1,668	21,6

3.3 Caracterização mecânica do solo e das misturas solo-filer: ensaios de compressão simples

Na Figura 6, estão representadas as curvas Tensão x Deformação axial derivadas dos ensaios de resistência à compressão simples realizados sobre amostras dos materiais estudados, compactadas na energia do Proctor Normal. Os valores obtidos para a resistência à compressão simples (RCS) segundo as condições consideradas nessa pesquisa (solo e misturas solo-filer) estão representados nas Tabelas 6, 7 e 8.

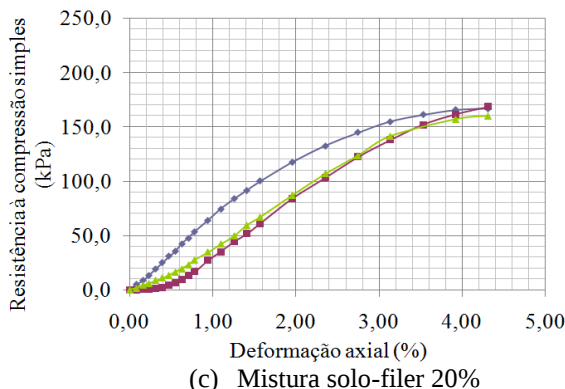
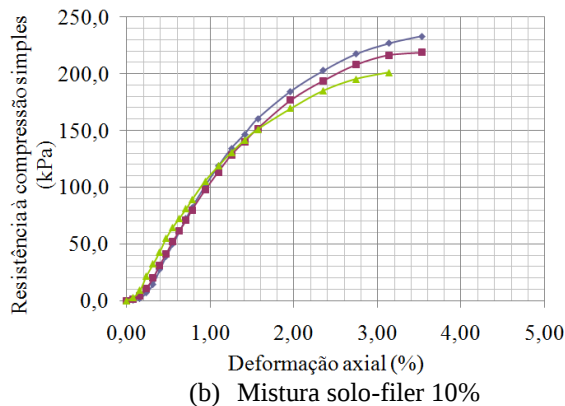
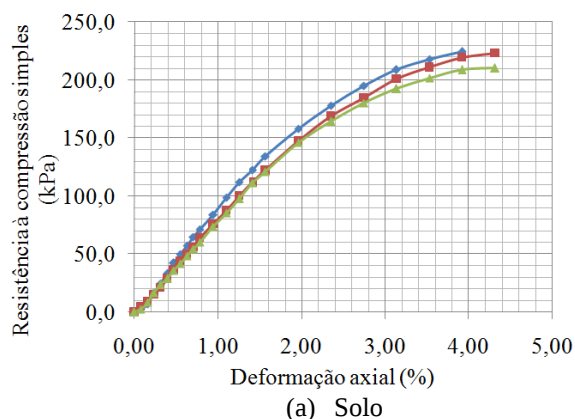


Figura 6. Curvas Tensão x Deformação axial de ensaios de compressão simples realizados sobre os materiais envolvidos na pesquisa, compactados no Proctor Normal.

Tabela 6. Resistência à compressão simples de corpos de prova do solo compactados no Proctor Normal.

Corpo de prova	w(%)	RCS (kPa)	RCS média (kPa)	Desvio padrão (kPa)
1	25,5	224,2		
2	25,6	222,9	218,6	6,6
3	25,0	208,6		

Tabela 7. Resistência à compressão simples de corpos de prova da mistura solo-filer mineral 10% compactados no Proctor Normal.

Corpo de prova	w(%)	RCS (kPa)	RCS média (kPa)	Desvio padrão (kPa)
1	24,3	232,7		
2	24,8	218,9	217,6	11,0
3	24,7	201,1		

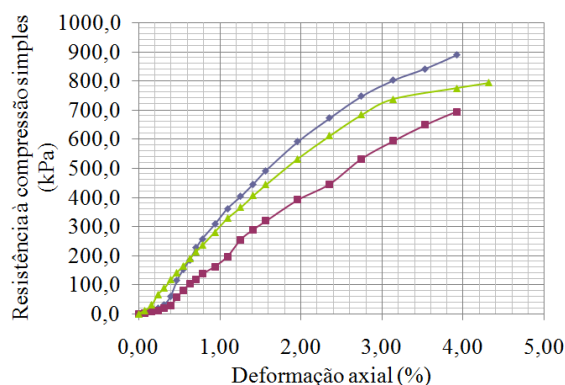
Tabela 8. Resistência à compressão simples de corpos de prova da mistura solo-filer mineral 20% compactados no Proctor Normal.

Corpo de prova	w(%)	RCS (kPa)	RCS média (kPa)	Desvio padrão (kPa)
1	23,4	166,9		
2	23,7	168,5	165,2	3,4
3	23,9	160,1		

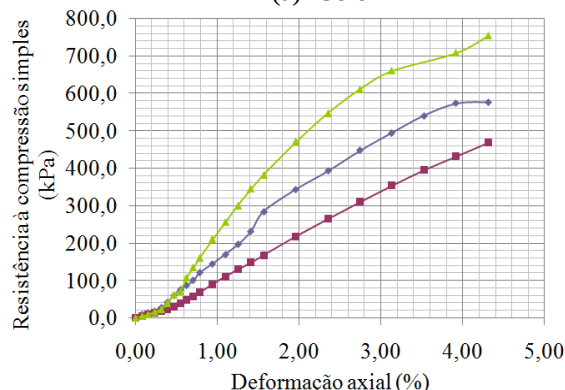
Para essa energia e considerando-se como referência a resistência à compressão simples do solo puro, verifica-se uma redução da ordem de 24% na magnitude do parâmetro mecânico estudado para a mistura a 20%, porém magnitude similar para a mistura a 10%.

De forma similar ao procedimento adotado para a energia do Proctor Normal, para corpos de prova do solo e das misturas solo-filer mineral compactados na energia do Proctor Modificado, apresentam-se, na Figura 7, as correspondentes curvas Tensão x Deformação axial derivadas dos ensaios de resistência à compressão simples realizados.

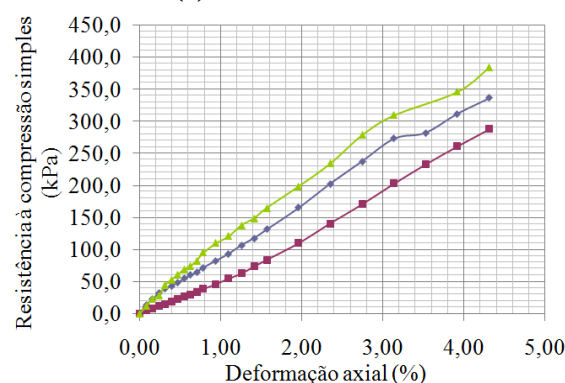
Nas Tabelas 9, 10 e 11, são apresentados os valores obtidos para a resistência à compressão simples (RCS) segundo as condições consideradas nessa pesquisa.



(a) Solo



(b) Mistura solo-filer 10%



(c) Mistura solo-filer 20%

Figura 7. Curvas Tensão x Deformação axial de ensaios de compressão simples realizados sobre os materiais envolvidos na pesquisa, compactados no Proctor Modificado.

Tabela 9. Resistência á compressão simples de corpos de prova do solo compactados no Proctor Modificado.

Corpo de prova	w(%)	RCS (kPa)	RCSmédia (kPa)	Desvio padrão (kPa)
1	23,8	888,4		
2	24,8	692,6	791,3	65,8
3	24,1	792,8		

Tabela 10. Resistência á compressão simples de corpos de prova da mistura solo-filer mineral 10% compactados no Proctor Modificado.

Corpo de prova	w(%)	RCS (kPa)	RCSmédia (kPa)	Desvio padrão (kPa)
1	23,6	575,4		
2	23,7	467,4	598,8	103,2
3	23,8	753,5		

Tabela 11. Resistência á compressão simples de corpos de prova da mistura solo-filer mineral 20% compactados no Proctor Modificado.

Corpo de prova	w(%)	RCS (kPa)	RCSmédia (kPa)	Desvio padrão (kPa)
1	20,5	336,6		
2	20,8	287,5	336,0	32,4
3	21,0	384,1		

Para essa energia e considerando-se como referência a resistência à compressão simples do solo puro, verificam-se reduções da ordem de 24% e 58%, respectivamente, na magnitude do parâmetro mecânico estudado para as misturas a 10% e a 20% de resíduo.

À luz desses resultados, é importante destacar que a expectativa de melhoria de resistência mecânica do solo com a adição do resíduo, gerada pelo aumento da densidade aparente seca máxima para as misturas solo-resíduo (Figura 5), não foi confirmada pelos resultados dos ensaios de resistência à compressão simples, os quais indicaram, em geral, redução na resistência mecânica do material com a inclusão do resíduo. Salienta-se, porém, que a mistura a 10% de resíduo apresentou desempenho similar ao do solo para a energia do Proctor Normal, o que aparenta ser um cenário promissor.

4 CONCLUSÕES

Para as duas energias aplicadas na pesquisa, a adição de resíduos ao solo estudado implicou em redução da resistência mecânica das misturas solo-filer a 20%, comparativamente ao solo puro. Resultados similares foram obtidos

para a mistura solo-filer a 10%, na energia do Proctor Modificado, porém, para a energia do Proctor Normal, não houve redução de resistência.

Visto que os ensaios de compactação indicaram uma tendência de incremento da densidade aparente seca máxima para as misturas solo-resíduo pesquisadas, conclui-se que, para uma abordagem, compreensão e constatação mais amplas do potencial de aproveitamento do resíduo empregado em obras de engenharia que envolvem solos compactados, faz-se necessária a realização de pesquisas complementares envolvendo outros tipos de solos, outras percentagens de resíduos e outros tipos de ensaios (CBR, triaxiais estático e dinâmico, por exemplo), além de percentagens diferentes das pesquisadas e mesmo a combinação desses materiais com resíduos com potencial de estabilização química da mistura.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEMIG e à Valemix–Ouro Branco pelo apoio ao desenvolvimento desse trabalho.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 6457: *Amostra de solo: Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rio de Janeiro, 1986. 9p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 6459: *Solo, Determinação do Limite de Liquidez*. Rio de Janeiro, 1984b. 6p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 6508: *Solo, Determinação da Massa Específica Aparente*. Rio de Janeiro, 1984d. 8p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 7180: *Solo, Determinação do Limite de Plasticidade*. Rio de Janeiro, 1984c. 6p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 7181 : *Análise Granulométrica, Solos, Método de Ensaio*. Rio de Janeiro, 1984a. 15p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *Solo: ensaio de compactação – Procedimento*, NBR 7182/86. Rio de Janeiro: 1986. 10p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *Solo: índice de suporte califórnia – Método de ensaio*, NBR 9895/87. Rio de Janeiro: 1987. 14p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *Solo-cimento – Ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos*. NBR 12025 – MB 3361/1990. Rio de Janeiro: 1990. 2p.
- BAPTISTA, Cyro de Freitas Nogueira. *Pavimentação: Tomo I: ensaios fundamentais para pavimentação, dimensionamento dos pavimentos flexíveis*. 3. Ed. Porto Alegre: Globo, 1978. 253p.
- BARBOSA, N. P.; MATTONE, R.; MESBAH, A., 2002. *Blocos de Concreto de Terra: Uma Opção Interessante Para a Sustentabilidade da Construção*. Biblioteca SEBRAE Online. Disponível em <[http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bds/bds.nsf/AE6EC233B84C285B03256F940051465F/\\$File/NT000A3516.pdf](http://www.biblioteca.sebrae.com.br/bds/bds.nsf/AE6EC233B84C285B03256F940051465F/$File/NT000A3516.pdf)>. Acessado em 18 de Junho de 2013.
- CASTRO, E. *Estudos relativos à estabilização de solo com cal*. Rio de Janeiro: Instituto de pesquisas Rodoviárias, 1969. 76p. (Publicação 347)
- CRAIG, R. F. *Soil mechanics*. 2. Ed. New York, Van NostrandRunholds Company, 1980. 318p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. PRO 003: *Coleta de amostras deformadas de solos*. Rio de Janeiro, 1994b. 4p.
- GONDIM, L. M. (2008) *Estudo Experimental de Misturas Solo-Emulsão Aplicado às Rodovias do Agropólo do Baixo Jaguaribe/Estado do Ceará*. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 213 fl.
- GUIMARÃES, J. E. P. 2002. *A cal: fundamentos e aplicações na engenharia civil*. Associação Brasileira dos Produtores de Cal, São Paulo. 341 p.
- HOUBEN, H. & H. GUILLAUD. 1994. *Earth construction: a comprehensive guide*. Intermediate Technology Publications, London. 362 p.
- LIMA, D. C.; BUENO, B. S.; SILVA, C. H. C. *Estabilização dos solos II: técnicas e aplicações a solos da microrregião de Viçosa*. Viçosa, MG, MG: UFV, 1993. 32 p. (publicação, 333).
- LITTLE, D. N. (1995). *Stabilization of Pavement Subgrades and Base Courses with Lime*, Published by Kendall/Hunt Publishing Company.
- PINTO, A.R.A.G., 2008. *Fibras de Carauá e Sisal como Reforço em Matrizes de Solo*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, PUC-Rio, Brasil, 103p.
- TRINDADE, T.P.; et. al. *Compactação de solos: fundamentos teóricos e práticos*. Viçosa: Editora UFV, 2008. 95 p.
- VARGAS, M. *Introdução à mecânica dos solos*. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1977. 509p.