

Estudo de Misturas com Solo Tropical Granular Estabilizado para Fins de Pavimentação

Mirella Talitha Rocha

Universidade Federal de Goiás, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Goiânia, Brasil, mirellarocha@yahoo.com.br

Lilian Ribeiro de Rezende

Universidade Federal de Goiás, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Goiânia, Brasil, rezende.lilian@gmail.com

RESUMO: O emprego de sub-bases e bases constituídas de materiais alternativos em camadas de pavimentos asfálticos está sendo cada vez mais frequente em obras de pavimentação. No estado de Goiás, o cascalho laterítico vem sendo usado para esse fim desde a década de 50. No entanto, as jazidas disponíveis estão cada vez mais escassas e os materiais ainda existentes não têm apresentado parâmetros de resistência satisfatórios. Nesses casos, deve-se aumentar a energia de compactação ou estabilizar o solo granulométrico ou quimicamente. Na prática, tem-se observado que em muitos projetos de pavimentação, a escolha dos materiais e dos teores a serem utilizados na estabilização tem se baseado de forma errada em metodologias simplistas e em parâmetros que apresentam limitação de análise. O principal objetivo deste artigo é discutir essa questão com base em dados obtidos em uma obra real. Para tanto, foram confrontados os dados apresentados no projeto de uma rodovia estadual (GO-080) com os obtidos em ensaios laboratoriais realizados nesta pesquisa. Foram analisados a mistura adotada no projeto para a camada de base (com 20% areia + 2% cimento), o solo sem nenhum tipo de estabilização, além de misturas do mesmo solo utilizando-se apenas 2% de cal hidratada ou 2% de cimento. Para tanto, foram realizados ensaios de caracterização física do solo natural, ensaios de compactação, expansão, Índice de Suporte Califórnia e compressão simples das misturas. Com os resultados obtidos observou-se que o cascalho estudado não apresenta as características necessárias para ser utilizado como base de pavimento. A mistura do cascalho com areia e cimento apresentaram resultados superiores às demais, mas ainda fora dos limites mínimos especificados em norma. Nesse caso, o teor de cimento ou a energia de compactação teriam que ser aumentados.

PALAVRAS-CHAVE: Ensaios laboratoriais, Estabilização de solos, Solo-cal, Solo-cimento, Pavimento asfáltico.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a técnica de estabilização apresenta como alternativa viável e econômica, por resolver um problema nacional que é a escassez de materiais adequados para serem aplicados nas camadas do pavimento. Dessa forma, aumenta-se a possibilidade de utilizar os solos locais, economizando em transportes e substituições onerosas desses solos por outros materiais com características geotécnicas

adequadas. Os produtos comumente utilizados na estabilização química são a cal e o cimento, apesar de existirem outros tipos de aditivos como emulsões asfálticas, resinas sintéticas, resíduos industriais, etc. Esse procedimento tem como objetivo tornar o solo mais trabalhável, com maior resistência e durabilidade.

A estabilização difere da modificação do solo quando o nível de ganho de resistência, em longo prazo, é desenvolvido através da reação pozolânica. No caso da adição da cal ao solo

reativo, a reação pozolânica ocorre da formação dos silicatos de cálcio, de hidratos de cálcio e alumínio, assim como o cálcio da cal que reage com os aluminatos e silicatos solubilizados na superfície do argilo-mineral. Já o processo de modificação tem a finalidade de obter, na prática, melhorias significantes, principalmente por meio da troca catiônica do cálcio presente na cal hidratada (Ca(OH)_2) por outros cátions normalmente presentes na superfície do argilo-mineral, em ambiente com pH elevado, produzindo materiais cimentados e o aumento da capacidade de carga avaliada pelo ensaio Índice de Suporte Califórnia (ISC) (LITTLE, 1999).

Estudos já realizados mostram que a melhoria das propriedades de engenharia do solo com cal é atribuída a duas razões: a primeira refere-se à redução imediata da plasticidade, mudanças na trabalhabilidade e propriedades de expansão; a segunda fase é dependente do tempo no ganho de resistência através da cimentação entre as partículas, na qual ocorre a reação pozolânica entre a cal e alumina reativa ou sílica presente na laterita (ATTOH-OKINE, 1995).

Os solos utilizados na camada de base do pavimento devem possuir alta qualidade, com resistência e espessura suficientes para resistir ao tráfego, de maneira que pequenas tensões sejam transferidas para as camadas subjacentes.

De acordo com Jitsangiam, Chummuneerat e Nikraz (2013), o material granular conhecido por pedra britada (inconsolidado) é bastante utilizado na camada de base na região ocidental da Austrália, porém não tem capacidade de resistir ao aumento das cargas e ao crescimento do tráfego. Logo, o emprego do solo modificado com cimento tem sido incentivado para melhorar as suas propriedades relacionadas às aplicações em obras rodoviárias.

O acréscimo de cimento pode agir de diferentes formas, dependendo da granulometria do material e da quantidade de vazios. A parte mais fina presente nos solos atua recobrimdo suas partículas, apresentando uma textura de pasta. Enquanto nos solos granulares, ocorre o efeito contrário, de forma pontual, pois os agregados maiores não são cobertos pela argamassa e a quantidade de vazios entre os grãos é maior. Dessa forma, o ganho de

resistência depende dos contatos gerados entre os agregados e a pasta de cimento, causando uma coesão aparente.

Bernucci *et al.* (2010) ressaltam que o solo estabilizado com cimento pode conter uma fração de areia adicionada à mistura para que a mesma fique mais econômica, pois se o teor de argila for alto pode exigir uma quantidade considerável de cimento e apresentar elevada retração e tornar-se o processo mais caro.

Esta pesquisa foi motivada pelo convênio realizado entre a Controladoria Geral do Estado de Goiás (CGE-GO), a Universidade Federal de Goiás (UFG) e Fundação de Apoio à Pesquisa da UFG (Funape) com objetivo de estudar o material aplicado na camada de base da obra de duplicação da GO-080. Para tanto, serão confrontados os dados apresentados no projeto da rodovia estadual com os obtidos em ensaios laboratoriais realizados nesta pesquisa.

2 METODOLOGIA

2.1 Características da obra em estudo

A rodovia selecionada juntamente com a CGE-GO para a pesquisa foi a GO-080, no trecho de sua duplicação, entre a cidade de Nerópolis-GO e entroncamento da BR-153.

A estrutura do pavimento dessa rodovia é constituída por sub-base estabilizada granulometricamente com 20 cm de espessura, base com 20 cm de espessura composta de 78% de cascalho argiloso, 20% de areia e 2% de cimento Portland (CP II-Z-32) e revestimento do tipo concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) com 5 cm de espessura. O subleito é composto de solo argiloso com Índice de Suporte Califórnia (ISC) médio de 7%.

2.2 Materiais

As amostras deformadas do solo estudado foram coletadas na jazida localizada nas coordenadas geográficas 16°11'46" Sul (latitude) e 49°11'26" Oeste (longitude), no município da cidade Ouro Verde de Goiás. Conforme apresentado na Figura 1, a jazida é composta de cascalho amarelo com laterita. Ela

está próxima a GO-043 e esse material foi aplicado na camada de base ao longo de 19,284 km da duplicação da rodovia. Foram coletados aproximadamente 250 kg desse material para a realização dos ensaios laboratoriais. Em seguida, as amostras foram armazenadas em sacos plásticos, identificadas e transportadas para o Laboratório de Geotecnia da Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás.

Para os ensaios de dosagem com cimento, foi utilizado o mesmo cimento empregado na obra, classificado como CP II-Z-32. Já para o estudo das misturas com cal, foi utilizada a cal hidratada do tipo CH-III. A areia artificial média utilizada na dosagem da obra foi fornecida por uma empresa local.

Neste trabalho, foi proposta a realização de um estudo laboratorial do solo sem nenhum tipo de estabilização, da mistura utilizada na obra (solo+areia+cimento) e de outras opções de misturas utilizando-se apenas a cal hidratada (solo+cal) e cimento (solo+cimento), com teor de 2%.



Figura 1. Cascalho lateiritico da jazida em estudo

2.3 Ensaios laboratoriais

As amostras foram preparadas de acordo com as etapas especificadas nas normas ME 041 (DNER, 1994a) e NBR 6502 (ABNT, 1995), como: secagem do solo, desagregação dos torrões, homogeneização e quarteamento das amostras.

Para que os objetivos fossem alcançados, foi necessária a realização de ensaios laboratoriais para a caracterização geotécnica do material

coletado da jazida, conforme os métodos de ensaios descritos a seguir:

- Análise granulométrica de solos por peneiramento e sedimentação (DNER, 1994b). Destaca-se que no ensaio de sedimentação as amostras foram ensaiadas com e sem defloculante;
- Limite de liquidez de solos (DNER, 1994c);
- Limite de plasticidade (DNER, 1994d);
- Massa específica de grãos de solo que passam na peneira de 4,8 mm (ABNT, 1984a);
- Massa específica e absorção de pedregulhos retidos na peneira de 4,8 mm (ABNT, 1984b);
- Ensaio de compactação (DNIT, 2013), sendo a energia adotada no ensaio igual à utilizada na compactação dos materiais em campo (Proctor intermediário);
- Determinação da expansão e do ISC, (DNER, 1994e);
- Moldagem dos corpos de prova para os ensaios de resistência à compressão simples de solo-cimento, (DNER, 1994f). Ressalta-se que após a determinação dos parâmetros de peso específico aparente seco máximo ($\gamma_{dm\max}$) e umidade ótima (w_{ot}) nos ensaios de compactação, as amostras para os ensaios compressão simples foram moldadas nessas condições;
- Determinação da resistência à compressão simples de solo-cimento (DNER, 1994g);
- Determinação da resistência à compressão simples de solo-cal (ASTM, 1996).

Destaca-se que para a análise dos resultados de resistência à compressão simples, os corpos de prova não foram imersos em água, tanto para a mistura de solo com cimento quanto com cal.

3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção, são apresentados os dados obtidos por meio dos resultados do estudo laboratorial, correspondente aos ensaios de caracterização, compactação, expansão, ISC e compressão simples. Os ensaios foram realizados com o solo natural (sem estabilização), com a mistura utilizada na obra (78% de cascalho laterítico, 20% de areia e 2% de cimento) e com outras

misturas com o solo utilizando apenas cimento e cal hidratada no teor de 2%.

3.1 Caracterização

Na Tabela 1 estão apresentados os resultados da caracterização física obtidos para a amostra em estudo, sendo que a norma NBR 6502 (ABNT, 1995) foi utilizada como referência para classificar as dimensões das partículas dos materiais.

Observa-se que a etapa correspondente ao ensaio de sedimentação para a análise

granulométrica do solo da jazida foi realizada com e sem o defloculante. Como o ensaio de sedimentação foi realizado com a fração passante na peneira de 2,00 mm, foi possível identificar as agregações presentes nas partículas ao adicionar o defloculante, devido ao aumento da porcentagem das partículas de argila e a estabilidade do material em presença de água, comportamento típico de solo laterítico.

Tabela 1. Resultados dos ensaios de caracterização do solo

Parâmetros	Solo natural	
	Com defloculante	Sem defloculante
Pedregulho (%)	83,25	83,25
Areia (%)	4,49	11,01
Silte (%)	3,56	5,74
Argila (%)	8,71	0,00
Limite Liquidez (%)	40	
Limite Plasticidade (%)	26	
Índice Plasticidade (%)	14	
Índice de Atividade (%)	1,61	
Classificação SUCS	GC/GM	
Classificação TRB	A-2-6	
Massa Específica dos Grãos passantes na peneira 4,8 mm (g/cm³)	2,95	
Massa Específica dos Grãos retidos na peneira 4,8 mm (g/cm³)	2,91	
Absorção de água (%)	6,26	

OBS.: SUCS = Sistema Unificado de Classificação de Solos; GC = Pedregulho Argiloso; GM = Pedregulho Siltoso; TRB = *Transportation Research Official*

O solo em questão foi identificado como um pedregulho argiloso ou siltoso nas classificações convencionais (SUCS e TRB) e apresentou a fração de argila classificada como ativa, pois o valor obtido para o índice de atividade (IA) foi superior a 1,25. Com os dados obtidos, verifica-se que o solo em estudo pode ser chamado de cascalho laterítico argiloso. Conforme as especificações de serviço ES 142 (DNIT, 2010a) e ES 143 (DNIT, 2010b), esse material pode ser empregado na execução de base de solo melhorado com cimento ou na base de solo-cimento, pois atende aos valores determinados para o limite de liquidez e índice de plasticidade.

A areia utilizada na dosagem da obra é constituída por 97,24% dos grãos entre 0,06 mm e 2,00 mm de diâmetro, sendo predominante a fração de areia média.

3.2 Compactação, Expansão e ISC

Os ensaios de compactação, expansão e ISC foram realizados em amostras deformadas com solo natural, solo + 20% areia + 2% cimento, solo + 2% cimento e solo + 2% cal.

A partir da Figura 2, analisa-se as curvas de compactação das quais são obtidos os valores da umidade ótima e peso específico seco máximo para os materiais estudados (Tabela 2).

Observa-se que ao incorporar cimento e areia ao cascalho, obteve-se uma curva de compactação com o pico mais aberto, com menor valor de umidade ótima e maior valor de peso específico aparente seco máximo. Ao acrescentar apenas cal ou cimento ao solo, verificou-se o aumento da umidade ótima e a redução do peso específico em relação à curva de compactação do solo natural. Esse fato

sugere que a mistura do cascalho argiloso com areia e cimento gera um melhor arranjo estrutural e, com isso, espera-se a obtenção de melhores parâmetros mecânicos.

Quanto à expansão das amostras ensaiadas, todos os valores foram inferiores ao especificado para base de pavimentos (Tabela 2), mostrando que em termos de expansão não há problemas.

A Tabela 2 apresenta os valores de ISC obtidos para a umidade ótima e a Figura 3 mostra as curvas de variação do ISC em função da umidade. Observa-se que ao incorporar pequena quantidade de cal ao cascalho, já ocorre melhoria do valor do ISC. No entanto, as misturas com cimento apresentaram valores de ISC na umidade ótima superiores a 97%. A presença de areia na mistura com cimento gerou o maior valor de resistência, mostrando os benefícios de realizar a estabilização granulométrica em conjunto com a química.

Na Figura 3, observa-se ainda que para todas as amostras, os valores máximos de ISC foram obtidos para teores de umidade correspondentes ao ramo seco da curva de compactação, fora do limite Δw apresentado na Tabela 2.

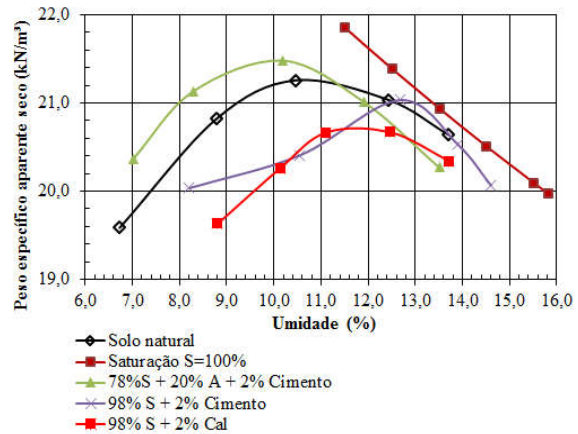


Figura 2. Curvas de compactação para as dosagens analisadas.

Tabela 2. Resultados dos ensaios de compactação, ISC e expansão das amostras

Material	Solo natural	78% S + 20% A + 2% Ci	98% S + 2% Ci	98% S + 2% Cal
$\gamma_{dm\acute{a}x}$ (kN/m ³)	21,30	21,50	21,00	20,70
$w_{\acute{o}t}$ (%)	11,1	9,8	12,7	11,7
Δw (%)	10,6-11,4	9,5-10,7	12,4-13,0	11,5-12,5
Expansão (%)	0,02	0,02	0,01	0,02
ISC $w_{\acute{o}t}$ (%)	32	144	97	50

Obs.: $\gamma_{dm\acute{a}x}$: Peso específico aparente seco máximo; $w_{\acute{o}t}$: Umidade ótima; Δw : Variação de umidade para Grau de Compactação igual a 100%; ISC: Índice de Suporte Califórnia.

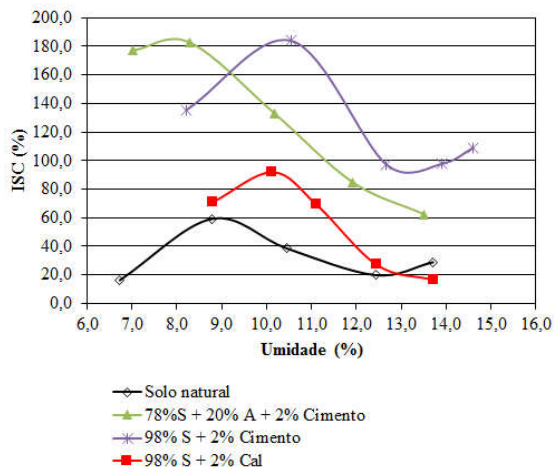


Figura 3. Curvas de ISC das dosagens estudadas.

Sendo assim, recomenda-se que para avaliação do desempenho mecânico das misturas sejam realizados ensaios com corpos

de prova compactados dentro da faixa de Δw , mas de preferência com umidades ligeiramente abaixo da ótima.

Dentre as amostras estudadas para serem aplicadas na camada de base, verificou-se que as duas com acréscimo de cimento atenderam os valores especificados na norma ES 142 (DNIT, 2010a). Já a mistura com cal, de acordo com a especificação técnica ET P00/005 (DER-SP, 2006), só poderia ser empregada como camada de sub-base.

Verifica-se que o efeito do teor de umidade ótima sobre a resistência foi maior para as misturas estabilizadas quimicamente. Esse fato pode estar associado ao aumento do teor de finos com a adição do aditivo, tornando o material mais sensível à variação do teor de água.

3.3 Compressão Simples

A partir dos resultados obtidos nos ensaios de compressão simples é possível avaliar melhor os resultados das dosagens estudadas, pois é de senso comum no meio técnico que o ensaio de ISC tem limitações para esse fim.

As resistências máximas obtidas para cada amostra referentes aos seguintes períodos de cura: imediato e 7 dias (tempo mínimo determinado em norma), estão apresentadas na Tabela 3. Como critério de aceitação, a norma ES 143 (DNIT,2010b) determina que para as misturas de solo-cimento o valor mínimo que as amostras devem apresentar é de 2,1 MPa para a

resistência à compressão aos 7 dias. A especificação de serviço do estado do Paraná, ES P11 (DER-PR, 2005), determina que o solo tratado com cimento, ou seja, quando se adiciona pequenos teores de cimento (entre 2% a 4%) ao material, deve apresentar resistência à compressão simples, após 7 dias, entre 1,2 e 2,1 MPa. Para solo-cimento, os valores estabelecidos continuam sendo superiores a 2,1 MPa.

Os valores de resistência determinados para cada dosagem foram obtidos pela média das resistências de dois corpos de prova, tendo em vista que os valores não podem diferir em mais ou menos 10% da média.

Tabela 3. Resultados dos ensaios de compressão simples.

Amostra	Resistência sem cura (MPa)			Resistência aos 7 dias (MPa)		
	CP-1	CP-2	Média	CP-3	CP-4	Média
78%Solo + 20%Areia+2%Cimento	0,43	0,37	0,40	0,91	0,89	0,90
98% Solo + 2% Cimento	0,16	0,15	0,16	0,37	0,34	0,36
98% Solo + 2% Cal	0,24	0,22	0,23	0,21	0,19	0,20

De acordo com a Tabela 3, verifica-se o aumento da resistência aos 7 dias de cura para as misturas com cimento. Porém, para 2% de cal, aos 7 dias a mistura teve a tendência de permanecer constante ou de apresentar menor o valor. Esse fato pode ter acontecido devido o tempo de cura após a homogeneização da mistura com água ter sido de 1 hora, conforme o recomendado pela norma D 5102 (ASTM, 1996), e não ser suficiente para o aumento da resistência para o tipo de solo estudado.

No estudo realizado por Azevêdo (2010) com um solo classificado pela TRB como A-7-5 estabilizado com um teor de 2% de cal, apresentou resistência à compressão simples menor aos 14 dias ao comparar com os rompimentos nos intervalos de 24 horas e 3 dias. Ressalta-se que com o passar do tempo, a tendência é a resistência aumentar, visto que as reações que deveriam ocorrer entre o solo e a cal tendem a aumentar. Uma das justificativas dadas pelo autor é que durante o processo pode ter ocorrido a formação de minerais que podem reduzir a resistência. Porém, essa questão só seria confirmada a partir da análise mineralógica do solo e das misturas.

Já nas misturas com 2% de cimento, os valores de resistência sempre foram mais

elevados do que aqueles obtidos para as misturas com 2% de cal. Esse fato pode estar associado com a composição química do cimento, que causa reações químicas cimentantes entre as partículas, gerando uma estrutura de retículo cristalino, dando mais rigidez ao material após as reações. No caso da cal, essa reação cimentante deve ocorrer, mas apenas em longo prazo, pois o que acontece com mais frequência são as trocas iônicas entre as partículas de argila e as de cal.

Segundo Moore e Jones (1971) *apud* Delgado (2007), a reatividade de um solo à cal está pouca relacionada à superfície específica do solo e com a quantidade de sílica e/ou alumina disponível. Os autores verificaram que a inibição da reatividade à cal parece estar associada com a presença do ferro pulverizado presente na massa do solo, condição representada nos perfis bem drenados. Já Rezende (2003) verificou que solos lateríticos com classificações semelhantes podem apresentar comportamento diferenciado nos processos de estabilização química e que a adição de cal gera melhores resultados para solos tropicais que apresentem grande quantidade de alumínio livre.

Lovato (2004) observou para um solo residual de basalto misturado com 3%, 4% e 5% de cal cálcica, a influência do tempo de espera entre a mistura e compactação em relação aos valores de resistência. Quando o tempo de espera foi de 2 horas, a diferença foi mais relevante para os teores de 4% e 5% de cal, com valores de aproximadamente 1600 kN/m² e 1800 kN/m², respectivamente. Enquanto que

para o tempo de espera de 1 hora, os valores obtidos foram iguais a 1000 kN/m² e 1050 kN/m².

De acordo com a Tabela 4, os teores de umidade dos corpos de prova moldados para o ensaio de compressão simples estão próximos da faixa de variação de umidade para satisfazer o grau de compactação superior ou igual a 100%.

Tabela 4. Umidades de moldagem dos corpos de prova para o ensaio resistência à compressão

Amostra	Umidades de moldagem (%)				
	Sem cura		7 dias		Δw (%)
	CP-1	CP-2	CP-3	CP-4	
78%Solo + 20%Areia+2%Cimento	9,5	9,7	9,3	9,6	9,5-10,7
98% Solo + 2% Cimento	12,8	13,2	12,8	12,5	12,4-13,0
98% Solo + 2% Cal	11,7	12,6	11,8	11,8	11,5-12,5

Porém, ao analisar os valores médios obtidos para as resistências máximas das amostras, nota-se que para os teores estudados todas as resistências obtidas foram inferiores ao especificado pela norma. Apesar da mistura do solo com areia e cimento ter apresentado a melhor resistência, o valor alcançado ainda foi pequeno. Nesse caso, seria recomendado aumentar o teor de cimento ou a energia de compactação.

Percebe-se que os corpos de prova preparados para o ensaio de compressão simples foram moldados nas condições adequadas e a tendência do comportamento é semelhante aos resultados de ISC para a mistura utilizada na obra: tanto para o período de cura imediato quanto para 7 dias, os resultados foram melhores do que para as outras dosagens. Nesse processo de estabilização com cimento, a presença de areia impacta em melhorias nos parâmetros mecânicos.

Para a mistura do solo com 2% de cimento, sem considerar a cura, a resistência foi menor do que a mistura com 2% de cal. No entanto, após 7 dias, a mistura com 2% de cimento apresentou melhores resultados.

Nos ensaios realizados com adição de cimento, executou-se a homogeneização dos materiais com água e, em seguida, a compactação. Para as misturas sem cura pode não ter ocorrido o desenvolvimento das reações químicas geradas na hidratação do cimento, e, consequentemente, não ter aparecido vínculo de

coesão entre as superfícies dos agregados com as partículas de cimento.

No entanto, é recomendado que a compactação seja iniciada logo após a mistura do com solo com cimento e com água, e que seja completada dentro de duas horas para que não ocorram significantes decréscimos na resistência do material final. Caso o tempo entre a mistura e compactação seja grande, são produzidas grandes quantidades de argila floculada, que irá absorver a compactação.

Assim como no concreto, as condições de cura do solo com cimento devem ser ao longo de um período que garanta o aumento da resistência por meio do processo de cimentação das partículas, com um teor de umidade adequado à mistura compactada.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados dos ensaios laboratoriais permitiram concluir que o cascalho laterítico ainda existente próximo aos centros urbanos apresenta baixa qualidade. Para as misturas de solo+cimento e solo+cal, os valores de densidade foram próximos e a umidade ótima foi maior para a mistura com cimento. Já para a dosagem com acréscimo de areia, os parâmetros de compactação melhoraram.

No entanto, apesar de algumas misturas terem apresentados valores elevados de ISC, o nível de resistência à compressão simples

exigido pelas normas não foi atingido. Assim, mesmo incorporando areia ao cascalho, o baixo teor de cimento utilizado não foi suficiente. A solução seria aumentar o teor de cimento ou a energia de compactação. De qualquer forma, o estudo preliminar apresentado em projeto apenas com base no ISC mostra-se equivocado e ineficiente. Para confirmar os resultados apresentados neste artigo, torna-se necessário a realização de ensaios triaxiais dinâmicos.

Para verificar a possibilidade do uso da cal hidratada, recomenda-se realizar análise química do solo antes dos estudos mecânicos para verificar a existência ou não de elementos que irão interagir melhor com esse aditivo. A cal pode se mostrar como boa alternativa na estabilização de solos finos lateríticos que apresentem alumínio livre.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES, à Controladoria Geral do Estado de Goiás (CGE-GO) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) pelo apoio.

REFERÊNCIAS

- ABNT: Associação Brasileira e Normas Técnicas. *NBR 6502: Rochas e Solos*, Rio de Janeiro, 1995, 18p.
- _____. *NBR 6508: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica*, Rio de Janeiro, 1984a, 8p.
- _____. *NBR 6458: Grãos de pedregulho retidos na peneira de 4,8 mm determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água*, Rio de Janeiro, 1984b, 6p.
- ASTM: American Society for Testing and Materials. *D 5102: Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Compacted Soil-Lime Mixtures*. West Conshohocken, PA, 1996, 6p.
- Attouh-Okine, N.O. (1995) Lime treatment of laterite soils and gravels—revisited, *Construction and Building Materials*, Vol. 9, Nº 5, p. 283-287
- Azevêdo, A.L.C. (2010) *Estabilização de solos com adição de cal: um estudo a respeito d reversibilidade das reações que acontecem após a adição de cal*. Dissertação de Mestrado, Núcleo de Geotecnia, Escola de Minas, Univ. Federal de Ouro Preto, 158 p.
- Bernucci, L.B., Ceratti, J.A. ., Motta, L.M.G., Soares, J, B.(2010) *Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros*, Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006.3ª Reimpressão, 2010. 504 p.
- Delgado, A.K.C. (2007) *Estudo do comportamento mecânico de solos tropicais característicos do Distrito Federal para uso na pavimentação rodoviária*. Tese de Doutorado, Dep. de Engenharia Civil e Ambiental, Univ. de Brasília, 392 p.
- DNER: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. *ME 041: Solos – preparação de amostras para ensaios de caracterização – Método de Ensaio*. Rio de Janeiro, 1994a, 4 p.
- _____. *ME 051: Solos – análise granulométrica – Método de Ensaio*. Rio de Janeiro, 1994b, 12 p.
- _____. *ME 122: Solos – determinação do limite de liquidez – Método de Ensaio*. Rio de Janeiro, 1994c, 7 p.
- _____. *ME 082: Solos – determinação do limite de plasticidade – Método de Ensaio*. Rio de Janeiro, 1994d, 3 p.
- _____. *ME 049: Solos – determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de Ensaio*. Rio de Janeiro, 1994e, 14 p.
- _____. *ME 202: Solo-cimento – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos – Método de Ensaio*. Rio de Janeiro, 1994f, 7 p.
- _____. *ME 201: Solo-cimento – Compressão axial de corpos de prova cilíndricos – Método de Ensaio*. Rio de Janeiro, 1994g, 4 p.
- DER-PR: Departamento de Estradas de Rodagem do Paraná. *ES- P11/05: Solo-cimento e solo tratado com cimento—Especificação de Serviço*. Paraná, 2005,19 p.
- DER-SP: Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo. *ET- P00/005: Sub-base ou Base de Solo-cal – Especificação Técnica*. São Paulo, 2006, 20 p.
- DNIT: Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes. *ME 164: Solos-compactação utilizando amostras não trabalhadas—Método de Ensaio*. Rio de Janeiro, 2013, 7 p.
- _____. *ES 142: Pavimentação-Base de solo melhorado com cimento-Especificação de Serviço*. Rio de Janeiro, 2010a, 9 p.
- _____. *ES 143: Pavimentação-Base de solo-cimento-Especificação de Serviço*. Rio de Janeiro, 2010b, 10p.
- Jitsangiam, P., Chummuneerat, S.; Nikraz, H. (2013) Engineering characteristics of cement modified base course material for Western Australian pavements, *Australian Jour. of Civil Engineering*, 11, 1, p.13-21.
- Little, D.N. (1999) *Evaluation of structural properties of lime stabilized soils and aggregates*, Report prepared for the National Lime Association, Vol. 1, 89 p.
- Lovato, R.S. (2004) *Estudo do comportamento mecânico de um solo laterítico estabilizado com cal, aplicado à pavimentação*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Univ. do Rio Grande do Sul, 144p.
- Rezende, L.R. (2003). *Estudo do Comportamento de Materiais Alternativos Utilizados em Estruturas de Pavimentos Flexíveis*. Tese de Doutorado, Publicação G.TD-014A/03, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Univ. de Brasília, Brasília, DF, 372p.