

MISTURAS SOLO-CAL: EFEITO DA CAL, TEMPO DE CURA E IMERSÃO NA RESISTÊNCIA

Lime mixtures: Effect of lime, curing time and sample immersion on the strength

Antonio Ananias de Mendonça*

Dario Cardoso de Lima**

Benedito de Souza Bueno***

Maurício Paulo Ferreira Fontes****

Lauro Gontijo Couto**

RESUMO - Analisa-se, neste artigo, os resultados de um estudo de laboratório dirigido à resposta mecânica de duas misturas solo-cal, do ponto de vista da engenharia rodoviária. Foram empregados um Latossolo Vermelho-amarelo e um solo saprolítico de gnaiss estabilizados com 2, 6 e 10% de duas cales hidratadas, aqui denominadas cales A e B. O programa de laboratório realizado com os solos e misturas englobou os ensaios de caracterização, compressões simples e compressão diametral, sendo os dois últimos realizados em corpos de prova no estado seco e após imersão em água por 4 horas. Trabalhou-se com os períodos de cura de 28, 90 e 180 dias. Os resultados do estudo mostram um desempenho superior da cal B com relação à cal A, bem como quedas de 20% a 30% na resistência mecânica das misturas submetidas à imersão em comparação com as ensaiadas no estado seco.

SYNOPSIS - This paper summarizes laboratory-testing data on the mechanical response of two soil-lime mixtures, from a road engineering perspective. A red-Yellow Latossol and a Gneiss saprolitic soil, two hydrated limes from now on named limes A and B, lime contents of 2, 6 and 10% and curing times of 28, 90 and 180 days were used throughout the study. The laboratory-testing program encompassed soil characterization, unconfined compression and indirect tensile strength determinations performed in dry and 4 hours submerged in water soil-lime specimens. Data support a far superior engineering performance of lime B when compared to lime A, as well as drops ranging from 20% to 30% in the mechanical response of the submerged soil-lime specimens in comparison with the dry ones.

1 - INTRODUÇÃO

O grande potencial técnico da utilização da cal como estabilizante químico dos solos para fins de uso em obras de engenharia civil tem sido documentado na literatura especializada desde séculos passados, sendo que Castro e Serafim Luís (1974) referem-se ao seu emprego pelos Romanos há 2000 anos, na construção de estradas.

No século XX, ao nível internacional, a década de 20 foi um marco no uso deste tipo de estabilização dos solos na construção de rodovias, despontando como países pólos os Estados

* Professor Substituto, Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, Brasil.

** Professor Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, Brasil.

*** Professor Departamento de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos - USP, São Carlos - SP, Brasil.

**** Professor Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, Brasil.

Unidos da América e a antiga União Soviética (Clare e Cruchley, 1957), com maior destaque para o primeiro. Nos últimos 35 anos o emprego da cal na estabilização de camadas do pavimento rodoviário alcançou pequeno destaque no meio técnico rodoviário brasileiro, podendo-se referir a aplicações esporádicas que englobam pesquisas de laboratório, pavimentação urbana e trechos rodoviários experimentais (Lima *et al.*, 1993; Alcântara, 1995; Mendonça, 1998).

No Brasil, a produção anual de cales virgem e hidratada atingiu, em 1996, as cifras de 2 930 754 e 1 416 022 toneladas, respectivamente, sendo que não se dispõe de informações sobre os quantitativos que foram utilizados em serviços de pavimentação rodoviária (ABPC, 1997). Sabe-se, porém, que estes quantitativos são de pequena monta e direcionados à pavimentação urbana e a trechos experimentais de rodovias. Uma justificativa para este fato parece estar em uma divulgação deficiente, ao nível nacional, do potencial da estabilização solo-cal para as finalidades rodoviárias, bem como à baixa inserção de grupos nacionais de pesquisa nesta área tão promissora da estabilização química dos solos.

Quanto aos aspectos gerais da estabilização solo-cal, sabe-se que em geral todos os solos argilosos respondem ao tratamento com a cal, exibindo melhorias na plasticidade, expansão volumétrica e trabalhabilidade (TRB, 1976). Contudo, alguns solos reagem à adição de cal gerando ganhos substanciais de resistência mecânica, podendo as misturas serem utilizadas, por exemplo, como camadas de base e sub-base de pavimentos rodoviários, enquanto outros não. Esta constatação traz à tona a necessidade de se incorporar ao estudo das propriedades de engenharia das misturas solo-cal, também, o aspecto reatividade dos solos à cal, como ressaltado inicialmente por Thompson (1966), trabalhando com solos do Estado de Illinois, E.U.A., e posteriormente por Lima (1981), considerando solos do Estado de São Paulo, Brasil. Obviamente, essa incorporação passa pela avaliação das propriedades de engenharia das misturas solo-cal em bases regionais.

Outro aspecto de interesse no comportamento tecnológico das misturas solo-cal é o fato de que as suas propriedades de engenharia são dependentes do tipo de cal e das condições de cura, sendo que a resistência mecânica, em geral, evolui com o período de cura, dinamicamente, devido ao desenvolvimento de reações pozolânicas.

No que se refere a caracterização tecnológica de misturas solo-cal, vale lembrar que nos últimos anos foram desenvolvidos trabalhos de pesquisa em estabilização de solos no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa, Brasil, com vista ao emprego das misturas na construção de estradas e habitações populares, sob o prisma regional. Pode-se citar os trabalhos de Bueno e Lima (1991), Cardoso (1994), Ferraz (1994), Alcântara (1995), Lima *et al.* (1996), Mendonça (1998) e Lima *et al.* (1999). No presente artigo, considera-se a influência do tipo de cal, do período de cura e imersão em água de corpos de prova na resposta mecânica de duas misturas solo-cal oriundas de solos típicos da Microrregião de Viçosa-MG, Brasil, e, por extensão, representativos de solos da Zona da Mata Mineira Norte.

2 - MATERIAIS E MÉTODOS

Sabe-se que as interações entre o solo e a cal são decorrentes de um conjunto de reações que dependem da composição química das cales e dos argilominerais presentes nos solos. Do ponto de vista de resistência mecânica, as reações de maior interesse são as pozolânicas que desenvolvem-se ao longo do tempo de cura das misturas, neste caso podendo-se referir a meses e mesmo a anos. Sendo o ganho de resistência mecânica devido às reações pozolânicas os de maior interesse para os objetivos deste trabalho, vai-se considerar: (i) desenvolvimento destas reações no tempo, considerando-se períodos de cura das misturas que vão até a seis meses; (ii)

resistência mecânica das misturas obtidas via o rompimento de corpos de prova sem imersão e após 4 horas de imersão em água, tomando por referência os resultados dos ensaios de compressões simples ou não-confinada e diametral.

No estudo, foram considerados dois solos típicos de grande extensão e volume na Microrregião de Viçosa, Minas Gerais, Brasil, classificados como Latossolo Vermelho-amarelo e solo saprolítico de gnaiss. Esses solos foram estabilizados com duas cales hidratadas comerciais, classificadas como alto cálcio segundo a definição de Guimarães (1989), e como cales CH-I e CH-III segundo a norma NBR 7175 (ABNT, 1992) e aqui denominadas respectivamente de cales A e B, nos teores de 2, 6 e 10% de cal em relação à massa de solo seco, considerando-se os períodos de cura das misturas de 28, 90 e 180 dias.

O latossolo, classificado como A-7-5, é representativo do manto superficial maduro, horizonte B, bastante intemperizado. A sua textura é argilo-silto-arenosa, com w_L de 63% e IP de 30%. Ensaios realizados em corpos de prova compactados na energia do ensaio de compactação AASHTO Normal forneceram resistência à compressão simples de 205 kPa, resistência à compressão diametral de 13 kPa e índice de suporte Califórnia (CBR) de 11%. A amostra foi coletada em um talude de corte localizado na rodovia que liga os municípios de Viçosa e Paula Cândido, nas proximidades da Estação de Tratamento de Água, recebendo a denominação ETA.

A outra ocorrência refere-se ao manto saprolítico, horizonte C, abundante na Microrregião de Viçosa. A amostra, também classificada como A-7-5, apresenta uma textura silto-areno-argilosa, w_L de 45% e IP de 14%. Corpos de prova compactados na energia do ensaio AASHTO Normal forneceram uma resistência à compressão simples de 195 kPa, resistência à compressão diametral de 6 kPa e CBR de 6%. A amostra dessa ocorrência foi coletada em um talude de corte próximo ao estábulo do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), tendo sido denominada EST.

Azevedo (1999) apresenta os resultados das análises químicas e mineralógicas efetuadas nessas ocorrências de solo. Segundo esse autor, observa-se que o latossolo e o solo saprolítico apresentam valores de pH em torno de 5, capacidade de troca catiônica total respectivamente da ordem de 3,5 e 1,3 Cmol/dm³, e percentagem de saturação de bases respectivamente de 5 e 11,6. Exibem, também, mantos de intemperismo com predominância de caulinita e presenças de gibbissita, goetita e quartzo (latossolo) e gibbissita e quartzo (solo saprolítico).

Um dado complementar de interesse refere-se às observações micromorfológicas de amostras indeformadas do latossolo e do solo saprolítico, nos teores de umidade de campo (respectivamente, 28% e 11%), como se segue (Lima *et al.*, 2001):

- no que concerne aos constituintes do latossolo, foram observadas feições da microestrutura característica dos Latossolos Vermelho-amarelos de Viçosa, com grãos de esqueleto com microagregação ovóide forte, algo coalescida, com contato face-a-face, em virtude da natureza caulínica da fração argila, e pequenos quartzos, como apresentado nos resultados da análise mineralógica. O plasma é formado por um conjunto relativamente isotrópico, muito fino, de aspecto floculado, de tonalidades vermelho-amarela e alguns pontos vermelhos escuros. Observa-se, também, que os vazios são bem visíveis nesta escala e estão compreendidos entre os microagregados e interligados entre si;
- no solo saprolítico, tem-se a presença de pseudomorfo de biotita em caulinita com morfologia comumente designada de sanfonada, mostrando um material bastante anisotrópico. A biotita sofre o intemperismo químico, transformando-se em plaquetas de caulinita, adquirindo a forma sanfonada. Há aumento de volume, mas na forma do mineral originário. Durante o intemperismo, o ferro (Fe) proveniente da biotita encontra-se na sua forma reduzida (Fe²⁺), sofre dissolução e ocorre liberação do Fe²⁺

que migra para a periferia dos pseudomorfos, onde o Fe^{2+} em contato com o ar é oxidado, precipitando-se na forma de óxidos de Fe e envolvidos em fenômenos de cimentação dos pseudomorfos, dando uma certa estabilidade a este material.

As cales A e B, respectivamente, diferem substancialmente nos quantitativos de óxido de cálcio disponível (66,53% e 44,16%), hidróxido de cálcio disponível (87,80% e 58,28%), óxido de magnésio (0,58% e 3,10%) e dióxido de carbono (2,85% e 9,22%), como se mostra no Quadro 1. Refere-se que essas cales foram adquiridas no comércio de materiais de construção civil da Zona da Mata Norte de Minas Gerais.

Quadro 1 - Análise química das cales A e B empregadas nas misturas solo-cal.

CONSTITUINTES	CAL A	CAL B
$CaO_{(T)}$	71,88%	67,27%
MgO	0,58%	3,10%
SiO_2	1,14%	2,15%
PPC*	25,75%	26,49%
$CaO_{(D)}$	66,53%	44,16%
$Ca(OH)_2_{(D)}$	87,80%	58,28%
Teor de umidade	1,31%	0,71%
Fe_2O_3	0,11%	0,24%
Al_2O_3	0,39%	0,48%
SO_3	0,16%	0,16%
CO_2	2,85%	9,22%

PPC* - perda por calcinação

Após a preparação das amostras em laboratório (ABNT, 1986a), foram realizados os ensaios rotineiros de caracterização e compactação, obedecendo a: análise granulométrica (ABNT, 1984a); limites de Atterberg (ABNT, 1984b e 1984c); compactação (ABNT, 1986b), na energia do ensaio AASHTO Normal. Procedeu-se, também, à determinação da resistência mecânica dos solos, através dos ensaios de compressão simples e compressão diametral.

No que tange à preparação das misturas solo-cal, adicionou-se as cales às massas de solo secas ao ar, procedendo-se então à homogeneização das misturas. Posteriormente, adicionou-se a quantidade de água requerida para levar as misturas aos teores ótimos de umidade obtidos nos ensaios de compactação realizados previamente, procedendo-se a subsequentes misturas até as massas adquirirem aspectos homogêneos. Após esses procedimentos, deixou-se as misturas em repouso por 1 hora, antes de se compactar os corpos de prova na energia do ensaio ensaio AASHTO Normal. Os corpos de prova apresentaram 80,00 mm de altura e 35,70 mm de diâmetro, com uma relação altura/diâmetro de 2,24. Antes de serem levados para a câmara de umidade controlada, eles passaram por uma triagem, foram devidamente identificados, e

envolvidos e lacrados em sacos plásticos, na busca de se reduzir a absorção de dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera e variações nos teores de umidade de moldagem.

Atingido o final dos períodos de cura preestabelecidos (28, 90 e 180 dias), os corpos de prova foram retirados da câmara úmida e encaminhados para os equipamentos em que foram conduzidos os ensaios de compressão simples e compressão diametral. Os ensaios foram realizados nos corpos de prova logo após estes serem retirados da câmara úmida e, também, após estes serem imersos por 4 horas em água, na velocidade de 1,25 mm/min, adotando-se como valor final da resistência mecânica a média de três determinações.

3 - ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados do programa de ensaios estão apresentados nas figuras numeradas de 1 a 8.

A análise das Figs 1 e 2 evidencia, também, que o teor de cal de 10% forneceu os melhores resultados, no que tange à resistência à compressão simples das misturas obtidas com a adição de ambas as cales, bem como sugere a possibilidade de que, aparentemente, existe um período de cura ótimo para as misturas que é dependente dos tipos de solo e cal empregados. Alcântara (1995), trabalhando com três solos da Região de Ilha Solteira-SP, sendo um latossolo vermelho amarelo, um podzólico vermelho amarelo e um latossolo vermelho escuro, e uma cal do tipo A chegou a conclusão semelhante, o que suscita a necessidade de se proceder à caracterização tecnológica das misturas solo-cal em bases regionais, incorporando-se na análise também este fator. Observa-se ainda que, em geral, os melhores resultados foram obtidos com o solo ETA, que se mostrou mais reativo à ação da cal do que o solo EST, bem como maior eficiência da cal B com relação à cal A.

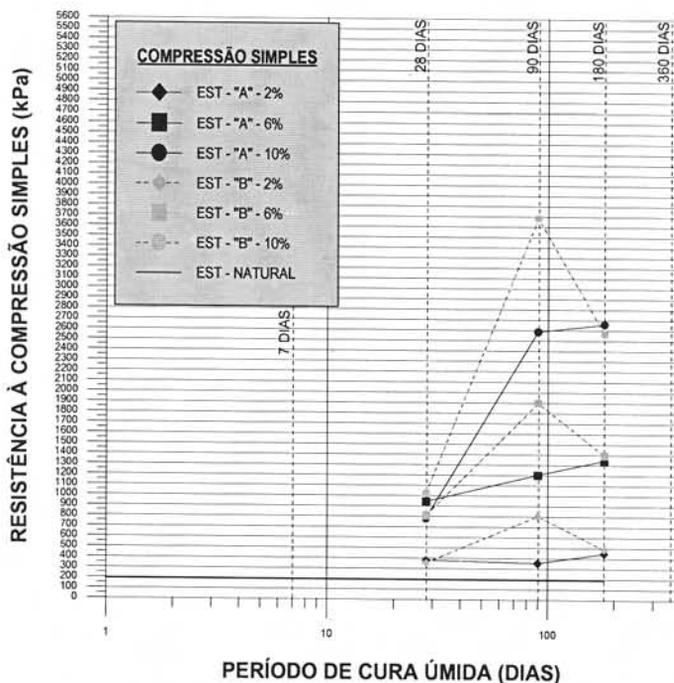


Fig. 1 - Resistência à compressão simples versus período de cura das misturas solo EST-cales A e B, para diferentes teores de cal, sem imersão em água dos corpos de prova.

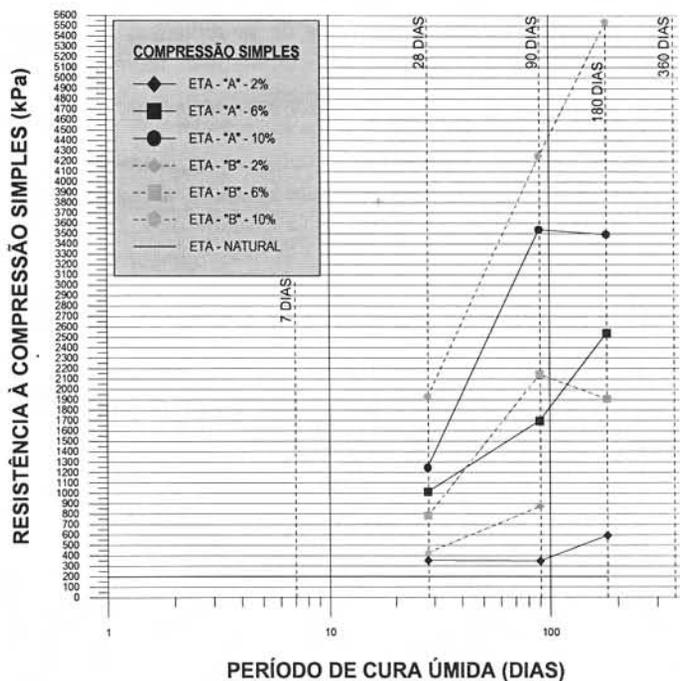


Fig. 2 - Resistência à compressão simples versus período de cura úmida das misturas solo ETA-cales A e B, para diferentes teores de cal, sem imersão em água dos corpos de prova.

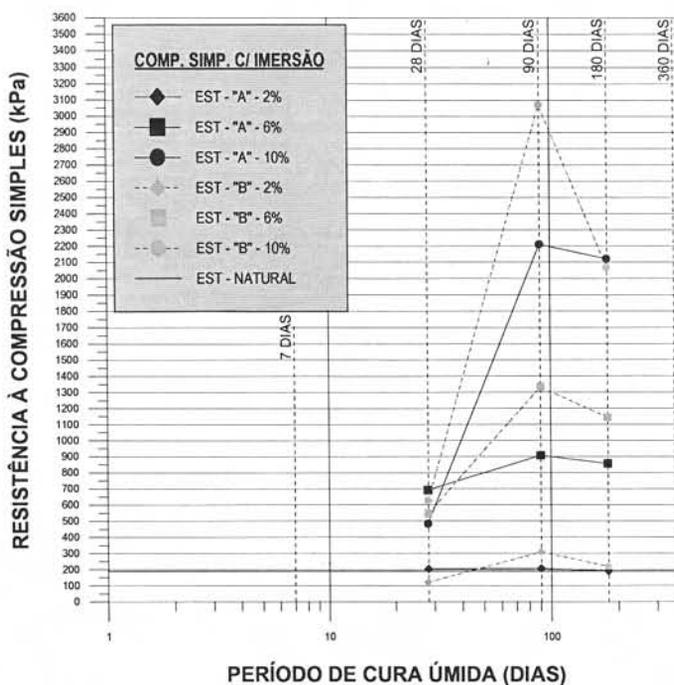


Fig. 3 - Resistência à compressão simples versus período de cura das misturas solo EST-cales A e B, para diferentes teores de cal, após 4 horas de imersão em água dos corpos de prova.

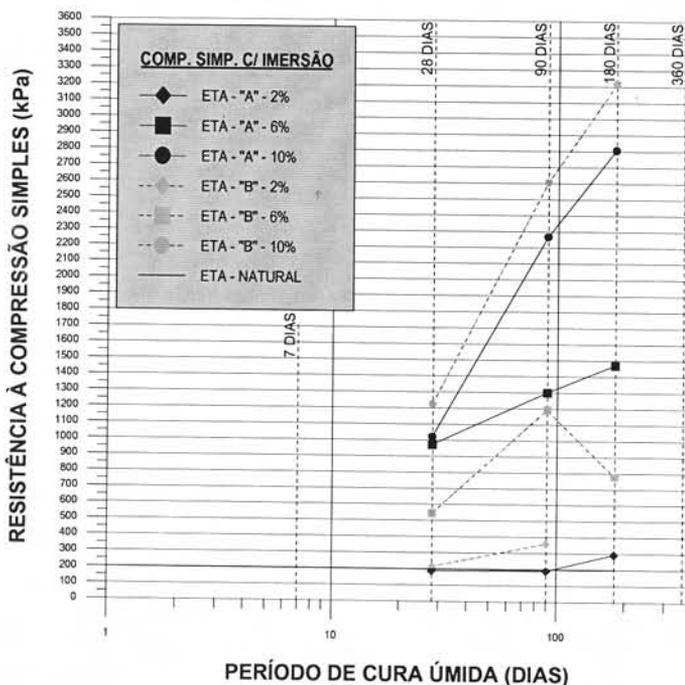


Fig. 4 - Resistência à compressão simples versus período de cura das misturas solo ETA-caiões A e B, para diferentes teores de cal, após 4 horas de imersão em água dos corpos de prova.

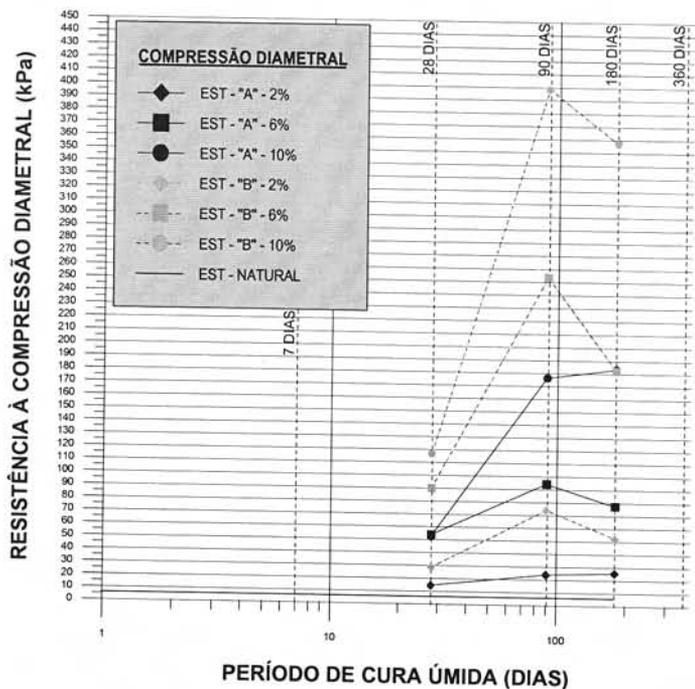


Fig. 5 - Resistência à compressão diametral versus período de cura das misturas solo EST-caiões A e B, para diferentes teores de cal, sem imersão em água dos corpos de prova.

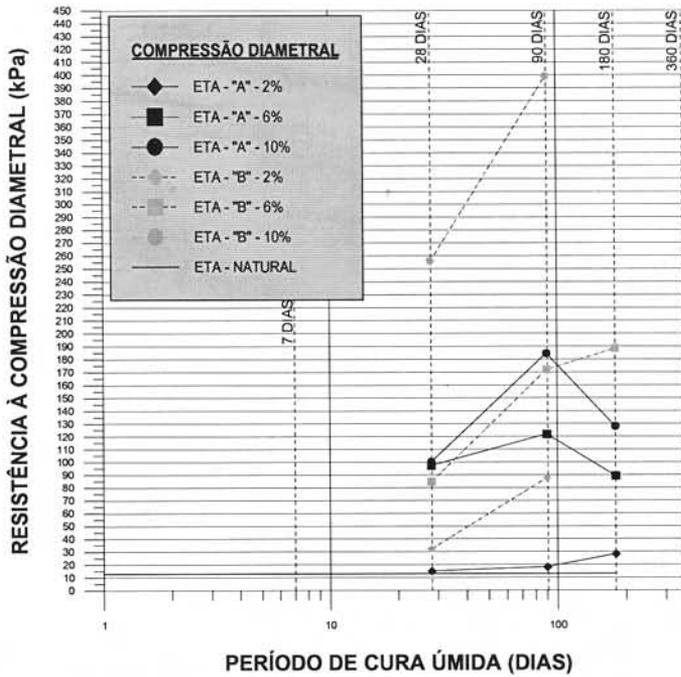


Fig. 6 - Resistência à compressão diametral versus período de cura das misturas solo ETA-cales A e B, para diferentes teores de cal, sem imersão dos corpos de prova.

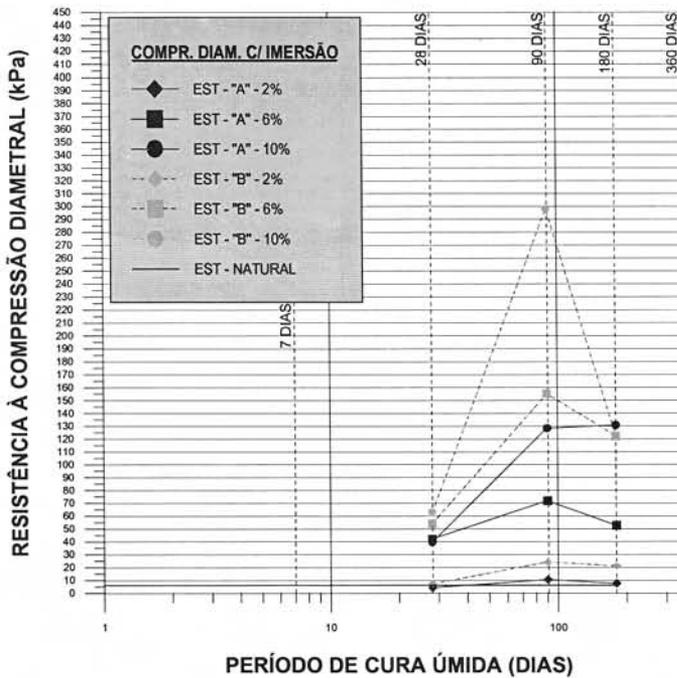


Fig. 7 - Resistência à compressão diametral versus período de cura das misturas solo EST-cales A e B, para diferentes teores de cal, após 4 horas de imersão em água dos corpos de prova.

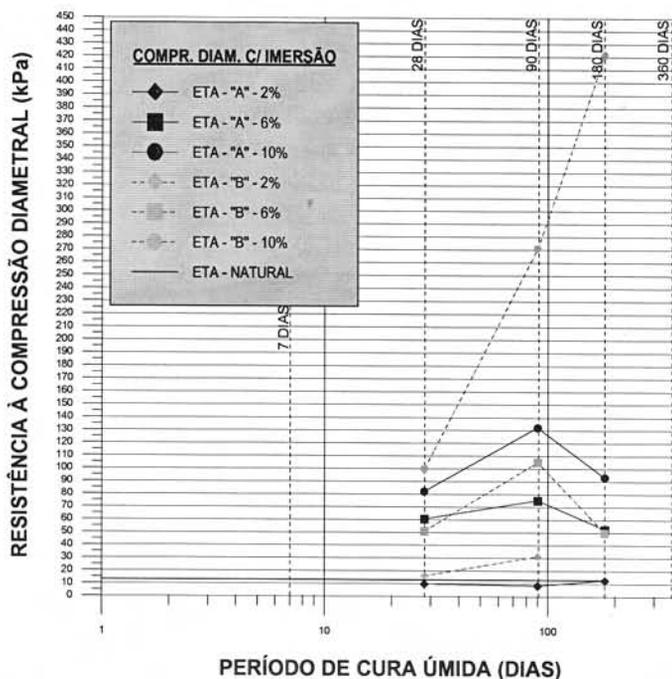


Fig. 8 - Resistência à compressão diametral versus período de cura das misturas solo ETA-cales A e B, para diferentes teores de cal, após 4 horas de imersão em água dos corpos de prova.

Para simular condições adversas que podem ocorrer com as misturas em serviço, no campo, corpos de prova foram submetidos, após observância dos períodos de cura, à imersão em água durante 4 horas antes de serem rompidos em compressão simples. Os resultados obtidos, apresentados nas Fig.s 3 e 4, permitem uma comparação com aqueles representativos das condições sem imersão e já apresentados nas Fig.s 1 e 2. Verifica-se que os desenvolvimentos das curvas de resistência à compressão simples, com e sem imersão, apresentam certa semelhança geométrica, mas com diferenças significativas na ordem de grandeza dos seus valores, sendo estes inferiores quando se considera os corpos de prova imersos, provavelmente devido a quedas na sucção. Portanto, em linhas gerais, os comentários feitos de quando da análise das Fig.s 1 e 2 aplicam-se, respectivamente, às Fig.s 3 e 4. Como ordem de grandeza, e considerando-se o teor de cal de 10%, pode-se associar à imersão em água redução média na resistência à compressão simples da ordem de 20 a 40%, para ambos os solos.

Sabe-se que os pavimentos constituídos por camadas de elevada resistência mecânica e altos módulos de deformabilidade exibem, em geral, um comportamento de placa, reduzindo-se assim substancialmente as pressões transmitidas às camadas inferiores. Contudo, a relação elevada entre os módulos de deformação das misturas solo-cal reativas e das camadas inferiores do pavimento rodoviário pode levar à geração de tensões de flexão consideráveis no material estabilizado, sendo este na verdade o fator que, segundo Thompson (1969), pode controlar o projeto estrutural de camadas solo-cal de elevada resistência quando integrantes dos pavimentos rodoviários. Assim, reveste-se de significância a consideração da resistência à tração das misturas solo-cal determinada no ensaio de compressão diametral (RCD), pois esta via é correntemente aceite como uma medida indireta da resistência à tração do material.

As Fig.s 5 e 6 mostram os resultados dos ensaios de compressão diametral dos corpos de prova ensaiados sem imersão, enquanto que as Figuras 7 e 8 trazem os resultados dos ensaios realizados após imersão destes em água. Os dados apresentados nas figuras sugerem o desenvolvimento de reações pozolânicas com a evolução do período de cura das misturas e, conseqüentemente, a geração do efeito de placa, fatos estes evidenciados pelo aumento do parâmetro RCD. Dentro da gama de teores de cal considerados nota-se que, para períodos de cura superiores a 28 dias, o teor de cal de 10% oferece melhores resultados. Nota-se, nas Figuras 5 e 6, que ocorrem máximos na RCD para o período de cura de 90 dias, observando-se, em geral, decréscimos para períodos de cura superiores. Os resultados de ensaios de compressão diametral realizados nos corpos de prova após imersão, Figuras 7 e 8, mostram a manutenção do mesmo comportamento observado no caso sem imersão, porém observando-se agora quedas na RCD da ordem de 20 a 30% com relação aos valores obtidos para o caso sem imersão.

No que se refere ao estudo dirigido à constatação da formação de compostos cimentantes, análises de raios-X foram executadas em amostras procedentes de corpos de prova com teor de 6% de cal. Com base apenas nos resultados obtidos no estudo, não se pode confirmar a formação de novos compostos cimentantes. Procedeu-se, também, aos tratamentos com oxalato e ditionito, na finalidade de fazer difratogramas de raios-X sob a ausência dos óxidos de ferro amorfos (oxalato) e dos óxidos de ferro cristalinos (ditionito). Assim como os outros difratogramas obtidos, os resultados não permitiram a distinção clara de novas formas mineralógicas. Assim, a questão relativa à formação de novos minerais continua em aberto. Em primeiro lugar, cabe, porém, definir o que se entende por formação de novos minerais. Seria a constatação da ocorrência de formas bem cristalizadas nos difratogramas das misturas solo-cal ou a ocorrência de mudanças nas relações entre alguns elementos existentes em uma amostra seria indício de neoformação, advindo daí a necessidade de exames complementares?

No aspecto comparativo da ação de ambas as cales como agentes de estabilização dos solos, depreende-se dos resultados apresentados que a cal A mostra-se mais eficiente do que a cal B apenas para os teores de 2 e 6% de cal e período de cura de 28 dias. Fora destas condições, prevalece a qualidade mecânica melhor das misturas solo-cal B. Assim, os resultados desta pesquisa sugerem que a eficiência das cales mostra-se dependente do período de cura e do teor de cal. Contudo, um aspecto que merece destaque são as quedas de resistência mecânica observadas nas misturas solo-cal, para os períodos de cura de 90 e 180 dias. Esse é um tópico que merece estudo mais detalhado, pois, em se confirmando este comportamento, obviamente a durabilidade das misturas solo-cal poderá estar comprometida.

4 - CONCLUSÕES

Os resultados apresentados neste trabalho trazem à tona as seguintes conclusões:

- aparentemente, observou-se o desenvolvimento de reações pozolânicas nas misturas solo-cal, evidenciadas pela influência do tempo de cura na geração de ligações de cimentação interpartículas e, conseqüentemente, no aumento dos parâmetros de resistência mecânica considerados
- à parte poucas anomalias de comportamento detectadas, pode-se, em primeira instância, constatar o bom desempenho mecânico das misturas solo ETA-cales A e B, comparativamente com as misturas solo EST-cales A e B, também de boa resposta mecânica;
- a análise da influência do tipo de cal na resistência às compressões simples e diametral das misturas solo-cal indicou um melhor desempenho geral da cal B em

relação à cal A; deve-se destacar, contudo, que este melhor desempenho parece ser dependente do teor de cal e do período de cura das misturas;

- a imersão dos corpos de prova em água levou às quedas médias nas resistências à compressão simples e diametral da ordem de 20% e de 20% a 30%, respectivamente, provavelmente devido a quedas na sucção.

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam expressar os seus agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Brasil (CNPq), à Universidade Federal de Viçosa (UFV) e à Indústria de Calcinção S.A. (ICAL), em cujos laboratórios foram efetuadas as análises químicas das cales, pelo apoio concedido para a realização do presente trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT Solo - *Análise granulométrica* – NBR 7181. Rio de Janeiro, 1984a.
- ABNT Solo - *Determinação do limite de liquidez* – NBR 6459. Rio de Janeiro, 1984b.
- ABNT Solo - *Determinação do limite de plasticidade* – NBR 7180. Rio de Janeiro, 1984c.
- ABNT *Amostras de solo- Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização* – NBR 6457. Rio de Janeiro, 1986a.
- ABNT Solo - *Ensaio de compactação* – NBR 7182. Rio de Janeiro, 1986b.
- ABNT *Cal hidratada para argamassas* – NBR 7175. Rio de Janeiro, 1992
- ABPC *Comunicação verbal*. Associação Brasileira dos Produtores de Cal, São Paulo-SP, Brasil, 1997.
- Alcântara, M. A. M. *Estabilização química dos solos para fins rodoviários: técnicas disponíveis e estudo de caso dirigido à estabilização solo-cal de três solos de Ilha Solteira-SP*. Universidade Federal de Viçosa, 91 p., Dissertação de Mestrado, 1995
- Bueno, B. S. e Lima, D. C. *Técnicas de estabilização de solos com fim rodoviário*. 1º Simpósio Brasileiro sobre exploração e transporte florestal, Belo Horizonte, vol. 1, pp. 143-189, 1991.
- Cardoso, D. L. *Contribuição à identificação e tratamento de solos expansivos da região de Viçosa-MG*. Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, Viçosa, 194 p., Dissertação de mestrado, 1994.
- Castro, E. e Serafim Luis, A. A. *O solo-cal na pavimentação de estradas e aeródromos*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Memória nº 450, pp. 45-51, 1974.
- Clare, K. E. e Cruchley, A. E. *Laboratory experiments in stabilization of clays with hydrated lime*. The Institution of Civil Engineers, London, 15 p, 1957.
- Ferraz, R. L. *Contribuição à estabilização dos solos para fins rodoviários e habitacionais*. Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, Viçosa, 174 p., Dissertação de mestrado, 1994.
- Guimarães, J. E. P. *Terminologia de Calcários-Dolomitos e da Cal*. Associação Brasileira dos Produtores de Cal, 24 p., 1989.
- Lima, D. C. *Algumas considerações relativas a aspectos da estabilização dos solos, em particular à estabilização solo-cal*. Escola de Engenharia de São Carlos-USP, São Carlos, 171 p., Dissertação de mestrado, 1981.

- Lima, D. C.; Rohm, S. A. e Barbosa, P. S. A. *Estabilização dos solos III: misturas solo-cal para fins rodoviários*. Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, Viçosa, Publicação n° 334, 46 p., 1993.
- Lima, D. C.; Bueno, B. S. e Thomasi, L. *The mechanical response of soil-lime mixtures reinforced with short synthetic fibers*. 3rd International Symposium on Environmental Geotechnology, San Diego, USA, pp. 868-977, 1996.
- Lima, D. C.; Bueno, B. S.; Marques, E. T. e Minette, E. *Influência da adição de fibra de polipropileno e da energia de compactação na resposta mecânica de uma mistura solo-cal*. 1º Simpósio Sul-Americano de Geossintéticos, Rio de Janeiro, Brasil, pp. 177-182, 1999.
- Lima, D. C.; Schaefer, C. E. G. R.; Azevedo, M. A. A.; Bueno, B. S. e Minette, E. *Micromorfologia de amostras de solos no estado natural e compactadas: uma abordagem dirigida à resistência ao cisalhamento dos solos*. Artigo submetido para publicação na Revista Solos, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2001.
- Mendonça, A. A. *Caracterização tecnológica de misturas solo-cal*. Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, Viçosa, 109 p., Dissertação de mestrado, 1998.
- Thompson, M. R. *Lime reactivity of Illinois Soils*. Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, vol. 92, N°. SM5, September, 1966.
- Thompson, M. R. *Mixture design for lime-treated soils*. Illinois. Civil Engineering Studies, University of Illinois, Highways Engineering Series N° 26, 24 p., 1969.
- TRB *State-of-the-art: lime stabilization: reactions, properties, design, construction*. Transportation Research Board, Washington, D.C., Circular, 180, 31 p., 1976.