

0470771



X SEMANA DE GEOQUÍMICA

IV CONGRESSO DE GEOQUÍMICA
DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA

DEDALUS - Acervo - IGC



30900000947

Actas

1997



CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS E MICROMORFOLÓGICAS DE UM SOLO ARGILOSO TROPICAL ESTABILIZADO COM CAL+CIMENTO EM CONDIÇÕES DE PISTA

Nóbrega, M.T.¹; Carvalho, A.²

¹Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, CEP 87020-900, Maringá-PR, BR

²Instituto de Geociências/NUPEGEL, Universidade de São Paulo, C.P. 11-348 - CEP 05422-970, São Paulo-SP-BR

ABSTRACT

An experimental road (PR 508) constructed in the Northern of Paraná State (BR), used as one the pavement base, a clayey soil (Latossolo Vermelho escuro) stabilized with lime and cement.

In the present study, undisturbed blocks cut off in this pavement, were analysed using micromorphological, mineralogical and chemical methods.

The results has shown that the stabilized mixture is characterized by an aggregated material (or zones) unaffected, or little affected by additives, embedded in an altered material (material) at different levels by the reactions with the additives, including the hidration cement compounds and the pozzolanic reaction products of lime.

INTRODUÇÃO

Os solos espessos e argilosos das regiões tropicais quentes e úmidas causam problemas quando utilizados na engenharia rodoviária, sendo comumente necessário submetê-los a um processo de estabilização.

Uma das formas de estabilização de solos argilosos é a adição de cal e, em alguns casos, cal+cimento. O processo se fundamenta em reações físico-químicas e químicas que se desencadeiam entre óxido ou hidróxido de cálcio (oriundo diretamente da cal ou resultante da hidratação do cimento) e os constituintes da fração argila do solo, que levam à redução da sensibilidade dos materiais à ação da água e aumentam a sua capacidade de suporte. Em função do caráter químico da estabilização, a natureza dos solos e dos aditivos, além de outros fatores como a temperatura e umidade, desempenham um papel fundamental no processo, controlando e condicionando essas reações. A influência desses fatores, principalmente em condições experimentais, é relativamente bem conhecida nas regiões temperadas do globo. Existe, contudo, uma lacuna com relação ao comportamento dos solos argilosos tropicais face a esses aditivos. O desconhecimento dos mecanismos desencadeados tem sido o principal problema para a aceitação e adequação dessa técnica em território brasileiro e no mundo tropical como um todo.

Menos se sabe ainda das reações que ocorrem em condições de pista (canteiro de obras) envolvendo teores de aditivos relativamente baixos, umidades equivalentes ao teor ótimo de compactação, distribuição e homogeneização dos aditivos e da umidade com equipamentos de campo (nem sempre adequados) e todas as outras ações (compactação, imprimação, cura, etc.) até a conclusão da obra, sob condições ambientais (temperatura e umidade) e tempos (duração entre uma etapa e outra) variáveis.

Neste estudo são apresentados os resultados obtidos com o Latossolo Vermelho-escuro de textura argilosa, estabilizado com adição de cal+cimento e empregado como base de pavimento em pista experimental, a PR-518 (Santa Mariana - Porto Quebra Canoa), localizada na região norte do Estado do Paraná (Brasil). O processo, neste caso, é estudado dentro das condições de pista.

MATERIAIS E MÉTODOS

O Latossolo Vermelho-escuro, corresponde a um "oxisol" da classificação americana. São solos muito profundos (6 m ou mais), evoluídos, de cor vermelha-escura, bem drenados e ocorrem sobre litologias variadas. Apresentam perfis homogêneos, (sub-horizontes pouco individualizados), com fração argila variando, para os de textura argilosa, entre 40% e 80% e constituída

essencialmente de caulinita, gibbsita e óxidos de ferro (hematita) e eventualmente, interestratificados clorita-vermiculita (Oliveira, 1977). A fração areia é composta principalmente por quartzo apresentando também concreções ferruginosas e minerais escuros.

Na pista experimental Santa Mariana - Porto Quebra Canoa, um dos segmentos foi realizado com base de solo-cal-cimento, misturando-se o Latossolo Vermelho-escuro (neste caso com 54% de argila) a 2% de cal hidratada cálcica (CaOH_2) + 3% de cimento portland CP 32. As amostras estudadas correspondem a blocos indeformados retirados da base desse segmento, depois de quatro anos da construção da estrada.

Os materiais naturais e as misturas estabilizadas foram submetidos a análises micromorfológicas em microscopia óptica e eletrônica de Varredura (lâminas delgadas e fragmentos indeformados), microsondagens eletrônicas pontuais imagens de raios X, análises por difração de raios X e espectrometria por infravermelho. A descrição micromorfológica das lâminas delgadas foi realizada de acordo com Brewer (1976).

RESULTADOS OBTIDOS

O Latossolo Vermelho-escuro empregado nesta mistura é constituído por microagregados de formas irregulares, às vezes arredondadas (globulares), compostos por volumes de material vermelho-escuro vivo, anisótropo e denso, orlados por estreita faixa de material vermelho-amarelo, poroso, exibindo orientações nas áreas de "colagem" dos microagregados e em torno de poros. O solo caracteriza-se por uma porosidade elevada em torno de 50% a 55%, constituída predominantemente por poros de empilhamento composto e, secundariamente por canais e cavidades (intragregados). Apresenta abundância de grãos, formados principalmente por quartzo, em grande parte arredondados a subarredondados, de diversos tamanhos, e minerais escuros, todos englobados e distribuídos aleatoriamente na matriz dos agregados.

Trata-se de um material essencialmente caulinitico (caulinita parcialmente desordenada), com presença de hematita e pouca gibbsita. As análises por microsonda revelam que o material vermelho-amarelo é mais pobre em ferro e alumínio do que o vermelho-escuro.

A base do pavimento apresenta no ponto amostrado 10cm de espessura, está aparentemente bem compacta, maciça e resistente (dificuldade para desmanchar) ao longo de toda a espessura da camada. Está cortada por fissuras horizontais paralelas e outras menores, irregulares e verticais, que individualizam blocos prismáticos de base retangular (de 1 a 2,5cm de altura), angulares, mais evidentes na parte superior e que desaparecem na parte inferior.

O topo da camada e as superfícies horizontais e paralelas, criadas pelo fissuramento, estão em geral recobertas por um depósito contínuo (película) de material branco, enquanto que as superfícies verticais apresentam esse recobrimento rarefeito e descontínuo.

São visíveis a olho nu manchas mais avermelhadas e escuras, de formas arredondadas (como nódulos) e de vários tamanhos (1 a 6mm) em meio a um material vermelho mais claro. Na porção central e na parte inferior da base os volumes vermelhos se apresentam em tamanhos maiores, podendo atingir até 1 cm. O material mais claro que engloba esses volumes é também, mais poroso. Em alguns pontos, aparecem volumes brancos, milimétricos (1 a 2mm), arredondados, alguns visivelmente ocos.

Em microscopia óptica, os volumes arredondados vermelho-escuros, com extinção em "rosetas" (dispersas), aparecem entremeados ao outro volume de coloração mais clara, pontuado de grãos (dimensão do silte $< 20\mu\text{m}$) branco-amarelados e brilhantes, formando um conjunto contínuo. Os pontos claros brilhantes, estão mais concentrados em torno dos vazios e de alguns grãos. A distribuição dos dois tipos de materiais pode variar, em determinadas zonas o vermelho-escuro com

“rosetas” domina sobre o mais claro; em outras, o vermelho-escuro aparece como ilhas dentro do material mais claro.

Ao microscópio eletrônico de varredura a organização destes materiais também aparecem bem distinta. O material vermelho-escuro se mostra denso e orientado envolvendo grãos. O material mais claro aparece microagregado e com uma porosidade importante. A superfície dos microagregados e paredes de poros exibem, a grandes aumentos, um aspecto “piloso”, devido em parte a presença de produtos neoformados com formas de fibras e em parte à não orientação das partículas argilosas que compõem o material. Ao microscópio óptico, a superfície desses agregados apresenta limites difusos onde o material parece ir perdendo, aparentemente cor e matéria.

Nos poros dentro do material mais claro ocorrem as assembléias cristalinas as cristalárias. Em algumas cristalárias observa-se a presença de pequenos grãos (compactos) de carbonatos, geralmente ocupando as porções centrais dos vazios. Estas assembléias se formam nas zonas de concentração dos aditivos, que macroscopicamente aparecem como pontos brancos.

Os materiais dessas organizações reconhecidas aos níveis macro e microscópicos - (a) películas e pontos brancos (cristalárias), (b) material vermelho claro e poroso e (c) volumes de material vermelho-escuro denso - foram concentrados manualmente e analisados por difração de raios X e espectrometria infravermelho. Os resultados mostram que:

- nas três organizações (a,b,c) aparece o carbonato de cálcio (calcita), mas em concentrações e graus de cristalinidade decrescente do material (a) para o (c). No material (a), este carbonato está bem cristalizado, apresentando os seus picos característicos 3,86 - 3,03 - 2,49 - 2,28 - 2,09 - 1,91 - 1,87 Å. Nos materiais (b) e (c) apenas o pico 3,03 se mantém, enquanto que o pico a 3,86 é apenas sugerido ou desaparece, e os outros diminuem ou adquirem a forma de banda.

- nos materiais (a) e (b), mas principalmente no (b), observe-se a presença de outros picos, 9,72 e 5,59, que podem indicar a presença de silicatos de cálcio hidratados do tipo C-S-H(II) ou ainda a ettringita (trissulfoaluminato cálcico hidratado - $C_3A \cdot 3SO_4Ca \cdot 32H_2O$). O pico a 2,88 indica a presença de aluminatos tetracálcicos (BC_2AH_8). Evidências da ocorrência do composto de Strating (C_2ASH_8) são dadas pelos picos 4,18 - 2,87 - 2,48 - 1,66, embora o pico a 12,58 não apareça claramente.

- ocorre um aumento crescente do grau de desordem da caulinita, do material (c) para o material (a). O pico a 7,15 vai se reduzindo e a base se alargando de um material (organização) para outro, o mesmo ocorrendo com os picos de outras ordens.

A espectrometria infravermelho confirma as alterações sofridas pela caulinita e a presença de novas fases minerais nas organizações (a) e (b).

Do ponto de vista químico constatou-se através das imagens de raios X uma composição química particular para cada uma dessas organizações. O material vermelho escuro, denso, é quimicamente mais homogêneo e próximo daquele do solo original; as rosetas correspondem a pequenas zonas, arredondadas de concentração de cálcio, com pequena “auréola” de difusão deste elemento.

O material mais claro, poroso ao contrário, apresenta uma variação química importante, as bordas dos agregados são, como mostram as imagens de distribuição do alumínio e do ferro, empobrecidas nestes elementos e enriquecidos em cálcio. O ferro é aparentemente incompatível com a presença do cálcio. O cálcio concentrado nas cristalárias, no interior dos poros, se difunde para o material dos agregados afetando, assim, as suas bordas, enquanto que o interior fica mais preservado.

A imagem de distribuição do cálcio mostra, por sua vez que este elemento se concentra em determinadas áreas, dentro dos poros, tendo em torno uma auréola de "difusão" de forma irregular (em geral a forma do vazio), com teores decrescentes em direção às bordas dos agregados.

Microsondagens químicas realizadas em pontos aleatórios, indicam que efetivamente ocorrem reações que incluem os constituintes do material, promovendo transformações com o surgimento de uma série de produtos intermediários entre aqueles do material original e os produtos de neo-sínteses e da hidratação do cimento conhecidos (silicato de cálcio hidratados, aluminatos de cálcio hidratados, sulfoaluminatos de cálcio hidratados, etc.). Esse caráter, que só aparece na mistura, é produzido pela reação dos aditivos com os constituintes do material. Os mesmos aspectos morfológicos e transformações químicas e mineralógicas do material foram também observados em uma amostra de Latossolo Vermelho-escuro misturada apenas com 5% de cal cálcica em laboratório (Nóbrega, 1991). Isto permite concluir que a diferenciação do material original em dois novos tipos, observados no material de pista estudado, está relacionado principalmente à reação com a cal. Os produtos de hidratação do cimento estão concentrados preferencialmente em cristalárias juntamente com o carbonato de cálcio (calcita).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As observações micromorfológicas e as análises químicas e mineralógicas permitiram considerar a ocorrência de um material menos atacado (ou preservado) e de um material alterado, onde os constituintes do material original sofreram transformações graduais, chegando a produzir, em combinação com os aditivos Ca(OH)_2 preferencialmente, novos produtos.

Esta mistura solo-cal-cimento, utilizada como base de pavimento, se caracteriza portanto, por apresentar agregados (ou zonas) de material não afetados ou pouco afetados pelos aditivos, envolvidos por material transformado por reações com aditivos em diversos graus, contendo os produtos de hidratação do cimento e de reação pozolânica de cal, menos sensível às variações hídricas e mecânicas e mais resistente. Este tipo de organização tem se mostrado capaz de manter o conjunto estável.

Como influência direta da etapa de construção da base da estrada e que afeta as características da mistura e o comportamento do pavimento, verificou-se a espessura da base construída (10cm) é muito menor do que a projetada (15cm), a mistura do solo com os aditivos não foi homogênea (pontos e volumes brancos) a incorporação dos aditivos foi mais eficiente na parte superior da camada do que na central e inferior (volumes vermelho-escuros mais frequentes e de maior dimensão); a formação de películas brancas recobrimdo as faces das fissuras horizontais e paralelas indica que houve perda de umidade por evaporação durante o processo de cura da base.

As técnicas de construção das bases são as responsáveis pelas condições da mistura dos constituintes dos solos com os aditivos, da homogeneização da umidade, etc. Criam o ambiente físico e químico onde ocorrem as reações que promovem a estabilização. São também responsáveis, ao lado das reações químicas e físico-químicas desencadeadas pelos aditivos, pela morfologia do material.

REFERÊNCIAS

- Brewer, R. (1976) *Fabric and mineral analysis of soils*. 2nd Ed. New York, Robert E. Krieger Publ. Comp., 482p.
- Nóbrega, M.T. (1991) A estabilização de solos tropicais com adição de cal para fins rodoviários. São Paulo, Boletim ABPC n. 15, 115p
- Oliveira, J.B. (1977) Latossolos da quadricula de Campinas, SP-II. Características físicas. Rev. Bras. Ciência de Solo (1):114-121.