

A TÉCNICA DE CRUZAMENTO DE MAPAS PARA ORIENTAR SERVIÇOS DE PAVIMENTAÇÃO

Walter Canales Sant'Ana

Departamento de Expressões Gráficas e Transportes
Universidade Estadual do Maranhão
Departamento de Engenharia de Transportes
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Jucivan Ribeiro Lopes

Núcleo Geoambiental
Universidade Estadual do Maranhão

Liedi Légi Bariani Bernucci

Departamento de Engenharia de Transportes
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

RESUMO

Várias regiões do país apresentam disponibilidade limitada de materiais para pavimentação. Isto implica que materiais naturais ou recicláveis sejam estudados, conforme as peculiaridades de cada região e considerando as características ambientais e de tráfego. Para a caracterização dos solos regionais pode ser utilizada a técnica de cruzamento de mapas, no presente caso, o geológico e o pedológico. A partir deste procedimento são obtidas unidades geotécnicas que fornecem um relacionamento mais consistente com as propriedades de engenharia dos solos. O presente trabalho pretende mostrar a metodologia utilizada para efetuar este cruzamento para uma área piloto escolhida e as perspectivas de contribuição para trabalhos de coleta de amostras de subleito, empréstimos ou ocorrências de materiais para pavimentação de rodovias.

ABSTRACT

Several regions in our country present a limited availability of materials for pavement construction. This requires the study of natural or recyclable materials, respecting each region's peculiarities and considering traffic and environmental characteristics. For better identification of regional soils, a map crossing technique can be used; in this case, using the geological and pedological maps. Based on this, geotechnical units are obtained, leading to more consistent relations with engineering soil properties. This work shows the methodology used to cross maps in a chosen area and further contributions to road pavement services.

1. INTRODUÇÃO

A multidisciplinaridade nas pesquisas e serviços de pavimentação vem ganhando espaço nos últimos tempos. Conhecimentos de geologia, pedologia, clima, biologia, sociologia, geoprocessamento, etc, têm sido requisitados em projetos e obras de engenharia civil. Inicialmente, para atender aos estudos de planejamento estratégico e relatórios de impacto ambiental e, posteriormente, pelos benefícios obtidos do cruzamento de conhecimentos para o serviço enfocado, no caso, a implantação, pavimentação ou melhoramentos de rodovias. A isto, somam-se os avanços obtidos na área da informática possibilitando a criação e alimentação de bancos de dados a partir de recursos numéricos e gráficos.

Segundo Higashi (2002), a estruturação de um banco de dados em estudos geotécnicos é de grande importância para armazenar informações e facilitar a comparação entre várias propriedades geotécnicas observadas em uma determinada localidade. Um banco de dados, além de permitir o desenvolvimento de correlações, pode resultar uma maior compreensão do comportamento de um determinado solo quando empregado em conjunto a um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Este sistema permite várias aplicações no campo do

mapeamento geotécnico. Estas aplicações proporcionam a elaboração de mapas temáticos, cartografia geotécnica, modelagem numérica de terrenos para análise de risco, avaliação geotécnica e gerenciamento ambiental. O SIG é uma ferramenta computacional do Geoprocessamento, permitindo realizar análises complexas ao integrar dados de diversas fontes todos eles georreferenciados.

O georreferenciamento dos pontos de coleta de amostras donde serão obtidos os resultados de ensaios é imprescindível para um trabalho que pretende utilizar um SIG aliando um banco de dados a um mapa temático.

Segundo Zuquette e Gandolfi (2004), o precursor do mapeamento geotécnico no Brasil foi o professor Haberlehnner da UFRJ entre os anos 1965-1966 com publicação no 20º Congresso Brasileiro de Geologia. Porém, entre os muitos trabalhos apresentados desde então, apenas 20% tem conteúdo realmente geotécnico, ou seja, os dados geológicos, pedológicos ou geomorfológicos apresentados não apresentam correlações claras e diretas com os diferentes projetos de engenharia, planejamento urbano e territorial, gestão ambiental, etc. Além disso, mapas elaborados por vários pesquisadores têm validade limitada pois não foram comprovados seus resultados por obras realmente executadas (Nogami e Villibor, 1995).

Na engenharia, a aplicação de um mapeamento geotécnico é vasta, pois busca definir áreas homogêneas quanto a pedogênese, determinando em geral comportamentos semelhantes dos solos, em vista de problemas relacionados à implantação de obras, como expansibilidade, estabilidade, contração, recalques, busca de materiais, etc. É uma importante ferramenta de planejamento, para definição do uso e ocupação do solo e ainda para subsidiar dimensionamentos básicos de pavimentos, dependendo dos ensaios programados (Sant'Ana, 2002).

O mapeamento geotécnico é usado como subsídio para a localização de jazidas de materiais utilizados na pavimentação, em metodologias apropriadas com a utilização da pedologia em solos tropicais visando obras rodoviárias. A divisão de regiões em unidades geotécnicas, além de facilitar e otimizar a realização de prospecções, é apropriada ao entendimento do comportamento dos solos, particularmente os tropicais que, por vezes, não são bem caracterizadas pelas metodologias clássicas da Mecânica dos Solos (Abitante, 1997).

Metodologias específicas de mapeamento geotécnico foram criadas visando o uso e ocupação do meio por obras de engenharia. Dentre estas, consultando em Higashi (2002), podem ser resumidas:

- Metodologia da Unesco (1976), considerando os seguintes princípios de classificação de solos e rochas para mapeamento geotécnico: tipo litológico; complexo litológico, suíte litológica e tipo geotécnico;
- Metodologia de Zuquete (1987), considerando as seguintes etapas: levantamento e análise de informações anteriormente produzidas; reconhecimento de atributos e identificação das unidades homogêneas. Utilizam-se vários tipos de mapas como geomorfológicos, geológicos, etc, além de outras informações como sondagens e fotos

aéreas. Com base neste material é construído um mapa preliminar de unidades homogêneas;

- Metodologia de Dias (1987), onde os mapas geológico e pedológico são utilizados para a definição de unidades geotécnicas com estimativas de comportamento geomecânico.

A formação dos solos está associada a processos de intemperismo físico e químico que são inerentes às regiões onde estes ocorrem o que promove aos solos características diferenciadas de outros materiais utilizados na construção civil sendo importante o conhecimento das condições ambientais onde ocorreu sua formação para o melhor entendimento de suas propriedades de engenharia. Os tipos diferentes de solos existentes estão associados a cinco principais fatores: clima, organismos, relevo, material de origem e idade da superfície do terreno (Lepsh, 2002).

A utilização de dados pedológicos otimiza o número de prospecções e ensaios de subleito à medida que se conhecem as áreas homogêneas de incidência de um determinado tipo de solo. O sistema de classificação ideal de solos é aquele que leva em consideração o material de origem do solo, a topografia local, além dos ensaios nas amostras. Assim, a geologia e a pedologia devem ser utilizadas em conjunto com os resultados de ensaios para produzir análises mais consistentes (Yoder e Witzak, 1975).

Marangon (2004) organizou as coletas de material para ensaios MCT e módulo de resiliência de sua tese de doutorado utilizando dados geoambientais de uma região do estado de Minas Gerais. A caracterização dos solos coletados deu-se pelos resultados dos ensaios mencionados e análises pedológicas, buscando extrair desta as aptidões do solo às obras de pavimentação de baixo-custo.

A associação de resultados de ensaios de caracterização com unidades geoambientais facilita o estudo de grandes áreas ou extensões para projetos básicos ou preliminares.

2. CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E PEDOLÓGICA

A ilha de Upaon-Açu, com área de 1453,1 km² escolhida como área piloto deste trabalho, localiza-se numa região geomorfológica de Golfão, onde a vegetação Pioneira e Manguezal são predominantes, a temperatura média fica entre 26 e 28 °C e as precipitações totais anuais médias em torno de 2000mm em duas estações bem definidas, janeiro a junho (chuvosa) e julho a dezembro (estiagem). (Bittencourt *et al.*, 1998) (GEPLAN, 2002).

Segundo Bittencourt *et al.* (1998), o estado onde se localiza a área piloto possui um dos mais baixos níveis de conhecimento geológico do país, refletido na sua participação no valor da produção mineral nordestina, equivalente a 1,8%. Os documentos geológicos mais significativos têm mais de 20 anos, em escala inadequada à engenharia de projetos, de 1:500.000 e na maioria das vezes provenientes de programas globais do Governo Federal.

Os estudos de Bittencourt *et al.* (1998) baseados em Bezerra et al (1990) mostram que no contexto da evolução geológica desta área destacam-se os episódios ocorridos no Cenozóico quando toda a região norte e parte da nordeste do Brasil apresentavam um tectonismo atenuado com movimentos epirogenéticos e fases de dissecação e aplanamento. Estão presentes nesta época os

processos de sedimentação continental fluvial e transicional na região costeira, em decorrência dos recuos e avanços do mar resultado das mudanças no globo terrestre. São registros desta época, o pacote de rochas que compõe a base da Formação Barreiras na área em estudo, representada por argilitos, siltitos, intercalados por placas e/ou finos níveis de folhelhos com cores púrpura, rosa e avermelhadas. Ainda ocorrem estratos de arenitos e siltitos alternados, mais comumente na parte superior deste pacote de rochas.

A Formação Barreiras ocupa a maior parte da ilha de Upaon-Açu e é considerada como todo conjunto de rochas bem estratificado, constituído essencialmente de arenitos, pelitos na parte inferior, com idade variando do Paleoceno ao Pleistoceno, inclusive as lateritas. Esta Formação mostra um grau de diagênese muito baixo e os processos de laterização intrínseco e muito específico, em especial nos níveis pelíticos ricos em ferro. As condições climáticas da região com altas temperaturas, estações secas e chuvosas bem definidas favoreceram os processos intempéricos promotores das lateritas Paleogênicas presentes na área.

Destacam-se ainda como unidades geológicas as Lamas de Manguezais ocupando áreas nas bordas dos rios ou do mar, os Aluviões e Coluviões fluviais, as Areias Marinhas Litorâneas, as Areias Eólicas e Dunas e numa pequena área a Formação Itapecuru.

Quanto à Pedologia, as unidades mais expressivas na área de estudo estão relacionadas na Tabela 1. A classe Podzólico Vermelho-Amarelo Concrecionário compreende solos com seqüência de horizontes *A-Bt-C*, com grande quantidade de calhaus e cascalhos de origem laterítica num horizonte ou ao longo de todo perfil. Está ainda associada às áreas de relevo forte ondulado (morros de 100 a 200m e declives de 20 a 45%) e vegetação de Floresta Tropical Subperenifólia Dicótilo-Palmácea (babaçual). O horizonte A apresenta percentuais de argila e areia com presença de cascalho desde 20 a mais que 50%. O horizonte B apresenta um teor de argila maior aliado a um percentual de cascalho de até 50% com estrutura em blocos subangulares.

Tabela 1: Unidades Pedológicas da Ilha de Upaon-Açu

| Unidade Pedológica | Símbolo | % |
|---|---------|-------|
| Podzólico Vermelho-Amarelo Concrecionário | PVcf | 12,89 |
| Podzólico Vermelho-Amarelo | PVA | 1,45 |
| Areia Quartzosa Distrófica Latossólica | AQL | 18,90 |
| Areia Quartzosa Marinha | AM | 1,14 |
| Areia Quartzosa Distrófica | AQ2 | 0,97 |
| Gleissolo | GL | 1,40 |
| Solos Indiscriminados de Mangue | SM | 11,52 |
| Área Urbanizada | AURB | 13,92 |
| Águas Territoriais e Internas | ATI | 37,72 |

A classe Areia Quartzosa Distrófica compreende solos arenosos essencialmente quartzosos. São profundos a muito profundos, com baixo teor de argila (< 15%) e excessivamente drenados. Estão presentes em áreas de relevo plano e suave ondulado e em áreas isoladas de relevo forte ondulado. A classe Areia Quartzosa Distrófica Latossólica apresenta solos arenosos quartzosos

com teor de argila maior que as Areias Quartzosas Distróficas o que indica as características intermediárias para latossolo. As Areias Quartzosas Marinhas não têm horizontes genéticos definidos, exceto o horizonte orgânico-mineral A.

Os Solos Indiscriminados de Mangue têm presença marcante na pedologia da ilha de Upaon-Açu, possuindo altos teores de compostos de enxofre. Os Gleissolos ocorrem nas planícies de inundação dos rios, são mal drenados, fortemente ácidos, pouco profundos e de textura argilosa. A classe Podzólico Vermelho-Amarelo compreende horizontes *A-Bt-C*, com transições normalmente graduais ou claras e com baixa atividade de argila. Verifica-se a presença de cascalho e pedregosidade em alguns perfis. Esta classe ocorre em relevo que varia de suave ondulado a forte ondulado, recoberto pela Floresta Tropical Subperenefólia Dicótilo-Palmácea.

3. METODOLOGIA EMPREGADA

O SIG adotado para o desenvolvimento deste trabalho foi o *SPRING 4.0*, desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), programa este utilizado pelo laboratório onde foram desenvolvidos os trabalhos computacionais. O *SPRING* (Sistema para Processamento de Informações Georeferenciadas) segundo o INPE (2003) é um banco de dados geográfico de 2ª geração para ambientes UNIX e Windows com as seguintes características:

- Opera como um banco de dados geográfico sem fronteiras e capaz de suportar grande volume de dados (sem limitações de escala, projeção e fuso), mantendo a identidade dos objetos geográficos ao longo de todo banco;
- Administra tanto dados vetoriais como dados matriciais (“raster”), e realiza a integração de dados de Sensoriamento Remoto num SIG;
- Apresenta um ambiente de trabalho amigável e poderoso, através da combinação de menus e janelas com uma linguagem espacial facilmente programável pelo usuário (LEGAL - Linguagem Espaço-Geográfica baseada em Álgebra);
- Consegue escalonabilidade completa, isto é, ser capaz de operar com toda sua funcionalidade em ambientes que variem desde micro-computadores a estações de trabalho RISC de alto desempenho.

A idéia de desenvolver um mapeamento geotécnico inicia-se na escolha de uma base, que consistiu numa imagem do satélite LANDSAT5 TM, do ano de 2000, mais precisamente, o mosaico das imagens 220-62 e 221-62, disposto na escala 1:100.000. O georreferenciamento desta base foi realizado com auxílio de GPS de navegação, tomando-se vários pontos distribuídos pela área de abrangência do mosaico de imagens de interesse. Através do programa utilizado, os pontos foram localizados, e assim, definido o posicionamento da imagem.

A partir da metodologia de obtenção do mapeamento geotécnico através do cruzamento dos mapas geológico e pedológico, conforme apresentado no item 2, foram escolhidos os trabalhos que serviriam de base para elaboração dos referidos mapas. O trabalho mais recente e de consistência realizado foi o diagnóstico ambiental das áreas de interesse (Geologia e Pedologia), dentro do Programa Estadual de Gerenciamento Costeiro, 1998. A possibilidade de trocar informações com os profissionais envolvidos diretamente na elaboração do trabalho também influenciou a escolha do mesmo.

A composição dos mapas geológico e pedológico foi realizada vetorizando cada contorno das unidades dos referidos mapas sobre mosaico de imagens adotado como base. Assim, foi possível realizar pequenas correções de contorno segundo interpretação deste autor respaldada pelos especialistas nas disciplinas enfocadas (Geologia e Pedologia). Após relativo trabalho de vetorização foram produzidos os dois mapas que serviram de base para produzir o mapa geotécnico (Figura 1 e 2).

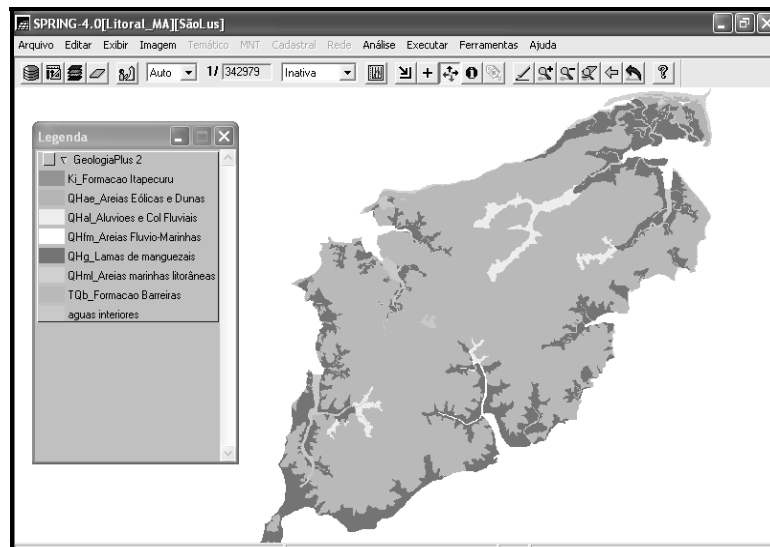


Figura 1: Mapa Geológico sobre mosaico de imagens baseado em Bittencourt *et al.* 1998

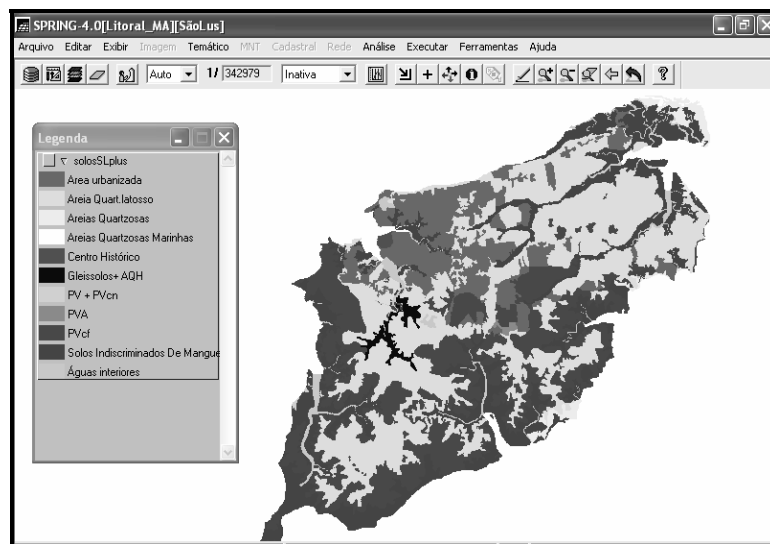


Figura 2: Mapa Pedológico sobre mosaico de imagens baseado em Bittencourt *et al.* 1998

Utilizando ferramenta do próprio *SPRING* efetuou-se o cruzamento dos mapas geológico e pedológico resultando um mapa cadastral, isto é, relacionando cada polígono definido com dados como nomenclatura, definida pelo operador, área, perímetro e unidades que o geraram, etc.

Observa-se que a obtenção do mapa geotécnico seguiu a metodologia de Dias (1987), que desenvolveu um procedimento para grandes áreas de solos tropicais. Assim, estimam-se, de uma forma abrangente, as unidades geotécnicas visando prever o comportamento do solo relacionado com sua gênese, entendendo-se como tal a pedogênese e a Geologia, o que na prática traduz-se como o cruzamento dos mapas pedológico e geológico.

Algumas adaptações foram inseridas para este trabalho. Por exemplo, a referência da Geologia utilizada por outros autores é a litologia (Higashi (2002), Dias (1987)), porém, devido à predominância de uma formação geológica na área escolhida e da falta de um mapa litológico, adotou-se a nomenclatura destas formações para compor o mapa geotécnico.

4. O MAPA GEOTÉCNICO, AS COLETAS DE MATERIAIS E SUA CARACTERIZAÇÃO

Na geração do mapa geotécnico, os novos polígonos estão associados às unidades de origem, ou seja, a unidade de pedologia e a de geologia que os geraram, porém cabe ao operador atribuir a cor da nova unidade e designar sua nomenclatura (Figura 3). Não houve preocupação, nesta fase, em atribuir cores seguindo algum critério específico.

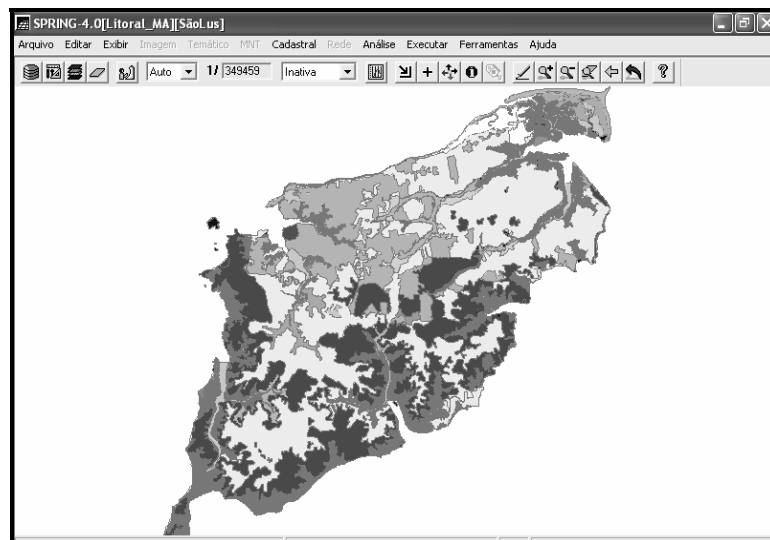


Figura 3: Mapa Geotécnico resultante do cruzamento de Pedologia x Geologia

A nomeação das unidades geotécnicas oriundas do mapa elaborado baseou-se nas classificações geológica e pedológica que o formaram. As três primeiras letras da nomenclatura, em letras maiúsculas, representam a parte superficial da camada geotécnica, onde a natureza pedológica é predominante, ou seja, as propriedades pedológicas prevalecem e caracterizam o solo. As três últimas letras, minúsculas, caracterizam os horizontes inferiores, onde as propriedades geológicas são características (Figura 4). Observa-se que em alguns solos de origem mais recente (período Quaternário, por exemplo), os horizontes B não são desenvolvidos, atendo-se a análise pedológica aos horizontes A e C. A quantidade de letras, tanto maiúsculas quanto minúsculas da

nomenclatura, é de “no máximo” três. Quando houver a presença de dois ou mais substratos, eles deverão vir separados por vírgulas e o número máximo de três letras é aplicado a cada substrato.

HORIZONTES PEDOLÓGICOS

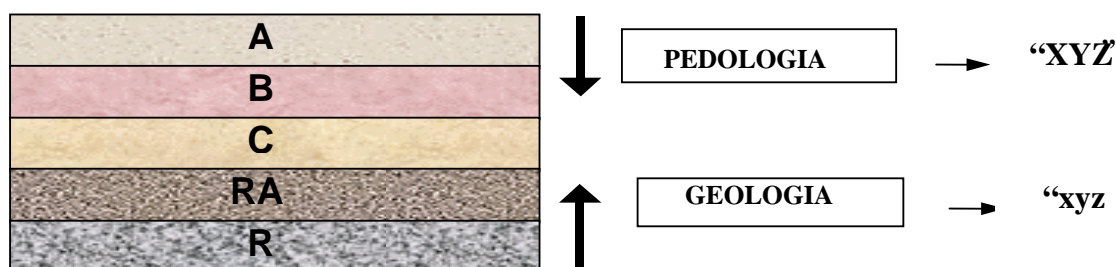


Figura 4: Nomenclatura das unidades geotécnicas

Assim, numa determinada unidade geotécnica definida como “**PVCtqb**”, pode-se entender como os horizontes *A* e *B* estão representados pelas três letras maiúsculas “PVC” e as letras minúsculas “tqb” representam os horizontes *C*, *RA* e *R*. Portanto, a unidade geotécnica exemplificada pode ser lida como Podzólico Vermelho Concrecionário substrato da Formação Barreiras. A Tabela 2 traz as principais unidades geotécnicas estabelecidas no trabalho.

Tabela 2: Principais Unidades Geotécnicas Resultantes

| Unidade Geológica | Unidade Pedológica | Unid Geotéc. | Cor |
|-------------------------------|-------------------------------------|--------------|----------|
| Formação Barreiras | Areia Quartzosa Marinha | AQMtqb | Yellow 2 |
| | Areia Quartzosa Latossólica | AQLtqb | Yellow 1 |
| | Podzólico Vermelho-Amarelo Concr. | PVCtqb | Red 6 |
| | Areia Quartzosa | Aqtqb | Yellow 2 |
| | Podzólico Vermelho-Amarelo | PVAtqb | Orange 1 |
| | Solos Indiscriminados de Mangue | SIMtqb | Pastel 1 |
| | Gleissolos + Areias Quartzosas | GLAtqb | Blue 1 |
| | Hidromórficas | | |
| Lamas de Manguezais | Podzólico Vermelho | PVtqb | Red 3 |
| | Gleissolos + Areias Quartz. Hidrom. | GLAqhg | Blue2 |
| | Solos Indiscriminados de Mangue | SIMqhg | Green 3 |
| Aluviões e Coluviões Fluviais | Areia Quartzosa Latossólica | AQLqhg | Green 2 |
| | Solos Indiscriminados de Mangue | SIMqha | Green 1 |
| Areias Eólicas e Dunas | Areia Quartzosa Latossólica | AQLqha | Yellow 4 |
| | Areias Quartzosas | AQqhe | Yellow 5 |
| Areias Marinhas Litorâneas | Solos Indiscriminados de Mangue | SIMqhe | Pastel 2 |
| | Areia Quartzosa Latossólica | AQLqhm | Cáqui |
| | Areias Quartzosas | AQqhm | Beige |
| | Areias Quartzosas Marinhas | AQMqhm | Beige |
| Areias Fluvio-Marinhas | Solos Indiscriminados de Mangue | SIMqhm | Yellow 3 |
| | Podzólico Vermelho-Amarelo Concr. | PVCqhf | Red 5 |

Com o mapa geotécnico pronto pode ser iniciada a fase de coleta de amostras das diversas unidades geradas, para realização de ensaios que a caracterizem conforme os serviços de engenharia que sejam pretendidos. Evidentemente, com o banco de dados criado mais resultados poderão ser acrescentados para melhor representação da unidade, não esquecendo a importância do georreferenciamento das coletas futuras.

Para melhor orientar as coletas e programar os percursos, verificou-se a necessidade da existência de uma referência viária sobre o mapa geotécnico. A partir do mosaico de imagens criou-se um plano de informação com o traçado das vias urbanas e rurais, porém as vias de menor largura, as rurais de interesse deste trabalho, não eram perceptíveis em grande parte da área, impedindo a geração de um plano de informações completo de vias rurais. Observa-se que um trabalho de georreferenciamento das vias rurais de maior interesse ao trabalho poderia ocorrer em paralelo à elaboração do mapa geotécnico, de modo que, ao estar concluído, facilmente seria acrescentado um plano de informações que, com certeza facilitaria a programação dos serviços de coleta. Este serviço poderia ser realizado com uma mesa digitalizadora e um mapa rodoviário municipal elaborado a partir de georreferenciamentos, ou coletando diversos pontos a diretriz das vias rurais diretamente com GPS.

Assim, estabeleceu-se uma programação de coletas de material sem contar as vias rurais lançadas no mapa geotécnico. Escolhia-se uma determinada região da área de interesse e para lá se deslocava a equipe munida de GPS, *notebook*, ferramentas manuais, etc. A confirmação do ponto desejado para coleta era realizada através da obtenção das coordenadas GPS, que eram lançadas no *SPRING* diretamente sobre o mapa geotécnico. Através da orientação do mapa geotécnico foi possível programar as coletas para que fossem tomadas amostras das várias unidades geotécnicas determinadas em diversas regiões da área escolhida.

A coleta da amostra foi procedida buscando-se eliminar a camada vegetal de solo, o que, pedologicamente, pode ser entendido como horizontes *O* e *A*. A camada de expurgo variou de 0,10m a 0,60m e a amostra coletada restringiu-se ao horizonte *B* (0,20m a 1,50m) dos vários poços prospectados, exceção aos solos com horizonte *B*, inexistente ou pouco desenvolvido, onde a amostra foi tomada do horizonte *C*. Caso todas as vias de acesso já estivessem lançadas à época do planejamento da coleta, sobre as unidades geotécnicas de interesse, o *notebook* não seria necessário em campo, apenas o GPS. No caso deste trabalho, tal equipamento foi utilizado não apenas para marcação do ponto de coleta, mas para auxiliar o traçado da via de acesso ao mesmo, para que registrada no SIG, auxilie novos trabalhos.

Ao efetuar as coletas observou-se que alguns pontos não refletiam exatamente o que se apresentava no mapa geotécnico, ou seja, numa unidade *PVCtqb*, o material encontrado e coletado era característico de uma unidade *AQLtqb*. Isto pode ser fruto da imprecisão do mapa pedológico utilizado, pois o mesmo se baseia em perfis pedológicos obtidos de trincheiras, que tem distância razoável entre si, e na interpretação de imagens de satélite. Ainda pode ser entendido como uma transição entre unidades.

Os pontos de coleta, bem como as vias rurais já obtidas através dos pontos GPS foram sobrepostos ao mapa geotécnico para visualização da distribuição dos mesmos ao longo da área

de trabalho (Figura 6). A utilização do mapa geotécnico nesta fase de coleta de amostras propiciou o melhor planejamento das mesmas de modo que não houvesse repetição desnecessária de coleta em unidades geotécnicas já prospectadas. Outro benefício é para comparar os materiais de mesmas unidades geotécnicas em regiões distantes dentro da área escolhida.



Figura 6: Mapa geotécnico com os pontos de coleta e vias urbanas

As coletas realizadas nos locais apontados na Figura 6 resultaram 20 amostras de solo que foram ensaiadas para caracterização de sua classe MCT. Optou-se pelos métodos expeditos (Nogami e Villibor, 1994; Godoy e Bernucci, 2002) e convencional (Nogami e Villibor, 1995) (Tabela 3).

Adotando os resultados dos ensaios MCT - convencional, as relações com as classes geotécnicas foram:

- Classe AQLtqb: 100% dos resultados apontam para comportamento “não laterítico”;
- Classe AQqhm: 100% dos resultados apontam para comportamento “não laterítico”;
- Classe GLAtqb: 100% dos resultados apontam para comportamento “não laterítico”;
- Classe PVAtqb: 100% dos resultados apontam para comportamento “laterítico”;
- Classe PVCtqb: 70% dos resultados apontam para comportamento “não laterítico” e 30% para “laterítico”.

Os métodos MCT – pastilhas adotados para caracterização do solo, complementarmente ao método convencional tiveram objetivo de evidenciar eventuais divergências nos resultados considerando os tipos solos analisados e as particularidades de cada método.

Analizando apenas os dois métodos de pastilhas, 20% dos resultados apresentaram divergências quanto ao comportamento laterítico e não-laterítico. Já dentro da mesma classe de comportamento, apenas 10% apresentaram diferenças entre subclasses.

Na comparação com o método MCT - convencional, o método de pastilhas Nogami-Villibor apresentou 30% de divergências de resultados no que se refere às grandes classes e o método de

pastilhas Godoy-Bernucci 50%. Dentro da mesma classe de comportamento as divergências entre resultados de subclasses foram de 50% para os dois métodos.

Tabela 3: Caracterização MCT das amostras coletadas

| Amostra | Unid. Geot. | Pastilha Nogami-Villibor | Pastilha Godoy-Bernucci | Convencional Nogami-Villibor |
|---------|-------------|--------------------------|-------------------------|------------------------------|
| 90 | AQLtqb | NA | Não-Lat. Areia | NS' |
| 92 | PVCtqb | LA'-LG' | Lat. Aren./Arg. | LG' |
| 92-F | PVCtqb | LA'-LG' | Lat. Argiloso | LG' |
| 160 | PVAtqb | LA-LA' | Lat. Típico | LA' |
| 220 | AQqhm | NA | Lat. Areia | NA - NA' |
| 277 | PVCtqb | LA | Lat. Areia | NA' |
| 278 | AQLtqb | NA | Não-Lat. Areia | NA' |
| 324 | AQLtqb | LA | Lat. Areia | NA' |
| 326 | GLAtqb | NA | Lat. Areia | NA' |
| 335 | PVCtqb | NA | Não-Lat. Areia | NA - NA' |
| 367-J1 | PVCtqb | LA-LA' | Lat. Arenoso | NA' |
| DECO | AQLtqb | LA-LA' | Lat. Arenoso | NA' - NS' |
| 424 | PVCtqb | NA | Lat. Areia | NA' |
| 428 | GLAtqb | NA | Lat. Areia | NA - NA' |
| 448 S/A | PVCtqb | NA- NS' | Não-Lat. Areia | LA |
| 448 BA | PVCtqb | NA- NS' | Não-Lat. Areia | NA' |
| 448 AR | PVCtqb | NS'- NA' | Não-Lat. Areia | NA |
| 449 | PVCtqb | NA | Não-Lat. Areia | NA' |
| TAL | AQLtqb | NS'- NA' | Não-Lat. Areia | NA' |
| J2-GER | AQLtqb | LA' | Lat. Arenoso | NA' |

5. CONCLUSÕES

As principais conclusões do trabalho foram:

- A avaliação de solos sob a ótica da pedologia e da geologia traz grandes contribuições para um melhor entendimento do comportamento dos solos regionais e constitui-se em ferramenta importante na interpretação de suas propriedades de engenharia;
- O mapa geotécnico é de grande auxílio na elaboração de projetos de engenharia rodoviária sejam eles básicos ou executivos. A avaliação dos tipos de solo de subleito ou dos materiais de pavimentação pode ser realizada consultando-se tais mapas, sendo estes mais produtivos quanto maior a extensão do projeto ou maior a diversidade de unidades geotécnicas;
- Conforme os resultados dos ensaios de caracterização MCT, sua correspondência com as unidades geotécnicas não é plena, podendo ser maximizada conforme o incremento de outras variáveis para cruzamento como a geomorfologia, a topografia, a pluviometria, e vegetação, por exemplo;
- A correspondência entre as propriedades de engenharia e as unidades geotécnicas, com resultados de vários ensaios, além da caracterização MCT usada neste trabalho, proporciona a utilização de um mapa geotécnico em todo seu potencial, como um SIG, aliando um banco de dados a um polígono de um mapa georreferenciado;

- A classificação dos solos estudados pela MCT - convencional e pela MCT - pastilhas apresentou divergências na consideração do comportamento do solo (laterítico ou não). Isto é relevante e foi considerado pelos autores como sendo característico dos tipos de solos analisados, essencialmente arenosos e pela falta de repetição dos ensaios para resultados divergentes. Tais solos encontram-se em estudo mais amplo pelos autores de modo que se evidenciem parâmetros para a melhor consideração quanto ao seu comportamento;
- A utilização de GPS, *notebook* e programas SIG tornam-se cada vez mais utilizados seja nos trabalhos de campo e na sistematização de bancos de dados, para interpretação ou conhecimento de grandes áreas.

Agradecimentos

À CAPES pela bolsa de doutorado do primeiro autor e ao CNPq através do projeto cooperativo CT-Transpo – Pavimenta pela aquisição de vários equipamentos que tornaram possível este trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abitante, E. (1997) *Proposta Metodológica de Mapeamento Geotécnico com uso de Pedologia em Solos Tropicais visando Obras Rodoviárias*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Bittencourt, J.B.; D.L. Silva e R. Carvalho F^o (1998) *Programa de Gerenciamento Costeiro do estado do Maranhão* (GERCO) – Geologia e Pedologia. Secretaria Estadual de Meio-Ambiente, Governo do Estado do Maranhão.
- GEPLAN (2002) *Atlas do Maranhão*. Gerência de Planejamento e Desenvolvimento Econômico, Laboratório de Geoprocessamento – UEMA, São Luís, MA.
- Godoy, H. e Bernucci, L.L.B. *O método das pastilhas na compreensão das propriedades geotécnicas básicas dos solos: um recurso didático*. In: Congresso de Pesquisa em Transportes. RJ: ANPET, 2002. v.1 p. 145-156.
- Higashi, R.R. (2002) *Utilização de um SIG no Desenvolvimento de um Banco de Dados Geotécnicos do Norte do Estado do Rio Grande do Sul*. Florianópolis. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- INPE (2003) *Menu de Ajuda do Programa SPRING 4.0*, Ministério da Ciência e Tecnologia.
- Lepsh, I. F. (2002) *Formação e Conservação do Solo*. 1^a reimpressão 2005. Oficina de Textos, São Paulo, SP.
- Marangon, M. (2004). *Proposição de estruturas típicas de pavimento para região de Minas Gerais utilizando solos lateríticos locais baseado em pedologia, metodologia MCT e resiliência*. Tese de Doutorado apresentada à COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.
- Nogami, J.S. e D.F. Villibor (1994). Identificação Expedita dos Grupos de Classificação MCT para Solos Tropicais. X Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações. ABMS, Foz do Iguaçu, p.1293-1300.
- Nogami, J. S. e D.F. Villibor (1995) *Pavimentação de Baixo Custo com Solos Lateríticos*. 1^a ed. Ed. Villibor, SP.
- Sant’Ana, W.C. (2002) *Estudo de Misturas de Areia-Asfalto a Quente para o estado do Marnhão*. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SP.
- Santos, G. T. (2001) *Importância dos Levant. Geológicos, Pedológicos e Geomorfológicos nos Estudos Geotécnicos para Implantação de Rodovias*. *Anais da 33^a Reunião Anual de Pav.*, RAPv, Florianópolis,. p. 726 - 738.
- Yoder, E. J. e M.W. Witzak (1975) *Principles of Pavement Design*. 2nd ed. Editora John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.
- Zuquette, L.V. e N. Gandolfi (2004) *Cartografia Geotécnica*. Oficina de Textos, São Paulo.

Walter Canales Sant’Ana (walter.canales@poli.usp.br)

Jucivan Ribeiro Lopes (jucivan@labgeo.uema.br)

Liedi L. B. Bernucci (liedi@usp.br)

Departamento de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Av. Prof. Almeida Prado – Travessa 2, n^o 83 – Cidade Universitária – São Paulo, SP, Brasil

CEP 05508-000