

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

# **GEOCIÊNCIAS**

ISSN 0101-9082  
GESPDU

Geociências	São Paulo	v.16	n.1	p.1-309	jan./jun. 1997
-------------	-----------	------	-----	---------	----------------

# ELABORAÇÃO DO MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS NA ESCALA 1:100.000: SISTEMÁTICA PROPOSTA E APLICADA NO DISTRITO FEDERAL

René Levy AGUIAR\*  
Nilson GANDOLFI\*\*

- **RESUMO:** Nos diferentes métodos de mapeamento geotécnico adotados em inúmeros trabalhos no Brasil, tem papel destacado, pela importância e elevado grau de dificuldade, a definição das unidades de materiais inconsolidados. O estudo realizado no Distrito Federal apresenta seqüência operacional compatível com as exigências das escalas regionais, seguindo uma sistemática baseada principalmente nas propostas metodológicas adotadas no âmbito da Escola de Engenharia de São Carlos – EESC/USP. Este trabalho é a síntese de tais procedimentos e inclui alguns dados ilustrativos de sua aplicação.
- **PALAVRAS-CHAVE:** Mapa de materiais inconsolidados; mapeamento geotécnico; zoneamento geotécnico geral; Distrito Federal.

## Introdução

Os princípios básicos dos métodos de mapeamento geotécnico, mais usualmente adotadas no Brasil, estão fundamentados na idéia de se obter um quadro geral dos condicionantes geotécnicos. O merecido destaque das unidades de materiais inconsolidados, de modo geral, apresenta poucas controvérsias, observadas as condições e relevância em países de clima tropical (espessuras, processos endógenos e exógenos, variabilidades laterais e em profundidade, entre outros).

Apesar dessa premissa, e em virtude do acúmulo de conhecimentos sobre o assunto, proporcionais no nível da escala 1:100.000 ou menor, os executores e usu-

\* Departamento de Engenharia Civil – Universidade Técnica do Amazonas – 69050-020 – Manaus – AM.

\*\* Departamento de Geologia Aplicada – Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP – 13506-900 – Rio Claro – SP. Departamento de Geotecnia – Escola de Engenharia de São Carlos – USP – 13560-250 – São Carlos – SP.

ários do mapeamento geotécnico ainda se ressentem da falta de informações pragmáticas para elaboração do mapa de materiais inconsolidados.

Com esse enfoque, procura-se instrumento que possa, ao mesmo tempo, aumentar os conhecimentos científicos sobre obtenção de características geotécnicas desses materiais e, sobretudo, proporcionar, a um número crescente de usuários, mapas e documentos descritivos, informes úteis e para finalidades diversificadas, cada vez mais confiáveis.

O atual quadro de desenvolvimento do país passou a contemplar soluções integradas, até mesmo para resolver pequenos problemas localizados.

Outra premissa sobre a qual se apoia a realização de trabalhos dessa natureza e escala é a preocupação com o tempo. A solicitação de trabalho técnico de qualidade e as exigências dos cronogramas normalmente apertados somente podem ser resolvidos por metodologia eficaz, para que a velocidade da produção não ultrapasse o limite do bom nível.

## **Etapas do trabalho**

Observados os princípios gerais, a seqüência operacional deve consistir no tratamento homogêneo das informações, de vez que se verifica a necessidade do mapa de materiais inconsolidados na complementação de outros produtos cartográficos não restritos à geotecnica.

Este ensaio de sistemática, na realidade, decorre de uma série de adaptações das metodologias de mapeamento geotécnico que vêm sendo empregadas e aprimoradas no país, desde a década de 1970, e leva em conta, principalmente, o fato de ser um levantamento regional (escala 1:100.000), condicionado aos fatores tempo e custos operacionais, como no caso das pesquisas empreendidas para o Zoneamento Geotécnico Geral do Distrito Federal.<sup>2</sup>

A delimitação de áreas geográficas relativamente homogêneas sob o ponto de vista de suas características e comportamento geotécnico é, em síntese, o objetivo desse mapa. Desse modo, sucedem-se as seguintes etapas: levantamento das informações disponíveis, interpretação preliminar, trabalhos de campo, reinterpretação e integração dos dados.

### **Levantamento das informações básicas**

A carência de informações consubstanciadas para a confecção do mapa de materiais inconsolidados, considerados os enfoques verificados nos mapas geológicos e pedológicos convencionais, quando existentes, faz que essa etapa seja, sem exagero, condicionante de todas as demais, pois o custo e o cronograma que viabilizam a execução do trabalho estão relacionados intrinsecamente com tal etapa.

Incluem-se, nessa fase, desde a definição do objetivo final do trabalho até a preparação da base cartográfica preliminar, passando, obrigatoriamente, pelo levantamento do material bibliográfico, por toda a cartografia de apoio, produtos de sensores remotos, resultados de análises geotécnicas, bem como equipamentos/materiais indispensáveis e os disponíveis.

É comum iniciar-se o processo de investigação do meio físico sem levar em conta os objetivos finais do trabalho, o que, com freqüência, leva ao comprometimento da qualidade do trabalho executado; incluem-se, como resultados finais, as utilizações diretas e/ou indiretas que poderão advir do mapa de materiais inconsolidados.

A partir da bibliografia são selecionadas várias hipóteses de trabalho nos planos interpretativo e operativo, bem como informações diversificadas que podem interessar em qualquer fase do cronograma preestabelecido; aspectos metodológicos e relativos à área a ser mapeada são dados essenciais.

Apesar da razoável facilidade de se obter base cartográfica em escala compatível em nível de exigência de trabalhos regionais, muitas vezes alguns princípios básicos de cartografia não são observados, sobretudo no que diz respeito às projeções e origens de coordenadas, provocando erros grosseiros na confecção da base cartográfica, o que implica dificuldades para interpretações de produtos de sensores remotos e na má qualidade do mapa final. O cuidado deve ser redobrado quando se trata da utilização das bases digitais, atualmente bastante disseminadas, que algumas vezes já incorporam esses erros.

Os documentos cartográficos básicos recomendáveis são os produzidos mais recentemente por órgãos com tradição em levantamentos sistemáticos para elaboração de mapas plani-altimétricos de cunho regional; mapas produzidos por instituições locais não especializadas devem ser usados com cuidado redobrado.

Tais observações devem extrapolar ao campo da base topográfica e alcançar a cartografia temática, em que os mapas geológicos, hidrogeológicos, geomorfológicos, pedológicos e mapas geotécnicos se enquadram; apesar da riqueza de detalhes, a falta de critérios cartográficos está normalmente presente; alguns sequer apresentam o tipo de projeção utilizada, quanto mais o meridiano central (agravadas na divisa dos gomos das projeções).

Os produtos de sensores remotos são variados e é improdutivo comparar os dados fornecidos por eles, pois cada um foi feito para fins específicos; assinaladas suas qualidades e limitações, verifica-se que as vantagens podem ser ampliadas com a utilização de outros produtos. Destacam-se, nesse contexto, as fotografias aéreas, imagens de radar e de satélite, bem como os mosaicos derivados; a possibilidade da obtenção de todos esses produtos é de grande importância e não deve ser descartada.

Assim como para a base cartográfica, a escala representa fator limitante para o desenvolvimento do trabalho, também no que diz respeito aos produtos de sensores; é aconselhável que a escala deles seja o dobro da escala do mapeamento, ou, pelo menos, próxima a essa referência.

É freqüente a inversão de valores e fases na elaboração de mapas geotécnicos dos materiais inconsolidados, sobretudo no que diz respeito à obtenção dos resultados laboratoriais e de sondagens rasas e profundas; na maioria das vezes, não se procede à compatibilização do levantamento das investigações geotécnicas existentes com a fase que antecede a definição das unidades geotécnicas preliminares, deixando-se para cumprir tal tarefa, de forma inaceitável, posteriormente à etapa de campo. A inclusão de novos resultados geotécnicos de superfície adquiridos de outras fontes é indiscutivelmente aceitável, desde que em pequena quantidade (menos de 10% do total obtido inicialmente) quando antigos; todos os de subsuperfície e/ou produzidos simultaneamente ou após a operação de campo devem ser incluídos.

Os locais onde mais facilmente se encontram informações de interesse são os órgãos/empresas de obras civis e de abastecimento de energia elétrica e água, principalmente as públicas municipais, estaduais e federais, tais como departamentos de estradas; companhias de distribuição de energia elétrica, de abastecimento de água e de saneamento básico; empresas particulares de sondagens de simples reconhecimento, prospecção de água subterrânea, mineração e construção civil; instituições públicas de planejamento, ciência e tecnologia, meio ambiente, pesquisa tecnológica afim, agricultura e ensino superior.

Cuidado quanto a precisão e localização geográfica das informações apresenta aspecto relevante e restritivo à sua utilização pois, em vez de favorecer o processo de definição das unidades de materiais inconsolidados, podem diminuir sobremaneira a qualidade do trabalho. A quantidade de informações deve sempre estar condicionada à sua adequabilidade.

A verificação/definição dos materiais e equipamentos necessários à realização do trabalho é quase sempre esquecida ou dissociada dos objetivos. Esse enfoque, igualmente importante no processo, serve para avaliar muito bem todas as questões operacionais, desde a fase inicial até a etapa final da pesquisa, para que não se incorra em dificuldades intransponíveis. Atualmente, o uso de técnicas computacionais é indispensável na tabulação e análise dos atributos, sobretudo pela quantidade de dados a serem tratados, bem como na confecção do mapa final. Cabe salientar, nesse contexto, que a mudança e/ou combinação de equipamentos e, principalmente, de sistemas (*software*) podem acarretar prejuízos por vezes irrecuperáveis.

Seguindo-se a sistemática apresentada, para o mapa de materiais inconsolidados decorrente do Zoneamento Geotécnico Geral do Distrito Federal, que abrangeu área de 5.814 km<sup>2</sup> (excluídas as áreas urbanizadas), foram utilizados os produtos e equipamentos relacionados no Quadro 1, na etapa inicial do trabalho.

## **Interpretação preliminar**

A segunda etapa do trabalho restringe-se à definição dos atributos a serem considerados, preparação da base cartográfica (com a inclusão dos pontos de obser-

vações quantitativas), fotointerpretação, elaboração do mapa de fotounidades de materiais inconsolidados e, finalmente, estratégia/planejamento da(s) fase(s) de campo.

Quadro 1 – Informações sintéticas sobre os produtos e equipamentos utilizados na etapa inicial da realização do Zoneamento Geotécnico do Distrito Federal.

Produto	Fonte	Formato	Ano	Escala	Obs.
Mapa topográfico	DSG/ME	Analógico	1991	1:50.000 e 1:100.000	
	CODEPLAM	Digital	1993	1:100.000	Elaborado a partir dos mapas 1:10.000.
Mosaico de fotografias aéreas	AEROSUL	Analógico	1991	1:40.000	
Imagen de satélite	INPE	Analógico e Digital	1994	1:50.000 e 1:100.000	
Fotografia aérea	AEROSUL	Analógico	1991	1:30.000	
Mapa geológico	IG-UnB/DNPM	Analógico	1995	1:100.000	
Mapa de materiais inconsolidados	FT-UnB	Analógico	1992	1:50.000	Porção restrita do Distrito Federal.
	FT-UnB	Analógico	1994	1:50.000	
Mapa pedológico	EMBRAPA	Analógico	1978	1:100.000	

Produto	Fonte	Tipo	Ano	Número	Obs.
Resultados de ensaios	DER-DF	Tradagens de sub-leito, das cascalheiras e áreas de empréstimos	1964 a 1995	350	Caracterização e classificação geotécnica.
	EMBRAPA	Perfis	1978	66	Caracterização pedológica
	FT-UnB	Mapeamento geotécnico	1992 e 1994	54 21	Caracterização e classificação geotécnica.
Sondagens de simples reconhecimento	DER-DF; Sonda; Embre; Infrasolo	SPT	1968 a 1995	89	Caracterização geotécnica.
Poços rasos e profundos	CAESB; Sonda; Colorado	Sonda à percussão e rotativa; Manuais	1965 a 1995	439	Espessura e caracterização dos materiais; NA.
Equipamentos computacionais	UnB e EESC/USP	Estação de trabalho e PC's, traçador gráfico, scanner e impressora			
		Access.; Q&A			Banco de dados.
Sistemas/Programas	UnB e EESC/USP	Sgi, Sitim, Idrisi			SIG's e Tratamento de imagens.
		Autocad R-13			Digitalização de mapas.

Excel

Planilha.

A compatibilização dos atributos ao objetivo do trabalho deve reger os passos seguintes do trabalho, verificando-se nessa oportunidade aqueles que efetivamente participarão do mapa de materiais inconsolidados, de forma a não comprometer o cronograma do trabalho e nem aumentar a complexidade da análise para a determinação das unidades finais.

Podem-se tomar como base, para esse estabelecimento, os atributos relativos aos materiais inconsolidados preconizados por Zuquette.<sup>13, 14</sup>

Com base nos documentos cartográficos disponíveis e considerados confiáveis, confecciona-se a base cartográfica com a maior riqueza de detalhes referentes ao meio físico, bem como com a localização precisa das informações obtidas em trabalhos anteriores, usando simbologia suficientemente apropriada para identificá-lo segura e rapidamente (combinação de formas e cores diferenciadas). Salienta-se que é quase imprescindível, atualmente, o formato digital para as bases elaboradas.

A compartimentação das unidades geotécnicas preliminares depende essencialmente de três fatores: o primeiro deles é a qualidade dos produtos utilizados; o outro é a tecnologia disponível; e, por fim, a experiência do fotointérprete com os padrões das fotos e/ou imagens. Além disso, é importante considerar o nível de detalhamento pretendido, que leva a uma delimitação correta dos componentes dentro das unidades maiores.

A fotointerpretação tem início com a seleção de áreas cujas nuances possam sugerir alguma diferença no comportamento das unidades. Assim, procede-se ao delineamento, levando-se em conta características semelhantes em formas de relevo (*landforms*), vegetação, padrões de drenagem, textura e variações cromáticas das fotos e imagens. A sistemática apresentada por Lollo<sup>8</sup> parece fornecer bons resultados quando da utilização exclusiva de aerofotos.

Com a possibilidade do uso de imagens no formato digital, as técnicas de fotointerpretação vêm ficando cada vez mais facilitadas, porém os processos automáticos ainda não são plenamente confiáveis. As imagens hiperespectrais, associadas a bibliotecas de assinaturas espectrais dos materiais, minimizarão sobremaneira tais limitações.

A confecção do mapa de unidades geotécnicas preliminar deve retratar o conjunto de informações decorrentes da fotointerpretação associada aos dados até então coletados. Cada unidade de terreno individualizada recebe legenda, que poderá ser mantida ou não por ocasião da checagem de campo, resultando na primeira noção do conjunto e que irá permitir melhor definição dos locais a serem visitados para observações qualitativas, quantitativas e amostragens.

O planejamento dos trabalhos de campo pode ser subdividido em três enfoques básicos: (a) roteiro seqüencial para o levantamento, incluindo a quantidade de etapas e números de pontos a serem realizados, com a respectiva definição de locais para retirada de amostras; havendo possibilidade de realização de mais de uma etapa de campo (o que é recomendável), deve-se proceder à determinação dos locais de amostragem, vislumbrando compatibilizar unidades de terreno fotointerpretadas

com os conceitos de perfis de alteração para solos tropicais propostos por Dearman,<sup>6</sup> Pastore<sup>11</sup> e outros; (b) elaboração de fichas para descrição dos pontos a serem observados e registro das amostras coletadas, especialmente elaboradas para a finalidade e características da área a ser mapeada; (c) concepção de uma base de dados computacionais proporcional ao volume de dados a serem armazenados e tratados/analizados.

A Figura 1 exibe a ficha de campo elaborada para o mapeamento geotécnico do Distrito Federal.

## Trabalho de campo

Após a conclusão da interpretação preliminar, são iniciados os trabalhos de campo que seguem os percursos escolhidos na fase anterior. Essas operações destinam-se primordialmente a sanar dúvidas da fotointerpretação e, sobretudo, caracterizar os materiais pela descrição das unidades de terreno, amostrar os diferentes tipos de materiais inconsolidados que ocorrem nos perfis, registrar suas feições particulares em fotografias, reunindo mais elementos para averiguar as hipóteses de trabalho levantadas anteriormente.

Nos trabalhos de campo, é obtido um número muito grande de informações, seja para o mapeamento, seja para a preparação do texto explicativo. É importante que a organização dessa etapa seja feita de modo a observar, em visão geral, todas as unidades de terreno.

Caso haja condições para a realização de mais de uma etapa de campo, prioriza-se a seguinte ordem: descrição dos perfis, retirada de amostras deformadas e, em caso de extrema necessidade, sondagens (com amostragem ou não) e coleta de amostras indeformadas, que freqüentemente aumentam os custos e o tempo dos trabalhos de mapeamento. Verificada a possibilidade de mais de uma etapa de campo e com base nos dados produzidos nas observações qualitativas e quantitativas, pode-se elaborar um zoneamento fotogeotécnico com intuito específico de definir, com maior propriedade, os locais e números de amostras necessárias.

Recursos tecnológicos avançados para a realização desses caminhamentos, como GPS (*Global Positioning System*), geofísica rasa, espectofotômetro de campo, dentre outros, devem ser somados àqueles já tradicionais para o mapeamento. O uso do GPS vem se tornando quase obrigatório, visando à diminuição dos erros de localização das informações.

Inúmeras discussões têm sido feitas para o estabelecimento do número mínimo de observações e amostragens, sem que até o momento se haja chegado a consenso, mesmo porque o tratamento estatístico para avaliar a representatividade destas é extremamente difícil, por depender de variáveis quase ilimitadas e freqüentemente complexas. É conveniente ter claro que, para tal definição, o número das observações qualitativas, quantitativas e de amostras está intrinsecamente relacionado ao

número de dados de interesse produzidos em outros trabalhos, ao número de unidades de terreno fotointerpretadas, ao tamanho dessas unidades (não ao da área do projeto) e, principalmente, à variabilidade (vertical e horizontal) dos perfis de alteração de cada uma delas.

## Ficha de campo - *Distrito Federal*

Data: 1/19

Ponto (RA):	Localização:
Tipo - Natural: <input type="checkbox"/> Corte: <input type="checkbox"/> Escavação: <input type="checkbox"/> Foto: <input type="checkbox"/> - <input type="checkbox"/> Quadrante: <input type="checkbox"/> - <input type="checkbox"/>	
Movimento de Massa Erosão: <input type="checkbox"/> Escorregamento: <input type="checkbox"/> Assoreamento: <input type="checkbox"/>	
Explotação Mineral Rochoso: <input type="checkbox"/> Inconsolidado: <input type="checkbox"/> Tipo: _____	
Relevo	Plano: <input type="checkbox"/> Suave Ondulado: <input type="checkbox"/> Ondulado: <input type="checkbox"/> Escarpado: <input type="checkbox"/>
Vegetação	Natural <input type="checkbox"/> Reflorestamento: <input type="checkbox"/> C. Anual: <input type="checkbox"/> C. Temporária: <input type="checkbox"/> Pastagem: <input type="checkbox"/> Áreas Abertas Urbana: <input type="checkbox"/> Mineração: <input type="checkbox"/>
Tipo: _____	
Geologia -	Litologia: Ardósia: <input type="checkbox"/> Calcário: <input type="checkbox"/> Filito: <input type="checkbox"/> Meta-ritmito: <input type="checkbox"/> Micaxisto: <input type="checkbox"/> Quartzito: <input type="checkbox"/> Associação: <input type="checkbox"/> - <input type="checkbox"/> - <input type="checkbox"/>
Unidade: _____ Estrutura: _____ Atitude: _____	
Observação: _____	
Grau de Alteração das Rochas Alto: <input type="checkbox"/> Médio: <input type="checkbox"/> Baixo: <input type="checkbox"/>	
Pedologia -	LE: <input type="checkbox"/> LV: <input type="checkbox"/> CD: <input type="checkbox"/> AQ: <input type="checkbox"/> HI: <input type="checkbox"/> AL: <input type="checkbox"/> TR: <input type="checkbox"/> PE: <input type="checkbox"/>
Hidrogeologia	Afloramento: <input type="checkbox"/> Recarga: <input type="checkbox"/> Poço: <input type="checkbox"/> Profundidade NA - <input type="checkbox"/> - <input type="checkbox"/> m
<b>MATERIAL INCONSOLIDADO</b>	
Textura	Arenosa: <input type="checkbox"/> Siltosa: <input type="checkbox"/> Argilosa: <input type="checkbox"/> <input :<="" td="" type="checkbox"/>
Consistência/Coerência	Fofa: <input type="checkbox"/> Média: <input type="checkbox"/> Rija: <input type="checkbox"/>
Permeabilidade	Alta: <input type="checkbox"/> Média: <input type="checkbox"/> Baixa: <input type="checkbox"/>
Perfil de Alteração -	
Mineralogia:	Espessura: <input type="checkbox"/> - <input type="checkbox"/> - <input type="checkbox"/> m
Fragmentos Rochosos: <input type="checkbox"/>	Tipo: _____
Cor:	Origem: _____
Amostra - <input type="checkbox"/> - <input type="checkbox"/> nº: _____	Observação: _____

## Cognitio

FIGURA 1 – Modelo da ficha de campo elaborada para o mapeamento geotécnico do Distrito Federal.

Certamente, em se observando tais critérios para a escala 1:100.000, pode-se diminuir significativamente a totalidade de pontos descritos e amostrados, particularmente esses últimos, para valores médios próximos a 1/15 km<sup>2</sup>, enquanto para os primeiros, em torno de 1/7 km<sup>2</sup>, portanto aproximadamente 50% abaixo daqueles limites preconizados por Zuquette.<sup>13,14</sup>

É conveniente, porém, lembrar que as descrições pontuais devem extrapolar os aspectos locais, indo até as variações observadas ao longo dos caminhamentos, ou seja, o ponto deve retratar as variações que ocorrem na área de sua influência.

Objetivando facilitar e padronizar as descrições de horizontes, em perfis de alteração em solos residuais, completos ou não, pode-se lançar mão das sínteses propostas por Dearman<sup>6</sup> e Pastore,<sup>11</sup> com terminologia normatizada pela ABNT,<sup>1</sup> cujas determinações e características estão resumidas no Quadro 2.

Quadro 2 - Síntese dos perfis de alteração em solos residuais (adaptada de Dearman<sup>6</sup> e Pastore<sup>11</sup>).

Termo	Espessura	Características	Grau
Solo orgânico	Pequena	Textura variada; quantidade apreciável de matéria orgânica; cores - cinza a preto.	VII
Solo residual	Variada	Material transformado em solo; textura variada; estrutura e petrofábrica do maciço destruídas; sem transporte significativo.	VI
Rocha extremamente alterada		Rocha toda decomposta ou desagregada; textura variada, predominando areias siltosas ou siltos arenosos, ambos pouco argilosos e com blocos de rocha (até 10%); estruturas originais do maciço contínuas e intactas.	V
Rocha muito alterada	Irregular	Mais da metade do material rochoso decomposto ou desagregado; quantidade de blocos entre 10 a 90%; estruturas originais do maciço descontínuas e intactas.	IV
Rocha moderadamente alterada		Topo do maciço; menos da metade do material rochoso está alterado; a rocha fresca ou descorada apresenta, nos dois casos, estruturas contínuas ou blocos de rocha; baixa resistência.	III
Rocha pouco alterada	Pequena	Descoloração indicando alteração do maciço (maior descoloração nas descontinuidades); resistência bem superior que o grau III.	II
Rocha sã	-	Sem sinais de alteração, a não ser alguma descoloração nas maiores superfícies de descontinuidades.	I

No que diz respeito à quantidade de material amostrado para realização dos ensaios em amostras deformadas e indeformadas, restringe-se a 5 e 50 kg, respectivamente, por amostra, retirados do maior número possível de horizontes do perfil.

Nesse sentido, priorizam-se os locais que tenham as maiores exposições (perfis mais completos), naturais ou não, dos referidos perfis, para que sejam descritos (qua-

litativa e quantitativamente) e amostrados, diminuindo-se, dessa forma, o número de investigações de subsuperfície.

Na área do Distrito Federal, foram realizadas observações qualitativas e/ou quantitativas com preenchimento da ficha apresentada anteriormente na Figura 1, ao todo em 808 pontos, dos quais 94 foram amostrados.

## Reinterpretação

Inclui-se nessa etapa, na qual ocorre a retomada sucessiva de todos os fatos ou categorias de fatos mapeados, o processo que vai desde a realização de ensaios laboratoriais até a fotointerpretação geotécnica final, que vai subsidiar a elaboração do mapa de materiais inconsolidados.

Os dados coletados em campo vão-se somar aos obtidos nas fases anteriores, enquanto as amostras são submetidas aos ensaios físicos e/ou químicos que retratarão as características e comportamentos geotécnicos dos materiais.

Outra questão passível de intermináveis discussões diz respeito aos tipos de ensaios a serem realizados; é evidente que, quanto maior for a variedade do material amostrado, mais informações estarão disponíveis. O aspecto central dessa avaliação deve estar restrito não somente aos recursos (financeiros e tecnológicos) e ao tempo disponíveis, mas também à finalidade a que se destina o trabalho.

Mais uma vez, os dados selecionados de outros trabalhos têm papel fundamental, pois com base neles podem-se direcionar os ensaios necessários à boa caracterização dos materiais inconsolidados.

Os ensaios mais simples de caracterização geotécnica, no concernente a execução e custo, devem ser realizados, sem sombra de dúvida, na totalidade das amostras. Nesse grupo, estão incluídos os ensaios que permitem a classificação dos solos, tais como: umidade (natural e higroscópica), massa específica dos sólidos, granulometria e limites de consistência.

Considerando-se a operacionalidade atingida pelos ensaios expeditos que levam à classificação MCT para solos tropicais,<sup>10</sup> particularmente aquela apresentada por Nogami & Villibor,<sup>9</sup> pode-se facilmente incluir este ensaio na lista dos recomendáveis/indispensáveis para realização.

Tendo-se tabulado os dados oriundos dos resultados laboratoriais simples, tem-se critérios para a determinação da necessidade ou não de tipos de análises laboratoriais mais sofisticadas (complexidade e/ou custo). Na escala 1:100.000, esses podem ser descartados sem grandes preocupações.

Com base nos Quadros 3 e 4, adaptadas de Kézdi,<sup>7</sup> pode-se ter uma visão genérica, porém útil, das quantidades de amostras para alguns dos principais ensaios e da utilização desses para diferentes finalidades intrínsecas ao mapeamento geotécnico.

Quadro 3 – Quantidades mínimas de amostras para ensaios de laboratório (adaptada de Kézdi<sup>7</sup>).

Características Físicas	Massa, volume ou cimensão da amostra			
	Solos não-coesivos		Solos coesivos	
	Deformada	Indeformada	Deformada	Indeformada
Massa específica dos grãos	100 g			
Umidade	Areia 100 g Pedreg. 200 g	-	50g	
Composição de fases	-	500-1.000 cm <sup>3</sup>	-	100 cm <sup>3</sup>
Granulometria	Areia 200 g Pedreg. 2.000 g	-	100 g	-
Limites de consistência	-	-	500 g	-
Variação volumétrica	-	-	100 g	10x10x10 cm
Compactação	20 kg	-	50 kg	-
Permeabilidade	5kg	-	10x10x10 cm	
Capilaridade	3 kg	-	-	10x10x10 cm
Adensamento	-	-	-	10x10x10 cm
Resistência ao cisalhamento	Areia 5 kg Pedreg. 25 kg	-	-	10x10x10 cm 3 a 5 amostras
Compressão simples	-	-	-	10x10x10 cm
Conteúdo de mat. orgânica	100 g			
pH	-	-	50 g	
Metodologia expedita MCT	100 g			

Quadro 4 – Utilizações das características físicas dos materiais inconsolidados (adaptada de Kézdi<sup>7</sup>).

Ensaios		Utilização
Teste de sólidos	Massa específica	Cálculos de qualidades secundárias; conteúdo de matéria orgânica.
	Granulometria	Classificação do solo; compactação; permeabilidade; capilaridade; construção de estradas.
	Conteúdo de argila	Construção de estradas; classificação; tipo de argila.
	Conteúdo de matéria orgânica	Classificação do solo; estabilidade para construções; aspectos agrícolas; estabilização de solos.
Composição de fases	Umidade	Características de estado.
	Composição de fases	
	Índice de vazios/ porosidade	Avaliação dos condições do solo; compactação; compacidade; obras de terra.
	Grau de saturação	
Limites de consistência	Limite de líquidez	Identificação do solo; correlações empíricas.
	Limite de plasticidade	
	Índice de plasticidade	Classificação dos solos; possibilidade e coesão existente.
	Limite de contração	Características das condições do solo.
	Resistência à penetração do cone	Comparação; características das condições do solo.
Metodologia MCT	Contração/penetração	Classificação dos solos; comportamento laterítico.

A totalidade das amostras recolhidas em campo, durante os trabalhos no Distrito Federal, foi ensaiada segundo os preceitos aqui expostos, ou seja, desenvolveram-se os ensaios considerados simples e os expeditos para classificação MCT.

Igualmente aos demais dados coletados e produzidos nas fases anteriores, os resultados laboratoriais são armazenados na base de dados para o tratamento das informações (seleção, estatística, correlações, avaliações), visando subsidiar não apenas a análise integrada dos dados, mas também a fotointerpretação geotécnica final.

Para a análise final das informações, associada ao processo de fotointerpretação geotécnica dos materiais inconsolidados, recorre-se a inúmeros recursos tecnológicos, sobretudo aos computacionais. Dentre esses, encontram-se os sistemas/programas de tratamento estatístico, os de geoprocessamento/tratamento de imagens e, até mesmo, os que usam princípios de Inteligência Artificial e de Redes Neurais que, apesar de complexos, estão se tornando cada vez mais amigáveis, conforme demonstram Cress & Deister<sup>5</sup> e Crepani et al.<sup>4</sup> Tanto os sistemas especialistas quanto as redes neurais ainda não são amplamente aplicados no país, mas já são freqüentes em países mais desenvolvidos.

Além dos programas/sistemas utilizados na etapa inicial (Quadro 1), foi utilizado o *Sufer* (versão 5.01) para o zoneamento geotécnico do Distrito Federal, principalmente para interpolação de dados por krigagem e geração de tendências das superfícies de contorno e Modelos Numéricos de Terreno (MNT's) dos principais atributos/propriedades relativos aos materiais inconsolidados, como mostrado por Souza.<sup>12</sup>

## Integração dos dados

A evolução dos trabalhos descritos anteriormente é normalmente acompanhada por uma série de pesquisas e adaptações para a composição dos mapas finais, na organização de suas legendas e no relatório/texto finais que integram esta etapa.

Entre os objetivos dessas adequações incluem-se qualificar as informações permitidas pela escala do mapa, possibilitar uma leitura direta entre mapa e legenda e refletir a sistemática da pesquisa geotécnica realizada.

O principal problema a ser equacionado é o da compatibilidade entre os aspectos dos sistemas mapeados e os recursos gráficos disponíveis/acessíveis. A combinação de cores, hachuras, letras-símbolos e/ou conjuntos alfanuméricos seguramente fornecem uma solução adequada. O sistema de Bertin<sup>3</sup> para variáveis visuais é de significativa utilidade nas apresentações gráficas e análises espaciais, e um dos mais apropriados.

Considera-se indispensável a produção do mapa de documentação, onde estejam representadas, além das informações relativas aos pontos de observações e amostragens (coletadas de outros trabalhos - secundárias, e produzidas - primárias), as que possibilitem sua exata localização pontual e regional, como as drenagens, estradas, núcleos urbanos, coordenadas geográficas e/ou planas e outros pontos de referência importantes.

Para o mapa de materiais inconsolidados, ou outros que retratem seus atributos/características/propriedades (textura, espessura, gênese, índices físicos e/ou outras características geotécnicas), os principais aspectos locacionais deverão sempre estar presentes, tendo-se critérios e cuidados especiais para que não prejudiquem a clareza das informações neles apresentadas.

O relatório final não pode perder de vista que o público a que se destinam os produtos originados do mapeamento geotécnico é diversificado, tanto no que diz respeito à formação técnica profissional quanto aos interesses de aplicações. A linguagem adotada deve combinar a simplicidade com a riqueza de detalhes, a objetividade com a abrangência dos temas analisados, visando, sobretudo, ao não comprometimento da qualidade dos documentos textuais e cartográficos, isto é, o objetivo do trabalho deve ser alcançado.

O fluxograma apresentado na Figura 2 ilustra o procedimento sistemático proposto para o mapeamento das unidades de materiais inconsolidados e foi adotado para o Zoneamento Geotécnico do Distrito Federal. Na Figura 3, observa-se uma das formas de apresentação do mapa de materiais inconsolidados do Distrito Federal, onde os conjuntos alfanuméricos, isoladamente, representam as 37 unidades individualizadas.

## **Considerações finais**

A sistemática apresentada é uma tentativa de dar maior praticidade às metodologias de mapeamento geotécnico, sobretudo no concernente à elaboração do mapa de materiais inconsolidados, e teve como base fundamental a metodologia de Zuquette.<sup>13, 14</sup>

O ambiente de geoprocessamento (sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas) tem se mostrado imprescindível para a cartografia temática, em particular àquela na qual são tratados/manipulados grandes quantidades de dados, como é o caso do mapeamento geotécnico.

Empregada no Distrito Federal, tal como aqui apresentada, a seqüência operacional dos trabalhos atingiu os objetivos planejados tanto para a elaboração do mapa de materiais inconsolidados quanto para o Zoneamento Geotécnico Geral.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem à FINEP, pelo apoio através do Projeto FINEP/PADCT – IG/UnB “Estudos geológicos e geotécnicos para o zoneamento do Distrito Federal com uso de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento”; ao Instituto de Geociências e Departamento de Engenharia Civil da UnB e ao Departamento de Geotecnia da ESSC/USP, pelo apoio logístico, como também à CAPES/PICD pela bolsa de estudos concedida.

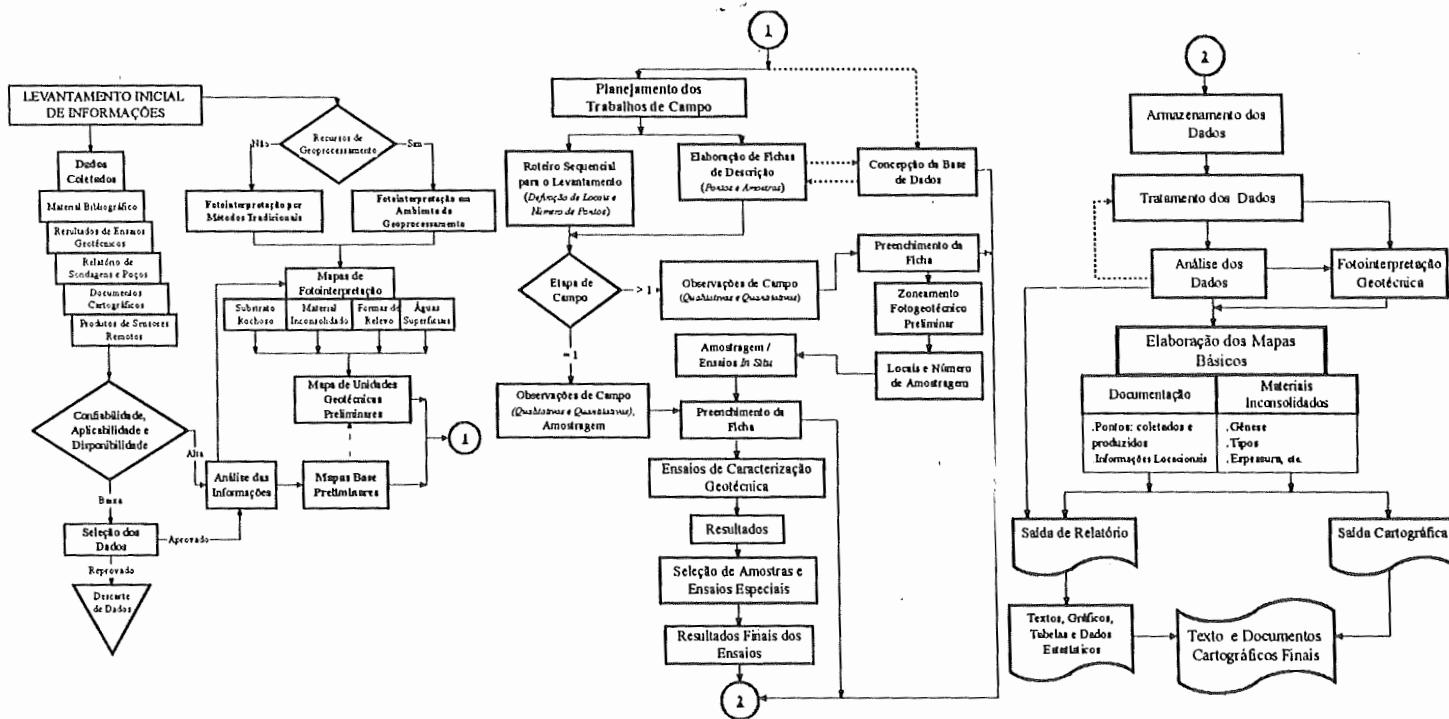


FIGURA 2 – Fluxograma da sistemática proposta para a elaboração do mapa de materiais inconsolidados e aplicada no Distrito Federal (Aguilar<sup>2</sup>).

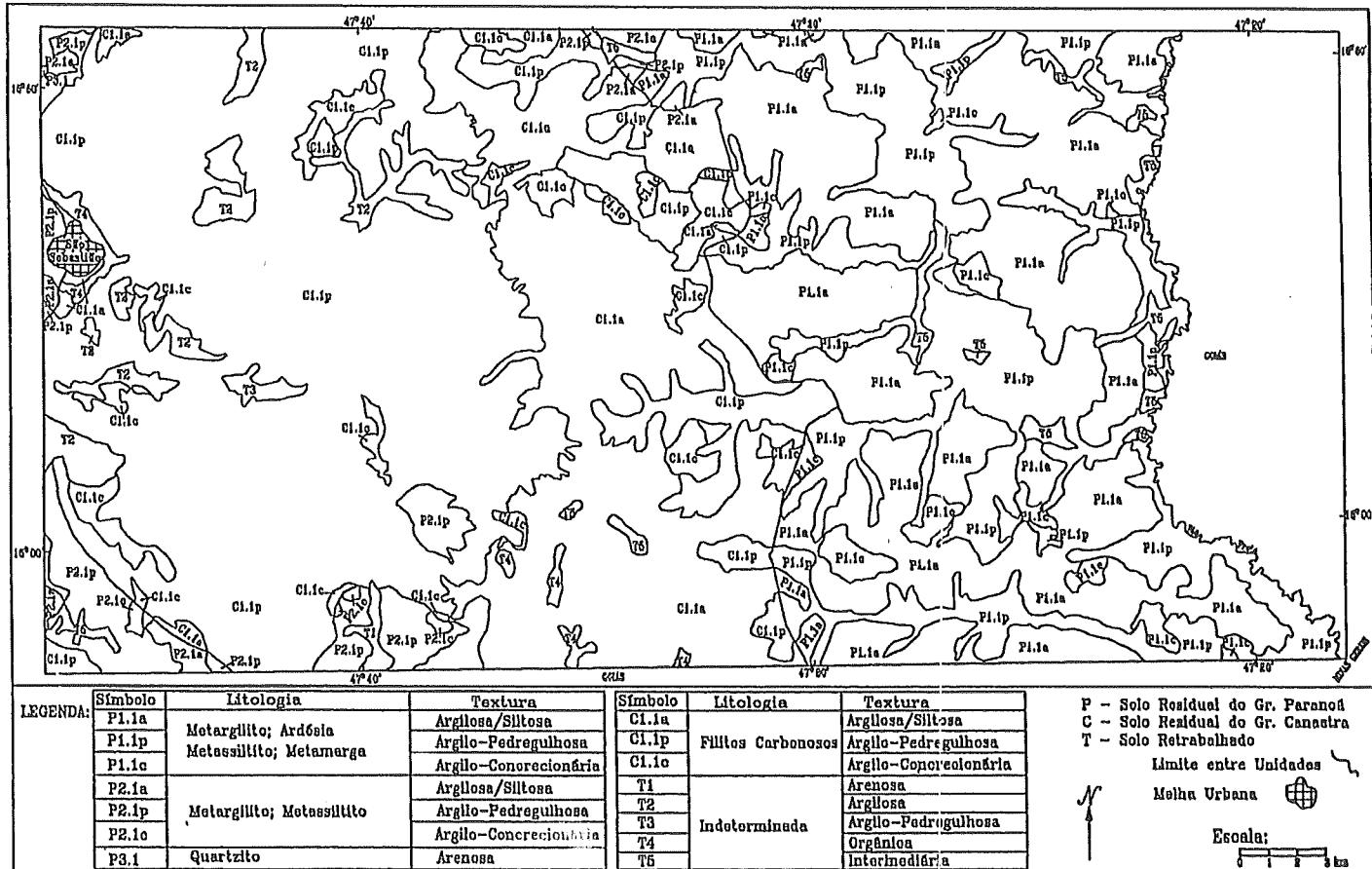


FIGURA 3 – Porção sudeste do Distrito Federal (Aguilar<sup>2</sup>).

AGUILAR, R. L., GANDOLFI, N. Elaboration of a map of unconsolidated materials, at 1:100,000 scale: proposed systematics and application in the Federal District, Brazil. *Geociências (São Paulo)*, v.16, n.1, p.225-241, 1997

- *ABSTRACT: The definition of units of unconsolidated materials, due to its relevance, has a major role in several engineering geological mapping methodologies used in many works in Brazil. A study was done according with an operational sequence compatible with the regional scale requirements in the Federal District - Brazil. It follows a methodology based on different concepts adopted at the Escola de Engenharia de São Carlos/USP. This paper summarizes such procedures and includes some examples of their application.*
- *KEYWORDS: Unconsolidated material Map; engineering geological mapping; general engineering geological zoning; Federal District.*

## Referências bibliográficas

- 1 ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solos e rochas: terminologia. NBR 6502/95. Rio de Janeiro, 1995.
- 2 AGUILAR, R. L. *Zoneamento geotécnico geral do Distrito Federal – escala 1:100.000*. Relatório inédito, São Carlos, 1995.
- 3 BERTIN, J. *Semiologie graphique*. Paris: Gauthier Villar and Co., 1963.
- 4 CREPANI, E. et al. Uso de sensoriamento remoto no zoneamento ecológico-econômico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, 1996, Salvador. *Anais...* Salvador, 1996.
- 5 CRESS, J. J., DEISTER, R. R. P. Development and implementation of knowledge-based GIS geological engineering map production system. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v.56, n.11, p.1529-35, 1990.
- 6 DEARMAN, W. R. *Engineering geological mapping*. Oxford: Butterworth Heinemann Ltd., 1991.
- 7 KÉZDI, A. *Handbook of Soil Mechanics: Soil Testing*. Amsterdam: Elsevier, 1980. v.2.
- 8 LOLLO, J. A. *O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadricula de Campinas*. São Carlos, 1995. 2v. Tese (Doutoramento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- 9 NOGAMI, J. S., VILLIBOR, D. F. A new simple method for classification of lateritic and saprolitic soils. In: INTERNATIONAL IAEG CONGRESS, 12, 1994. Rotterdam. *Proceedings*. Balkena, 1994. p.5410-38.
- 10 NOGAMI, J. S., VILLIBOR, D. F. Uma nova classificação para finalidades rodoviárias. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS TROPICAIS EM ENGENHARIA. 1981, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: COOPE/ABMS, 1981.

- 11 PASTORE, E. L. Weathering profiles. In: PANAMERICAN CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, 7, 1995. Guadalajara. *Abstracts*, 1995. v.1.
- 12 SOUZA, N. M. de. *Contribuição à cartografia geotécnica com uso de geoprocessamento: sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica*. São Carlos, 1994. 2v. Tese (Doutoramento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- 13 ZUQUETTE, L. V. *Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras*. São Carlos, 1987. 3v. Tese (Doutoramento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- 14 \_\_\_\_\_. *Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração*. São Carlos, 1993. 2v. Tese (Livre Docência) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.