

CARACTERIZAÇÃO DAS COBERTURAS DE ALTERAÇÃO INTEMPÉRICA DA BAIXA MOJIANA

Norton Roberto CAETANO ¹, Juercio Tavares de MATTOS ²,
Jairo Roberto JIMENÉZ-RUEDA ³

(1) Universidade Federal de Rondônia (UNIR). BR 364, km 9,5. CEP 78900-000. Porto Velho, RO. Endereço eletrônico: ntroca@gmail.com. (2) Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista/Campus de Guaratinguetá. Avenida Prof. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333. CEP 12500-000. Guaratinguetá, SP. Endereço eletrônico: juercio@feg.unesp.br. (3) Departamento de Petrologia e Metalogenia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista /Campus de Rio Claro. Avenida 24-A, 1515. Bela Vista. CEP 13506-900. Rio Claro, SP. Endereço eletrônico: jairojrjr@rc.unesp.br.

Introdução
Área de Estudo
Métodos
Aquisição dos Materiais
Fotointerpretação
Seleção dos Pontos
Visita Técnica
Avaliação
Comportamento espectral no visível das CAIs
Sistematização
Discussão dos Resultados
Amostragem
Ensaio de Campo
Comportamento Espectral na Faixa do Visível
Conclusões
Trabalhos de Campo
Comportamento Espectral na Faixa do Visível
Considerações Finais
Referências Bibliográficas

RESUMO – O presente artigo tem o objetivo de apresentar os procedimentos e as técnicas necessárias para a caracterização genética, física e espectral das coberturas superficiais de alteração intempérica encontradas na região da Baixa Mojiana. A área de estudo refere-se a área da folha topográfica Moji-Guaçu, escala 1:50.000. Para delimitação das diferentes coberturas de alteração intempérica, procedeu-se a fotointerpretação na banda Pan do ETM+/Landsat-7. Foram visitados 54 pontos em campo, em 39 unidades de alteração intempérica, nas quais se coletou 36 amostras deformadas de material. Em campo foram realizados ensaios expeditos de física de solos e em laboratório, ensaios de comportamento espectral no visível usando uma máquina fotográfica digital convencional. Os dados foram inseridos em um sistema de informação geográfica, o SPRING 4.3. Os procedimentos utilizados no presente trabalho permitem a caracterização das coberturas de alteração intempérica da área quanto à sua gênese, além de definir os comportamentos mecânico e químico. Os resultados possibilitam subsidiar estudos geoambientais e de planejamento de usos e obras de engenharia.

Palavras-chave: Cobertura de alteração intempérica, sensoriamento remoto, física de solos.

ABSTRACT – *N.R. Caetano, J.T. Mattos, J.R. Jimenez-Rueda – Characterization of the weather alteration covering in the Mojiana Depression.* This paper presents the procedures and techniques for the genetic, physical and spectral characterization of the surface covers originated by weathering alteration in the Low Mojiana region, São Paulo State, Brazil. The study area corresponds to the Moji-Guaçu Sheet, 1:50,000 scale. The cover were mapped using photo-interpretation on Landsat ETM+, band Pan. 54 points were surveyed in 39 units in field, in which 36 deformed samples were collected. Tests of physics of soils were accomplished in the field. Visible spectral behavior were analysed using a conventional digital camera in laboratory. The data were inserted in a geographical information system, the SPRING 4.3. Mechanical, chemical and spectral behavior, beyond genesis of the founded covers could be characterized by the applied procedures. The results allow to subsidize geoenvironmental studies and engineering projects.

Keywords: Weather alteration covering, remote sensing, soil physics.

INTRODUÇÃO

A caracterização das coberturas de alteração intempérica tem muita utilidade para a sociedade, pois sobre essas coberturas é que se desenvolvem as principais atividades humanas como agricultura, ocupação urbana, obras de infra-estrutura, entre outros usos e atividades das sociedades modernas.

O material terroso, solto, sem consolidação, que recobre a superfície da terra pode ser chamado por várias designações, dependendo do interesse que se tem por ele. O termo “solo” é utilizado quando se define o processo pedológico pelo qual o material esteve ou está exposto (Toledo et al., 2000); normalmente os

profissionais da agronomia utilizam essa designação. O termo “material inconsolidado” pode ser utilizado quando se definem suas propriedades mecânicas (Souza & Zuquette, 1991); normalmente os profissionais da geotecnia empregam essa designação. O termo “cobertura de alteração intempérica” deve ser utilizado quando se definem a gênese, a morfologia, a física e a química desses materiais (Jiménez-Rueda, 2003); normalmente os profissionais do mapeamento geoambiental e da ecologia usam essa designação.

Segundo Pastore e Fontes (1998), a seqüência lógica do procedimento para caracterização completa das coberturas de alteração intempérica é: (1) descrição, (2) caracterização e (3) classificação. A descrição é feita com base em observações e análises táteis-visuais em campo, diretamente no perfil onde aflora a cobertura. A caracterização é feita com base em ensaios de laboratório e a classificação pode ser feita de acordo com os diversos sistemas existentes.

Os ensaios táteis e visuais que, segundo Souza (1994), devem ser realizados na fase de descrição das coberturas são os de consistências seca, úmida e molhada (plasticidade), pegajosidade, textura e pro-

sidade, além da observação da cor, contato entre horizontes, estrutura, cimentação e existência de superfícies foscas, de fricção e de compressão.

Segundo Ben-Dor et al. (1998), o comportamento espectral do material terroso normalmente é obtido por meio de espectrômetros ou radiômetros que cobrem desde a faixa do azul ($0,4 \mu\text{m}$) até a faixa do infravermelho médio ($2,4 \mu\text{m}$). Nas curvas comprimento de onda (μm) vs. reflectância (%) são analisadas bandas de absorção e a porcentagem de reflexão para cada faixa do espectro. Dessa maneira, podem ser estimadas a composição mineralógica, a presença de matéria orgânica, a CTC e a umidade natural.

O presente trabalho não se preocupa com a classificação das coberturas, mas sim com apresentar uma sistemática de trabalho que permita caracterizar as coberturas de alteração intempérica e que forneça resultados consistentes para o planejamento de usos e obras de engenharia.

A caracterização proposta neste trabalho relaciona-se com sua gênese, além do comportamento físico, químico e mecânico do material, considerando-se as condições naturais a que o material esteve e está exposto.

ÁREA DE ESTUDO

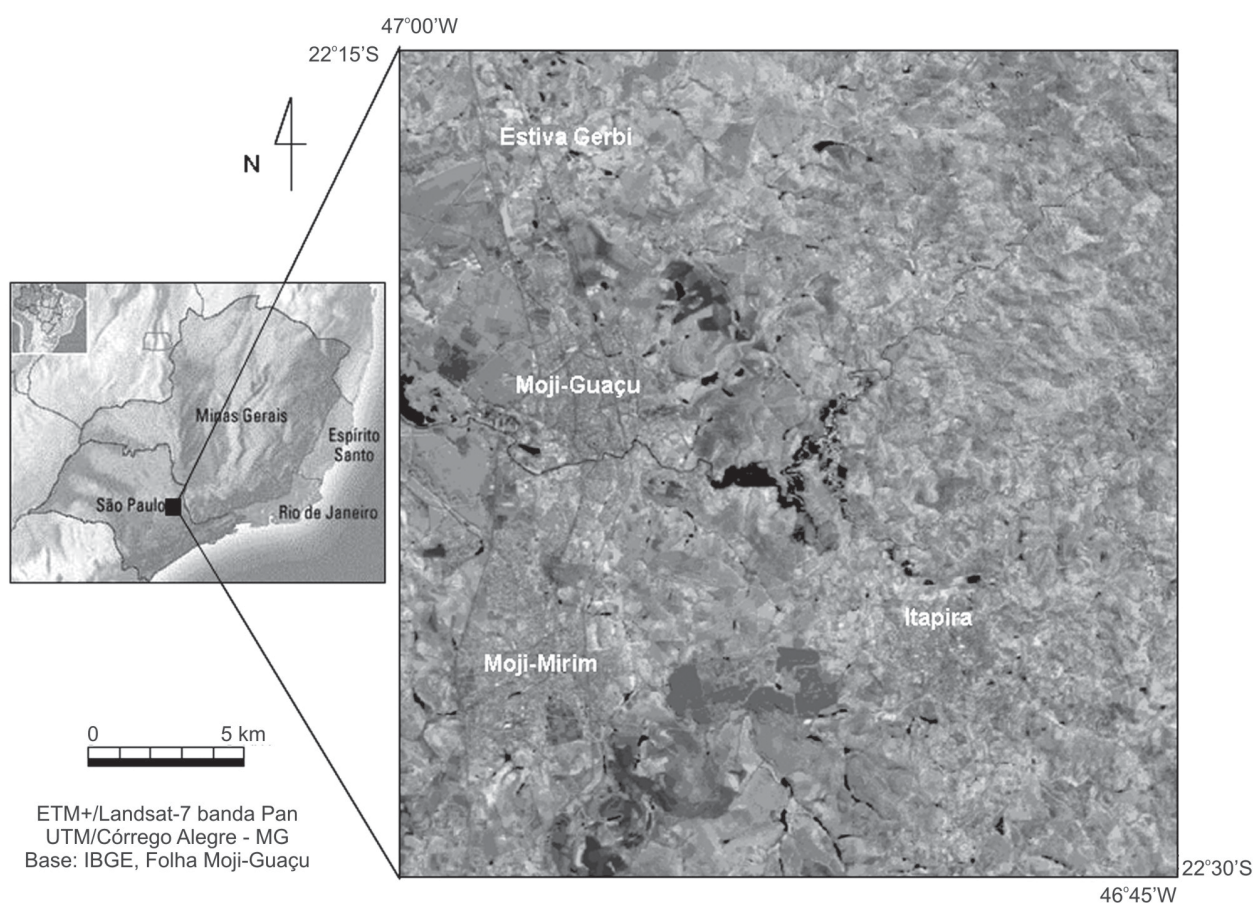


FIGURA 1. Localização da área de estudo com imagem ETM+/Landsat-7, banda Pan.

A área de estudo escolhida para aplicação dos procedimentos localiza-se na baixada Mojiana, dentro da Depressão Periférica Paulista, centro/leste do Estado de São Paulo. Compreendendo as cidades de Moji-Mirim, Moji-Guaçu, Estiva Gerbi e Itapira, é delimitada pelos paralelos 22°15'S a 22°30'S e meridianos 46°45'W a 47°00'W.

A área foi escolhida devido a grande gama de paisagens encontradas: planícies aluviais, colinas, morros e serras (Hasui et al., 1989; Almeida, 1964). É formada por granitos e basaltos (Wernick & Penalva, 1973), gnaisses, migmatitos e metaconglomerados (Ebert, 1968), além de arenitos, siltitos e argilitos das formações Tatuí, Itararé e Aquidauana (Almeida, 1964; Landim, 1970; Ebert, 1971; Saad, 1977; Cavalcante et al., 1979; Landim et al., 1980; Artur, 1980), rochas que se foram cartografadas pela CPRM (2001).

Ebert (1974), estudando o falhamento na região entre Itapira (SP) e Jacutinga (MG), identificou movimentos de transcorrência e empurrões locais. Há duas importantes falhas que condicionam o comportamento estrutural da região: as falhas de Jacutinga com direções de N45-55W e Ouro Fino com direções de N50-70E.

Posteriormente, houve reativações e intrusão dos corpos básicos (Hasui et al., 1989).

Na área de estudo há coberturas de alteração intempérica (CAI) monossilíticas, bissilíticas e alíticas, as quais foram estudadas por Bjornberg et al. (1964), Fulfaro & Suguio (1968), Penteadó (1976), Candido (2004), Oliveira (1992), e cartografadas pela CPRM (2001).

Nesta região existem alguns mapeamentos e estudos regionais e locais do meio físico, como os de Carpi Júnior (2001), Cottas (1998), CPRM (2002), São Paulo (2002), Lepsch et al. (1999) e Oliveira et al. (1999).

A área insere-se no regime climático da transição entre o muito úmido subtropical e o úmido tropical, com estações secas marcantes (Mu-Cw e U-Cw), com precipitação média anual próxima de 1.400 mm, temperaturas médias no verão girando em torno de 24°C e as temperaturas mínimas médias próximas de 16°C (Setzer, 1976).

A Figura 1 apresenta um esquema da localização da área de estudo, com uma imagem ETM+/Landsat-7, banda Pan.

MÉTODOS

Para a delimitação das unidades de alteração intempérica (UAI, mas referidas como UG) utilizou-se de fotointerpretação da banda Pan do ETM+/Landsat-7, segundo o método sistemático de Rivereau (1970). As unidades são delimitadas de acordo com a forma, grau e ordem de estruturação dos elementos de relevo e drenagem.

Os métodos expeditos de campo para caracterização das CAI são uma reunião dos ensaios de física e morfologia de solos que permitem uma caracterização do comportamento do mesmo.

Souza (1994) compilou algumas análises morfológicas que permitem uma caracterização qualitativa quanto a cor, textura, estrutura, coesão, consistências seca, úmida e molhada, cimentação e poros.

Jiménez-Rueda (2003) relacionou os resultados destas análises morfológicas com a composição química, granulometria, gênese, paleo-ambiente, plasticidade, pegajosidade, resistência à compressão, susceptibilidade a erosão, expansibilidade, colapsividade, porosidade e permeabilidade.

A Figura 2 apresenta um diagrama de fluxo de trabalho com as etapas executadas no presente trabalho, as quais são descritas a seguir.

AQUISIÇÃO DOS MATERIAIS

A banda Pan do ETM+/Landsat-7, órbita 219, ponto 76, de 21/06/2000, foi obtida via Internet no

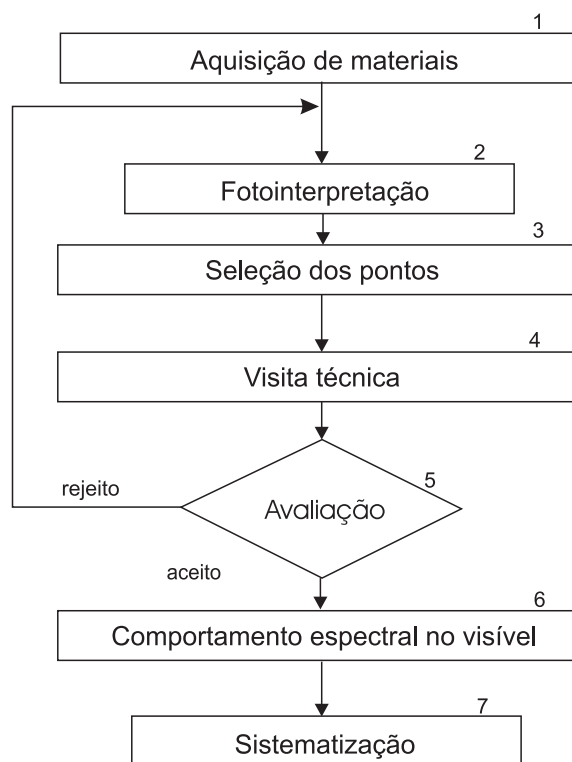


FIGURA 2. Diagrama de fluxo de trabalho.

site <ftp://ftp.glc.f.umiacs.umd.edu/glc/f/Landsat/WRS2>, em formato digital (matriz) na projeção UTM/SAD-69 e com *pixel* de 12,5 m. O sistema de informação geográfica (SIG) utilizado foi o SPRING 4.3 que também foi obtido da Internet no site www.dpi.inpe.br/spring.

A carta topográfica IBGE, escala 1:50.000, folha Moji-Guaçu (SF23.Y.A.III.3) foi obtida em formato analógico (papel) e digital (matriz), na projeção UTM/Córrego Alegre (MG).

Os materiais que devem fazer parte da campanha de campo são: trado 4", martelo de geólogo, enxada, caderneta de campo, ficha de campo e caneta/lápis, bússola, GPS (*Global Position System*) de precisão média em torno de 10 m, lupa com aumento de 20x, imã, tabela para diâmetro e forma das partículas fração areia, máquina fotográfica, água, trena de 30 m, faca/canivete, fita adesiva e sacos plásticos.

FOTOINTERPRETAÇÃO

A fotointerpretação da banda Pan do ETM+/Landsat-7 seguiu o método de mapeamento sistemático proposto por Guy (1966) e traduzido por Rivereau (1970), no qual se analisam a forma, o grau e a ordem de estruturação dos elementos de relevo e drenagem.

A análise dos elementos de relevo e drenagem se dá quanto a densidade, angularidade, assimetria, orientação e forma de encosta, além da observação de formas anômalas, como alinhamentos e lineações de drenagem e formas anelares e radiais de drenagem.

Com a banda Pan do ETM+/Landsat-7 em ambiente digital, inserida em um SIG, efetuou-se digitalmente a separação das zonas homólogas (quanto às propriedades de relevo e drenagem acima listadas).

A definição das UG dá-se ao inferir um tipo de CAI para cada zona homóloga, segundo as características observadas, analisadas e interpretadas na imagem.

SELEÇÃO DOS PONTOS

No presente trabalho adotou-se a visita a vários pontos por unidade, no entanto a análise em campo e a coleta de amostras para os ensaios laboratoriais foram realizadas onde havia maior representatividade em área daquele material.

Normalmente observou-se pouca variação das CAI dentro das UG, mas no caso das UGs 5 e 48, onde elas variavam nitidamente, foram coletadas amostras em dois pontos diferentes.

VISITA TÉCNICA

Os procedimentos explicitados neste item são amplamente conhecidos pelos profissionais das ciências da terra, mas pouco usados ou mesmo desconhecidos pelos profissionais de outras áreas. Como a presente

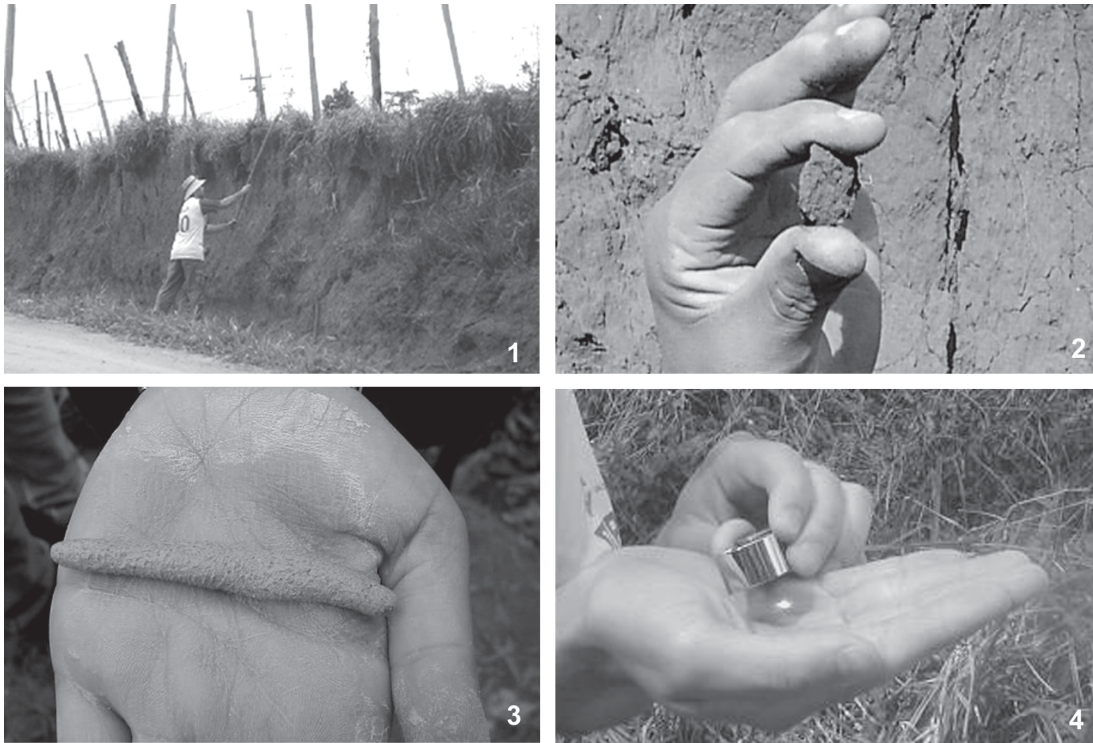
pesquisa almeja apresentar uma sistemática de trabalho, justifica-se a descrição detalhada dos ensaios a serem executados em campo.

Busca-se, no campo, um ponto para análise em que exista um corte ou um afloramento natural, onde o material esteja exposto com o mínimo de interferência antrópica possível (compactação, arado, uso de fertilizantes/agrotóxicos, drenagem direcionada).

Inicia-se a observação com o reconhecimento visual do entorno (vegetação, uso e cobertura da terra, declividade, presença de feições erosivas ou problemas de origem geotécnica). Na Prancha 1: Foto 1 pode-se observar o ponto de análise escolhido para a UG32, em um corte de cerca de 2,5 m de altura, ao lado da estrada vicinal que liga as cidades de Moji-Guaçu e Espírito Santo do Pinhal.

Foram encontrados perfis de CAI, somente de rocha e perfis em que afloravam CAI e rocha. A análise deu-se, seguindo as recomendações de Jiménez-Rueda (2003), da seguinte maneira:

- a) *Perfil da CAI*. Tendo sido reconhecido o entorno, abre-se uma trincheira no perfil da CAI com auxílio de enxada para remover os primeiros 30 a 50 cm de material exposto às intempéries. Recolhe-se amostra deformada para análise em laboratório. Depois se procede-se a definição da estrutura do material, a verificação da existência de (macro)poros e superfícies foscas (*skins*) no perfil, e os ensaios táteis e visuais de física de solos, descritos a seguir.
- b) *Consistência seca*. Colhe-se um torrão natural do material, aparentemente seco (teor de umidade menor que o ponto de murchamento), com face de até 5 cm. Procede-se a compressão dessa amostra entre os dedos polegar e indicador, avaliando a força relativa para desintegrar o torrão (Prancha 1: Foto 2).
- c) *Consistência úmida*. Colhe-se um torrão natural do material, adiciona-se água gotejando levemente, apenas para umedecer a amostra. Procede-se a compressão dessa amostra entre os dedos polegar e indicador, avaliando a força relativa para desintegrar o torrão.
- d) *Plasticidade*. Com cerca de 20 g de amostra destorroada e livre de matéria orgânica (raízes, folhas, palha etc.), molda-se um cilindro de aproximadamente 6 cm de comprimento e 0,5 cm de diâmetro. Procede-se a deformação dessa amostra com intuito de unir as duas pontas. Na Prancha 1: Foto 3 pode-se observar a análise da plasticidade na amostra 40.
- e) *Pegajosidade*. Com cerca de 20 g de amostra destorroada e livre de matéria orgânica (raízes, folhas, palha etc.), molda-se uma esfera de aproximadamente 1 cm de diâmetro. Com os dedos



PRANCHA 1. (1): Corte escolhido na UG32 para análise de campo. (2): Foto da realização do ensaio de consistência seca na UG34. (3): Foto do ensaio de plasticidade na amostra UG40. (4): Foto da análise mineralógica da fração areia na amostra UG48a.

polegar e indicador procede-se uma leve pressão sobre a esfera, analisando a força necessária e a deformação relativa da amostra na descompressão.

- f) *Textura.* (1) Com cerca de 20 g de amostra destorroada e livre de matéria orgânica (raízes, folhas, palha etc.), observa-se a presença de areia raspando-se a amostra na palma da mão com o dedo indicador. (2) Com cerca de 20g de amostra destorroada e livre de matéria orgânica (raízes, folhas, palha, etc.), molda-se uma esfera de aproximadamente 1 cm de diâmetro. Com o dedo indicador procede-se uma pressão sobre a esfera, esmagando-a. Observa-se a formação de estrias transversais ao movimento de esmagamento. (3) Com cerca de 20 g de amostra destorroada e livre de matéria orgânica (raízes, folhas, palha, etc.), molda-se uma esfera de aproximadamente 1 cm de diâmetro. Adiciona-se água na palma da mão e com o dedo polegar tenta-se fazer a esfera girar. Verifica-se a presença de argila quando a amostra gira livremente sem se deformar.
- g) *Mineralogia da fração areia.* Com cerca de 20 g de amostra destorroada e livre de matéria orgânica (raízes, folhas, palha etc.), promove-se a retirada da fração silte e argila por meio de lavagem com água e fricção entre a palma da mão e o dedo indicador. Seca-se a amostra retida na mão (fração

areia) e se verifica a constituição mineralógica, a forma e tamanho dos grãos com o auxílio de uma lupa com aumento de 20x, imã e tabela. Na Prancha 1: Foto 4 pode-se observar a análise mineralógica da fração areia da amostra 48a. A classificação dos minerais segue o procedimento indicado por Neves (2002), de acordo com os modelos de Font-Altaba (1963) e Kirsch (1972), e segundo as recomendações de Jiménez-Rueda (2003).

- h) *Faturamento.* Com uma bússola verificou-se as direções e mergulhos das fraturas encontradas e com uma trena mede-se o espaçamento, a abertura e a persistência das mesmas. Todas as observações e resultados obtidos em campo são transcritos sistematicamente para uma ficha de campo.

AVALIAÇÃO

Nesta fase deve-se avaliar se é necessário visitar mais algum ponto em uma UG já amostrada ou em uma UG ainda não visitada e também se é necessário repetir alguma análise ou coletar mais amostras para análise de laboratório; caso seja necessário, os procedimentos descritos são repetidos.

Tendo-se avaliado criticamente a fotointerpretação, a seleção dos pontos e as visitas de campo, iniciam-se os ensaios de comportamento espectral na faixa de luz visível.

COMPORTAMENTO ESPECTRAL NO VISÍVEL DAS CAIs

Segundo Ben-Dor et al. (1998), a reflectância dos materiais terrosos pode ser obtida em laboratório, campo ou a partir de equipamentos aéreos ou orbitais. As medidas obtidas em campo são dificultadas por variações na intensidade e ângulo de iluminação, ângulo de visada e rugosidade da superfície. As tomadas a partir de equipamentos aéreos ou orbitais são dificultadas pelo baixo sinal, atenuação atmosférica, ruído (principalmente em frequências mais altas, como nas faixas do visível e infravermelho próximo) e variação das condições atmosféricas (umidade, nuvens/nevoeiro, plumas de fumaça, entre outras).

As medidas de reflectância tomadas em laboratório para definição do comportamento espectral da amostra devem diminuir ao máximo os problemas citados acima.

Portanto o ensaio de comportamento espectral na faixa do visível, realizado nas 36 amostras deformadas, consistiu em fotografar a amostra com uma máquina fotográfica digital, após destorroá-la, homogeneizá-la e secá-la ao ar livre.

As fotos foram feitas a uma distância de 50 cm da amostra com iluminação natural (solar) direta na amostra, obedecendo-se o horário das 10 h da manhã e tendo-se a iluminação em direção contrária ao equipamento fotográfico.

O equipamento utilizado foi uma máquina fotográfica digital OLYMPUS Camedia D-535, 3.2 Mp, na resolução 640x480 *pixels*, sem o recurso de *zoom* nem de *flash*. Cada foto é um arquivo digital *.jpg de imagem (matriz). Esse equipamento capta luz na faixa de comprimento de onda correspondente à luz visível (0,4 a 0,7 μ m).

Para visualizar e editar cada uma das fotos (arquivos digitais), utilizou-se um programa de edição de imagens (como o Adobe Photoshop® CS 8.0 ou o Corel PhotoPaint® 12). Nestes programas é possível realizar a separação das cores nos canais RGB (*red, green and blue*: vermelho, verde e azul).

Tendo-se a informação separada nos canais RGB, utilizando os mesmos programas para edição de imagens, é possível visualizar para cada canal o

histograma de frequência de *pixels* em função do nível de cinza, com uma resolução radiométrica de 8 bits (256 intervalos).

Dessa forma, é possível analisar separadamente os picos de ocorrência nas faixas do azul, verde e vermelho. Em cada um desses canais anota-se o nível correspondente ao pico de ocorrência e constrói-se um gráfico de valores de pico de ocorrência em função dos canais azul, verde e vermelho.

Como os níveis de reflectância de uma imagem fotográfica digital observados em cada canal R, G e B são relativos à sua reflectância (onde o valor 0 é igual a 0% de reflectância e o valor 255 é igual a 100% de reflectância), é possível traçar o gráfico de valores de pico da reflectância nos canais azul, verde e vermelho.

É necessário enfatizar que as câmeras fotográficas digitais possuem um sensor que captura a imagem na faixa do visível de forma integrada e somente utilizando um programa de edição de imagens é possível realizar a separação nos canais azul, verde e vermelho. Ou seja, ainda que computacionalmente se obtenha a imagem nos canais azul, verde e vermelho, não se pode comparar o princípio de obtenção de imagens das máquinas fotográficas digitais com os sensores orbitais, que obtêm a imagem separadamente nos canais azul, verde e vermelho.

SISTEMATIZAÇÃO

Nesta última fase são compiladas todas as informações obtidas em laboratório (fotointerpretação e ensaios de comportamento espectral no visível) e em campo.

As UG delimitadas em um SIG já se encontram em formato digital. As planilhas do comportamento espectral no visível também se encontram em ambiente digital, pois a análise se dá em fotos digitais.

Todas as informações obtidas em campo foram transferidas para planilhas digitais (*.xls, do Microsoft Excel®). Dessa maneira torna-se mais fácil a elaboração de gráficos e tabelas comparativas.

As informações obtidas em campo e em laboratório foram compiladas e comparadas por meio de estatísticas e gráficos.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

AMOSTRAGEM

As técnicas de fotointerpretação utilizadas no presente trabalho permitem individualizar as diferentes unidades de alteração intempérica. Os limites das 39 unidades visitadas foram verificados em campo. Dessa forma há alta significância na amostragem de cada unidade.

Nas 39 UGs visitadas foram preenchidas 55 fichas de campo, para uma área de aproximadamente 650 km², perfazendo uma densidade de amostragem de apenas 0,085 pontos/km². Este valor não é preocupante, pois o objetivo da presente pesquisa é de desenvolver e testar uma seqüência de procedimentos metodológicos.