PESQUISA EM CARTOGRAFIA GEOLÓGICA POR PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS MSS LANDSAT EM DUAS ÁREAS DO BRASIL CENTRAL*

MANFREDO WINGE¹, GERALD-JEAN FRANCIS BANON^{**2},
PAULO JORGE ROSA CARNEIRO³ e FLÁVIO VIVACQUA CIVATTI²

ABSTRACT RESEARCH ON GEOLOGIC MAPPING BY DIGITAL PROCESSING OF MSS LANDSAT IMAGERY ON TWO AREAS OF CENTRAL BRAZIL. The purpose of this work is to evaluate Landsat-MSS data processing techniques for lithostratigraphic discrimination in Central Brazil. Two areas were chosen for presenting good geological maps with significant variety of stratigraphic units that guarantee adequate control of results: 1. Ceres/Rubiataba area with: granite gneissic basement; high grade granulitic terrains; amphibolitized oceanic crust with associated meta-volcano-sedimentary rocks of probable Lower Proterozoic age; metasediments of Middle Proterozoic age; and 2. São Domingos area with: granite-gneissic basement; low grade metamorphic volcano-sedimentary sequence cut by tonalitic and granitic stocks of probable Lower Proterozoic age; platformal carbonatic and pelitic deposits of Upper Proterozoic age (Bambuí Group); continental Cretaceous sandstones; residual sand deposits. Geological maps were digitalized to match the Landsat images as overlays in the view screen. A supervised thematic classification was run using computer-generated training sites that correspond to studied outcrops coordinates. Other digital techniques of image enhancement were run and are discussed elsewhere. The multispectral analysis applied to geological cartography proved that much more research has yet to be done. Some steps are suggested for future tests and implementation.

RESUMO PESQUISA EM CARTOGRAFIA GEOLÓGICA POR PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS MSS LANDSAT EM DUAS ÁREAS DO BRASIL CENTRAL. O objetivo deste trabalho foi avaliar técnicas de processamento de dados Landsat-MSS para discriminação litológica no Brasil Central. Duas áreas foram escolhidas por apresentarem bons mapas geológicos com variações significativas de unidades estratigráficas que garantem um controle adequado dos resultados: 1. área de Ceres/Rubiataba, com: embasamento granito-gnássico; terrenos granulíticos de alto grau; crosta oceânica anfibolitizada associada a rochas metavulcano-sedimentares de idade provável do Proterozóico Inferior; 2. área de São Domingos, com embasamento granito-gnássico; sequência metamórfica vulcano-sedimentar de baixo grau cortada por *stocks* tonalíticos e graníticos de idade provável do Proterozóico Inferior; depósitos carbonáticos e pelíticos do Proterozóico Superior (Grupo Bambuí); arenitos cretáceos continentais; depósitos de areias residuais. Mapas geológicos foram digitalizados de modo a se justapor como *overlays* na tela. Uma classificação temática supervisionada foi feita usando estações geradas por computador, correspondentes a coordenados de afloramentos estudados. Outras técnicas digitais de melhoramento de imagens são discutidas em outra comunicação. A análise multiespectral aplicada à cartografia geológica provou que é necessária muita pesquisa ainda. Alguns passos são sugeridos para testes futuros e implementação.

INTRODUÇÃO O geólogo fotointérprete necessita, freqüentemente, conjugar boa habilidade técnica em ver e delimitar padrões fotogeológicos e uma competente análise das causas geológicas, geomorfológicas e geobotânicas que estão na origem das variações texturais/estruturais das imagens estudadas. Esta análise de causa e efeito implica uso de conhecimentos interdisciplinares e vivências acumulados, juntamente com uma capacidade em realizar raciocínios indutivos e dedutivos para propor modelos geológicos coerentes com os fatos observados. Dificilmente tal competência poderá ser transferida integralmente para sistemas de computação. É certo, entretanto, que o computador pode ser ensinado a reconhecer padrões e, dado a alto desempenho que apresenta em termos de velocidade de processamento, tornar-se um importante auxiliar do geólogo naquelas tarefas rotineiras que envolvam análises de grande quantidade de dados para a determinação de padrões mascarados por superposição de informações e/ou por ruídos interferentes.

O sensoriamento remoto sistemático da Terra por satélites orbitais vem gerando uma soma incrível de dados que registram, repetidamente, os mesmos tratos terrestres refletindo a radiação solar em épocas diferentes. Cada

"ponto" imageado corresponde a uma área mínima denominada "píxel" (*picture cell*), geograficamente amarrada, e para a qual são registrados valores digitais relacionados a valores de energia refletida em faixas (bandas) bem definidas do espectro eletromagnético. No sistema sensor utilizado (Landsat-MSS), esses valores variam de zero (nenhuma energia captada) a 127 (100% da energia radiante) e podem ser traduzidos para tons de cinza de uma imagem. A quantidade de energia registrada relaciona-se, principalmente, à reflectância de superfície terrestre que é variável de banda para banda de imageamento. Esta reflectância é função de propriedades físico-químicas e de topografia dos objetos imageados. Assim, as variações de "respostas espectrais" permitem buscar-se a caracterização de padrões próprios de cada tipo de terreno imageado e, por elas, determinar ao computador que "mapeie" a imagem de acordo com esses padrões denominados "assinaturas espectrais".

A resolução espacial e a discriminação espectral progressivamente maiores dos novos sistemas imageadores estão transformando o sensoriamento remoto em uma das mais poderosas ferramentas da cartografia geológica e da prospecção mineral. Torna-se necessário, então, o desenvolvimento urgente de recursos humanos e,

* Pesquisa realizada com apoio do CNPq e em Convênio UnB-IBM. Trabalho apresentado no Simpósio Latino-Americano de Sensoriamento Remoto, 1986, Gramado, RS.

** Atualmente no Instituto de Pesquisas Espaciais (Inpe), Caixa Postal 515, CEP 12201, São José dos Campos, SP

1 - Departamento de Geociências, Universidade de Brasília, UnB, CEP 70910, Brasília, DF.

2 - Centro Científico IBM, Caixa Postal 853, CEP 70000, Brasília, DF.

3 - Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (Embrapa), CEP 70000, Brasília, DF.

associadamente, de pesquisas básicas e aplicadas neste campo.

Foi neste sentido que se propôs ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) apoiar a presente pesquisa (Processo CNPq 405.534/82) com o objetivo de testar o uso do sensoriamento remoto em áreas-alvo de geologia diferenciada e com bom controle cartográfico-geológico até o nível pontual (mapas de afloramentos). As áreas selecionadas (Ceres/Rubiataba e São Domingos) correspondem às áreas dos trabalhos de graduação de 1982 e 1983 do Departamento de Geociências da Universidade de Brasília.

Com vistas à implementação desta pesquisa, a UnB e a IBM assinaram convênio específico em outubro de 1984 que envolveu pesquisadores e estagiários do Centro Científico da IBM e do Departamento de Geociências da UnB, o fornecimento de dados pela UnB e o apoio computacional pela IBM.

Foram utilizados dados do Sistema MSS do satélite Landsat 4 na forma de fitas compatíveis com computador (CCTs) adquiridas ao Instituto de Pesquisas Espaciais (Inpe).

O processamento das imagens de satélite utilizou *software* já disponível no Centro Científico da IBM em Brasília. Diversos programas, entretanto, tiveram de ser desenvolvidos para resolver problemas específicos, como geração de escala gráfica, casamento de coordenada de afloramento com o pixels correspondentes...

Usando-se o conhecimento prévio da geologia, foram estipulados grupos litoestratigráficos para a classificação temática supervisionada das imagens e para a geração de *overlays*, obtidos por digitação dos mapas geológicos de controle. Esses *overlays* com o contatos geológicos, foram casados com as diversas imagens geradas, permitindo acompanhar melhor os resultados dos processamentos.

Este trabalho, apresentado no Simpósio Latino-Americano de Sensoriamento Remoto em Gramado (RS), em agosto de 1986, tem por base o texto do relatório final do Convênio UnB-IBM (Winge *et al.* 1986), no qual são detalhadas outras técnicas além da classificação temática aqui destacada.

OBSERVAÇÕES SOBRE AS ÁREAS PESQUISADAS

Área de Ceres/Rubiataba ASPECTOS CLIMÁTICOS E FISIOLÓGICOS

A região de estudo tem como limites as coordenadas 15°02'–15°27'S e 49°20'–49°52'W. Está compreendida inteiramente na unidade ecológica dos Cerrados e, portanto, sujeita às características climáticas dominantes de duas estações: uma seca, de abril a setembro; e outra chuvosa, de outubro a março. Segundo a classificação de Koppen, trata-se de um clima tipo Aw tropical de Savana.

As estações pluviométricas mais próximas são as de Pirenópolis (total anual de 1.695 mm, sendo dezembro o mês chuvoso, com 337 mm, e julho, com 2 mm, o mês mais seco; a temperatura média anual é de 21,9°C sendo setembro o mês mais quente e julho o mais frio) e Goiás (1.786 mm anuais, com janeiro precipitando 333 mm e julho com 3 mm; a temperatura anual média é de 23,6°C com setembro sendo o mês mais quente e julho o mais frio).

A vegetação predominante é a mata densa nas zonas do complexo granito-gnáissico, complexo granulítico, seqüências Serra da Malacacheta e Juscelândia, e granitos intrusivos tendo sido quase totalmente substituída por pastagens incorporando palmeiras bacuri e guariroba, principalmente nas terras roxas dos granulitos. O Cerrado ocorre sobre os metassedimentos do Grupo Araxá e sobre as coberturas detrito-lateríticas, apresentando matas de galerias junto às drenagens maiores.

O relevo é variável, apresentado-se desde cristas alongadas e bastante elevadas, orientadas a leste-oeste, principalmente em parte dos terrenos granulíticos, a aplainado (extensões localizadas de terrenos xistosos, granito-gnáissicos e anfibolíticos). São comuns as formas colinosas alongadas. A

área é drenada pela bacia do Rio das Almas que a corta no sentido sul-nordeste.

CONTEXTO GEOLÓGICO Diversos trabalhos abordam aspectos geológicos regionais que interessam a esta área, situada na porção ocidental do Complexo de Barro Alto. Entretanto, trabalhos sistemáticos, em escalas adequadas à solução de problemas geológicos, são em número restrito, destacando-se o Projeto Goianésia-Barro Alto da CPRM (Baeta *et al.* 1972), teses de doutoramento (Souza 1973, Stache 1976) e, mais recentemente, trabalhos de graduação em Geologia da UnB (1982) e a revisão e integração desses trabalhos (Danni *et al.* 1984).

As unidades estratigráficas maiores, das mais antigas para as mais novas, são as seguintes:

- **Complexo granito-gnáissico:** congrega, principalmente, hornblenda e biotita gnaisses granodioríticos e granitos e granodioritos mais jovens reciclados nesta crosta sílica arqueana.

- **Complexo granulítico:** compreende rochas de infra a supracrustais de uma antiga crosta oceânica granulitizada em gradiente geotérmico de baixa pressão e, posteriormente, polimetamorfizada. As rochas infracrustais são, em sua maior parte, gabróicas. As supracrustais dividem-se em granulitos básicos finos (metabasaltos) e granulitos ácidos a intermediários como leptinitos, granada quartzitos, rochas calcio-silicáticas (metavulcânicas e vulcanoquímicas especialmente).

- **Seqüências Serra da Malacacheta e Juscelândia:** estas duas seqüências foram interpretadas como uma associação litológica metamorfizada de antiga crosta oceânica com pacote vulcano-sedimentar de arco de ilha (Danni *et al.* 1984, Danni & Kuyumjian 1984). Compreende litologias como gabros coroníticos, anfibolitos bandados (metagabros), anortositos (fora da área), anfibolitos finos (metabasaltos), metachertes quartzíticos e calcio-silicáticos, biotita a hornblenda gnaisses finos (metavulcânicas ácidas a metagrauvacas), micaxistos com cianita e estauroлита (metatufos e metapelitos), gonditos. A idade provável é eoproterozóica. O metamorfismo atingiu o fácies antibolito de pressão intermediária afetando, também, os granulitos sotopostos.

- **Granito intrusivo, porfiróide em parte.**

- **Metassedimentos pelíticos** de psamíticos a calcio-pelíticos do Grupo Araxá (Proterozóico Médio), contendo alguns corpos alpinos ultramáficos e raros metabasitos. O metamorfismo foi do tipo barroiano e o fácies atingido foi o xisto verde.

As unidades mais antigas apresentam forte estruturação com vergência de NW para SE imbricando fatias de unidades mais antigas entre mais jovens durante os diastrofismos do Eoproterozóico.

A tectônica do Proterozóico Médio a Superior apresenta *trends* mais aleatórios com tendência de vergência para E.

Com resultado desses tectonismos, a área apresenta marcantes falhas de rasgamento e de empurrão orientadas, de preferência para E-W, NW-E e NE-SW.

Área de São Domingos ASPECTOS CLIMÁTICOS E FISIOLÓGICOS

Esta área fica próxima à divisa de Goiás com a Bahia, tendo os seguintes limites: 13°01'–13°40'S x 46°15'–46°30'W. Seu clima é, na classificação de Koppen, do tipo Aw Tropical de Savana, caracterizado por duas estações: uma seca, estendendo-se de abril a outubro; e outra úmida, com chuvas torrenciais, e novembro a março. A estação pluviométrica mais próxima é a de Paranã. A precipitação média anual é em torno de 1.340 mm com os meses de junho, julho e agosto chovendo de 1 a 2 mm em média. O mês chuvoso é dezembro com cerca de 260 mm em média. A temperatura média anual é de cerca de 23°C sendo o mês mais quente o que antecede as chuvas e o mais frio, o mês de julho.

Este clima conduz a intensa lixiviação e conseqüente lateritização dos solos, que, em decorrência, são pobres em nutrientes e com altos teores em alumínio. A vegetação que neles se desenvolve é típica savana tropical, no caso cerrado, cerrado e campos. Todavia, quando ocorrem solos mais ricos, como os tipos latossolo roxo e terra-roxa similar sobre rochas ultrabásicas e sobre calcários, respectivamente, verifica-se uma vegetação mais densa, tipo mata mesofítica.

Junto aos cursos d'água desenvolveram-se as veredas caracterizadas por campos inundados comportando vegetação rasteira e buritis. Esta situação grada para mata de galeria quando a drenagem dos solos ribeirinhos melhora.

A geomorfologia é bastante variada. Trata-se de uma área encaixada entre altiplanos do Planalto Central a oeste e Chapada do Urucuiá ou Serra Geral de Goiás, a leste, no domínio do vão do Paraná. De leste para oeste, tem-se o relevo tabular da Serra Geral de Goiás apresentando escarpas e boqueirões de erosão por regressão lateral, o relevo plano e rebaixado do embasamento, capeado por areias, e o relevo colinoso a tubular, tendendo a formar *cuestas*, do Grupo Bambuí mais a oeste. Nos terrenos calcários, principalmente nos dolomitos sobrepostos às rochas do embasamento, desenvolveram-se notáveis cavernas com extensa drenagem subterrânea como às de Terra Ronca e Paraná em relevo cárstico com dolinas e drenagem superficial descontínua típicas dessas regiões calcárias.

CONTEXTO GEOLÓGICO A área de São Domingos foi objeto de poucos estudos geológicos. Destacam-se os trabalhos de Barbosa *et al.* (1981), de Teixeira *et al.* (1982), trabalhos de graduação do Departamento de Geociências da UnB de 1975 (Alvarenga & Silva 1975) e de 1983, e a revisão e integração desses trabalhos da UnB (Faria *et al.* 1986).

A região está situada nas bordas ocidentais do Cráton do São Francisco e as unidades litoestratigráficas maiores são as seguintes:

- Embasamento granito-gnáissico a migmatítico, com fácies anatóxico comum, e ocasionais ocorrências de rochas cálcio-silicáticas e metabásicas (anfíbolitos).
- Metassedimentos (pelitos a grauvas) e metavulcânicas (ácidas a básicas) da Sequência de São Domingos metamorfizadas em baixo grau. Ocorrem como provável gráben em NW-SE.
- *Stocks* tonalíticos e graníticos intrusivos nos filitos e metagruvas da Sequência de São Domingos mostrando contatos metamórficos e apófises pegmatíticas, estaníferas em parte.
- Cobertura de plataforma calcária do Grupo Bambuí com fases transgressivas e regressivas representada por três formações na área, da mais antiga para a mais jovem:
 - Formação Sete Lagoas – calcários dolomíticos, dolarenitos e brechas associadas a *reefs* estromatolíticos.
 - Formação Serra de Santa Helena – argilitos e siltitos calcíferos, calcários sujos e níveis de calcários.
 - Formação Lagoa do Jacaré – calcários pretos, oolíticos e fétidos.
- Arenito Urucuiá – arenitos cretácicos vermelhos a cremes, com estratificação cruzada de dunas muito comuns e feições de ambientes subaquáticos associados.
- Silexitos resultantes de silicificação principalmente dos calcários dolomíticos do Bambuí.
- Sedimentos residuais (areias especialmente) capeando as áreas de embasamentos e sequência vulcano-sedimentar nas fraldas ocidentais da Serra Geral de Goiás.

PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS Software e Hardware No processamento digital de imagens foram utilizados dois sistemas distintos. O primeiro, chamado de TRIM 2 (Tratamento de Imagens versão 2), desenvolvido no Centro Científico da IBM em Brasília (Banon 1984) para

atender às necessidades do presente projeto, foi usado para efetuar pré-tratamentos e apresentar as imagens finais. O segundo, chamado HLIPS (High Level Image Processing System), desenvolvido no Centro Científico da IBM em Paris (IBM 1984), foi usado para o casamento da imagem com o mapa geológico digitalizado.

Esses dois sistemas fazem uso da estação de trabalho IBM 7350 com tela em cores de 1.024 linhas x 1.024 colunas (Franchi *et al.* 1983).

Usou-se, também, uma mesa digitalizadora Summagraphics acoplada a um micro Canon AS100 para a digitação dos dados geológicos em escala 1:50.000.

Pré-processamento das imagens As duas cenas MSS (Multispectral Scanner System), em fitas magnéticas (CCT) nas bandas 4, 5, 6 e 7, relativas às regiões de Ceres/Rubiataba (Órbita 222, Ponto 71 de 10.07.83) e de São Domingos (Órbita 220, Ponto 69 de 28.07.83) foram adquiridas no Inpe.

Depois de gravadas em disco, foram efetuados, para cada uma delas, os seguintes tratamentos (Winge *et al.* 1986):

- Correção geométrica do efeito de rotação da Terra.
- Seleção de uma sub-imagem na cena inteira.
- Equalização da resposta dos detectores do MSS.
- Correção geométrica para redimensionar os pixels.

Correção das imagens por pontos de amarração A fim de superpor, com precisão, as imagens de satélite com as informações dos mapas, foi feita uma última correção geométrica das imagens a partir de pontos de controle identificados nas imagens e nos mapas como, por exemplo, curva de um rio ou de uma estrada, intersecção de um rio com uma estrada.

Para corrigir a imagem de Ceres/Rubiataba foram utilizados 10 pontos de controle e um modelo polinomial de ordem 2 x 2 (vertical x horizontal) e para a imagem de São Domingos, sete pontos de controle e um modelo polinomial de ordem 1 x 1.

Para a reamostragem usou-se o método do vizinho mais próximo.

Superposição dos pontos de afloramento estudados A fim de casar os pontos de afloramentos com os respectivos "pontos" nas imagens, as coordenadas dos afloramentos foram transformadas em linhas/colunas de tela do IBM 7350. Foram usadas as mesmas transformações utilizadas para os pontos de controle.

Dessa maneira, duas facilidades apareceram. A primeira, de poder enxergar esses pontos de afloramentos na imagem corrigida geometricamente. A segunda, de poder usar os dados geológicos desses pontos para criar automaticamente modelos de rochas a partir dos dados espectrais fornecidos pelas imagens MSS e gerar, em seguida, um mapa temático.

A fotografia 2 mostra o resultado da superposição dos pontos de afloramento na imagem de Ceres/Rubiataba.

Apresentação das imagens As cenas de Ceres/Rubiataba e de São Domingos foram processadas com o uso de técnicas de realce e combinação das respostas espectrais nas diversas bandas. Assim, por exemplo, a combinação em tricromia das bandas 4, 5 e 7, jogando-as, por uma tabela de cores, respectivamente, nos canhões azul, verde e vermelho do terminal em cor, produziu imagens em falsa cor que incorporam características multiespectrais do terreno em função da distribuição dos valores digitais dos pixels em cada banda (Fotos 1 e 3).

Além deste, outros tratamentos, como o de componentes principais e o de divisão por bandas, detalhadas em outro local (Winge *et al.* 1986), puderam ser comprovados como poderosas ferramentas que se complementam para a fotointerpretação geológica visual.

Photo 1 – Trichromic combination of bands 4, 5 and 7, here presented in black and white

Classificação Temática Os diversos grupos (classes) litoestratigráficas selecionados para a classificação temática supervisionada constam das tabelas 1 (Ceres/Rubiataba) e 2 (São Domingos).

As diversas classes foram tratadas por um algoritmo baseado no modelo bayesiano e no cálculo do máximo de

Tabela 1 – Classes litoestratigráficas da área de Ceres/Rubiataba

Table 1 – Lithostratigraphic classes of the Ceres/Rubiataba area

ANFIBO	anfíbolitos finos (metabasaltos) da Sequência Juscelândia.
CALCIX	cálcio-xistos e lentes de mármore dolomíticos do Grupo Araxá.
CLOMUX	clorita moscovita xistos do Grupo Araxá.
DIOGRAN	granulitos quartzodioríticos, muitas vezes ricos em xenólitos.
GABRO	gabros coroníticos e anfíbolitos associados da Sequência Serra da Malacacheta.
GNAISSE	gnaisse do complexo granito-gnáissico arqueano e rochas associadas.
GRANFI	granulitos máficos finos (metabasaltos) e rochas associadas.
GRANIT	granitos.
GRANUL	granulitos gabróicos de granulação média e grossa e rochas associadas do complexo granulítico.
LEPTIN	leptinitos e outros granulitos ácidos como, por exemplo, sillimanita-granada quartzito (metavulcânicas ácidas e metachertes silicosos e sílico-carbonáticos).
METAVUL	gnaisse finos (metadacitos e metagrauvas associadas) da Sequência Juscelândia.
MUXIST	moscovita xisto com cianita, granada e estauroлита da Sequência Juscelândia (metapelitos e metatufos).
QZXUST	quartzo-xistos do Grupo Araxá.
ULTRA	corpos alpinos ultramáficos.

Tabela 2 – Classes Litoestratigráficas da área de São Domingos

Table 2 – Lithostratigraphic classes of the São Domingos area

AREIA	capeamentos eluvionares, localmente lateritizados, derivados da erosão principalmente dos arenitos cretácicos.
ARENIT	arenitos; Formação Urucuaia.
CALCAR	calcários pretos; Formação Lagoa do Jacaré.
CALPEL	margas e calcários impuros (cálcio-pelitos) da Formação Serra de Santa Helena.
DOLOMI	calcários dolomíticos da Formação Sete Lagoas.
FILITO	sericita e biotita filitos (metapelitos, metagrauvas e metatufos) da Sequência Vulcano-Sedimentar de São Domingos.
GNAISSE	gnaisse do embasamento granito-gnáissico.
GRANIT	granito, parcialmente porfirico, róseo, intrusivo e com apófises pegmatíticas.
MGRAUV	metagrauvas e metavulcânicas associadas da Sequência Vulcano-Sedimentar de São Domingos.
SILEXI	silexites derivados maiormente da silicificação dos dolomitos Sete Lagoas.
TONALIT	corpos tonalíticos intrusivos na Sequência de São Domingos.

verossimilhança para a tomada de decisão.

Foram testadas duas maneiras de definição dos campos de treinamento: 1. manualmente, usando o cursor sobre a imagem. Para auxiliar a escolha visual dos campos, foi utilizado, para a área de Ceres/Rubiataba, o mapa digitalizado e os pontos de afloramento superpostos na imagem (Foto 2); 2. automaticamente, por uma função que cria campos (5 x 5 pixels) ao redor dos pontos de afloramento referentes às classes selecionadas.

Para esta pesquisa, foram utilizadas todas as bandas do MSS e a classificação foi feita sobre toda a área da imagem, usando todas as classes definidas.

Foto 1 – Combinação tricrômica das bandas 4, 5 e 7 aqui apresentada em preto e branco. Nesta imagem estão combinadas as bandas 4, 5 e 7 nas cores azul, verde e vermelha, respectivamente, e, portanto, em falsa cor que, para fim de publicação, é apresentada em preto e branco. Apesar desta perda de informação, percebe-se que grande parte dos contatos geológicos pode ser facilmente locada pelas texturas e tons diferenciados. Isso demonstra a importância das imagens em falsa cor para a interpretação visual fotogeológica. As linhas brancas correspondem ao casamento de overlay, obtido a partir de digitalização (mesa digitalizadora Summagraphics) dos mapas geológicos de controle com a imagem pelo ajustamento polinomial usando pontos de controle cartográfico bem identificáveis nas imagens. Alguns dos grupos usados na classificação temática supervisionada e indicados na imagem são os seguintes: 1. GNAISSE: embasamento granito-gnáissico. 2. - GRANUL: granulitos básicos de origem plutônica. 3. GRANFI: granulitos finos máficos (metabasaltos). 4. GABRO: gabros coroníticos e anfíbolitos da Sequência Serra da Malacacheta. 5. ANFIBO: anfíbolitos finos (metabasaltos) da Sequência Juscelândia. 6. GRANIT: granitos. 7. CLOMUX e CALCIX: clorita moscovita xisto e cálcio-xistos do Grupo Araxá

Como resultado da classificação, obtêm-se para cada píxel a classe com maior verossimilhança e o valor desta verossimilhança. Definindo limiares para cada classe, decide-se não classificar os pontos de baixa verossimilhança.

Existem duas maneiras de definir os limiares: uma é usar valores iguais para todas as classes e a outra é determinar, interativamente, usando uma opção do sistema, o valor que fornece o resultado (observado na tela do terminal em cores) mais razoável para cada classe. Foram testadas as duas maneiras. A segunda deu melhor resultado; só ela foi adotada.

Os resultados da classificação são materializados na forma de mapas temáticos (imagens coloridas no terminal) em que a cada classe é atribuída uma cor. Esses mapas, denominados mapas da etapa 1, podem ser processados para melhor definir o contato entre as classes, realocando os pontos isolados dentro de uma região, com predominância de uma determinada cor, e originando novos mapas, chamados mapas da etapa 2 (Fotos 3 e 5).

RESULTADOS DA CLASSIFICAÇÃO TEMÁTICA

Assinaturas multiespectrais A comparação entre os dados obtidos por processo manual e o processo automático de seleção das áreas de treinamento mostrou que as médias dos valores digitais registrados para cada píxel são muito parecidas e com diferenças mínimas (Winge *et al.* 1986). Isso indica adequação do método automático para caracterização de assinaturas multiespectrais.

Para verificar se algumas das classes definidas não fugiam de uma distribuição normal, ou pelo menos unimodal, foram plotados os gráficos de frequência das classes (Winge *et al.* 1986). De um modo geral, esses gráficos para as classes maiores indicam que a hipótese de distribuição gaussiana pode ser aplicada.

A partir do levantamento dos gráficos de frequências, são calculados os primeiros momentos: média e desvio-padrão de cada classe para as áreas de Ceres/Rubiataba (Tabs. 3 e 4) de São Domingos (Tab. 5).

Como pode ser visto nas tabelas 3 e 4, há uma representatividade variável de áreas para cada grupo, o que se deve ao número variado de afloramentos utilizados. Assim, por exemplo, a classe GRANUL (granulitos) conta com a área de 1.850 píxels (74 afloramentos em contraste com a classe QZXIST (quartzo xisto do Grupo Araxá) com somente 25 píxels (um afloramento).

Para melhor observar os valores relativos das médias em cada banda das classes selecionadas, foram plotadas as curvas de "assinaturas espectrais" (Fig. 1), para a área de Ceres/Rubiataba, e para a área de São Domingos (Fig. 2).

Ao analisar os diagramas de assinaturas espectrais percebe-se na área Ceres/Rubiataba as respostas espectrais das diferentes classes são bastante semelhantes em cada banda, o que indica uma maior dificuldade em separar os grupos litoestratigráficos por processamento automático. Isso talvez se deva, entre outros aspectos, ao desmatamento com plantio de capim de forma generalizada nivelando as respostas espectrais das várias unidades geológicas. Na área de São Domingos existem maiores diferenças no comportamento espectral de cada classe, atingindo diferenças de mais de 15%, como, por exemplo, entre arenitos do Cretáceo (ARENIT) e tonalito (TONALIT). Simultaneamente, verifica-se que os valores digitais registrados são bem maiores do que na área Ceres/Rubiataba, exceto para a banda 7, que mostra menores valores do que os registrados na banda 6. Isso talvez se deva a uma maior exposição relativa de pavimento (solos e rochas) e vegetação menos hidratada, devido ao clima mais seco daquela região.

Foto 2(15) – Pontos de afloramentos estudados. Nesta imagem (combinação tricrômica em falsa cor das bandas 4, 5 e 7 apresentada em preto e branco para publicação) estão indicados os pontos de afloramento selecionados para "casamento" automático com os píxels correspondentes nas imagens ajustadas à base cartográfica (ajuste polinomial). No terminal, as cores dos pontos correspondem às cores dos nomes dos grupos litoestratigráficos acima e à direita da imagem. Ver também outras observações na foto 1

Photo 2(15) – Studied outcrops

Foto 3(21) – Etapa 2 da classificação temática. A partir dos parâmetros espectrais das áreas de treinamento definidas pelos pontos de afloramentos selecionados [Foto 2(15)], foi estabelecida, por processo de máxima verossimilhança, a que classe ou grupo litoestratigráfico mais provavelmente cada píxel deveria pertencer, recebendo, em seguida, a cor da classe conforme cores da lista indicada na imagem da foto 2(15) gerando imagem (etapa 1 da classificação temática) não apresentada neste trabalho. Sobre os dados dessa primeira imagem foi alicado um filtro que reclasificou os píxels da etapa 1, conforme a maior ocorrência no entorno. Dessa forma, “limpou-se” a imagem que apresenta os contatos geológicos prováveis mais nítidos entre uma cor e outra. Verificar que o “mapa-imagem” gerado pelo computador não coincide, em grande parte, com o mapa geológico de controle, com exceção da delimitação dos granulitos básicos e, em parte, de anfibolitos da Sequência Juscelândia.

Photo 3(21) – Stage 2 of the thematic classification.

Foto 4(31) – Combinação tricrômica das bandas 4, 5 e 7 aqui apresentadas em preto e branco. Valem as mesmas observações gerais da foto 1. Notar o perfeito destaque (cores verdes na fotografia original) da Chapada do Urucuia ou Serra Geral de Goiás com arenitos cretácicos capeados por lateritas (1). Nas faldas e em inselbergs, onde denudados, esses mesmos arenitos mostram respostas espectrais em falsas cores análogas às das rochas metavulcano-sedimentares da Sequência de São Domingos. As areias residuais (2) apresentam tons (rôseos e esbranquiçados na fotografia original) análogos aos dos cálcio-pelitos (3), mas sem a textura mais ou menos rugosa (relevo) destes. Os dolomitos (4) também se destacam em falsa cor (vermelha-escura na fotografia original) em parte semelhante à dos calcários pretos (5) do topo do Grupo Bambuí.

Photo 4(31) – Trichromatic combination of bands 4, 5 and 7, here presented in black and white.

Foto 5(51) – Etapa 2 da classificação temática. As observações de caráter geral feitas para a foto 3(21) da área de Ceres/Rubiataba valem para esta fotografia da área de São Domingos. Notar que o sistema conseguiu “mapear” diversos contatos de unidades geológicas como AREIA e ARENIT, mas errou na atribuição de muitos grupos lito-estratigráficos

Photo 5(51) – Stage 2 of the thematic classification

Figura 1 – Assinaturas espectrais da região de Ceres/Rubiataba (Winge et al. 1986)

Figure 1 – Spectral signature of the Ceres/Rubiataba region (Winge et al. 1986)

Mapeamento geológico automático As imagens de classificação temática representam uma tentativa de gerar “mapa” (imagem em cores) geológico pelo computador segundo classes (unidades litoestratigráficas) preestabelecidas. As tabelas 6 e 7 mostram uma avaliação da classificação (etapa 2) efetuada estimando a probabilidade de erro de classificação sobre as áreas de treinamento relativas às imagens de Ceres/Rubiataba e São Domingos, respectivamente.

Figura 2 – Assinaturas espectrais da região de São Domingos (Winge et al. 1986)

Figure 2 – Spectral signature of the São Domingos region (Winge et al. 1986)

As várias classificações feitas neste trabalho foram testadas sobrepondo o mapa digitalizado ao mapa temático e ao mapa filtrado.

As probabilidades de erro na classificação temática foram estimadas em 0,59 e 0,62, respectivamente, para as áreas de Ceres/Rubiataba e São Domingos. Esses números dão uma indicação global sobre a qualidade da classificação. Uma boa classificação é indicada por valores inferiores a 0,5. Os números encontrados indicam então uma qualidade baixa para

Tabela 3 – Momentos – Ceres/Rubiatataba – Seleção manual

Table 3 – Moments – Ceres/Rubiatataba – Manual selection

Classe	Nº de Pixels	BANDA 4		BANDA 5		BANDA 6		BANDA 7	
		med	dp	med	dp	med	dp	med	dp
ANFIBO	11518	28,73	3,25	34,66	6,29	52,04	8,04	53,39	7,72
CALCIX	1635	26,81	2,34	29,05	5,19	55,61	5,00	60,34	4,52
CLOMUX	11982	16,69	3,07	27,91	6,34	54,22	6,69	58,69	5,95
DIOGRAN	1057	30,43	3,33	38,95	7,39	56,75	7,70	57,74	7,06
GABRO	2340	26,62	2,17	30,78	4,47	52,45	7,93	55,55	8,01
GNAISSE	20828	29,45	3,69	34,07	7,94	56,20	7,29	58,62	5,86
GRANFI	3275	27,62	2,75	33,13	6,33	55,38	8,57	58,77	8,49
GRANIT	3733	330,10	3,29	36,20	7,19	56,94	8,14	58,21	7,86
GRANUL	18489	28,00	2,42	33,23	5,27	55,54	5,52	58,68	5,49
LEPTIN	667	25,66	2,52	27,45	5,27	57,29	9,01	61,67	9,22
METAVUL	609	27,77	2,73	32,12	5,27	50,05	5,87	53,46	5,65
MUXIST	4492	27,75	2,63	31,55	6,38	52,11	5,97	55,42	5,83
QZXIST	507	26,59	3,11	27,39	5,63	53,01	7,61	56,12	7,24
ULTRA	40	27,57	1,06	29,47	2,18	67,62	6,22	73,35	6,48

Tabela 4 – Momentos – Ceres/Rubiatataba – Seleção automática

Table 4 – Moments – Ceres/Rubiatataba – Automatic selection

Classe	Nº de Pixels	BANDA 4		BANDA 5		BANDA 6		BANDA 7	
		med	dp	med	dp	med	dp	med	dp
ANFIBO	475	28,74	3,69	34,55	7,93	53,83	6,96	56,09	5,19
CALCIX	100	26,42	2,57	27,76	5,23	53,24	6,41	58,06	5,97
CLOMUX	700	27,62	2,95	30,18	6,25	54,12	8,05	57,75	7,34
DIOGRAN	150	30,03	4,84	35,97	7,03	59,99	6,64	62,59	7,95
GABRO	200	27,01	2,49	31,43	5,34	54,62	11,62	57,96	11,42
GNAISSE	475	29,44	3,23	34,67	7,96	55,35	7,00	58,27	5,35
GRANFI	250	27,00	3,02	31,54	6,66	52,28	7,02	55,72	7,73
GRANIT	175	28,05	2,64	32,90	6,68	52,61	8,20	53,57	9,00
GRANUL	1850	28,10	2,28	33,16	4,64	56,22	6,81	59,54	6,75
LEPTIN	225	25,88	2,38	27,73	5,08	54,48	9,13	58,86	9,34
METAVUL	25	257,71	1,67	27,80	3,22	46,41	4,98	50,97	5,62
MUXIST	725	27,39	2,78	29,82	5,28	51,52	7,37	55,64	7,57
QZXIST	25	24,64	1,16	23,12	2,80	55,56	5,84	60,76	4,57
ULTRA	50	28,20	0,89	31,78	2,69	63,10	6,90	68,04	7,72

Obs.: A cada afloramento utilizado para a classificação corresponde uma área de 5 x 5 pixels.

as classificações das áreas estudadas. No entanto uma análise mais fina dos resultados intermediários dados nos quadros 4 e 5 mostra que nem todas as rochas foram mal classificadas e que o resultado da avaliação global sofre a influência de resultados parciais imprecisos.

Por exemplo, para a área de Ceres/Rubiatataba, o quadro 4 mostra que as áreas de GRANUL e GNAISSE foram relativamente bem classificadas; entretanto, muitas outras áreas (ANFIBO, CALCIX, CLOMUX, GRANIT e MUXIST) também foram classificadas como GNAISSE.

Assim, na área de Ceres/Rubiatataba, pode-se concluir que a única unidade relativamente bem reconhecida pelo computador é GRANUL.

Para a área de São Domingos, o quadro 5 mostra que as unidades AREIA e SILEXI foram muito bem classificadas, no entanto com um problema grave para SILEXI, na medida que também muitas outras unidades como ARENIT, FILITO,

Tabela 5 – Momentos – São Domingos E-2 – Seleção automática

Table 5 – Moments – São Domingos – Automatic selection

Classe	Nº de Pixels	BANDA 4		BANDA 5		BANDA 6		BANDA 7	
		med	dp	med	dp	med	dp	med	dp
AREIA	125	50,08	5,05	61,55	9,50	65,62	7,06	58,80	6,20
ARENIT	100	35,93	6,77	41,34	11,93	47,34	18,28	43,20	15,66
CALCAR	325	40,28	4,05	49,52	8,69	55,65	9,67	53,23	8,14
CALPEL	900	44,35	5,34	57,08	10,88	65,92	8,09	58,99	5,44
DOLOMI	400	41,62	6,22	51,22	13,85	60,74	10,03	57,52	6,92
FILITO	100	47,03	6,35	62,53	12,75	66,85	8,55	58,85	5,61
GNAISSE	325	41,22	4,70	48,46	10,15	62,57	6,82	58,09	5,26
GRANIT	100	39,52	2,42	47,04	5,88	59,02	4,73	55,80	4,83
MGRAUV	125	43,82	3,52	53,90	6,95	65,38	4,68	60,32	3,07
SILEXI	100	41,63	4,63	48,48	8,06	63,84	5,15	60,72	3,44
TONALI	50	41,46	3,48	51,10	8,84	65,98	7,54	61,38	5,30

Obs.: A cada afloramento utilizado para a classificação corresponde uma área de 5 x 5 pixels.

Tabela 6 – Matriz de erro/acerto – Ceres/Rubiatataba

Table 6 – Hit-and-miss matrix – Ceres/Rubiatataba

Classes	Classificação														(1)	(2)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
1 ANFIBO	7	0	0	0	1	6	0	1	4	0	0	0	0	0	0,63	0,05
2 CALCIX	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0,05	0,11
3 CLOMUX	2	6	1	0	0	9	0	0	7	3	0	0	0	0	0,96	0
4 DIOGRAN	0	0	0	0	2	1	0	0	1	2	0	0	0	0	1	0
5 GABRO	0	1	0	0	3	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0,63	0,03
6 GNAISSE	0	1	0	0	0	15	0	0	0	2	0	1	0	0	0,21	0,18
7 GRANFI	0	0	0	0	1	0	0	2	6	0	1	0	0	0	1	0,01
8 GRANIT	0	0	0	0	0	4	0	2	1	0	0	0	0	0	0,71	0,03
9 GRANUL	2	7	0	0	2	5	2	3	53	0	0	0	0	0	0,28	0,13
10 LEPTIN	0	2	0	0	1	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0,67	0,04
11 METAVUL	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0,01
12 MUXIST	7	7	0	0	0	10	0	0	1	0	1	2	0	1	0,93	0
13 QZXIST	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
14 ULTRA	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
																0,59

Obs.: (1) Probabilidade de erro sabendo a classe.

(2) Probabilidade de erro e de decidir em favor da classe.

GNAISSE e GRANIT foram também classificadas como SILEXI.

Quanto a CALCAR e CALPEL, embora não tão bem classificadas, elas merecem uma certa atenção. CALCAR é mais bem reconhecida que CALPEL, mas deve ser destacado que se confunde com DOLOMI.

Assim, na área de São Domingos, pode-se concluir que uma só unidade é muito bem reconhecida: AREIA. CALCAR e CALPEL também podem ser reconhecidas pelo computador mas com uma certa imprecisão.

CONCLUSÕES Foram processados os dados de satélite LANDSAT (MSS) de duas áreas geologicamente distintas na Região Cento-Oeste do Brasil e que apresentam ótimo controle geológico-cartográfico. Isso permitiu avaliar as imagens geradas como muito importantes para subsidiar a fotogeologia em mapeamentos geológicos de áreas análogas,

Tabela 7 – Matriz de erro/acerto – São Domingos
Table 7 – Hit-and-miss matrix – São Domingos

Classes	Classificação											(1)	(2)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
1 AREIA	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,06
2 AREMIT	0	1	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0,75	0,02
3 CALCAR	0	1	9	2	0	0	0	1	0	0	0	0,31	0,16
4 CALPEL	1	0	8	21	1	2	0	0	0	3	0	0,42	0,05
5 DOLOMI	0	1	8	3	0	0	0	0	0	4	0	1	0,01
6 FILITO	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0,5	0,05
7 GNAISSE	2	0	0	0	0	1	0	0	0	10	0	1	0,01
8 GRANIT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	1	0,01
9 MGRAUV	3	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
10 SILEXI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0,25
11 TONALI	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0
													0,62

Obs.: (1) Probabilidade de erro sabendo a classe.

(2) Probabilidade de erro e de decidir em favor da classe.

podendo-se esperar, certamente, resultados ainda superiores com os novos sistemas de imageamento terrestre (LANDSAT TM e SPOT HRV).

Nas áreas estudadas, as rochas são, em sua maior parte, capeadas por solos, mantos residuais e vegetação cada um com assinaturas espectrais próprias. Existindo uma relação de causa e efeito entre rocha e solo e entre solo e vegetação, ou seja, o solo sendo autóctone e a vegetação natural, as respostas espectrais, apesar de diferentes, podem ser estatisticamente aglutinadas de acordo com sua interdependência para caracterizar uma relação genética com a litologia capeada. Esta relação ideal nem sempre se verifica sobretudo no que se refere à cobertura vegetal introduzida ou alterada pelo homem, a partir de queimadas, roçados, plantio de capim...

A análise multispectral revelou diferenças significativas do comportamento espectral entre as áreas de São Domingos e de Ceres/Rubiataba e que se devem, provavelmente, tanto a características climáticas diversas, conduzindo a razões

vegetação/solo diferentes quanto pela maior apropriação de áreas com vegetação natural, especialmente a partir no plantio de capim na área Ceres/Rubiataba.

Resultados parciais e ainda insuficientes foram obtidos no processo de discriminação das unidades litoestratigráficas por classificação temática apoiada somente em assinaturas multispectrais das áreas de treinamento selecionadas.

O uso de dados de sensores com maior resolução espacial, como TM do LANDSAT ou o HRV do SPOT, e melhor discriminação espectral, como o TM do LANDSAT, que possui maior número de bandas, com toda certeza melhoraria esses resultados.

As variações dos valores digitais registrados de pixel para pixel correspondem a tons de cinza em imagem da área sensorizada e seguem padrões (gradientes transicionais ou em saltos; direcionais ou isotropos; menores ou maiores; repetitivos ou isolados...) correspondentes a tipos diversos de morfologia do terreno/drenagem. A determinação automática, por *software*, de tais padrões e sua quantificação (dimensões, gradientes...) permitiriam introduzir variáveis adicionais e relevantes para o sistema de classificação temática de imagens.

Uma solução para melhorar a classificação temática consistiria em uma seleção prévia de pontos de afloramentos usados para definição das áreas de treinamento e que não sofressem a possibilidade de uma influência secundária, como a presença de plantações, de água ou de construções.

Outro caminho em direção a resultados mais definitivos é o de incorporação de dados de outras fontes ao sistema de classificação temática. Pesquisas neste sentido vêm sendo desenvolvidas extensivamente (por exemplo: Abrams *et al.* 1985). Assim, aos dados de sensoriamento remoto poderiam ser acrescentados dados de geoquímica, geofísica, altimetria e/ou valores de gradientes topográficos, edafologia etc., para se caracterizar "assinaturas" mais completas e definitivas das unidades litológicas "escondidas" pelo solo e vegetação. Naturalmente, a aplicação visualizada neste encaminhamento de pesquisa implica, também, o desenvolvimento da informática no campo da Geologia e em uma dimensão de grande empresa ou de órgão público como um "serviço geológico" que comportasse o desenvolvimento e manutenção dos bancos de dados geocartográficos requeridos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRANS, M.; BLUSSON, A.; CARRERE, V.; NGUYEN, T.; RABU, Y. 1985. Image processing applications for geologic mapping. *IBM J. Res. and Devel.*, 29(2):177-187.
- ALVARENGA, C.J. & SILVA, J.R.C. 1975. *Geologia de uma parte do Município de Galheiros, GO*. Relatório de graduação UnB/GO (inédito).
- BAËTA, J.D.A.; FIGUEIREDO, A.N.; SOUZA, E.P.; MELLO, J.C.R. 1972. *Projeto Goianésia-Barro Alto, Goiânia*, Conv. DNPM-CPRM (inédito).
- BANON, G.J.F. 1984. Implementação de um sistema de tratamento de imagens usando uma definição ampla para imagem. In: SIMP. BRAS. SENS. REMOTO, 3, Rio de Janeiro, 1984. *Anais...* Rio de Janeiro.
- BARBOSA, O.; BRAUN, O.P.G.; BAPTISTA, M.B.; DYER, R.C.; COTTA, J.C. 1981. *Geologia e inventário dos Recursos Minerais da Região Central do Estado de Goiás – Projeto Brasília*. Brasília, DNPM, 148 p. (Série Geologia 18 e Seção Geol. Básica 13).
- DANNI, J.C.M. & KUYUMJIAN, R.M. 1984. A origem dos anfíbolitos basais da Sequência Vulcano-Sedimentar de Juscelândia, Goiás. In: CONGR. BRAS. GEOL., 33, Rio de Janeiro, 1984. *Anais...* Rio de Janeiro, SBG. v. 8, p. 4126-4136.
- DANNI, J.C.M.; FUCK, R.A.; KUYUMJIAN, R.M.; LEONARDOS, O.H.; WINGE, M. 1984. O Complexo de Barro Alto na Região de Ceres/Rubiataba, Goiás. *Rev. Bras. Geoc.*, 14(2):128-136.
- FARIA A.; MARINI, O.J.; WINGE, M.; FIGUEIREDO, A.N.; KUYUMJIAN, R.M. 1986. Geologia da Região de São Domingos, Goiás. In: CONGR. BRAS. GEOL., 34, Goiânia, 1986. *Anais...* Goiânia, SBG. v. 2, p. 861-875.
- FRANCHI, P.; GONZÁLES, J.; MANTEY, P.; PAOLI, C.; PAROLO, A.; SIMMONS, J. 1983. Design issues and architecture of Hacienda, an experimental image processing system. *IBM Journal of Research and Development*, 27(2):116-126.
- IBM. 1984. *High Level image processing system*. Manual IBM. (SB11-5864-O).
- SOUZA, A. 1973. *Geologia e geocronologia do Complexo de Barro Alto*. Rio Claro, UNESP. (Tese DSc, ined.).
- STACHE, G.A. 1976. Untersuchungen zur geologie, petrographie, metamorphose und genese des Basische-Ultrabasischen Massif von Barro Alto, Goiás (Brasilien). *Clausthaler Geol. Abh.* 24:149 p. (Verlag Ellen Pilger, Berlin).
- TEIXEIRA, N.A.; POLI, A.J.C.; FERREIRA, M.C.B. 1982. Contribuição à geologia e petrologia da Região de São Domingos, GO. *Rev. Bras. Geoc.*, 12(4):562-571.
- WINGE, M.; BANON, G.J.F.; CARNEIRO, P.J.R.; CIVATTI, F.V. 1986. *Análise multispectral de unidades lito-estratigráficas do Brasil Central*. IBM (Rel. Téc. CCB 036).

MANUSCRITO 556

Recebido em 20 de julho de 1988

Revisão recebida em 17 de outubro de 1988

Revisão aceita em 12 de dezembro de 1988