

Rosângela Gonçalves Bastos de Souza

Estudo em um Maciço Rochoso
no município de Medina – MG, por fusão
de imagens de Sensoriamento Remoto

IX Curso de Especialização em Geoprocessamento
2006



UFMG
Instituto de Geociências
Departamento de Cartografia
Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha
Belo Horizonte
cartografia@igc.ufmg.br

ROSÂNGELA GONÇALVES BASTOS DE SOUZA

**ESTUDO EM UM MACIÇO ROCHOSO NO
MUNICÍPIO DE MEDINA – MG, POR FUSÃO
DE IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO.**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de especialista em Geoprocessamento, Curso de Especialização em Geoprocessamento, Departamento de Cartografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.

Orientador: Prof. Luciano Vieira Dutra

**BELO HORIZONTE
2006**

AGRADECIMENTOS

Ao professor Luciano Vieira Dutra, que, mesmo distante fisicamente, me orientou e acompanhou nesta empreitada, estando presente sempre que possível.

A Cláudia e Heloiza, cujo entusiasmo pelo conhecimento me contagiou e foi decisivo quando optei por fazer este curso.

Aos colegas (e amigos) da CPRM, dentre eles: Frederico Raposo, Maria Antonieta Mourão e Alan Cardek Gomes, que direta ou indiretamente me ajudaram, sempre contribuindo com uma opinião amigável e espontânea.

Em especial ao geólogo Claiton Piva Pinto, que pronta e generosamente me orientou na parte da geologia.

Ao gerente da minha área, engenheiro de minas Marcelo de Araújo Vieira, pela compreensão e por liberar tempo, equipamento e material, sempre que necessário.

À equipe de geofísica da CPRM, particularmente Antonino J. Borges, Frederico A. Favre e Michael G. P. Drews pela paciência e empenho com que colaboraram comigo e com este estudo.

Ao colega de curso e de empresa, Yuri Queiroga pelas dicas preciosas.

Aos monitores, em especial Renata, Ana Maria e Diego, sem cuja ajuda, na prática, esta monografia não seria possível.

Aos colegas do Curso de Especialização, principalmente Viviane Castelan, Agmar Bento, Henrique Claro, Jorge Freitas e George Caetano, por dividirem comigo as minhas dúvidas e por estarem por perto sempre que precisei.

A Deus, mais que tudo e todos.

Estou agora de namoro,
com um granito multicolor,
e é dele que vem o coro:
“Estude-me, por favor!”

“Minhas *fácies* estão aí,
para serem mapeadas,
nos meus bordos já senti
calores, chamas apagadas”.

Que dirá dos afloramentos
gritando alto e sem pudor:
“Classifique-me nesse momento,
encontre os outros, por onde for.”

Seu grito ecoa pelos sensores,
e aparece na imagem
então atendo os seus clamores:
“Vou te estudar, traga a bagagem.”

(Rosângela G. Bastos de Souza – BH/2006)

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	01
1.2. Objetivos	02
2. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS E RECURSOS MINERAIS	03
3. CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO	06
4. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	09
5. MATERIAIS E MÉTODOS	11
5.1. Materiais	11
5.2. Métodos	12
5.2.1. Contextualização dos Dados do Estudo	12
5.2.2. O Sistema de Cores	15
5.2.3. O espaço e a Transformação IHS	16
5.2.3. Metodologia específica	18
6. RESULTADOS	21
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	21
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização do município de Medina na Mesorregião do Jequitinhonha, no Estado de Minas Gerais	5
Figura 2 – Vista panorâmica da paisagem de afloramentos tipo “rochoso” ou “pão-de-açúcar” na área do Maciço de Medina	6
Figura 3 – Identificação ilustrativa de alguns morros tipo “pão-de-açúcar” da região do Maciço de Medina e sua localização na imagem Landsat	8
Figura 4 – Geologia regional, escala 1:500.000 – retirada da Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo (CPRM, 2004), modificada	10
Figura 5 – Relevo magnético referente à folha Almenara, escala 1:250.000 do IBGE; Fonte: CGBA/DNPM/BGR – 1972 (Borges, A. J. – CPRM/2006)	14
Figura 6 – Representação dos sistemas de cores	15
Figura 7 – Cone representativo do espaço de cores IHS e sua relação espacial com o espaço RGB	16
Figura 8 – Relação espacial representada por um triângulo, entre o espaço RGB e IHS...18	
Figura 9 – Imagem original de magnetometria em tons de cinza	19
Figura 10 – Ilustração esquemática da aplicação da técnica de fusão no espaço IHS	23
Figura 11 – Imagem da composição colorida, resultante da transformação IHS: Landsat/Mag212/Mag212+s45 (sem escala)	24

RESUMO

Os mapeamentos geológicos já realizados na área do Vale do Jequitinhonha, dentre eles os Projetos Leste e Espinhaço escala 1:100.000 e a Folha Almenara 1:250.000, não foram suficientes para direcionar pesquisas e investimentos em mineração. Dentre as recomendações finais do Projeto Leste está a proposta de estudos mais detalhados das unidades metamórficas e graníticas portadoras de pegmatitos, visando à identificação de novos corpos, além de avaliar reservas existentes de bens minerais de interesse econômico, que venham combater as desigualdades sociais da região. A área escolhida para este estudo fica a nordeste do estado de Minas Gerais, mais precisamente no município de Medina, no Vale do Jequitinhonha. A geologia da região compreende principalmente o Complexo Jequitinhonha, de idade neoproterozóica, intrudido por granitóides neoproterozóicos e paleozóicos, incluindo o Granito Medina, que aflora em quase toda a porção central do município.

Para tanto, este estudo vem avaliar a aplicabilidade de ferramentas de SIG – Sistemas de Informação Geográficos e SR – Sensoriamento Remoto na identificação e delimitação de maciços rochosos e seu entorno, alvos para exploração de rochas de valor ornamental e portadores de pegmatitos, de uso em obras de engenharia civil, além de fornecer informações básicas para o planejamento de projetos de infra-estrutura. Sua ênfase está nas informações obtidas pelo uso de imagens Landsat e dados aerogeofísicos. Foi escolhida uma imagem do Landsat 7 ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) de 2001, banda 8 (Pancromática) referente às latitudes (S): 16° 00' a 16°30' e longitudes (O): 41°00' a 41°30' e dados de magnetometria do levantamento aerogeofísico do CGBA – Convênio Geofísico Brasil-Alemanha, de 1972.

Isso posto, foram feitas transformações no espaço IHS – *intensidade, matiz e saturação*, com a finalidade de produzir composições coloridas, com melhor utilização do espaço de cores e melhor combinação das imagens de diferentes sensores, para análise no âmbito da pesquisa geológico/mineral. O produto gerado por essa técnica foi interpretado de modo a indicar a presença de maciços regulares de grandes dimensões, delimitar e delinear seu traçado e do ambiente no seu entorno e destacar áreas de cobertura, daquelas de rocha exposta.

1. INTRODUÇÃO

Este estudo aborda a aplicação de técnicas de SIG - Sistemas de Informação Geográficos e SR - Sensoriamento Remoto na identificação de maciços rochosos, alvos para exploração de rochas de valor ornamental e portadores de pegmatitos, de uso em obras de engenharia civil, além de fornecer informações básicas para o planejamento de projetos de infraestrutura. Sua ênfase se dá nas informações obtidas pelo uso de imagens Landsat e de dados provenientes de levantamentos aerogeofísicos.

A região do Vale do Jequitinhonha teve quase a totalidade de sua área coberta pelos projetos Leste (CPRM, 1997/1999) e Espinhaço (Grossi-Sad et al., 1997) ambos na escala 1:100.000 e pelo Mapa Geológico e de Recursos Minerais da Folha Almenara, escala 1:250.000 (Perillo, 1995) da CPRM, em meio não digital e ainda pelo Projeto Jequitinhonha (CPRM – em andamento), com cartografia geológica na escala de 1:100.000, atendendo uma demanda do setor mineral, notadamente no segmento de gemas e jóias, como também às recomendações contidas no Plano Plurianual para o Desenvolvimento do Setor Mineral (DNPM, 1994).

Em função de seus graves problemas sociais, a região do Vale do Jequitinhonha é alvo de interesse de instituições de âmbito federal, estadual e municipal, que tiveram a oportunidade de discutir no seminário “Desafios, Oportunidades e Propostas para Mineração no Médio Jequitinhonha”, promovido pelo MME/SMM/CPRM e DNPM em 18 e 19 de Setembro de 2003, ações integradas para combater as desigualdades sociais na região e que abordou a cartografia geológica como um dos temas principais.

Informações preliminares sugerem que o zoneamento geológico-estrutural e geográfico dos corpos pegmatíticos da chamada Província Pegmatítica Oriental, realizada na 2ª etapa do Projeto Leste (1999), deve ser refinado para melhor direcionar as pesquisas e investimentos em mineração. Dentre suas recomendações finais, o Projeto Leste propõe estudos mais detalhados das unidades metamórficas e graníticas portadoras de pegmatitos, visando o controle das mineralizações e à identificação de novos corpos, além de avaliar reservas existentes de bens minerais de interesse econômico.

Os principais recursos minerais presentes na área são granitos ornamentais também portadores de pegmatitos, destacando-se as lavras nos maciços de granitos porfíricos de tonalidade amarelada e leucogranitos de cor branca a creme, aluminosos.

Deve-se levar em conta ainda, o fato de que na região está situado o Centro Produtor de Medina, que, junto com Caldas, Candeias e Rio Doce/Mucuri, forma um dos quatro Centros de Produção de Granitos no Estado de Minas Gerais, área que é referenciada pela presença de grandes batólitos de rochas granitóides.

Situado no município de Medina (Figura 1), no Vale do Jequitinhonha, nordeste do estado de Minas Gerais, com aproximadamente 1000km², o Maciço de Medina, área piloto para este estudo, se apresenta como um universo rico para a elaboração de um projeto científico de utilização de ferramentas de SIG. O Maciço de Medina propicia um macro estudo de seu ambiente e de seu entorno, devido às suas características particulares, com significativa resposta espacial e espectral, com padrão de drenagem de características próprias, apresentando *fácies* também distintas, de sua borda para o centro e considerando que em sua área encontram-se aproximadamente 50 pedreiras (lavras) de exploração de granito ornamental, grande parte exportada para China e demais países asiáticos. A geologia da região compreende principalmente o Complexo Jequitinhonha, de idade neoproterozóica, intrudido por granitóides neoproterozóicos e paleozóicos, incluindo o Granito Medina, que aflora em quase toda a porção central do município.

Este estudo vem apresentar uma alternativa diferenciada, na tentativa de identificação e delimitação de maciços rochosos intrusivos de grandes dimensões, melhor visualizados pelo sistema de imageamento. O emprego dessas ferramentas certamente contribuirá de forma enriquecedora para a cartografia geológica desta e de outras regiões.

1.1. OBJETIVOS

São objetivos deste estudo:

- a) testar ferramentas de SIG e SR na caracterização de pontos de rocha fresca exposta na área do maciço e

b) mapear (identificar e delimitar) o ambiente do Maciço de Medina e seu entorno, através da técnica de fusão de imagens no espaço IHS com a integração de dados digitais de imagens do satélite Landsat 7 ETM+ e dados aerogeofísicos de magnetometria.

A utilização do software Spring, determinará a combinação mais adequada dos dados e a resolução de maior eficiência na identificação e/ou caracterização e delimitação dos maciços, para posterior comparação dos resultados com a geologia já conhecida.

2. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS E RECURSOS MINERAIS

O município de Medina está localizado no Vale do Jequitinhonha, região nordeste de Minas Gerais (Figura 1). Possui 1.441,21km², de acordo com dados da Assembléia Legislativa do Estado de Minas Gerais e está contido nas folhas topográficas SE.24-V-A-I Comercinho, SE.24-V-A-II Jequitinhonha e SE.24-V-A-IV Itaobim, escala 1:100.000, todas do IBGE. Limita-se a oeste com os municípios de Santa Cruz de Salinas, Comercinho e Itinga, ao sul com Itaobim, a leste com Jequitinhonha e ao norte com Cachoeira do Pajeú e Pedra Azul.

Sua sede tem posição geográfica em 16° 13' de latitude e 41°28' de longitude, distando 672km de Belo Horizonte e com acesso pelas rodovias BR-251 e BR-116 e pela MG-105.

As altitudes variam de 1160m na Pedra do Bidó a 786m na foz do Córrego Sapucaia, tendo 587,14m no ponto central da sede do município. O relevo apresenta topografia plana dominante (50%), com feições onduladas (30%) e montanhosas em menor escala (20%) (IGA-IBGE).

O clima tende a semi-árido, com temperatura média anual de 22,1°C, com média máxima de 27,9°C e média mínima de 17,7°C; o índice médio pluviométrico anual de 1.000mm (IGA-IBGE)

Os principais rios do município são o Ribeirão São Pedro e o Córrego São Tomé, ambos pertencentes à bacia do Rio Jequitinhonha. A drenagem é do tipo predominantemente dentrítico; na área do granito Medina observa-se um padrão paralelo incipiente, de menor intensidade; no contato entre o granito Medina e o Água Boa, o padrão passa a ser circular e radial, delineado pelo Córrego Lageado Grande (CPRM, 2005).

A vegetação da região vai de floresta baixa a cerrado minguado de mandacaru, mas há o domínio de caatinga, onde ainda se destacam pequenas manchas de cerrado e campo cerrado. As áreas antes ocupadas pela vegetação natural de Mata Atlântica, com vales abertos e suaves ondulações, formam hoje pastagens voltadas para a pecuária extensiva em grandes fazendas de criação.

Quanto aos recursos minerais, esta área do Vale do Jequitinhonha tem nos minerais de pegmatito dentre seus bens minerais de maior valor econômico, com destaque para os de lítio e as pedras coradas, principalmente águas-marinhas.

Mas são os granitos ornamentais (tema do presente estudo) os principais recursos minerais do município, com destaque das lavras nos maciços porfiríticos de cor amarelada e leucogranitos aluminosos de cor branca a creme com manchas pretas de cordierita (CPRM, 2006).

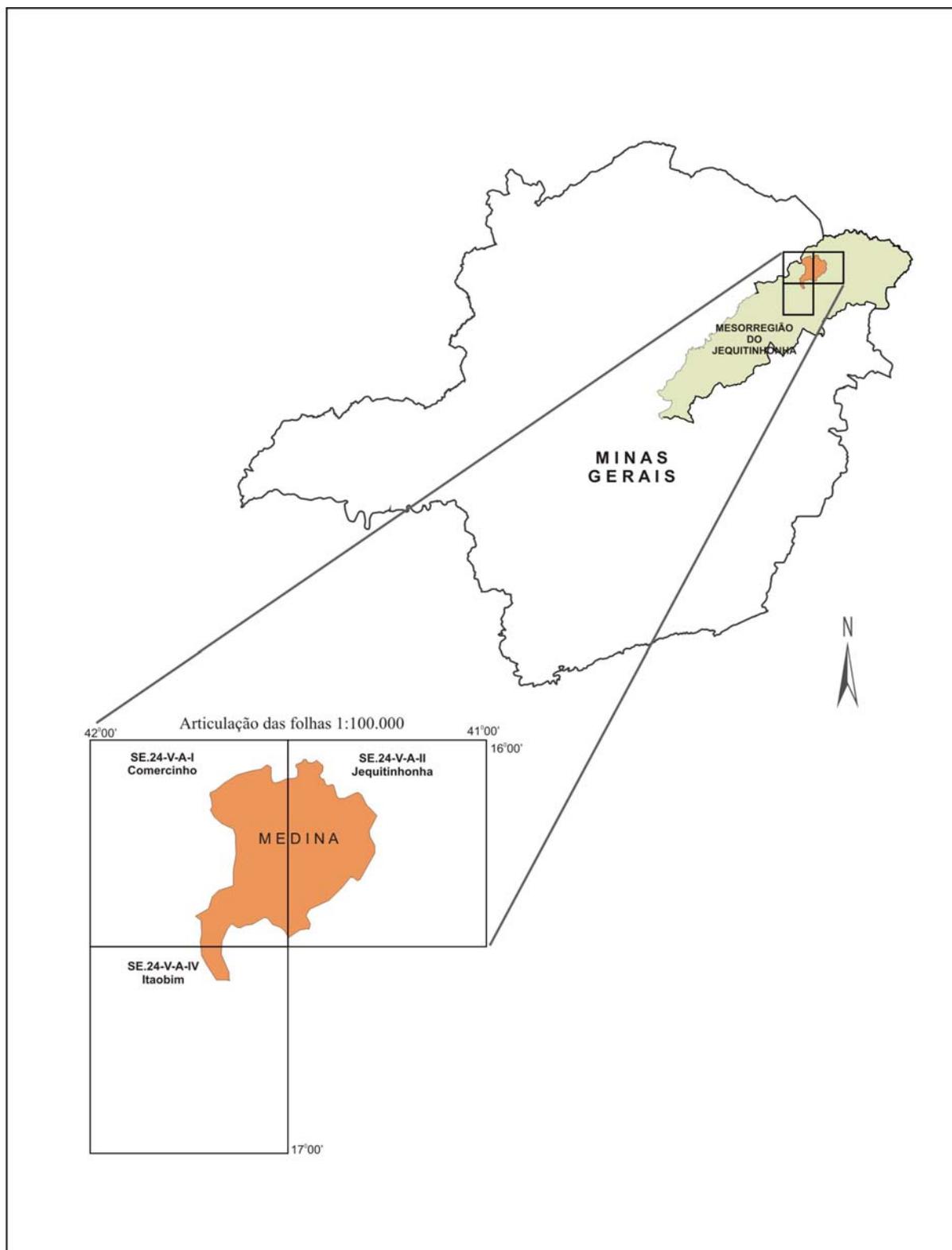


Figura 1 – Localização do município de Medina na Mesorregião do Jequitinhonha, Estado de Minas Gerais

3. CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO

Ocupando boa parte do município de Medina, o maciço rochoso Medina aflora como um batólito elíptico segundo ESE-NNW, com cerca de 38km x 27,5km, tendo em seu interior a sede municipal, a uma altitude média de 572m. Conforma um terreno relativamente elevado, rico em morros rochosos e do tipo “pão-de-açúcar” (Figura 2), com cota de base de aproximadamente 400m no rio São Pedro, no extremo leste do maciço, e de topo a 1160m na Pedra do Bidó. Destacam-se os morros Pedra do Bolo (980m), Pedra do Tombo (983m), Pedra da Bolívia (990m), Pico do Pedrão (982m), Pico Três Irmãos ou Pedra da Manguara (1045m), Brejo das Almas (990m), e vários outros por volta dos 750m a 850m de altitude (Figura 3). No maciço, as maiores altitudes estão em sua porção intermediária, principalmente em seu domínio SE, circundadas por morros mais baixos e alongados paralelamente ao limite do corpo.



Figura 2 – Vista panorâmica da paisagem de afloramentos tipo “rochoso” na área do Maciço de Medina

Nos morros rochosos ou tipo “pão-de-açúcar”, a ação das intempéries desenvolveu caneluras e entalhes por fraturas que facilitam a percolação de água, originando drenagens que se espriam sobre os lajedos, sem constituírem depósitos aluviais dignos de nota,

mesmo no rio São Pedro. A vegetação na área do maciço é um misto de campo e pastagem onde o solo é mais espesso, de caatinga sobre os lajedos com solo raso e de mata densa em algumas encostas inferiores e topos de morros com solo e ao longo de alguns vales com solo mais fértil e/ou mais úmido.

A cor e a textura do solo variam com a quantidade de biotita na rocha. Onde a biotita é pouca, o solo é arenoso esbranquiçado ou de tonalidade alaranjada, com pouco conteúdo orgânico e geralmente pouco desenvolvido; os horizontes são mal definidos e freqüentes as exposições rochosas. Nas rochas mais ricas em biotita, o solo é areno-argiloso avermelhado e mais espesso, propiciando uma vegetação bem mais desenvolvida. Para além da região do maciço, no restante do município, áreas de gnaisse e xisto desenvolveram uma cobertura de solo mais espessa e conseqüentemente uma vegetação de maior porte, embora a aridez do clima local não propicie grandes avanços na cobertura vegetal (CPRM, 2006).

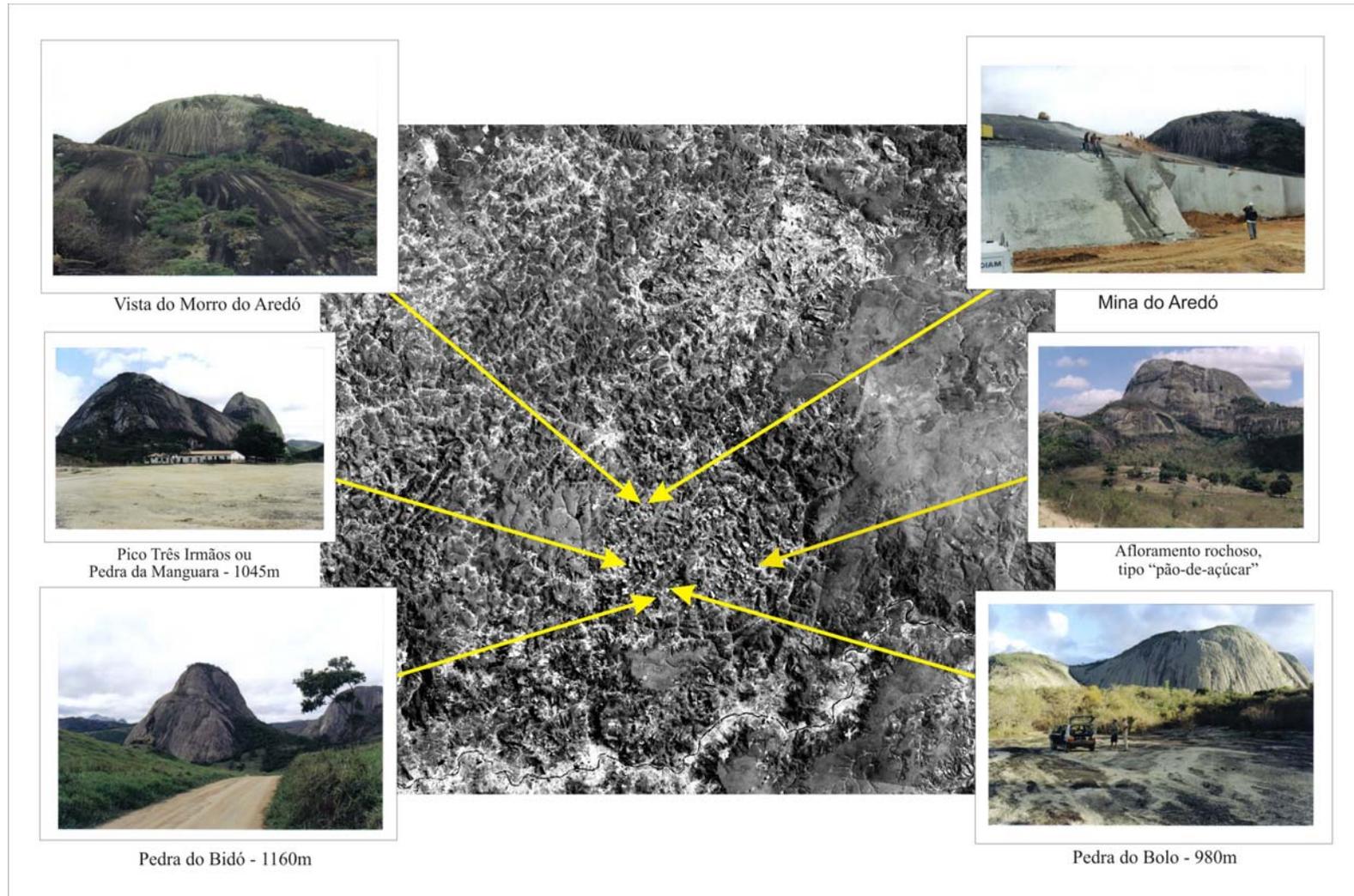


Figura 3 – Identificação ilustrativa de alguns morros rochosos tipo “pão-de-açúcar” da região do Maciço de Medina e sua localização na imagem Landsat

4. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

O Maciço Medina é constituído de rochas graníticas plutônicas (intrusivas) com idade de 513 milhões de anos (Ma), representando um dos últimos eventos magmáticos no chamado Orogênio Araçuaí (orogenia é o conjunto de processos que levam à formação de montanhas), desenvolvido entre cerca de 650 e 500Ma, no Ciclo Orogênico Brasileiro. O Maciço Medina é intrusivo em outras rochas graníticas um pouco mais velhas, com cerca de 570-540Ma, que constituem suas rochas encaixantes. Afastando-se do maciço, em todos os sentidos ocorrem outras intrusões graníticas, similares em idade ao Medina, mas nenhuma com sua forma elipsoidal (Figura 4).

Um pouco mais afastado do Maciço Medina, principalmente para oeste e sudoeste, nas regiões de Araçuaí e Salinas e para leste, na região de Almenara, ocorrem rochas xistosas, gnáissicas, quartzito, eventualmente mármore, e rochas de origem glacial. Estas rochas são derivadas de material sedimentar, respectivamente argilo-arenoso, arenoso e carbonático, depositados em bacias sedimentares que se formaram a partir de cerca de 950Ma. O material sedimentar sofreu metamorfismo em intensidade variada, formando as rochas metamórficas referidas. Com o aumento da intensidade do metamorfismo criaram-se as condições favoráveis para que os gnaisses dessem origem aos granitos tipo-S ('S' de origem sedimentar) que constituem as rochas encaixantes do Maciço Medina.

Após a intrusão do Maciço Medina houve um longo período de estabilidade tectônica e só, provavelmente, quando da abertura do Atlântico, pela ruptura do Supercontinente Gondwana e formação da América e África é que nova instabilidade ocorreu. Isso se deu na Era Mesozóica, causando fraturas e falhas de gravidade, ditas normais, por onde passaram a correr cursos d'água. O efeito erosivo sobre essas fraturas ressaltou-as como vales alinhados, rios e córregos retilíneos e outras feições similares, perfeitamente identificadas em imagens de satélites e fotografias aéreas. O desmonte mecânico e químico das rochas contribui para a exposição de maciços rochosos (sem cobertura vegetal), solos de espessuras variadas e assoreamento de drenagens. A ação intempérica é facilitada pelo fraturamento das rochas, contribuindo também para a acumulação ou não de aquíferos subterrâneos, um bem natural que se torna crítico em regiões de clima seco.

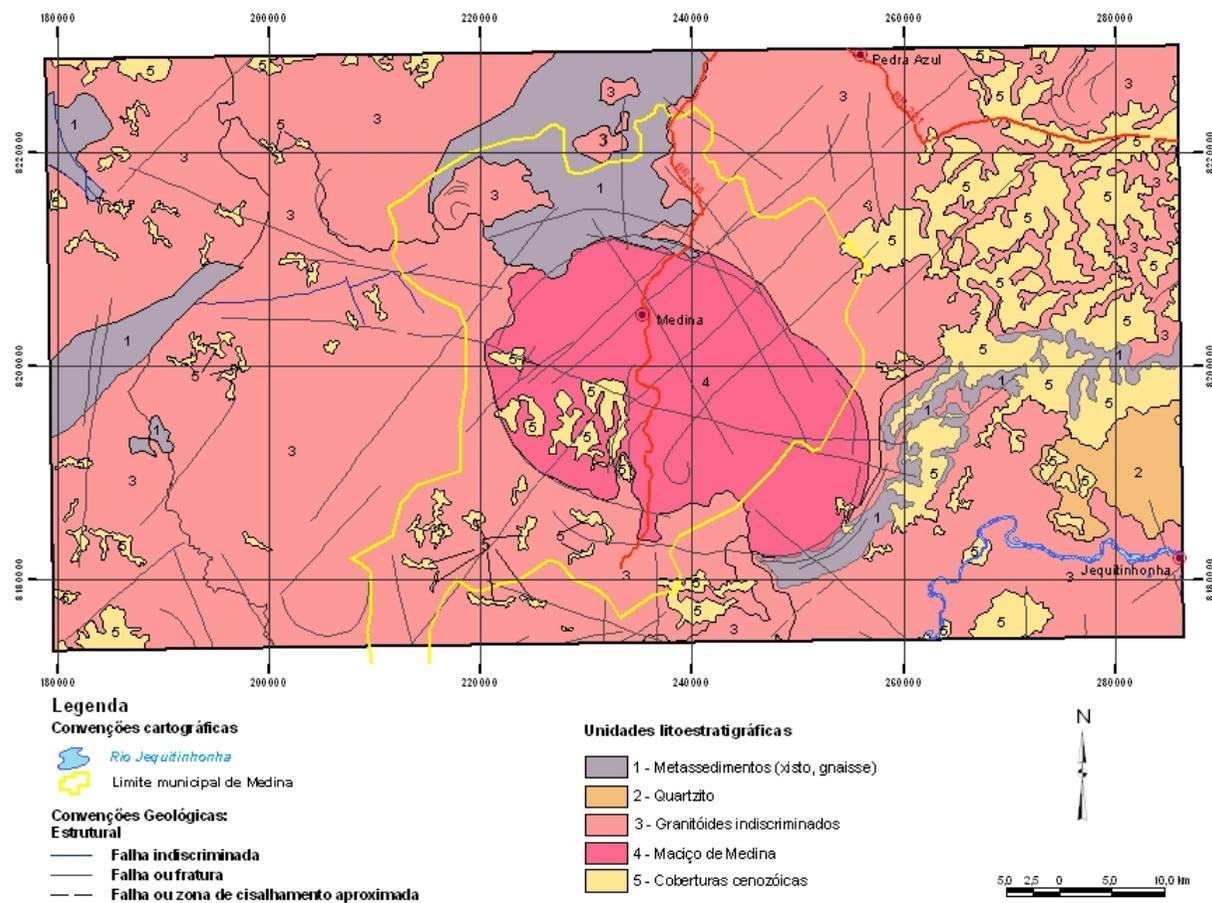


Figura 4 - Geologia regional, escala 1:500.000 - retirada da Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo (CPRM, 2004), modificada.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. Materiais

As imagens de magnetometria utilizadas neste estudo foram elaboradas a partir de dados aeromagnetométricos do CGBA – Convênio Geofísico Brasil-Alemanha, de 1972, que teve como executores o DNPM - Departamento Nacional da Produção Mineral e o BGR – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Instituto Federal de Geociências e Matéria Prima), através do qual foi feita a cobertura aeromagnetométrica do Estado de Minas Gerais e de pequena faixa do interior do Estado do Espírito Santo, além de levantamentos de detalhe por helicóptero (HEM), geofísica terrestre e geoquímica em áreas restritas. Especificamente no levantamento aerogeofísico acima citado, o método empregado foi apenas a magnetometria, com linhas de vôo na direção W-E, espaçadas de 2.000m, com altura média de 500m sobre o terreno, resolução de 24,8m, navegação feita com Sistema Doppler e com as linhas de vôo amarradas geometricamente aos Marcos Geodésicos de Referência, distribuídos em pontos notáveis de toda a área sobrevoada.

Embora estes dados sejam até hoje considerados de qualidade, com as especificações de vôo usadas, os dados adquiridos e os respectivos mapas elaborados são satisfatórios apenas para uso em mapeamentos geológicos de 1:500.000 ou no máximo de 1:250.000, deixando um pouco a desejar como apoio a mapeamentos de 1:100.000.

Também para este estudo foi utilizada a imagem ETM+ do Landsat 7, obtida através do site da University of Maryland - <http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>. Esta imagem, coletada no período de 1999/2001, foi adquirida entre os paralelos 16° e 16°30' Latitude Sul e 41° e 41°30' Longitude Oeste e correspondentes órbitas 216 (1999), 217 (2001) e ponto 071. O Landsat 7 foi lançado em 1999 e trouxe uma série de benefícios adicionais com a substituição do *scanner* TM do Landsat 5, pelo ETM+ (*Enhanced Thematic Plus*), inclusive a nova banda 8 (pancromática) com 15metros ou 14,25metros de resolução espacial no espectro de [0.52 – 0.90], sincronizada às bandas multi-espectrais, com maior precisão radiométrica absoluta e melhor geometria de imageamento.

Os mosaicos são formatados em 5° de latitude e 6° em longitude, na Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum *World Geodetic System* 1984 (WGS84).

Dentre os *softwares* disponíveis, foi escolhido o Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas – SPRING, para o tratamento das imagens utilizadas neste estudo. Trata-se de um banco de dados geográfico, gratuito, desenvolvido pelo INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, para ambientes UNIX e Windows. Os dados utilizados dentro do *software*, para este estudo, são manipulados em formato *raster* (*Geotiff*), através do qual se tem a integração das informações digitais da magnetometria com a imagem Landsat 7, banda 8 (pancromática).

5.2. Métodos

5.2.1. Contextualização dos Dados do Estudo

Atualmente a utilização de imagens é fundamental em trabalhos de mapeamento. As técnicas de PDI - Processamento Digital de Imagens integram dados de naturezas diversas e têm sido difundidas com sucesso e seu uso costuma gerar produtos finais de boa qualidade visual tanto para análise quantitativa e qualitativa como para procedimentos de interpretação. Desde que dados multifontes, de diversas origens e sensores possam estar armazenados em conjunto e no mesmo formato, ficou mais fácil realizar operações como integração, cruzamento, superposição, fusão, etc. Portanto, uma operação que associa SIG e PDI, permite que sejam tratadas relações espaciais e espectrais entre dados geográficos, através de imagens de satélite, de geofísica, modelos de elevação, entre outros.

Qualquer que seja a fonte de dados adquiridos por SR - Sensoriamento Remoto, que por definição é a ciência e arte de obter informação acerca de objetos, áreas ou fenômenos através da análise de dados capturados por sensores que não entram em contato com os dados investigados, pode ser processada com o uso das mesmas técnicas de geoprocessamento. Assim, imagens de satélites e dados aerogeofísicos se assemelham com relação ao processo de detecção, diferindo porém quanto à natureza da informação. Nos

dados aeromagnetométricos aqui utilizados, por exemplo, estão refletidas informações de fontes magnéticas que vão de grandes profundidades até a superfície. Os valores medidos de intensidade magnética podem ser tratados usando fórmulas matemáticas que permitem a elaboração de diferentes tipos de mapas, cada qual direcionado para realçar feições próprias de cada tipo de corpo ou estrutura geológica. O mapa de Primeira Derivada Vertical – 1DV, utilizado neste estudo, tem por finalidade realçar os corpos e estruturas geológicas mais rasas e fracamente magnéticas, alguns dos quais dificilmente podem ser visualizados nos mapas de Intensidade Magnética Total.

Sabe-se que mudanças locais no campo magnético terrestre resultam de variações no conteúdo mineral magnético de rochas. Portanto, dados magnetométricos estão associados às variações da composição das rochas – principalmente a distribuição de magnetita - fornecendo informações de subsuperfície relacionadas à profundidade, tamanho e forma de estruturas e corpos rochosos.

Assim sendo, o relevo magnético da região deste estudo é preponderantemente suave, onde sobressaem anomalias isoladas, faixas e zonas anômalas de intensidades pouco variadas, na maioria das vezes correlacionadas a alinhamentos de anomalias e lineamentos magnéticos bem delineados. Estas anomalias aparecem com formas bem contornadas, permitindo sugerir, como modelo preponderante para a origem das mesmas, a presença de corpos intrusivos de composições homogêneas e semelhantes entre si. Nota-se ainda que as anomalias arroxeadas, mais magnéticas, ficam à esquerda do Rio Jequitinhonha, sobressaindo os granitóides porfiroblásticos.

Além das características magnéticas gerais da região, alguns corpos e estruturas se apresentam tão bem definidos que justificam ser analisados separadamente procurando proporcionar um melhor entendimento da geologia local. Assim, dentre as zonas anômalas descritas na Figura 5, (Borges, A. J. - CPRM), está a chamada Zona anômala Z-3 que exhibe uma estrutura perfeitamente circular – o Maciço de Medina - constituída de rochas fracamente magnéticas, sendo delimitada parcialmente pelos corpos anômalos das zonas Z-1, de grandes lineamentos típicos de falhas, de direção NE-SW e Z-2 de lineamento mais suave, disposta levemente em arco de direção NW, paralela ao Rio Jequitinhonha.

Observa-se também correlacionado a esta estrutura, o fato da extremidade sul da Zona Z-1, ser constituído por um arco anômalo concordante com a estrutura circular. Portanto, a interpretação isolada desta área mostra a existência de um grande corpo anômalo de grande intensidade, que aparece individualizado e situado no centro das zonas anômalas.

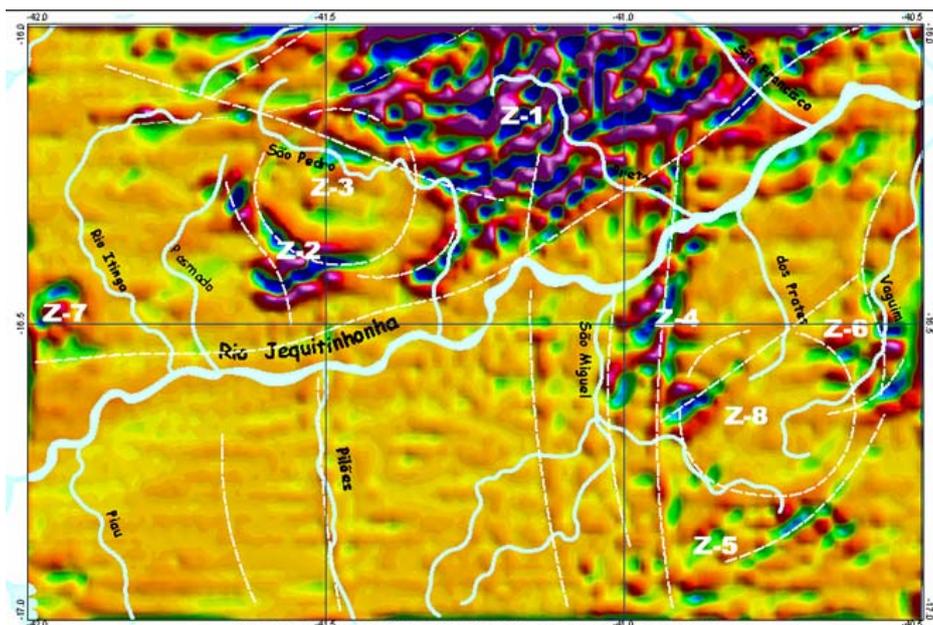


Figura 5 – Relevo magnético referente à folha Almenara, escala 1:250.000 do IBGE*
Fonte: CGBA/DNPM/BGR – 1972 (Borges, A. J. – CPRM/2006).

Já a banda espectral Pancromática do Landsat 7 ETM+, apresenta avanços tecnológicos que permitem efetiva qualidade na sua interpretação. Constata-se que, visualmente ela oferece maiores benefícios em relação à qualidade visual, proporcionando maior resolução temática, na diferenciação entre as classes tais como atividades agrícolas, áreas urbanas, reflorestamento, solo exposto, etc. Sua qualidade gráfica também permite maior distinção entre os alvos de interesse, o que possibilita maior detalhamento. No caso da imagem utilizada neste estudo, é nítido o contorno do maciço de Medina, com sua forma circular e circunscrita bem definida, seus vales alinhados, seus rios e córregos retilíneos e paralelos, que são perfeitamente identificáveis.

* A folha Almenara, escala 1:250.000 do IBGE, compreende as seguintes 6 folhas na escala 1:100.000: SE-24-V-A-I Comercinho, SE-24-V-A-II Jequitinhonha, SE-24-V-A-III Almenara, SE-24-V-A-IV Itaobim, SE-24-V-A-V Joaima e SE-24-V-A-VI Rio do Prado.

5.2.2. O Sistema de Cores

A cor é um atributo que simplifica a identificação e extração de um objeto de uma cena e somente o homem e alguns primatas têm a capacidade de observá-la. O olho humano é como um instrumento ótico; tem maior sensibilidade às variações de cores do que às mudanças de tons de cinza (brilho).

A percepção da cor está relacionada com a composição do comprimento de onda da luz que atinge os olhos. Os diferentes comprimentos de ondas (RGB) dessa mesma luz podem ser misturados e criados artificialmente em sistema de cores aditivo ou subtrativo (Figura 6).

O processo aditivo é usado para criar cores a partir de fontes de luz, que *emitem* em uma das três cores primárias. Quando os feixes de luz são todos sobrepostos, a cor branca é gerada. Todas as cores conhecidas podem ser criadas variando-se a intensidade de cada feixe separadamente.

O processo subtrativo é usado para criar cores a partir de tintas que *refletem* em uma das três cores complementares (ou absorvem as cores primárias). Este processo é adotado para todo processo de impressão em papel branco, inclusive a reprodução fotográfica. O processo subtrativo pode ser simulado através de filtros sobrepondo-se uma fonte de luz branca.

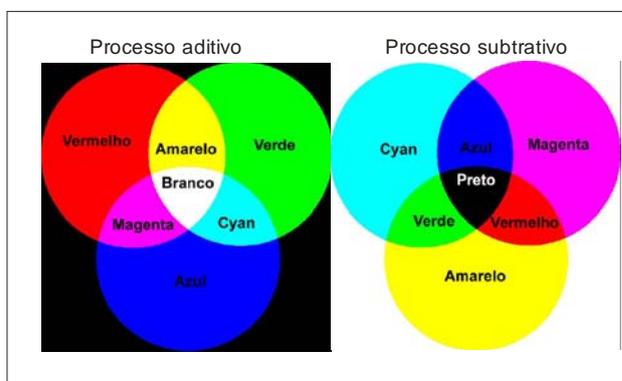


Figura 6 – Representação dos sistemas de cores.

A cor de um objeto, em uma imagem pode ser representada pelas intensidades das componentes: vermelho R, verde G e azul B, no sistema de cores RGB, ou pela intensidade I, pela cor ou matiz H e pela saturação S, no espaço IHS.

São encontrados na literatura diversos modelos com o propósito de representar os atributos de cor, dentre os quais destacamos o modelo acima citado, do IHS.

5.2.3. O Espaço e a Transformação IHS

O espaço de cores conhecido por IHS (*Intensity, Hue, Saturation*) é uma forma alternativa ao espaço RGB de representação de cores. As cores são definidas pelos atributos de intensidade ou brilho, matiz e saturação. Esses atributos podem ser analisados e manipulados individualmente, ao contrário do sistema RGB, onde eles são intrinsecamente interligados. Mas a grande vantagem da transformação IHS em sensoriamento remoto é possibilitar a integração de imagens multisensores, multitemporais, multiespectrais e multiresoluções.

O espaço IHS pode ser graficamente representado como um cone e usa coordenadas cilíndricas polares para representar as cores, ao invés de coordenadas cartesianas como o sistema RGB (Figura 7). O vértice do cone IHS representa o preto, enquanto o seu eixo coincide com o eixo acromático. A intensidade aumenta em sentido contrário ao do vértice. Uma seção circular do cone mostra a variação de matizes ao redor de perímetro. A saturação aumenta para fora do centro, passando de cinza para tons pastéis e destes para matizes espectrais puros.

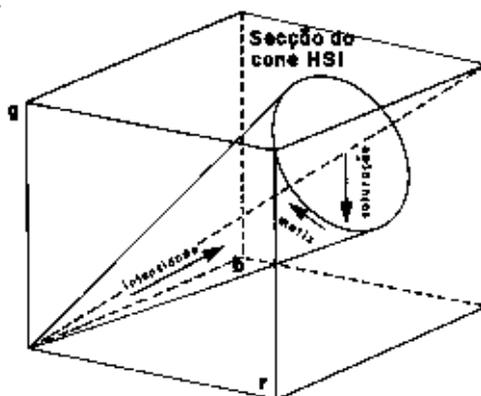


Figura 7 – Cone representativo do espaço de cores IHS e sua relação espacial com o espaço RGB.

Resumidamente, podemos dizer que o matiz (H) informa a cor predominante em um determinado pixel da imagem. Já a saturação (S) tem como função estimar a pureza da cor, quanto maior o valor de saturação, mais pura será a cor; está também relacionada à quantidade de cor branca presente na mesma. Quanto à intensidade ou brilho (I), ele nos dá a noção, de maneira geral, de quão iluminada está a imagem, ou seja, em termos mais apropriados a sensoriamento remoto, uma noção da resposta espectral de um objeto em uma dada banda de um sensor orbital ou aerotransportado.

Tanto os valores de saturação quanto os de brilho, estão compreendidos entre 0 e 1. Embora estes intervalos de valores, bem como o de matiz, sejam uma notação (poderiam variar de 0 a 255, por exemplo), eles são de uso corrente e aceitos consensualmente. Porém, encontram-se exemplos de espaços de atributos onde os intervalos difiram desta notação, por exemplo, HSV, HSL e o IHS, utilizado neste estudo.

A transformação IHS foi desenvolvida por HAYDN et al. (1982) para produzir cores mais intensas e reduzir a correlação entre as imagens. Qualquer conjunto de três bandas do RGB pode ser transformado para o espaço IHS. Quando se transforma os componentes vermelho (R), verde (G), azul (B) nos componentes intensidade (I), matiz (H), saturação (S), são produzidas composições coloridas, com reduzida correlação inter-banda, melhor utilização do espaço de cores e combinações de diferentes tipos de imagens ou de imagem de diferentes sensores. Algoritmos matemáticos relacionam o espaço RGB ao espaço IHS nessas transformações.

Para produzir composições coloridas, são escolhidas três bandas de uma imagem, que são associadas a cada um dos componentes RGB. Faz-se então a transformação IHS onde cada *pixel* na imagem de saída possuirá um ponto correspondente no espaço IHS. Este procedimento resultará em três novas imagens: uma de intensidade, uma de matiz e uma de saturação. Essas imagens são realçadas, de forma a expandir o intervalo de intensidade e saturação através de técnicas convencionais de contraste. Faz-se então a transformação inversa IHS => RGB e obtém-se assim um produto de melhor extração visual das feições de interesse, de valor agregado e que fornece mais informações que cada item isoladamente.

5.2.4. Metodologia Específica

Para obter uma integração satisfatória, é necessário que as imagens e os dados geofísicos estejam geometricamente corrigidos e reamostrados para um *pixel* comum. Na imagem Landsat, com seus padronizados 15 metros de resolução espacial, nada foi feito, pois ela já foi adquirida georreferenciada e ortorretificada, o que em princípio, mantém sua fidelidade geométrica. A partir daí, foi delimitada e recortada a área de interesse, que corresponde ao limite da folha SE-24-V-A-II Jequitinhonha, escala 1:100.000, do IBGE.

Quanto aos dados aerogeofísicos de magnetometria, foi adquirida a cena bruta em tons de cinza (Figura 9) que foi reamostrada para a resolução de 15 metros para alcançar a resolução da pancromática do Landsat e possibilitar as fusões posteriores, com a utilização do software Spring.

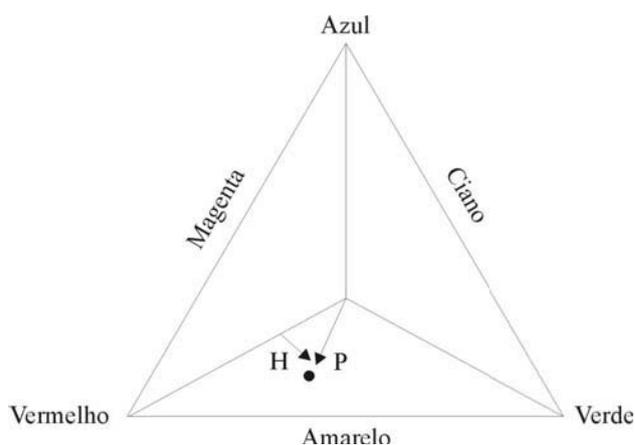


Figura 8 - Relação espacial representada por um triângulo, entre o espaço RGB e IHS

Reforçando o já referido, o espaço IHS pode ser representado graficamente por um triângulo, como mostrado a Figura 8, onde o modelo RGB é definido em relação a um cubo. No entanto, os componentes de cor do sistema IHS (tonalidade e saturação) são definidos com base no triângulo acima. Observa-se que todas as cores obtidas através da combinação de três outras cores encontram-se dentro de um triângulo cujos vértices são definidos pelas cores iniciais. Ainda na mesma figura, e recuperando os conceitos apresentados na seção anterior, note-se que o **matiz** (H) do ponto de cor P é o ângulo formado entre o seu vetor e o eixo do vermelho. Assim, quando $H = 0^\circ$, a cor é vermelha, quando $H = 60^\circ$, a cor é amarela e assim sucessivamente. A **saturação** (S) da cor é

proporcional à distância entre P e o centro do triângulo (quanto mais o ponto estiver afastado do centro, mais saturada está a cor). Por fim, a **intensidade** (I) é medida relativamente a uma linha perpendicular ao triângulo e que passa pelo seu centro.

A combinação *do matiz, da intensidade e da saturação* num espaço de cor tridimensional, resulta numa estrutura piramidal. Qualquer ponto que se situe na superfície desta estrutura representa uma cor puramente saturada. A tonalidade dessa cor é determinada pelo seu ângulo com o eixo do vermelho e a intensidade pela distância perpendicular da origem do preto (ou seja, quanto maior for a distância ao preto maior é a intensidade de uma cor). Relativamente aos pontos situados dentro da estrutura, a situação é semelhante, residindo a diferença no fato das cores se tornarem menos saturadas à medida que se aproximam do eixo vertical (*segundo FRANÇA, 2003).

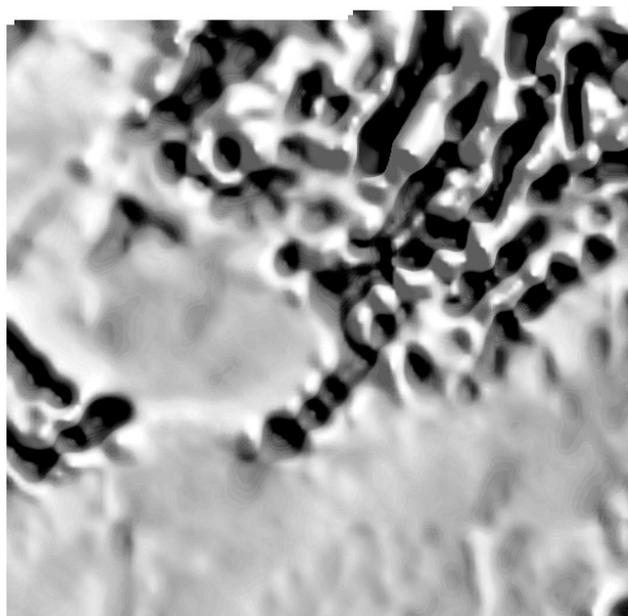


Figura 9 – Imagem original de magnetometria em tons de cinza

Assim, a metodologia aplicada seguiu as seguintes etapas:

→ de posse da imagem original de magnetometria em tons de cinza (Figura 9), o sistema calcula o seu valor mínimo e máximo de nível de cinza. A partir desses valores, é aplicada uma transformação linear em que a base da reta fica posicionada no valor mínimo e o topo

no máximo, resultando numa alteração do contraste, com mínimo de 0 e máximo de 212 para se chegar à cor magenta, evitando fechar o ângulo em 360° (NC=255) equivalente à cor vermelha (que também corresponde a 0° – MC=0) na relação espacial entre os dois espaços de cores. Esta técnica foi realizada visando melhoria na qualidade da imagem para o reconhecimento dos padrões e discriminação visual de seus objetos.

→ em seguida, sobre essa imagem de magnetometria já realçada com $\text{min} = 0$ e $\text{máx} = 212$, foi realizada uma operação aritmética de multiplicação da mesma por uma constante. Essa operação requer um fator de **ganho** (multiplicativo) ou de **off-set** (aditivo), com a finalidade de melhorar o contraste da imagem e realçar as diferenças espectrais. No presente estudo, optou-se pelo fator **ganho**, na operação OP1 do Spring, utilizando as opções de valores de .35, .45, .70 e .100, na busca do melhor desempenho.

→ finalmente, foram realizadas algumas fusões no espaço IHS (Figura 10) quando foram testadas várias combinações, na integração Mag/TM, como apresentado a seguir:

- na componente I => a pancromática do Landsat;
- na componente H => a magnetometria com realce min de 0 e máx de 212 e
- na componente S => a magnetometria já realçada, acrescida do fator de ganho de .35 e sucessivamente de .45, .70 e .100.

→ nesta técnica sempre é necessário que se faça a transformação inversa, retomando o RGB para visualização dos resultados. Na retomada ao RGB, optou-se por inverter os canais, associando o R (Red) ao canal B (Blue) e B ao canal R, mantendo o G (Green) no próprio canal G, para melhor discriminação litológico/estrutural na combinação com a topografia.

Tentativas anteriores de combinações com dados de magnetometria já trabalhados em cores foram descartadas, pois, embora visualmente aparentassem boas combinações com bons resultados, as informações haviam se perdido, pelo tratamento dos dados ao lhes ser atribuídas as cores, ficando como opção definitiva os dados de magnetometria em tons de cinza. Também a proposta inicial de se utilizar dados do SRTM (*Shuttle Radar Topography*

Mission) foi desprezada por não trazer informação relevante para o presente estudo.

6. RESULTADOS

A Figura 11 apresenta a composição que melhor resultado trouxe para este estudo, ou seja, a fusão em que à componente S, foi alocada a imagem de magnetometria realçada e com fator ganho de .45. Ficou assim definido um produto mais adequado para extração visual das feições, com a resolução espacial da imagem pancromática e resolução espectral equivalente à da composição RGB.

Observe-se que ao final, na retomada ao RGB, a inversão dos canais R e B pelos seus inversos B e R, realçou a imagem final de forma nítida, suavizada, que exhibe matizes provenientes da magnetometria e variações topográficas (relevo) da imagem Landsat. Na composição colorida, a principal contribuição do canal de magnetometria foi o fornecimento dos padrões de cores relacionadas às anomalias magnéticas ligadas à reposta magnetométrica das rochas. Os dados Landsat ETM+ contribuíram no realce das diferenças topográficas, apresentando notável correlação com as áreas de coberturas vegetal e sedimentar **(a)** e com os lineamentos magnéticos **(b)**. Estes lineamentos refletem a conformação estrutural típica de falhas da região, rompidos pela forma circular e circunscrita do maciço de Medina **(c)**.

A topografia de fundo da imagem demonstra de forma pouco nítida parte do chamado “rochoso”, denominação dos afloramentos de rocha fresca exposta, sem ser suficiente para suas delimitações (dos afloramentos).

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A integração dos dados aeromagnetométricos e Landsat 7 ETM+, através da transformação no espaço IHS, permitiu que se gerasse um produto onde as respostas da magnetometria foram facilmente interpretadas e associadas às litologias e estruturas da área. Muito embora o contorno do Maciço de Medina seja de fácil identificação isoladamente tanto na

imagem Landsat como na magnetometria, a metodologia aplicada neste estudo favoreceu a percepção da topografia local associada à variação de cores da resposta magnética, representativa da litologia. Além disso, adicionalmente e de forma surpreendente, realçou áreas de cobertura sedimentar e vegetal que se apresentam visualmente destacadas entre si, no campo, onde nos locais de ausência de coberturas sedimentares estão imensos lajedões de rocha exposta. Entretanto, o destaque do relevo de afloramentos rochosos da área do maciço aparece na imagem sem, contudo, ser nítido o suficiente para sua caracterização, o que restringe o funcionamento dessa técnica para alcançar o primeiro objetivo proposto.

Em conseqüência de terem sido descartadas as fusões com dados de magnetometria já tratados com cores e também com modelos de SRTM, pelos motivos anteriormente citados na seção 5.2.4, reduziu-se o número de produtos a serem gerados. No entanto, tendo em vista os objetivos propostos para este estudo, os resultados foram positivos na identificação e delimitação de maciços como o de Medina, de grandes dimensões, circunscritos, de forma elíptica bem definida, reforçando o potencial do uso de produtos integrados de sensores remotos com dados aerogeofísicos para fins de mapeamento geológico e de recursos minerais voltados para este tipo de investigação, a de maciços circunscritos e uniformes. Já para os maciços irregulares, a técnica não funcionou e, portanto não é recomendada sua utilização para esta finalidade.

Considerando a boa qualidade e ótima resolução dos levantamentos aerogeofísicos atuais, o que os torna uma ferramenta eficiente nos estudos voltados para a pesquisa geológica, recomenda-se tanto um refinamento de seus dados, como o que foi aqui realizado pela transformação no espaço de cores IHS, incluindo principalmente a utilização de dados de gamaespectrometria em áreas onde eles foram levantados (na região deste estudo foram realizados apenas levantamentos magnetométricos), como também a aplicação da técnica em áreas mais extensas e potencialmente importantes, já sabidamente pólos graniteiros de porte, como o norte do Espírito Santo e a própria região do Vale do Jequitinhonha. O resultado final pode ser relevante por reduzir trabalhos de campo e permitir conduzi-los localizada e objetivamente.

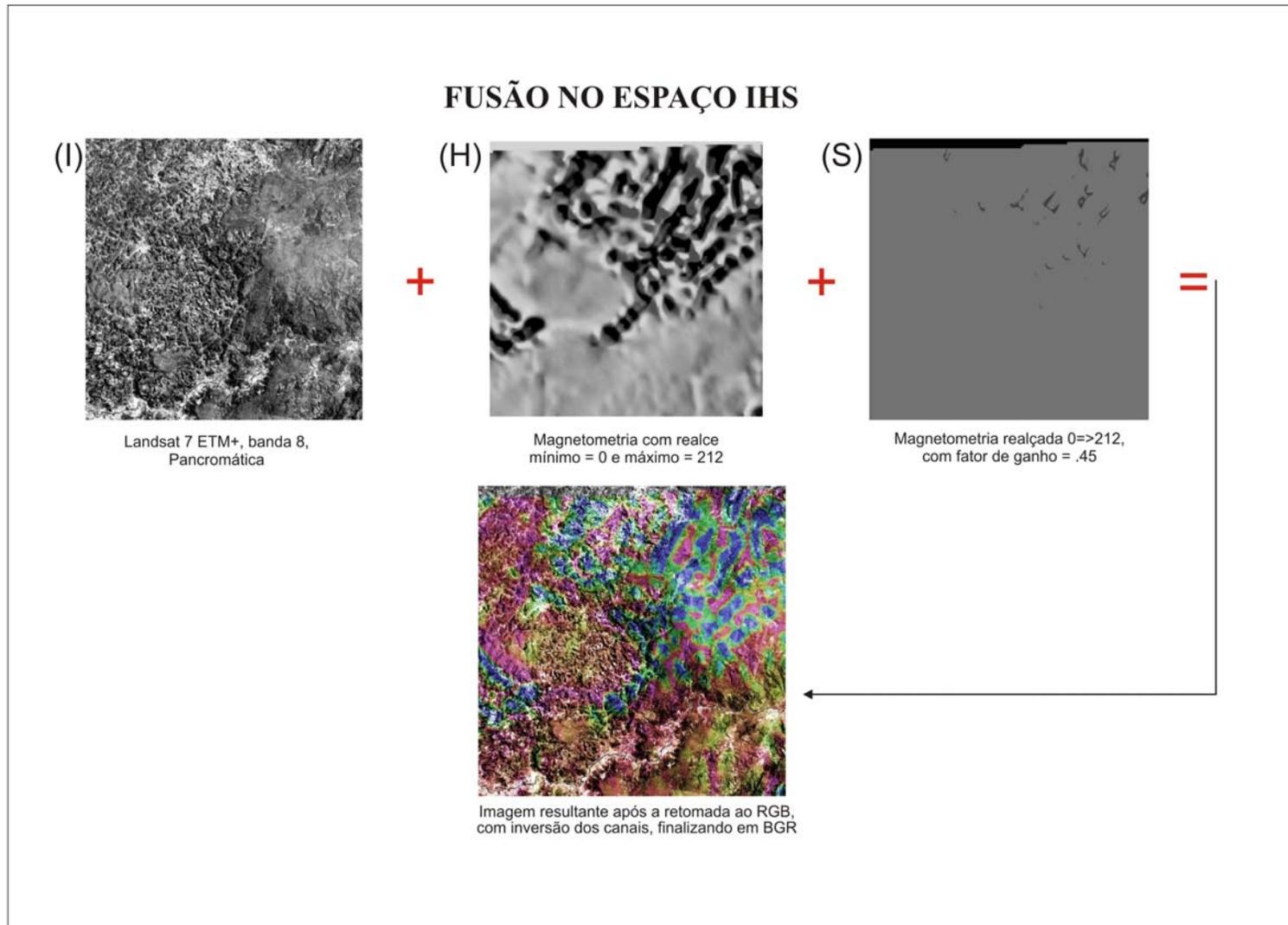


Figura 10 – Ilustração esquemática da aplicação da técnica de fusão no espaço IHS

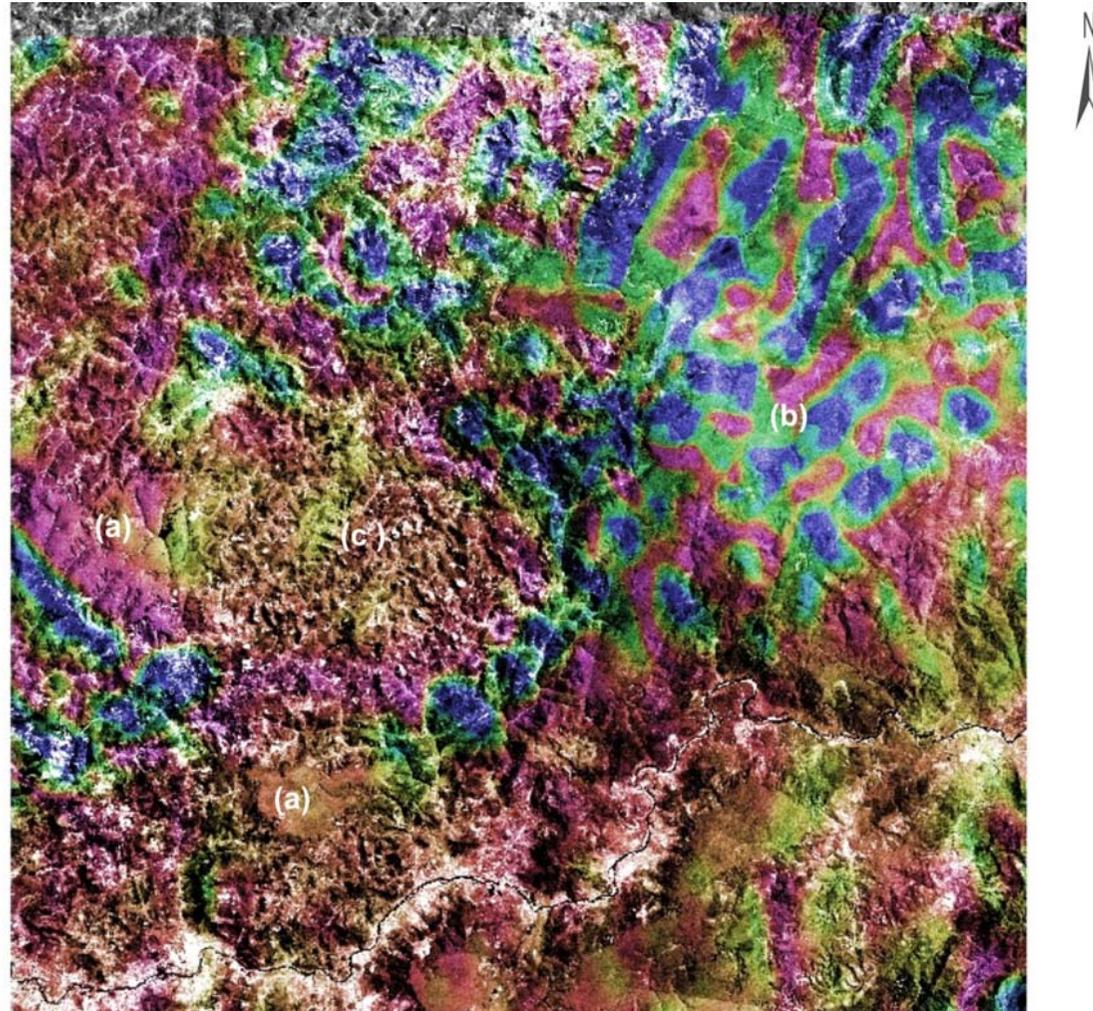


Figura 11 – Imagem da composição colorida, resultante da transformação IHS, após a retomada ao RGB: Landsat/ Mag212/ Mag212+s45 (sem escala)

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FRANÇA, A. V. M. Avaliação da metodologia de fusão de dados, por transformação no espaço de cores (IHS), no estudo geológico/geofísico a oeste de Unaí – Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003, Monografia (Especialização em Geoprocessamento), Departamento de Cartografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.

CAMPELLO, M. S. Caracterização Tecnológica de Granitos Ornamentais – Montagem de Laboratório e Rotinas para realização de Ensaios, 2000, Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.

CAMPELLO, M. S.; FREITAS, C. R.; MOURA, A. C. M.; COSTA, A. G. Técnicas de geoprocessamento na prospecção de rochas ornamentais: uso potencial de imagens de satélite, levantamento aerogeofísico e SIG. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12., 2005, Goiânia. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia: INPE, 2005. p 1749-1755.

DIAS, R. R.; PARADELLA, W. R.. Integração de dados aéreos gamaespectrométricos com imagens TM-Landsat no mapeamento geológico da área do Pojuca, província mineral de Carajás. **Rev. Bras. Geof.**, São Paulo, v. 15, n. 1, 1997.

CPRM Serviço Geológico do Brasil, Atlas Digital dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Vale do Jequitinhonha - Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea – Diagnóstico do Município de Medina – MG / Organizado por Francisco Edson Mendonça Gomes – Fortaleza: CPRM/ PRODEEM, 2005. 1 CD-ROM.

COMIG. *Diagnóstico do Setor de Rochas Ornamentais e d Revestimento no Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte : COMIG, 1998.

CROSTA, A. P., Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto – ed. rev. – Campinas, SP; IG/UNICAMP, 1999. 164p.

“Guia do ENVI em Português”, SulSoft, 11/2006.

["SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling" Camara G, Souza RCM, Freitas UM, Garrido J Computers & Graphics, 20: \(3\) 395-403, May-Jun 1996.](#)

Acesso à internet:

www.almg.gov.br/index.asp?grupo=estado&diretorio=munmg&arquivo=municipios&municipio=41405 – acesso em 19 set. 2006.

<http://www.cedeplar.ufmg.br/diamantina2004/textos/D04A037.PDF> - acesso em 25 set. 2006

<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=349&sid=26> – acesso em 26 set. 2006

http://www.obt.inpe.br/cbers/cbers_XIISBSR/393_loch_SBSR.pdf - acesso em 20 out. 2006

http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/cobrac_2006/083.pdf - acesso em 20 out. 2006

<http://www.ee.furg.br/~silviacb/DIP/Cores.html> - acesso em 23 nov. 2006

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-261X1997000100003 – acesso em 04 dez. 2006