

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA



Janine Lima Duarte

Análise da ocorrência e tipo de solos por retorno de rádio
frequência

Trabalho de Graduação
2005

Infra-Estrutura

Janine Lima Duarte

**ANÁLISE DA OCORRÊNCIA E TIPO DE SOLOS POR RETORNO DE
RÁDIO FREQUÊNCIA**

Orientador
Prof. Dr Eugênio Vertamatti (ITA)

Co-orientador
Prof. Fabiano Morelli (INPE)

Divisão de Infra-Estrutura Aeronáutica

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
CENTRO TÉCNICO AEROESPACIAL
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA
2005

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Divisão Biblioteca Central do ITA/CTA

Duarte, Janine Lima

Análise da ocorrência e tipo de solos por retorno de rádio frequência /Janine Lima Duarte.

São José dos Campos, 2005.

73f.

Trabalho de Graduação – Divisão de Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2005. Orientadores: Dr. Eugênio Vertamatti, Fabiano Morelli

1. Processamento de Imagens. 2. Solos. 3. Landsat. I. Centro Técnico Aeroespacial. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Divisão de Engenharia de Infra-estrutura Aeronáutica. III.Título

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

DUARTE, Janine. **Análise da ocorrência e tipo de solos por retorno de rádio frequência.** 2005. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Janine Lima Duarte

TÍTULO DO TRABALHO: Análise da ocorrência e tipo de solos por retorno de rádio frequência

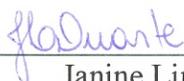
TIPO DO TRABALHO/ANO: Graduação / 2005

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem a autorização do autor.

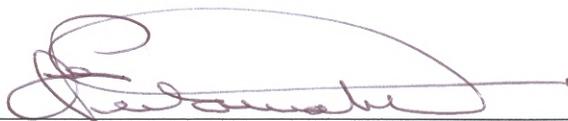
Janine Lima Duarte
Rua Carlos Essenfelder, 1138
Vila Hauer, CEP: 81650-090
Curitiba - Pr

Análise da ocorrência e tipo de solos por retorno de rádio frequência

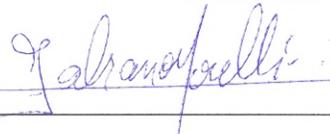
Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação



Janine Lima Duarte
Autor



Prof. Dr Eugênio Vertamatti (ITA)
Orientador



Prof. Fabiano Morelli (INPE)
Co-orientador



Prof. Dr Flávio Mendes Neto
Coordenador do Curso de Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica

Dedico este trabalho a Brechó e Lurdes,
meus amados pais, que tantas vezes me deram
o apoio e o incentivo necessários para superar
as dificuldades e seguir em frente em busca dos
meus objetivos e realizações.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por tudo o que conquistei até aqui, por todas as graças concedidas e pela força que tantas vezes consegui, mesmo quando pensava que não agüentava, querendo em desistir.

Também à minha família, que sempre me incentivou e se orgulhou de minhas atividades. Meus pais e os queridos irmãos, pessoas que muito além do carinho familiar, sempre se mostraram meus companheiros e amigos, prontos a me aconselhar e com quem sempre pude dividir as alegrias e dificuldades vividas.

Gostaria de agradecer também aqueles professores que contribuíram pra minha formação e meu crescimento técnico e profissional, em especial meus orientadores, que me indicaram o caminho para melhor desenvolver este trabalho e que, com suas dicas e sugestões, tornaram possível a elaboração deste projeto.

Agradeço em especial ao pesquisador Demerval Gonçalves, que me deu o apoio técnico para a utilização dos softwares que possibilitaram as análises realizadas, por sua incrível paciência e disposição oferecidas.

Agradeço com carinho, minhas amigas e companheiras de apartamento, com quem morei nestes últimos anos – Dafne, Renatha, Stephanie e Tathiana. A essas mulheres, com quem tantas vezes dividi segredos e alegrias, devo agradecer pelas conversas de madrugada, pelas festas, pelo apoio, pela convivência agradável e principalmente pela amizade que, tenho certeza, se manterá mesmo quando tivermos que nos afastar.

Não posso também deixar de lembrar dos meus amigos do C+ Infinito. Pelas conversas nos intervalos, pelas reuniões de segunda-feira e, como não poderia deixar de citar, pela acidez sempre bem colocada e sagaz. Em especial, agradeço Daniel DC, João Paulo e Lucas, por toda a paciência que tiveram em me ouvir e me aconselhar nesses cinco anos, sempre dispostos a “pensar a respeito” sobre tudo aquilo que me afligia e me mostrando meu verdadeiro valor. Sem dúvida alguma, eles foram responsáveis por tornar-me uma pessoa mais madura e segura.

Quero também agradecer a meu amigo-irmão, Victor, que sempre animado, conseguia me mostrar o lado positivo das coisas e com seu jeito querido me fazia rir em qualquer circunstância. Ele foi, desde o primeiro ano, quem me mantinha informada sobre os acontecimentos mais recentes e que me ajudava a interpretar cada situação segundo uma análise mais psicológica e apurada, digamos assim.

Não posso deixar de citar o Rafael Embratel, que sempre me agüentou em minhas crises, com uma paciência de Jó; me ajudando a estudar nas semanas de prova, sendo minha dupla nas tarefas de laboratório e um amigo exemplar, em todos os momentos.

Agradeço, de maneira bastante especial, a meu amigo-irmão-psicólogo, Paulo Dantas, pela sua sensibilidade, maturidade e disposição em sempre discutir sobre as experiências vividas, experiências estas muito similares em nossas vidas. Por ser um dos homens mais importantes da minha vida, por me ensinar muito sobre o ser humano e seus relacionamentos, por me ajudar no crescimento e maturidade pessoal e sentimental, por sempre me lembrar da beleza da vida mesmo nos momentos mais duros que ela nos reserva. Devo ainda agradecê-lo, por me mostrar o verdadeiro sentido e brevidade das coisas e também a grandeza das pessoas, inclusive a minha.

Finalmente, deixo meu agradecimento a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para esta realização, que me ensinaram muitas coisas e que tornaram meus dias mais agradáveis nestes últimos anos

RESUMO

O presente trabalho visa apresentar os procedimentos desenvolvidos para a identificação e localização de feições específicas de solos. Desejando-se encontrar latossolos e nitossolos, utilizou-se técnicas de processamento de imagens obtidas por sensoriamento remoto, de modo a comparar com os tipos de solos existentes nas áreas de estudo.

A análise foi realizada na área que vai do norte do Paraná ao sul de São Paulo, entre as cidades de Londrina e Assis. Essa região caracteriza-se pela grande ocorrência de nitossolo vermelho.

Utilizando procedimentos de realce por equalização de histograma, composição colorida em RGB e transformação para o sistema de cores IHS nas imagens de satélite foram obtidas novas informações, que foram comparadas ao mapa pedológico da região.

Para os realces, composições e transformações desejadas utilizou-se imagens (bandas 1 a 8) do sistema sensor ETM+, do satélite Landsat 7. A órbita/ponto da cena analisada é 222/76.

Verificou-se que a técnica de equalização de histograma é capaz de aumentar o contraste das imagens analisadas e testando diferentes combinações das bandas realçadas, foi possível verificar que as composições 7R/5G/2B e 7R/5G/3B e transformações IHS equivalentes são úteis na identificação dos solos analisados.

ABSTRACT

This work presents the procedure developed in soils specific feature identification and classification. With objective of finding latosols and nitosols, some processing images techniques in remote sensing were used to compare with kinds of soils present in concern areas.

The test area is located between North Paraná and South São Paulo, near Londrina and Assis. This region has the characteristic of great nitosol occurring.

Using histogram equalization stretching process, colored compositions and IHS transformation in satellite images, were acquire new information, that were compared with soil maps in the region.

To stretch, composition and transformations desired, sensor ETM+ images (1 to 8), from Landsat satellite, were used. The path/row utilized was 222/76.

It's possible to confirm that equalization histogram techniques is able to increase the contrast in analysed images; and testing different combinations of stretched images, it was possible to prove that 7R/5G/2B and 7R/5G/3B compositions and IHS transformations are useable in identify the features of analysed soils.

LISTA DE FIGURAS

2.1	Componentes do sistema de sensoriamento remoto.....	04
2.2	Funcionamento de ondas eletromagnéticas.....	06
2.3	Campo elétrico e magnético.....	07
2.4	Espectro eletromagnético.....	09
2.5	Sistema de sensoriamento remoto.....	13
2.6	Componentes do sistema sensor.....	14
3.1	Histograma de contraste – distribuição dos valores de cinza.....	27
3.2	Demonstração de média e moda de um histograma.....	28
3.3	Histograma de contraste linear.....	30
3.4	Histograma de contraste mínimo-máximo.....	30
3.5	Imagem contrastada e seu respectivo histograma.....	32
3.6	Transformação de componente principal em duas direções.....	33
3.7	Sistema RGB e IHS.....	35
3.8	Diagrama de cromaticidade.....	37
4.1	Mapa pedológico do Brasil.....	44
4.2	Comportamento espectral de alguns tipos de alvo.....	45
5.1	Área de Estudo.....	48
5.2	Ocorrência de solos na área de interesse e legenda.....	48
5.3	Imagem Landsat da região de estudo.....	49
5.4	Localização da área de estudo.....	50
5.5	Esquema de transformação RGB – IHS – RGB.....	54
6.1	Equalização de Histograma na Banda 1.....	57
6.2	Equalização de Histograma na Banda 2.....	58
6.3	Equalização de Histograma na Banda 3.....	59
6.4	Equalização de Histograma na Banda 4.....	60
6.5	Equalização de Histograma na Banda 5.....	61
6.6	Equalização de Histograma na Banda 6.1.....	62
6.7	Equalização de Histograma na Banda 6.2.....	63
6.8	Equalização de Histograma na Banda 7.....	64
6.9	Equalização de Histograma na Banda 8.....	65
6.10	Composição colorida 7R/5G/2B.....	66

6.11	Composição colorida 7R/5G/3B.....	67
6.12	Comparação da composição 7R/5G/2B original e IHS.....	67
6.13	Comparação da composição 7R/5G/3B original e IHS.....	68
6.14	Recorte do mapa pedológico com 75% de transparência.....	69
6.15	Apresentação da imagem analisada (aplicativo <i>ArcMap</i>).....	69
6.16	Sobreposição das imagens.....	70
6.17	Imagens analisadas sem sobreposição.....	70

LISTA DE TABELAS

2.1 Principais Sistemas e Produtos de SR.....	05
2.2 Características dos Satélites.....	19
2.3 Principais Instrumentos Sensores (Landsat)	20
2.4 Aplicações das Bandas Espectrais.....	21

LISTA DE ABREVIATURAS

DSB	- Diretoria de Serviço Geográfico
EMBRAPA	- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IHS	- Intensity, Hue, Saturation
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ITA	- Instituto Tecnológico de Aeronáutica
MSS	- Multispectral Scanner Subsystem
NASA	- National Aeronautics and Space Administrations
PC	- Principal Componente
RGB	- Red, Green, Blue
RVB	- Return Beam Vidicom
SPRING	- Sistema de Processamento de Informação Georreferenciada
SR	- Sensoriamento Remoto

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	01
CAPÍTULO 2 – RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA E CONCEITOS ENVOLVIDOS	03
2.1 Sensoriamento Remoto.....	03
2.2 Radiação Eletromagnética.....	06
2.3 Espectro Eletromagnético.....	08
2.4 Fontes de Radiação Eletromagnética.....	09
2.5 Efeitos Atmosféricos na Propagação da REM.....	10
2.6 Interação da Radiação com a Superfície da Terra.....	11
2.7 Sistema Sensores Remotos.....	12
2.8 Imagem Digital.....	16
2.9 Resolução e Bandas.....	16
2.10 Landsat.....	17
2.11 Sistema de Recepção de Imagens.....	21
CAPÍTULO 3 – PROCESSAMENTO DE IMAGENS.....	23
3.1 Pré-processamento.....	24
3.1.1 Correções Radiométricas.....	25
3.1.2 Correções Geométricas e Registro de Imagens.....	25
3.2 Realce de Contraste.....	26
3.3 Histograma uni-dimensional.....	26
3.4 Aumento Linear de Contraste.....	29
3.5 Contraste por Mínimo-Máximo.....	30
3.6 Equalização de Histograma.....	31
3.7 Transformação por Componentes Principais.....	32
3.8 Transformação IHS.....	34

3.9	A Cor no Processamento Digital de Imagens.....	35
3.10	As Cores e o Sistema Visual Humano.....	36
3.11	Composições Coloridas.....	38
CAPÍTULO 4 – SOLOS E COMPORTAMENTO ESPECTRAL.....		40
4.1	Solos.....	40
4.2	Solos Lateríticos.....	40
4.3	Características dos Solos Lateríticos.....	41
4.4	A Distribuição dos Solos Lateríticos.....	42
4.5	Comportamento Espectral.....	44
CAPÍTULO 5 – DESCRIÇÃO EXPERIMENTAL.....		47
5.1	Área de Estudo.....	47
5.2	Ocorrência de Solos.....	48
5.3	Seleção e aquisição de Imagens.....	49
5.4	Pré-processamento de Imagens.....	52
5.5	Processamento.....	52
5.5.1	Realce de Contraste.....	52
5.5.2	Composição das Imagens.....	53
5.5.3	Transformação IHS.....	54
5.6	Produtos Finais.....	55
CAPÍTULO 6 – ANÁLISE DOS RESULTADOS.....		56
6.1	Realce.....	56
6.2	Composição Colorida.....	66
6.3	Transformação IHS.....	67
6.4	Comparação com Mapa Pedológico.....	68
CAPÍTULO 7 – CONCLUSÃO.....		71

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72
--	-----------

1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que, para construções e obras de engenharia, o solo é um componente essencial. Neste sentido, é importante conhecer as propriedades desse material e também saber onde encontrá-lo quando na necessidade de usá-lo para algum fim.

Sabe-se também que devido às propriedades físicas e químicas inerentes à estrutura dos solos, há materiais mais adequados ao uso em engenharia e outros cuja utilização deve ser evitada. Os solos lateríticos caracterizam-se por grande utilidade e por grande ocorrência no território nacional. É interessante saber classificá-lo e identificar as regiões onde a probabilidade de encontrá-lo é maior.

A proposta desse trabalho é exatamente definir um método em que se consiga identificar feições desse tipo de solo e a partir de análises de imagens de satélites identificar sua ocorrência.

Isso é possível graças ao crescente avanço da tecnologia, que coloca ao nosso dispor uma quantidade cada vez maior de informações do globo terrestre obtidas à distância. Tais informações mostram-se cada vez mais detalhadas e precisas, de modo que é possível, além de identificar regiões de interesse, revisar as cartas de solos baseadas em informações mais antigas.

Apesar de a produção de imagens de satélite ser uma atividade controlada por poucos órgãos, sua disponibilidade é cada vez maior, tornando possíveis análises criteriosas das mesmas e das informações delas retiradas. No Brasil, tais informações são disponibilizadas pelo INPE.

Também é possível, por intermédio de alguns órgãos internacionais, adquirir eletronicamente imagens de qualquer região do globo terrestre e confirmar ou questionar os dados disponibilizados por órgãos de geografia do mundo todo.

O avanço das técnicas de análise e processamento dessas imagens faz com que tenhamos cada vez mais precisão nos resultados obtidos, de modo a garantir a qualidade de estudos e trabalhos realizados.

Utilizando-se de várias dessas técnicas modernas e de imagens obtidas por sensoriamento remoto, este trabalho analisa e melhora as imagens e mostra como é possível, com combinações e técnicas adequadas extrair informações sobre feições de solos, identificando sua ocorrência e possibilitando sua classificação.

Tais técnicas serão apresentadas nos capítulos subseqüentes e, além delas, apresenta-se também os resultados de cada fase do processo e da comparação dos resultados com aquilo que era esperado pela análise de dados conhecidos.

Ao final, apresenta-se ainda uma breve discussão dos resultados, identificando os acertos e erros no processo, sugerindo os motivos para estes comportamentos.

Espera-se com este trabalho despertar o interesse em relação ao estudo de solos e as formas de identificação dos mesmos, por intermédio de modernas técnicas de análise de imagens.

2 Radiação eletromagnética e conceitos envolvidos

2.1 Sensoriamento Remoto

Segundo Novo (1989), uma das definições de sensoriamento remoto é: “A utilização de sensores para aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos sem que haja contato direto entre eles”.

Souza (1996) afirma que se pode considerar que o início do conceito de sensoriamento está ligado às experiências de Newton, em 1822, quando este constatou que um raio luminoso (luz branca) decompunha-se num espectro de cores ao passar por um prisma. Há ainda autores que concordam que a origem do Sensoriamento Remoto está ligada ao desenvolvimento de sensores fotográficos, quando as fotografias aéreas eram tiradas por balões (1859), e mais tarde por aviões (1909).

De qualquer forma, foi a partir da decomposição da luz branca que muitos cientistas começaram a estudar o assunto e ampliar o que se conhece sobre a luz. Hoje se sabe que ela é, na verdade, uma composição de diferentes tipos de luz e ainda que cada cor do espectro decomposto apresenta uma temperatura e características diferentes.

Descobriu-se que além do vermelho visível, existem radiações invisíveis para os olhos, que passaram a ser ondas, raios ou ainda radiações infravermelhas, além dessas também se verificou a existência da radiação ultravioleta (também invisível aos nossos olhos). Os cientistas mostraram ainda que a luz branca (que é visível) é um dos diferentes tipos de ondas eletromagnéticas, Crósta (1992).

Apesar de ser essencialmente um conceito ligado à física, sabemos que o Sensoriamento Remoto é resultado de estudos e avanços em diversas áreas (físico-química, geociências, computação, etc.) e que avança cada dia com o desenvolvimento dessas áreas e das tecnologias envolvidas.

O Sensoriamento Remoto envolve os quatro elementos mostrados na figura 2.1. A Radiação Eletromagnética é o elemento de ligação entre todos os demais que se posicionam nos vértices: sensor, alvo e fonte da radiação, Cabral (2005).

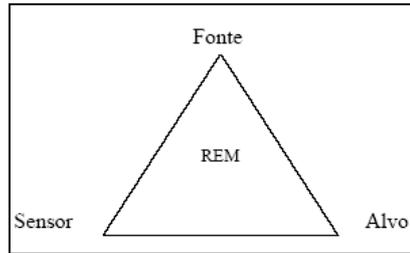


Figura 2.1: Componentes do Sistema de Sensoriamento Remoto

(Fonte: Cabral, 2005)

Segundo Souza (1996), o registro de alvos terrestres por sensoriamento remoto é feito através de um processo de interação da radiação eletromagnética com esses alvos. Portanto, torna-se relevante uma breve explicação dos principais conceitos envolvidos para facilitar a compreensão deste trabalho.

Existem várias formas de se caracterizar sistemas de SR. Podem ser discriminados quanto ao nível de aquisição (terrestre, aéreo e orbital), ou quanto ao processo de detecção (fotográfica ou eletrônica), por exemplo. A mais usual delas é dividindo-os em função do domínio espectral, ou seja, a porção do Espectro Eletromagnético por ele explorada (visível, infravermelho próximo, infravermelho médio, infravermelho distante ou termal, e microondas). Alguns sistemas, por operarem em mais de uma faixa espectral, recebem a denominação *multiespectral*, ou *hiperespectral*, em função do número de canais adotados, Silva (1995).

Qualquer que seja a caracterização dada, é possível verificar que todos os sistemas de SR podem apoiar, de alguma forma, as atividades de inteligência, sejam quais forem suas aplicações primárias. A tabela 2.1 apresenta, sinteticamente, os principais sistemas e produtos de Sensoriamento Remoto.

Tabela 2.1 – Principais Sistemas e Produtos de SR

SISTEMAS	PRODUTOS/APLICAÇÕES
Sistemas fotográficos	Inteligência, Cartografia, restituição altimétrica, modelos para simulação de vôo
Sistemas multiespectrais e hiperspectrais	Inteligência, Cartografia (carta-imagem), restituição altimétrica (SPOT), modelos para simulação de vôo, estudos de comportamento espectral de alvos
Imageadores infravermelho de visada frontal (FLIR)	Imageamento noturno para fins diversos (navegação, Busca e Salvamento, Esclarecimento Marítimo, designação de alvos)
Imageadores termais de varredura de linha (IRLS)	Inteligência, reconhecimento tático noturno
Radares imageadores de visada lateral	Inteligência, reconhecimento a qualquer hora e sob quaisquer condições meteorológicas, Cartografia, restituição altimétrica (Interferometria)

(FONTE: Silva, 1995)

Quando um sistema de SR utiliza radiação refletida (visível e infravermelho próximo/médio), ele depende da iluminação solar e da transparência atmosférica, pois os comprimentos de onda envolvidos são relativamente pequenos.

Caso a radiação empregada pelo sistema se situe no infravermelho termal, tal sistema independe de iluminação solar. Entretanto, esse sistema ainda depende de transparência atmosférica, pelas mesmas razões mencionadas para sistemas que operam no espectro refletido.

Finalmente, quando se trata de radares imageadores, há independência tanto da iluminação solar (são sistemas ativos, que emitem sua própria radiação), quanto da transparência atmosférica (as microondas possuem comprimentos de onda relativamente longos, se comparados às partículas em suspensão na atmosfera terrestre).

As considerações anteriores estabelecem algumas características que podem determinar a possibilidade, ou não, de utilização dos vários sistemas de Sensoriamento Remoto. No entanto, existem outras características pertinentes a cada sistema, aqui não mencionadas, que os tornam mais ou menos adequados para determinado tipo de utilização, tornando a natureza dos dados de SR essencialmente complementar. Em outras palavras, sempre que praticável, é desejável a disponibilidade de dados dos vários sistemas existentes e, logicamente, disponíveis.

Essa complementaridade entre os diversos sistemas de SR permite a extração de uma quantidade superior de informações para uma mesma cena, na medida em que cada faixa do Espectro Eletromagnético possui peculiaridades na forma de interagir com a matéria.

2.2 Radiação Eletromagnética

Para entender campos elétricos e ondas eletromagnéticas é preciso saber como as cargas negativas e positivas (elétrons e prótons) se interagem e movem.

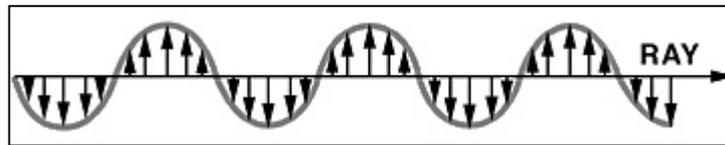


Figura 2.2: Funcionamento de ondas eletromagnéticas

(Fonte: Cabral, 2005)

As setas na figura 2.2 representam a direção e intensidade da força elétrica. O conjunto de todas as vetores de força, representado pela onda envoltória, é a onda elétrica produzida pela interação das cargas envolvidas no processo.

O campo elétrico, resultante das cargas e forças elétricas, cria um campo magnético, de igual sentido de propagação, mas perpendicularmente posicionados, conforme a figura 2.3.

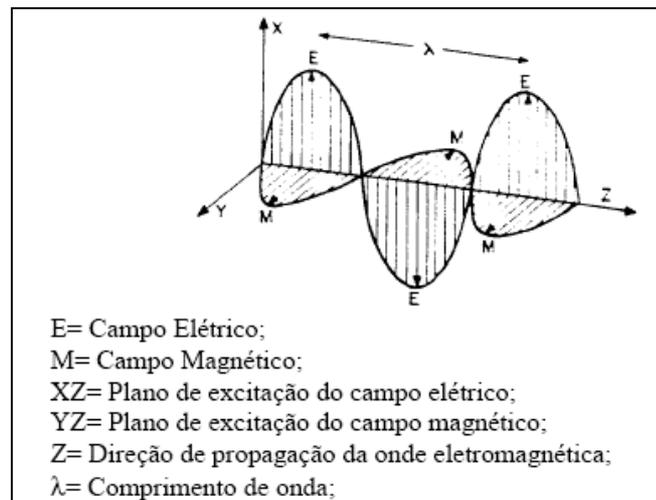


Figura 2.3: Campo elétrico e magnético

(Fonte: Cabral, 2005)

A interação da radiação eletromagnética com o meio físico pode ser explicada por dois modelos: quântico (corpúscular) e ondulatório, Harris (1987). Sob a perspectiva ondulatória a REM se propaga em forma de ondas que oscilam em um campo elétrico e outro magnético, perpendiculares entre si. Sob a perspectiva quântica a REM é concebida como a emissão de pequenos pulsos de energia que se propagam em um meio.

De acordo com Crackhell e Hayes (1987), praticamente toda energia disponível na Terra vem do Sol, de onde se propaga na forma de radiação eletromagnética, que se desloca como ondas à velocidade de 300 000 km/s. Por se tratar de uma onda, a radiação eletromagnética pode ser caracterizada em termos de seu comprimento de onda (λ) e de sua frequência (f). O número de ondas que passa por um ponto do espaço num determinado tempo define a frequência (f) da radiação, que é diretamente proporcional à velocidade de propagação da radiação. O comprimento de onda (λ) é a distância em metros de um ciclo de onda. Lembrando que C é a velocidade de propagação da onda eletromagnética, essas grandezas relacionam-se da seguinte forma:

$$C = \lambda \cdot f$$

De acordo com Novo (1989), a faixa de comprimentos de onda ou frequências em que se pode encontrar a radiação eletromagnética é ilimitada. Com a tecnologia atualmente disponível, pode-se gerar ou detectar a radiação eletromagnética numa extensa faixa de

frequência, que se estende de 1 a 1024 Hz, ou comprimentos de onda na faixa de 108 metros a 0.01A.

O conjunto de todas as frequências (e, portanto, comprimentos de onda) identificadas forma o espectro eletromagnético, que possui várias divisões e do qual falaremos a seguir.

2.3 Espectro Eletromagnético

Das formas de energia existentes a mais importante no nosso estudo é a eletromagnética. Essa radiação, que pode se propagar mesmo na inexistência de um meio material, é representada em intervalos que possuem características peculiares em termos dos processos físicos, geradores de energia em cada faixa, ou dos mecanismos físicos de detecção desta energia. As principais faixas do espectro eletromagnético estão descritas abaixo e representados na figura 2.4.

Como se pode observar, o espectro é segmentado em faixas (também chamadas regiões espectrais) bem características: raios gama, raios X, ultravioleta (UV), luz visível, infravermelho (IV), microondas e ondas de rádio. Destas regiões as que são úteis ao processamento remoto compreendem os comprimentos de onda de 0,3 μm a 15,0 μm (região também conhecida como espectro óptico), pois nesta faixa os componentes ópticos de reflexão e refração, tais como lentes, espelhos, prismas, etc., são utilizados para coletar e reorientar a radiação.

De acordo com Slater (1980) e Lilesand e Kiefer (1994), podemos ainda classificar as regiões do espectro da seguinte forma:

- *Espectro Óptico*: que engloba as radiações passíveis de serem coletadas por sistemas de sensores ópticos (UV, visível e IV).
- *Espectro Solar*: representação de todas as radiações emitidas pelo Sol.
- *Espectro Visível*: são as radiações percebidas pelo olho humano.

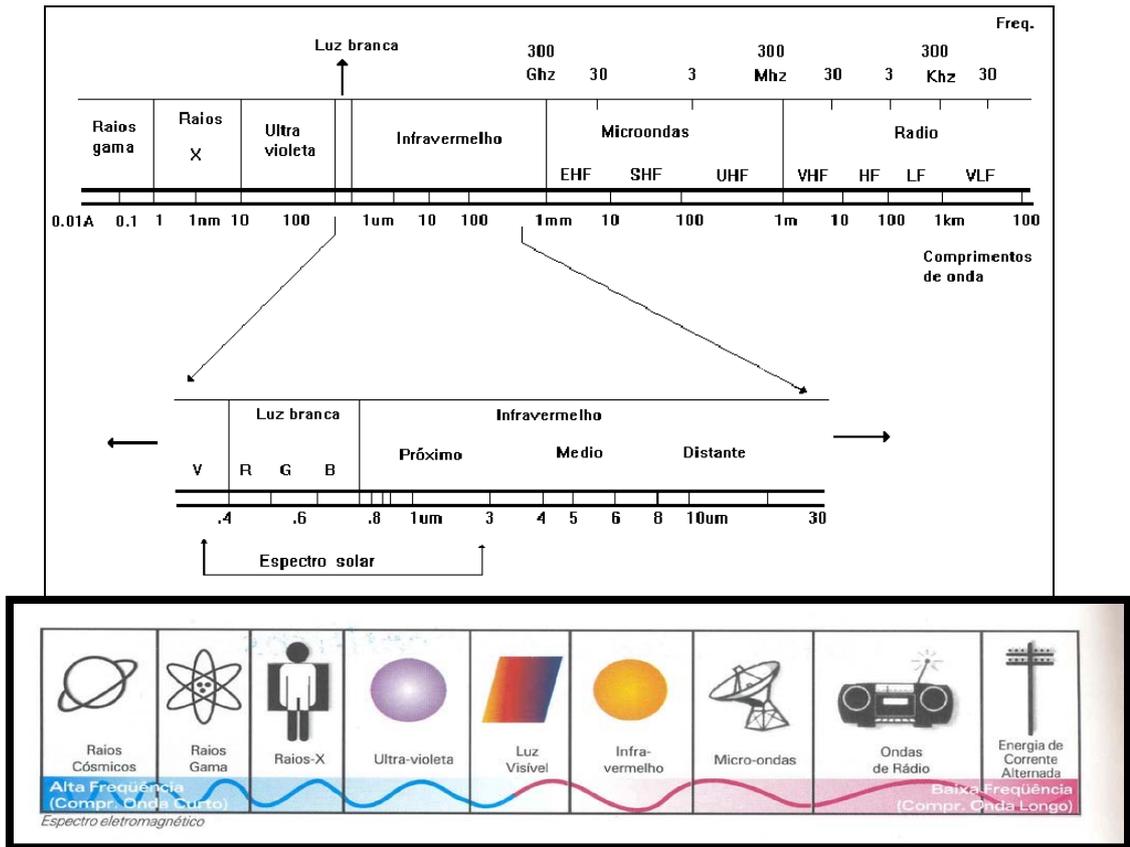


Figura 2.4: Espectro Eletromagnético

(Fonte: Cabral, 2005)

2.4 Fontes de radiação eletromagnética

De acordo com Novo (1989), podemos dividir as fontes de radiação eletromagnética em naturais (Sol, Terra, Radioatividade) e artificial (Radar, Laser, etc.).

As fontes de energia caracterizam-se pelo seu espectro de emissão, o qual pode ser contínuo ou distribuído em faixas discretas.

O Sol é a mais importante fonte natural, pois além de emitir radiação distribuída continuamente numa faixa que vai dos raios-X até à região de microondas (embora, concentrado no intervalo de $0,35 \mu\text{m}$ - $2,5 \mu\text{m}$), interage com as diversas substâncias da superfície da Terra, origina uma série de fenômenos investigados pelo Sensoriamento Remoto, tais como: reflexão, absorção, transmissão, aquecimento, luminescência, etc.

Qualquer corpo com temperatura superior ao zero absoluto (0 K) emite radiação eletromagnética, em virtude das oscilações atômicas e moleculares. A radiação emitida pode incidir sobre outra superfície e ser re-emitida, transmitida, absorvida ou refletida, Slater (1980). Esse princípio é muito importante e útil no sensoriamento que aproveita a radiação incidente sobre um corpo e analisa (por meio de sensores) a resposta de tal incidência.

Na prática, os quatro processos: emissão, absorção, reflexão e transmissão ocorrem simultaneamente e suas intensidades relativas caracterizam a substância em investigação. Dependendo das características físicas e químicas da mesma, aqueles quatro processos ocorrem com intensidades diferentes em diferentes regiões do espectro. Esse comportamento espectral das diversas substâncias é denominado assinatura espectral e é utilizado em Sensoriamento Remoto para distinguir diversos materiais entre si, Barret e Curtis (1976).

Na prática, verifica-se que pode haver uma série de interferências na radiação que chega ao sensor. Tais interferências prejudicam a leitura do alvo, podendo dar uma resposta que não corresponda à verdadeira característica do mesmo. Sabendo disso, faz-se necessário conhecer as principais interferências envolvidas no processo e de que forma as mesmas prejudicam a técnica de sensoriamento remoto por leitura da resposta espectral de alvos.

2.5 Efeitos Atmosféricos na propagação da Radiação Eletromagnética

De modo geral, os sinais coletados por um sensor remoto (satélite, aeronave) são oriundos do Sol – que como já vimos é a mais importante fonte de energia eletromagnética da qual fazemos uso. A radiação solar interage com a atmosfera até incidir nos objetos-alvo e depois interage novamente com a atmosfera até atingir o sensor. Nessa interação com a atmosfera pode haver interferências ou perdas que devem ser consideradas para fins do estudo e da identificação dos alvos.

De acordo com Souza (1996) e Cabral (2005), há regiões da atmosfera que não permitem a passagem da radiação eletromagnética – são as chamadas bandas de absorção da atmosfera. Já as regiões que permitem que a radiação se propague são as conhecidas janelas atmosféricas.

Deste modo, ao se fazer um estudo de alvo é preciso considerar alguns dos fatores atmosféricos que podem prejudicar o sensoriamento, Souza (1996):

- *Absorção*: é quando há uma transformação da energia recebida. Quando atinge um agente que cause interferência (que pode ser vapor d'água, ozônio, monóxido de carbono, etc.) a radiação se transforma em outros tipos de energia. Geralmente o efeito é pequeno e pode-se desprezá-lo.
- *Efeitos de massa de ar*: podem ser capazes tanto de absorver, quanto espalhar a radiação, prejudicando sua leitura final.
- *Espalhamento*: é quando a radiação muda de direção ao interagir com a atmosfera, se propagando em várias direções, gerando um campo de luz difusa. Há três tipos de espalhamento que variam principalmente em função do tamanho das moléculas ou partículas que provocam a perturbação na radiação.
- Além destas, segundo Gupta (1991), ainda podemos citar: refração, turbulência, emissão de radiação pelos constituintes atmosféricos, etc.

2.6 Interação da radiação com a superfície da Terra

Como já apresentamos, o fluxo magnético ao interagir com a superfície terrestre, ou qualquer objeto sobre o qual incide, a radiação eletromagnética pode ser reemitido, transmitido, absorvido ou refletido. A porcentagem de radiação que sofrerá cada um desses efeitos depende das propriedades físico-químicas do objeto, além de sua forma, temperatura, etc.

Por razão da lei da conservação da energia, sabemos que toda a radiação incidente se divide nas formas acima citadas, não há perdas. De forma que é possível afirmar que a energia incidente é igual à soma das energias transmitida, absorvida e refletida.

Se tomarmos a energia transmitida, absorvida e refletida como parcelas da energia incidente, teremos respectivamente as grandezas: transmitância, absortância e reflectância.

- *Transmitância* (τ) – representa a capacidade que um corpo tem de transmitir a radiação recebida. Esse valor por representar uma parcela da radiação incidente, pode variar de 0 a 100%.

- *Absortância* (α) – representa a capacidade que um corpo em absorver a energia recebida e reemiti-la. Esse valor também pode variar de 0 % a 100 %. Neste último caso diz-se que o corpo é completamente negro.
- *Reflectância* (ρ) – é a capacidade que um corpo tem que refletir a radiação recebida. Em tese a radiação incidente pode ser totalmente refletida (100 % de reflectância) ou ainda ter reflexão nula. A quantidade de energia refletida por um corpo varia em função da rugosidade da superfície desse corpo.

A quantidade da radiação incidente que se transforma em cada um dos fatores explicitados acima é função do alvo, e analisando as porcentagens de reflectância, absortância e transmitância é possível (salvo em casos de graves interferências e perturbações na propagação da radiação) identificar o material do alvo, que é o interesse deste trabalho.

2.7 Sistemas sensores remotos

Sensores são sistemas fotográficos ou óptico-eletrônicos capazes de detectar e registrar, sob a forma de imagens ou não, o fluxo de energia radiante refletido ou emitido por objetos distantes, Silva (1995).

Como já citado anteriormente, um fluxo de radiação ao incidir sobre um objeto interage com o mesmo e pode ser refletido, absorvido, reemitido ou transmitido. A maneira e a intensidade com que a radiação se comportará após incidir sobre o corpo dependem das características do mesmo, pois cada material reage de uma maneira diferente às radiações incidentes. De qualquer forma, todo material produz alguma perturbação na radiação recebida e os sistemas capazes de captar essas alterações podem ser classificados como sensores: rádio, televisão, máquina fotográfica, satélites, etc. Com o desenvolvimento atual é possível com esses sensores medir com razoável precisão e a distância, as propriedades espectrais dos materiais excitados pela radiação.

Para aquisição dos dados devemos considerar alguns elementos envolvidos: energia radiante e fonte da mesma (já explicados anteriormente), alvo (objeto do qual se deseja extrair alguma informação), sensor e trajetória. Na figura 2.5 apresentamos o processo de interação da radiação eletromagnética durante o seu trajeto.

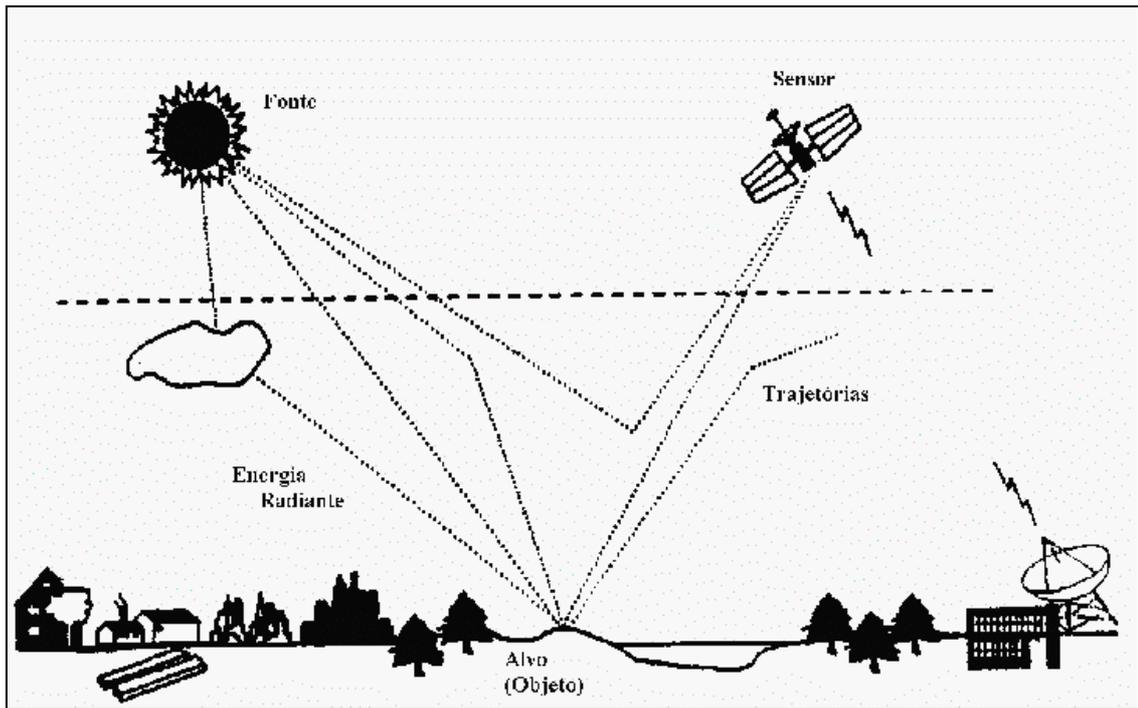


Figura 2.5: Sistema de Sensoriamento Remoto

(Fonte: INPE, 2005)

Qualquer sistema sensor deve apresentar alguns elementos básicos para ser considerado como tal. Na figura 6 é possível visualizar um esquema em que se tem:

- *Coletor*: recebe a energia através de um sistema próprio, que pode ser espelho, antena, lente.
- *Detector*: é o responsável por captar a energia coletada de uma determinada faixa espectral.
- *Processador*: faz o processamento (revelação, amplificação) do sinal para a obtenção do produto.
- *Produto*: é a resposta que contém a informação a ser utilizada pelo usuário.

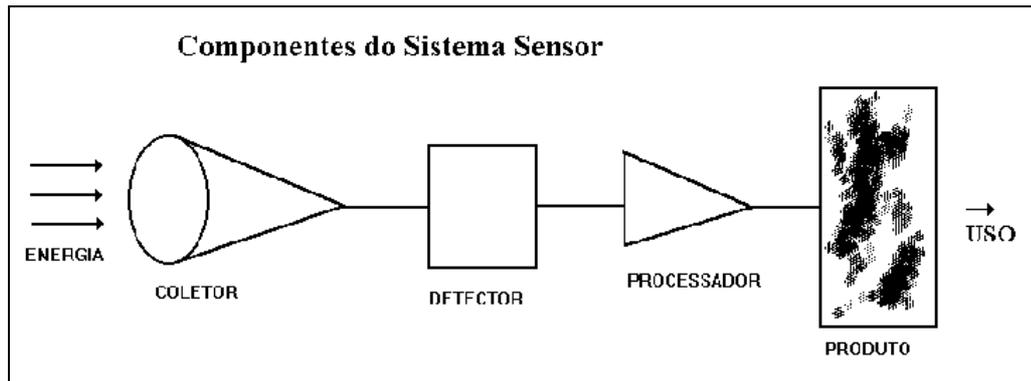


Figura 2.6: Componentes do Sistema Sensor

(Fonte: INPE, 2005)

Os sensores podem ser classificados em função do tipo de fonte de radiação utilizada ou em função do tipo de produto gerado, Souza (1996):

- *Fonte de radiação:* neste caso, os sensores podem ser passivos ou ativos. Os passivos não possuem fonte própria de emissão e medem apenas a radiação solar refletida ou a radiação emitida pelos alvos (ex: sistemas fotográficos). Já os ativos possuem fonte emissora própria e trabalha em faixas restritas do espectro (ex: radares).
- *Tipo de produto:* podem ser não-imageadores ou imageadores. Os primeiros não fornecem resultado em forma de imagens da superfície e sim respostas diferenciadas, como assinatura espectral, saída em dígitos ou gráficos (ex: espectrorradiômetros, radiômetros). Já os segundos apresentam como resultado a imagem da região sensoriada. Fornecem informações sobre a variação espacial da resposta espectral da superfície observada.

Entre os tipos de sensores imageadores pode-se citar: sistema de quadro (obtem a imagem toda de uma vez), sistema de varredura (obtem a imagem em faixas – ao passar pelo local de análise) e fotográfico. Este trabalho propõe-se a utilizar informações de sensor imageador por varredura (não fotográfico), que resolve alguns dos problemas do dispositivo óptico largamente utilizado, a máquina fotográfica – que apresenta limitações em relação à captação da resposta espectral, as condições atmosféricas e à altitude de vôo. Já os sensores não fotográficos captam os sinais em forma de pulsos elétricos, o que facilita a transmissão e possibilita um processamento para obter o resultado desejado.

Como sistemas sensores remotos, podem-se destacar os sistemas orbitais, pois é desse tipo o sensor utilizado neste trabalho. Podemos citar, como exemplo deste tipo de sistema, os satélites SPOT, ERS e Landsat, que representam a maior fonte de dados do sensoriamento remoto e apresentam grande potencial de continuidade ao longo do tempo, Silva (1995). Tal instituto conta com infra-estrutura de recepção, processamento e distribuição de imagens advindas destes sistemas, possibilitando e facilitando as pesquisas utilizando informações dos mesmos.

O funcionamento e as características de tais sistemas baseia-se em algumas premissas:

- *Órbitas circulares*: o que permite que as imagens de diferentes regiões tenham a mesma escala e resolução (conceito explicado posteriormente);
- *Órbitas cíclicas*: para permitir que a tomada de imagens se dê de forma periódica e repetitiva nos mesmos lugares;
- *Órbitas em sincronia solar*: para permitir iguais condições de iluminação na tomada de imagens;
- *Horários de passagem do satélite*: que deve atender às necessidades de diferentes áreas de aplicação (morfologia, agricultura, geomorfologia, etc).

Optou-se por trabalhar com imagens do satélite Landsat, cujas características e um breve histórico será apresentado posteriormente.

2.8 Imagem digital

Segundo Mascarenhas e Velasco (1989), em sensoriamento remoto orbital, para representar uma imagem, utilizamos um grande número de dados, que podem ser representados de forma digital, para que assim se possa extrair informações da imagem. Cada ponto captado por um sensor, corresponde à área mínima (denominada *pixel*) que deve ser identificada geograficamente. Para este ponto são atribuídos valores digitais, relacionados à intensidade de energia refletida nas faixas do espectro eletromagnético.

Um *pixel* pode ser definido por uma função I , da intensidade de luz refletida ou emitida por uma cena, na forma $I(x,y)$. Essa intensidade é dada por valores inteiros, não-negativos, aos quais convencionou-se chamar nível de cinza.

Para se realizar o processamento digital de imagens de dados de sensoriamento remoto, é necessário que a imagem esteja no formato digital. Existem basicamente duas maneiras de se obter uma imagem digital: (1) adquirir a imagem de sensoriamento remoto no formato analógico (por exemplo, fotografia aérea), e então digitalizá-la; (2) adquirir a imagem de sensoriamento remoto já no formato digital, tais como os dados gravados por satélites como Landsat e SPOT.

2.9 Resolução e Bandas

Resolução é uma medida da habilidade que um sistema sensor possui de distinguir entre respostas que são semelhantes espectralmente ou próximas espacialmente. A resolução pode ser classificada em espacial, espectral, radiométrica e temporal, Souza (1996).

- *Resolução espacial*: é definida pela capacidade do sistema sensor em “enxergar” objetos na superfície terrestre e mede a menor separação angular ou linear entre dois objetos. Quanto menor o objeto possível de ser visto, maior a resolução espacial. Por exemplo, uma resolução de 20 metros implica que objetos distanciados entre si a menos que 20 metros, em geral não serão discriminados pelo sistema.
- *Resolução espectral*: é definida pelo número de bandas espectrais de um sistema sensor e pela largura do intervalo de comprimento de onda coberto por cada banda. Quanto maior o número de bandas e menor a largura do intervalo, maior a resolução espectral. Por exemplo, um sensor que opera na faixa de 0.4 a 0.45 μm tem uma resolução espectral maior do que o sensor que opera na faixa de 0.4 a 0.5 μm .
- *Resolução radiométrica*: é definida pelo número de níveis digitais, representado níveis de cinza, usado para expressar os dados coletados pelo sensor e está associada à sensibilidade do sistema sensor em distinguir dois níveis de intensidade do sinal de retorno. Quanto maior o número de níveis de cinza, maior a resolução radiométrica. Por exemplo, uma resolução de 10 bits (1024 níveis digitais) é melhor que uma de 8 bits.

- *Resolução temporal*: é definida pelo intervalo de tempo para obtenção de imagens do mesmo local. Quanto menor o tempo maior a resolução temporal.

2.10 Landsat

De acordo com um breve histórico apresentado pela EMBRAPA, tem-se que a origem da criação do satélite Landsat veio da análise de dados multiespectrais adquiridos durante a missão Apolo 9 (plataforma espacial tripulada) e das observações fotográficas obtidas a partir dos vôos orbitais Mercury e Gemini. Desenvolvido pela NASA, originalmente dedicado exclusivamente à observação dos recursos naturais terrestres, foi lançado em 1972 com o nome de ERTS-1 (*Earth Resources Technology Satellite - 1*), tendo sua nomenclatura alterada para LANDSAT em 1975.

As duas primeiras versões do satélite (Landsat 1 e 2) utilizaram dois sistemas sensores de mesma resolução, mas de concepções diferentes de imageamento: RBV (imageamento instantâneo de toda a cena – sistema de quadro) e MSS (imageamento por varredura). O segundo sistema apresentou melhor resolução radiométrica. Isso fez com que o Landsat 3, tivesse seu sistema RBV modificado, para melhorar a resolução em apenas uma faixa do espectro e foi acrescentado um sensor MSS na faixa do infravermelho termal, melhorando e aumentando a quantidade e qualidade dos dados fornecidos, Richards (1993).

No Landsat 4, o sistema RVB foi substituído pelo sistema TM (Thematic Mapper), semelhante ao sistema de varredura do MSS, operando em 7 faixas espectrais, com resolução de 30 m; apenas uma das faixas com resolução de 120 m, operando na faixa do infravermelho termal. Este satélite foi desativado em 1984 devido a mal funcionamento. Foi então lançado o Landsat 5, que apresenta os mesmos sistemas e ainda se encontra em operação.

O LANDSAT-7 iniciou suas atividades em abril de 1999 e encerrou em 2003, utilizando o sensor. Atualmente o único satélite em operação é o LANDSAT-5, que leva a bordo o sensor TM e contribui para o mapeamento temático da superfície terrestre.

Abaixo maiores detalhes sobre os tipos de sensores citados, Richards (1993).

- *Imageador RBV (Return Beam Vidicom)*: sistema semelhante a uma câmara de televisão; faz o registro instantâneo sobre determinada área. Uma cena de 185 km x 185 km é adquirida em intervalos de 25s para se obter cenas contínuas de acordo com a velocidade de rastreamento do satélite. A energia que vem de toda uma cena impressiona a superfície fotossensível do tubo da câmera e, durante certo tempo, a entrada de energia é interrompida por um obturador, para que a imagem do terreno seja varrida por um feixe de elétrons. O sinal de vídeo pode então ser transmitido telemetricamente. Historicamente os intervalos gravados pelo sistema RGV, no Landsat 1 e 2, referiam-se às bandas 1, 2 e 3.
- *Imageador MSS (Multispectral Scanner)*: sistema sensor que faz o imageamento de linhas numa faixa de 185 km, perpendicularmente à órbita do satélite. Um espelho que oscila de forma perpendicular à trajetória do satélite auxilia a varredura. Enquanto o espelho oscila, a imagem, ao longo da faixa, é focalizada sobre uma matriz de detectores. A energia registrada por cada detector é transformada em um sinal elétrico e este transmitido para as estações em terra. A cada oscilação do espelho, o satélite desloca-se ao longo da órbita, para proporcionar o imageamento contínuo do terreno. Seis linhas são “lidas” simultaneamente, cada uma com 79 m (que corresponde à dimensão lateral do pixel gerado).
- *Imageador TM (Thematic Mapper)*: sistema de varredura multiespectral que proporciona resolução espacial mais fina, melhor discriminação espectral entre objetos da superfície analisada, maior fidelidade geométrica e melhor resolução radiométrica em relação ao sensor MSS. Segundo Harris (1987), a área imageada por este sensor tem dimensão de 185 por 185 km e é composta de 6000 linhas por 6000 colunas. A energia proveniente da cena atinge o espelho de varredura que oscila perpendicularmente à direção de deslocamento do satélite em sentido leste-oeste e oeste-leste. O sinal atravessa um telescópio e um conjunto de espelhos, cuja função principal é corrigir o sinal coletado pelo espelho de varredura. Dessa maneira, o sinal detectado em cada matriz de detectores de cada canal é transferido para um amplificador e convertido em sinal digital através de um sistema A/D (analógico/digital). A saída de dados é, então transmitida via telemetria.
- *Imageador ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus)*: este instrumento foi capaz de ampliar as possibilidades de uso dos produtos Landsat, porque manteve a alta

resolução espectral (característica importante desse sistema) e conseguiu ampliar a resolução espacial da banda 6 (Infravermelho Termal) para 60 metros além de inserir a banda pancromática e permitir a geração de composições coloridas com 15 metros de resolução, EMBRAPA (2005).

Nas tabelas abaixo (tabelas 2.2 e 2.3), podemos observar as principais características das séries de satélites Landsat e dos sensores associados.

Tabela 2.2: Características dos satélites

Missão	Land Remote Sensing Satellite (Landsat)							
Instituição Responsável	NASA (National Aeronautics and Space Administration)							
País/Região	Estados Unidos							
Satélite	LANDSAT 1	LANDSAT 2	LANDSAT 3	LANDSAT 4	LANDSAT 5	LANDSAT 6	LANDSAT 7	
Lançamento	27/7/1972	22/1/1975	5/3/1978	16/7/1982	1/3/1984	5/10/1993	15/4/1999	
Situação Atual	Inativo (06/01/1978)	Inativo (25/02/1982)	Inativo (31/03/1983)	Inativo (1993)	em atividade	Inativo (05/10/1993)	Inativo (2003)	
Órbita	Polar, Circular e heliossíncrona	Polar, Circular e heliossíncrona	Polar, Circular e heliossíncrona	Polar, Circular e heliossíncrona	Polar, Circular e heliossíncrona	s.d.	Polar, Circular e heliossíncrona	
Altitude	917 km	917 km	917 km	705 km	705 km	s.d.	705 km	
Inclinação	99°	99°	99°	98,20°	98,20°	s.d.	98,3°	
Tempo de Duração da Órbita	103,27 min	103,27 min	103,27 min	98,20 min	98,20 min	s.d.	98,9 min	
Horário de Passagem	9:15 A.M.	9:15 A.M.	9:15 A.M.	9:45 A.M.	9:45 A.M.	s.d.	10:00 A.M.	
Período de Revisita	18 dias	18 dias	18 dias	16 dias	16 dias	s.d.	16 dias	
Instrumentos Sensores	RBV e MSS	RBV e MSS	RBV e MSS	MSS e TM	MSS e TM	ETM	ETM+	
s.d. = sem dados/informações								

(Fonte: EMBRAPA, 2005)

Tabela 2.3: Principais Instrumentos Sensores (Landsat)

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Faixa Imageada
MSS	4	0,5 - 0,6 μm	80 m	18 dias	185 km
	5	0,6 - 0,7 μm			
	6	0,7 - 0,8 μm			
	7	0,8 - 1,1 μm			
	8 (somente para o Landsat 3)	10,4 - 12,6 μm	120 m		
TM	1	0,45 - 0,52 μm	30 m	16 dias	185 km
	2	0,50 - 0,60 μm			
	3	0,63 - 0,69 μm			
	4	0,76 - 0,90 μm			
	5	1,55 - 1,75 μm			
	6	10,4 - 12,5 μm	120 m		
	7	2,08 - 2,35 μm	30 m		
ETM+	1	0,45 - 0,52 μm	30 m	16 dias	185 km
	2	0,50 - 0,60 μm			
	3	0,63 - 0,69 μm			
	4	0,76 - 0,90 μm			
	5	1,55 - 1,75 μm			
	6	10,4 - 12,5 μm	60 m		
	7	2,08 - 2,35 μm	30 m		
	8	0,50 - 0,90 μm	15 m		

(Fonte: EMBRAPA, 2005)

Tabela 2.4: Aplicações das bandas espectrais

Satélite Landsat - Sensor TM		
Canal	Faixa Espectral (μm)	Principais aplicações
1	0.45 - 0.52	Mapeamento de águas costeiras Diferenciação entre solo e vegetação Diferenciação entre vegetação coníferas e decídua
2	0.52 - 0.60	Reflectância de vegetação verde sadia
3	0.63 - 0.69	Absorção de clorofila Diferenciação de espécies vegetais
4	0.76 - 0.90	Levantamento de biomassa Delineamento de corpos d'água
5	1.55 - 1.75	Medidas de umidade da vegetação Diferenciação entre nuvens e neve
6	10.4 - 12.5	Mapeamento de estresse térmico em plantas Outros mapeamentos térmicos
7	2.08 - 2.35	Mapeamento hidrotermal

(Fonte: Dias, 1999)

Para que se entenda melhor os conceitos apresentados nas tabelas (resolução espacial, bandas espectrais, etc) apresenta-se o tópico sobre imagens digitais.

2.11 Sistema de Recepção de Imagens

O sistema Brasileiro de Recepção de Dados de Satélite compõe-se de uma Estação de Recepção, implantada em Cuiabá e operando desde 1973. Esta estação de recepção está localizada no centro geográfico da América do Sul, o que permite a aquisição de dados sobre todo o território brasileiro e parte do território dos países limítrofes, Souza (1996).

Outro componente do sistema brasileiro de recepção de dados de satélite é o laboratório de processamento eletrônico e fotográfico dos dados coletados pelos sensores a bordo dos satélites, localizado em Cachoeira Paulista-SP, Cabral (2005).

Em Cuiabá, os dados são recebidos através de uma antena parabólica e gravados em fitas magnéticas de alta densidade (High Density Digital Magnetic Tape- HDDT). Estas fitas são então enviadas para Cachoeira Paulista - São Paulo.

O laboratório de processamento de imagens em Cachoeira Paulista tem a função de transformar os dados recebidos pelas estações de recepção em imagens fotográficas, fitas magnéticas compatíveis com o computador (CCT-Computer Compatible Tapes, Streamer, Dat) ou discos ópticos (CD-ROM).

3 PROCESSAMENTO de IMAGENS

Por processamento digital de imagens, entendem-se a análise e a manipulação de imagens por computador (Mascarenhas e Velasco, 1989), de modo que a entrada e a saída do processo sejam imagens (Novo, 1989). A função principal deste processamento é de fornecer ferramentas para facilitar a identificação e extração das informações contidas na imagem (Crósta, 1992), tornando-as mais facilmente perceptíveis ao sistema visual humano. Nesse sentido, sistemas dedicados de computação são utilizados para atividades interativas de análise e manipulação das imagens brutas. O resultado desse processo é a produção de outras imagens, estas já contendo informações específicas, extraídas e realçadas a partir das imagens brutas (Crósta, 1992).

De acordo com Mascarenhas e Velasco (1989), por comparação, na disciplina de reconhecimento de padrões, a entrada do processo é uma imagem e a saída constitui-se numa classificação ou descrição da mesma. Este processo pode ser entendido como de “redução de dados” em que se diminui o volume de dados, mantendo o conteúdo de informação relevante para uma dada aplicação. Para isso são destacadas duas grandes classes de transformações:

- *Radiométricas*: onde os valores de níveis de cinza são alterados, sem modificação da geometria;
- *Geométricas*: onde a geometria é alterada, mantendo-se o máximo possível os valores dos níveis de cinza.

Tais transformações podem ser feitas com a finalidade de eliminar distorções da imagem, introduzidas geralmente pelo sistema de imageamento, (restauração) ou para enfatizar certas características da imagem (realce).

O sistema visual humano possui uma notável capacidade de reconhecer padrões. Contudo, ele dificilmente é capaz de processar o enorme volume de informação presente numa imagem. Vários tipos de degradações e distorções inerentes aos processos de aquisição, transmissão e visualização de imagens, contribuem para limitar ainda mais essa capacidade do olho humano. O processamento digital auxilia na remoção dessas barreiras, inerentes ao sistema visual humano, facilitando a extração de informações a partir das imagens. O

processamento é, portanto, um estágio preparatório – quase sempre obrigatório – da atividade de interpretação das imagens de sensoriamento remoto, Crósta (1992).

A área de processamento digital de imagens tem atraído grande interesse nas últimas décadas. A evolução da tecnologia de computação digital, bem como o desenvolvimento de novos algoritmos para lidar com sinais bidimensionais está permitindo uma gama de aplicações cada vez maior. Como resultado dessa evolução, a tecnologia de processamento digital de imagens vem ampliando seus domínios, que incluem as mais diversas áreas, como por exemplo: análise de recursos naturais e meteorologia por meio de imagens de satélites; transmissão digital de sinais de televisão ou fac-símile; análise de imagens biomédicas, incluindo a contagem automática de células e exame de cromossomos; análise de imagens metalográficas e de fibras vegetais; obtenção de imagens médicas por ultra-som, radiação nuclear ou técnicas de tomografia computadorizada; aplicações em automação industrial envolvendo o uso de sensores visuais em robôs, etc.

Schowengerdt (1983), divide processamento digital de imagens em três etapas independentes: pré-processamento, realce e classificação. O pré-processamento refere-se ao processamento inicial de dados brutos para calibração radiométrica da imagem, correção de distorções geométricas e remoção de ruído. As técnicas de realce mais comuns em PDI são: realce de contraste, filtragem, operação aritmética, transformação IHS e componentes principais. Já as técnicas de classificação podem ser divididas em: classificação supervisionada - por *pixel* - e classificação não supervisionada - por regiões - Spring (2005).

3.1 Pré-processamento

De acordo com Schowengerdt (1983), as técnicas de pré-processamento referem-se ao tratamento inicial dos dados originais obtidos pelo sistema sensor, de modo a remover ou amenizar elementos indesejáveis (ruídos, listras, baixo contraste) produzidos na imagem.

3.1.1 *Correção Radiométrica*

Uma técnica de correção radiométrica é a restauração, que visa corrigir as distorções inseridas pelo sensor óptico no processo de geração das imagens digitais, Lilesand e Kiefer (1994).

Pode-se dizer que a imagem digital é uma cópia borrada da cena, dado que os detalhes vistos na cena são suavizados, devido às limitações do sensor. A idéia de restaurar a imagem é reduzir este efeito de borramento e assim obter uma imagem realçada.

A correção é realizada por um filtro linear. Os pesos do filtro de restauração são obtidos a partir das características do sensor, de modo que o filtro deve ser específico para cada tipo de sensor e banda espectral. Esta etapa deve ser realizada sobre a imagem original, que não tenha sofrido nenhum tipo de processamento, Spring (2005).

3.1.2 *Correção Geométrica e Registro de Imagens*

Segundo Richards (1993), os principais fatores de distorções geométricas em imagens orbitais são a rotação e a curvatura da Terra, os erros de instrumentação, o padrão de varredura e o campo de visada dos sensores, a distorção panorâmica e as variações de altitude e velocidade da plataforma.

Souza (1996) afirma que nos produtos orbitais fornecidos aos usuários, as correções geométricas necessárias já se encontram processadas com base nas informações registradas pelos instrumentos a bordo da plataforma.

Para coincidir duas ou mais imagens no espaço, é necessário fazer o processo de registro das mesmas. O registro refere-se ao processo de alinhamento geométrico das imagens, isto é, o ajuste das imagens para um mesmo sistema de coordenadas. Muitas vezes além da adaptação ao mesmo sistema de coordenadas, em função da pouca precisão no modelo de geometria orbital, é aconselhável refinar a correção de uma imagem considerando pontos de controle no terreno. Tais pontos são utilizados como referência de uma imagem para outra e são úteis por não apresentarem mudanças ao longo do tempo, Crósta (1992).

Deve-se realizar o registro de imagens quando se deseja comparar imagens multitemporais, combinar imagens de diversos sensores numa mesma área ou justapor imagens, Souza (1996).

3.2 Realce de Contraste

A técnica de realce de contraste tem por objetivo melhorar a qualidade das imagens sob os critérios subjetivos do olho humano. É normalmente utilizada como uma etapa de pré-processamento para sistemas de reconhecimento de padrões, Mascarenhas e Velasco (1989).

Crósta (1992) afirma que em processamento digital de imagens, trabalha-se sempre com os tons de cinza (DNs) atribuídos ao *pixel* de uma imagem. O histograma é uma das formas mais comuns de se representar a distribuição dos DNs de uma imagem, e possivelmente a mais útil em processamento digital de imagens. Ele fornece a informação sobre quantos *pixels* na imagem possuem o mesmo valor de DN (que no caso das imagens de 8 bits – como as utilizadas neste trabalho – variam de 0 a 255) ou, de forma equivalente, qual a proporção da imagem que corresponde a cada valor de DN. Os histogramas são também conhecidos como distribuição de intensidades e função de densidade de probabilidade. Esse último termo advém do fato que, estatisticamente, o histograma representa, neste caso, a probabilidade de se achar um DN de um dado valor dentro de uma imagem.

Outro ponto importante em relação a histogramas é que eles representam dados digitais (discretos), de modo que a distribuição de intensidades é representada por colunas discretas, que não podem ser divididas, e que correspondem a números inteiros. Esse conceito é importante ao se tratar de realce de contraste de imagens.

3.3 Histograma uni-dimensional

No caso de histograma de apenas uma banda, a representação pode ser uma tabela ou gráfico contendo o número de *pixels* atribuído a cada um dos possíveis DNs. Note-se que o histograma pode ser calculado para a imagem inteira ou apenas uma porção da imagem. Neste caso, é necessário que o sistema de processamento seja capaz de oferecer essa opção ao usuário, o que geralmente é feito graficamente, através da especificação interativa da área para a qual se quer adquirir o histograma. É claro que o histograma da imagem inteira será

diferente daquele referente a uma porção da imagem, uma vez que as propriedades estatísticas das intensidades de uma imagem são ditas não-estacionárias, Crósta (1992).

Ao se observar o histograma de uma imagem, tem-se a noção instantânea sobre as características da mesma (figura 3.1). A forma do histograma fornece informações de grande importância no caso das imagens de sensoriamento remoto, tais como intensidade média e espalhamento dos valores de DN; este último, por sua vez, dá a medida do contraste de uma imagem – quanto maior o espalhamento ao longo do eixo dos DN, maior será o contraste da imagem.

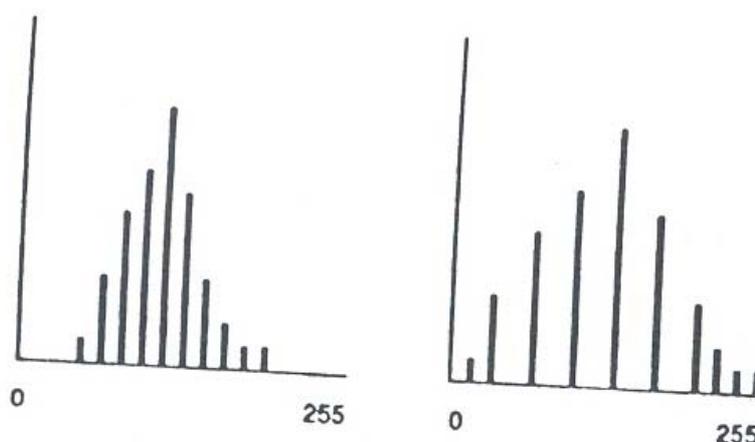


Figura 3.1: Histograma de contraste – distribuição dos valores de cinza

(Fonte: Crósta, 1992)

É importante notar que o histograma de uma imagem não contém nenhuma informação espacial sobre a imagem (onde está localizado um *pixel* com um determinado valor de intensidade e onde está o *pixel* com outro valor). Quando se computa a distribuição de intensidades de uma imagem, essa informação espacial não é necessária, sendo essa distribuição tratada como uma longa lista de números aleatórios.

Alguns conceitos estatísticos são úteis ao se tratar com histogramas:

- Média: representa a média ponderada de um conjunto de valores; num histograma, é o “centro de gravidade” do mesmo;
- Moda: representa o valor mais comum de um conjunto de valores; num histograma é o ponto mais alto do gráfico;

- Desvio padrão: representa a variabilidade ou dispersão de observações com relação à média.

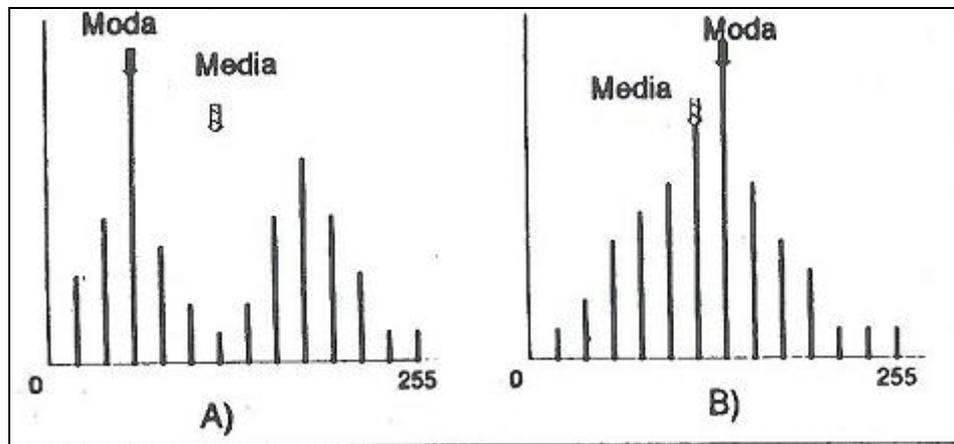


Figura 3.2: Demonstração de média e moda de um histograma

(Fonte: Crósta, 2005)

Numa imagem adquirida pelos sistemas sensores pode haver valores desde o preto absoluto (0) até o branco (255 – caso seja um sistema de 8 bits). Dificilmente os dados contidos numa imagem espalham-se por todo o intervalo possível de níveis de cinza, sendo comum a concentração em uma pequena faixa, Crósta (1992). Apesar da capacidade do sistema visual humano de identificar diferentes tonalidades de cinza, ele não consegue distinguir uma variação muito grande desses tons (consegue diferenciar cerca de 30 diferentes tons de DN's). Para facilitar tal distinção, é aconselhável que se “espalhe” os valores em relação ao intervalo – 0 a 255. Para isso aplicam-se as técnicas de contraste de realce, dentre as quais destacam-se algumas posteriormente.

O contraste de uma imagem é uma medida do espalhamento dos níveis de intensidade que nela ocorrem, Crósta (1992). A manipulação do contraste consiste numa transferência radiométrica em cada "pixel", com o objetivo de aumentar a discriminação visual entre os objetos presentes na imagem. Realiza-se a operação ponto a ponto, independentemente da vizinhança. Esta transferência radiométrica é realizada com ajuda de histogramas, que são manipulados para obter o realce desejado, Russ (1998).

O aumento de contraste é um dos mais importantes e utilizados métodos de processamento para extração de informações das imagens coletadas, mas deve-se enfatizar

que ele não revela uma nova informação, que não esteja contida na imagem original. A função dele é apenas apresentar a mesma informação contida nos dados brutos, porém de uma forma mais claramente visível ao intérprete, Crósta (1992).

Quando se fala em aumento de contraste deve-se levar em conta alguns pontos, Silva (1995):

- Não existe uma regra que melhor se aplique ao realce de contraste de uma imagem, pois depende das características da mesma, tais como; época de aquisição, ângulo de iluminação, altura do sensor e bandas.
- Devem estar bem claros os motivos pelos quais deseja-se aplicar um aumento ou mesmo uma redução de contraste em uma imagem, antes mesmo de fazê-lo, uma vez que esse processamento pode afetar o resultado de operações subsequentes, Crósta (1992).
- Ao executar um realce de contraste como uma etapa de pré-processamento, deve-se atentar para o fato de que parte da informação pode ser perdida, dependendo da forma como é feito o aumento de contraste.

A seguir, são apresentadas algumas técnicas de aumento de contraste, comumente utilizadas.

3.4 Aumento linear de contraste

Segundo Crósta (1992), trata-se da mais simples forma de se aumentar o contraste de uma imagem. A função de transferência é uma reta e apenas dois parâmetros são controlados: a inclinação da reta e o ponto de intersecção com o eixo X. A inclinação controla a quantidade de aumento de contraste e o ponto de intersecção com o eixo X controla a intensidade média da imagem final.

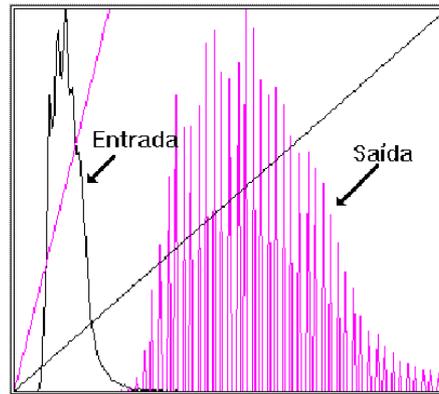


Figura 3.3: Histograma de contraste linear

(Fonte: INPE, 2005)

No aumento linear de contraste as barras que formam o histograma da imagem de saída são espaçadas igualmente, uma vez que a função de transferência é uma reta. Como podemos observar na figura acima, o histograma de saída será idêntico, em formato, ao histograma de entrada, exceto que ele terá um valor médio e um espalhamento diferente.

3.5 Contraste por Mínimo-Máximo

Segundo Spring (2005), a manipulação de histograma pela opção Min-Max é idêntica a manipulação de uma curva linear, a diferença está no momento em que é feita a escolha da opção.

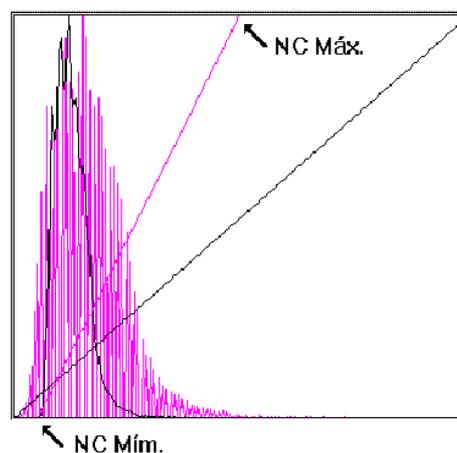


Figura 3.4: Histograma de contraste mínimo-máximo

(Fonte: INPE, 2005)

Como se pode observar na figura acima, assim que é feita a opção, o sistema calcula o valor de nível de cinza mínimo e máximo que é ocupado pela imagem original. De posse desses valores é aplicada uma transformação linear onde a base da reta é posicionada no valor mínimo e o topo da reta no valor máximo. Desse modo não haverá perda de informação por “*overflow*”, isto é, todos os níveis de cinza continuarão com o mesmo número de *pixels*.

Um “*overflow*” ocorre quando muitos *pixels* de níveis de cinza diferentes são transformados em um único nível, isto é, quando a inclinação da reta de transferência é exagerada.

3.6 Equalização de Histograma

Trata-se de um algoritmo não-linear que visa otimizar os resultados de contraste, Russ, (1998) e Crósta, (1992). A equalização de histograma (ou achatamento) parte do princípio que o contraste de uma imagem seria otimizado se todos os 256 possíveis níveis de intensidade fossem igualmente utilizados ou, em outras palavras, todas as barras verticais que compõem o histograma fossem da mesma altura. Isso não é possível em razão da natureza discreta dos dados, no entanto, Pode-se obter uma aproximação espalhando os picos do histograma da imagem, deixando intocadas as partes mais “baixas”. Esse processo é obtido utilizando uma função de transferência que tenha uma alta inclinação toda vez que o histograma apresentar um pico e uma baixa inclinação no restante do histograma, Russ (1998). Uma vez que o pico alto requer mais espalhamento do que um pico mais baixo, a inclinação da curva deverá ser proporcional à altura do pico do histograma. Desta forma, o histograma cumulativo tende a se aproximar de uma reta ascendente. Na figura 3.5, é possível identificar um histograma antes (b) e depois (d) da equalização, bem como a curva que representa o histograma cumulativo. Também são apresentadas as imagens que deram origem aos histogramas apresentados (a) e (c).

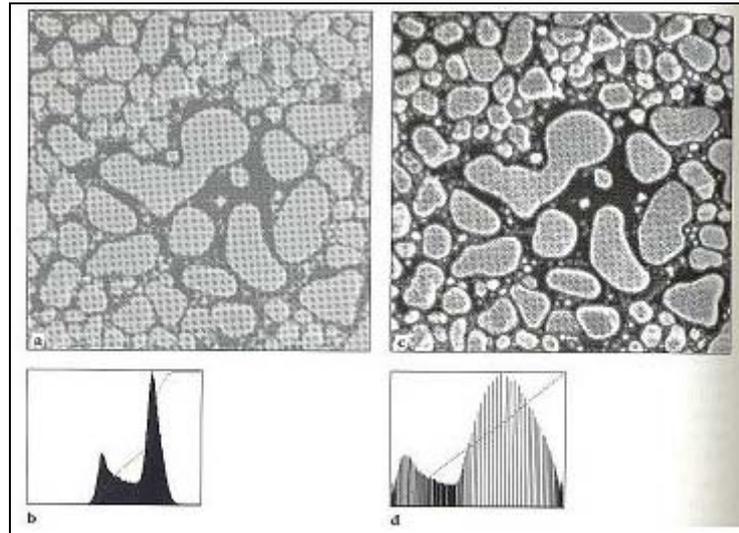


Figura 3.5: *Imagem contrastada e seu respectivo histograma*

(Fonte: Russ, 1999)

Como pode-se observar, a equalização têm um notável efeito no realce da imagem, uma vez que na imagem original os valores de cinza podem ocupar um intervalo pequeno de valores, enquanto que na imagem equalizada todo o intervalo é utilizado, Mascarenhas e Velasco (1989).

3.7 Transformação por componentes principais

Observa-se freqüentemente que bandas individuais de uma imagem multiespectral são altamente correlacionadas, ou seja, as bandas são similares, visual e numericamente (isto quer dizer que as imagens multiespectrais contêm redundância de informações), Souza (1996). Segundo Schowengerdt (1983), esta correlação advém do efeito de sombras resultantes da topografia, da sobreposição das janelas espectrais entre bandas adjacentes e do próprio comportamento espectral dos objetos.

A análise das bandas espectrais individuais pode ser então ineficiente devido à informação redundante presente em cada uma dessas bandas. A geração de componentes principais é uma técnica de realce que reduz ou remove esta redundância espectral, ou seja, gera um novo conjunto de imagens cujas bandas individuais apresentam informações não-

disponíveis em outras bandas, determinando a amplitude de correlação entre as bandas, Spring (2005).

Esta transformação é derivada da matriz de covariância entre as bandas e gera um novo conjunto de imagens onde cada valor de "*pixel*" é uma combinação linear dos valores originais. O número de componentes principais é igual ao número de bandas espectrais utilizadas e são ordenadas de acordo com o decréscimo da variância de nível de cinza. A primeira componente principal tem a maior variância (maior contraste) e a última, a menor variância.

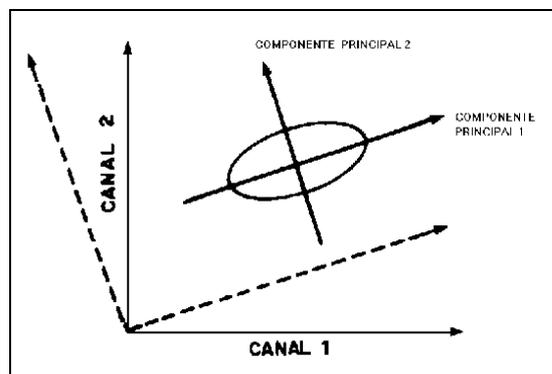


Figura 3.6: Transformação de componente principal em duas direções

(Fonte: INPE, 2005)

A figura mostra que a transformação de componente principal em duas dimensões corresponde à rotação do eixo original da coordenada para coincidir com as direções de máxima e mínima variância no dado.

A primeira componente principal contém a informação de brilho associada às sombras de topografia e às grandes variações da refletância espectral geral das bandas. Esta componente principal possui a maior parte da variância total dos dados, concentrando a informação, antes diluída, em várias dimensões. A segunda – e as subseqüentes componentes principais – apresentam gradativamente menos contraste entre os alvos e são desprovidas de informação topográfica, devido à ausência de sombreamento, sendo que a última componente representa basicamente o ruído existente nos dados originais, Souza (1996).

3.8 Transformação IHS

Segundo Souza (1996), o espaço de cores I H S é uma forma alternativa de representação de cores. Para descrever as propriedades de cor de um objeto em uma imagem, normalmente o olho humano não distingue a proporção de azul, verde e vermelho presentes, e sim, avalia a intensidade (I), a cor ou matiz (H) e a saturação (S).

A intensidade I (Intensity) ou brilho é a medida de energia total envolvida em todos os comprimentos de onda, sendo responsável pela sensação de brilho dessa energia incidente sobre o olho. O matiz H (Hue) ou cor de um objeto é a medida do comprimento de onda médio da luz que se reflete ou se emite, definindo a cor do objeto. A saturação S (Saturation) ou pureza expressa o intervalo de comprimento de onda ao redor do comprimento de onda médio, no qual a energia é refletida ou transmitida. Um alto valor de saturação resulta em uma cor espectralmente pura, ao passo que um baixo valor indica uma mistura de comprimentos de onda que irá produzir tons pastéis (apagados), Dias (1999).

De acordo com Souza (1996), o sistema R G B é dado pelos atributos de cor Vermelho (R-red), Verde (G-green) e Azul (B-blue). O espaço IHS pode ser graficamente representado por um cone. A relação espacial entre o espaço RGB e IHS é mostrada na figura 3.7, que mostra os dois sistemas de cores. A vantagem do sistema IHS é que os atributos podem ser analisados separadamente, diferentemente do que ocorre no sistema RGB, onde os atributos estão intrinsecamente ligados. A transformação dos componentes vermelho, verde, azul (RGB) nos componentes intensidade, matiz e saturação (IHS) pode ser utilizada para produzir composições coloridas com reduzida correlação interbandas, conseqüentemente com melhor utilização do espaço de cores, e combinar diferentes tipos de imagem ou imagens de diferentes sensores. Estas transformações são feitas através de algoritmos matemáticos que relacionam o espaço RGB ao IHS, Spring (2005). No entanto, é importante lembrar que qualquer sistema de cores deve ser transferido para a codificação RGB, para possibilitar a exposição da cena em monitores coloridos, que utilizam tal sistema de representação.

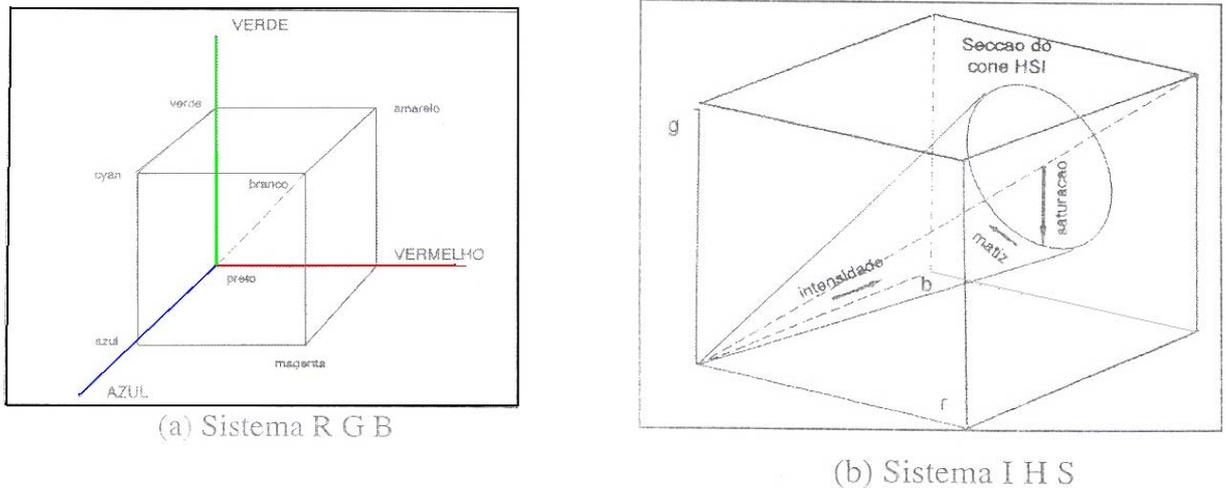


Figura 3.7: Sistema RGB e IHS

(Fonte: Crósta, 1992)

Da figura vem que a distância de um ponto até a origem ou ápice do cone representa a intensidade, a saturação é representada pela distância radial até o eixo central, enquanto que o matiz vem da seqüência radial ao redor dos círculos de saturação e do eixo de intensidade, Mascarenhas e Velasco (1989).

3.9 A cor no processamento digital de imagens

Como já comentado anteriormente, o olho humano é capaz de discernir apenas cerca de 30 tons de cinza, no entanto, quando se trata de cores, a distinção varia a milhares de diferentes tons, Crósta (1992). Em processamento digital de imagens de sensoriamento remoto, composições coloridas de grupos de três bandas são capazes de sintetizar uma grande quantidade de informações em diferentes cores, facilitando sua compreensão, Souza (1996).

Crósta (1992) cita os experimentos de Yuong (1807) envolvendo a combinação de cores. Pôde-se verificar que a junção de duas ou mais cores é capaz de produzir uma cor diferente das primeiras e ainda que misturando as mesmas cores, mas em intensidades diferentes, diversos resultados eram obtidos. Verificou-se ainda que três cores principais (vermelho, verde e azul) nunca podiam ser obtidas da composição delas mesmas e passou-se a chamá-las de cores primárias aditivas. A junção de todas as cores primárias obtém-se a cor branca.

Utilizando filtros é possível “subtrair” uma cor da combinação de outras. A subtração de das cores primárias aditivas da luz branca gera três novas cores (ciano, magenta e amarelo), que somadas resultam preto, e Yuong chamou de cores primárias subtrativas.

Com a junção combinada das cores acima citadas é possível obter qualquer cor, que é representada por um conjunto de três diferentes componentes em intensidades diferentes. Tal função pode ser descrita pela equação abaixo e pode ser observada na representação do sistema RGB, da figura 3.7.

$$C = r. R + g. G + b. B$$

Em que R, G e B são as cores vermelho, verde e azul, respectivamente, e seus coeficientes representam a intensidade de cada cor a ser utilizada na composição da cor C. Como se pode observar na figura, a composição de igual intensidade das cores primárias aditivas resultam em tons de cinza, que podem variar do branco ao preto. Por esta razão, a diagonal preto-branco também é conhecida como *eixo cinza*.

3.10 As cores e o sistema visual humano

De acordo com Crósta (1992), os monitores dos sistemas de processamento de imagens são capazes de representar cada uma das cores básicas em 256 tonalidades diferentes, o que resulta milhões de diferentes tons. O sistema visual, no entanto, identifica pouco mais de um milhão de diferentes tonalidades de cores. De modo que é preciso saber como uma diferença de cores deve ser representada de modo que um humano consiga diferenciá-lo, em outras palavras, quanto uma cor precisa mudar pra ser identificada.

O olho humano é um sensor de sinais de radiação eletromagnética na faixa dos 400 nm (violeta) a 700 nm (vermelho), apresentando um pico de sensibilidade ao redor do 555 nm. Existem dois tipos básicos de sensores na retina, cones e bastonetes. Os cones são sensíveis a níveis altos de iluminação e são responsáveis pela distinção de cores e detalhe, Mascarenhas e Velasco (1989). Conhecendo-se o diagrama de cromaticidade (figura 3.8) é possível perceber

que certas cores são mais facilmente perceptíveis ao sistema visual humano, de modo que as diferenças que são mais sutis nas informações analisadas devem ser expostas nessas cores. Tal diagrama pode ser usado para identificar a sensibilidade do olho à mudança de cores e foi obtido a partir de experimentos. As áreas ovais representam as regiões em que percebemos a mesma cor; assim, quanto menor a área, melhor será a percepção visual na faixa de cores relacionada. De tal figura, é possível concluir que há mais facilidade em identificar tons de azul do que de vermelho, por exemplo, e que os tons azul-avermelhados e azul-esverdeados são os mais difíceis de se diferenciar. Sabe-se ainda que o olho humano consegue identificar variações de intensidade com muito mais facilidade do que variações de cores, Crósta (1992).

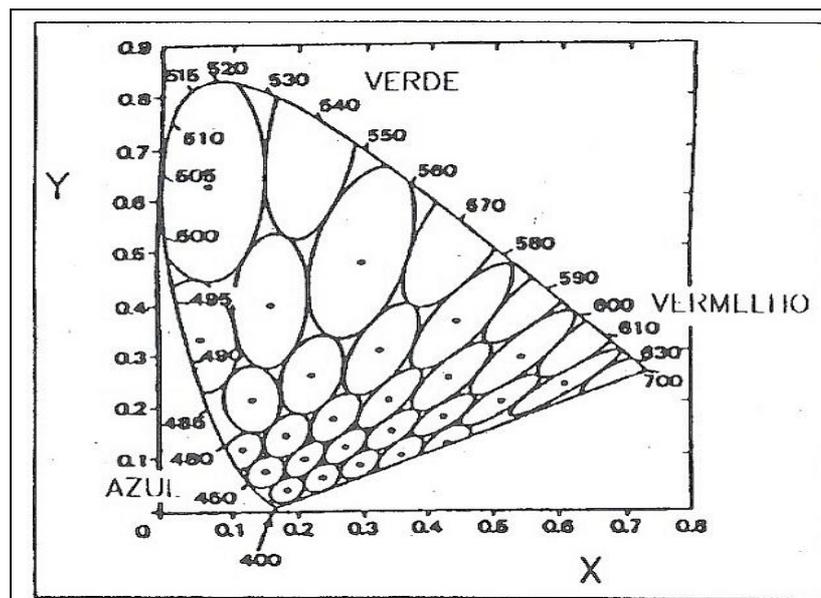


Figura 3.8: Diagrama de Cromaticidade

(Fonte: Crósta, 1992)

3.11 Composições coloridas

Para se ter uma composição colorida é preciso juntar três bandas espectrais de um sistema sensor (TM, SPOT) de modo que a cada banda seja atribuída uma cor no sistema RGB. Algumas combinações, já conhecidas (por exemplo, MSS 7R/5G/4B e TM 4R/3G/2B) resultam em imagens onde o verde reflete a energia do comprimento e onda relativo ao infravermelho, aparecendo em tonalidades avermelhadas, Crósta (1992). Em relação ao TM, que possui bandas espectrais coincidentes com os comprimentos de onda da região visível, ao contrário do sensor MSS, é bastante utilizada a combinação 3/2/1 em RGB, equivalendo-se a uma composição colorida real, pois equivale às cores percebidas pelo ser humano.

Para compor uma cena, pode-se na verdade, utilizar quaisquer combinações de três bandas, mas é preciso atentar ao fato de que a combinação deve conter as informações desejadas. O objetivo principal das composições é identificar uma combinação que realce os pontos de interesse. Embora a informação contida em determinado triplete de bandas seja sempre a mesma, a maneira como ela é percebida é fortemente influenciada pela disposição de cores atribuídas a cada banda, devido à maior sensibilidade do olho em relação a determinadas cores (como apresentado no diagrama de cromaticidade). Assim, a seleção das bandas e a alocação de cores a cada uma é de suma importância uma vez que se deseja evidenciar os parâmetros de interesse e não pode haver perda de informações.

De acordo com Souza (1996) e Crósta (1992), cada cena de satélite possui características próprias a cada tipo de informação desejada também. Por isso, deve-se selecionar cuidadosamente as bandas a serem combinadas, com base nas características espectrais dos alvos desejados, diversificando combinações de cores até encontrar aquela que melhor satisfaça ao sistema visual. Para isso, considerando o diagrama da figura 7, deve-se atribuir cada cor de acordo com a visibilidade relativa da feição de interesse. Por exemplo,

alocar uma banda com informações de textura à cor verde (pois textura geralmente é dada por variações de intensidade, que são melhor percebidas do que as variações na cor verde), enquanto que bandas com informações mais sutis podem ser associadas a cores azuis e vermelhas (para as quais o olho é mais sensível). Deste modo, a heterogeneidade da percepção visual seria compensada em parte, tornando a composição colorida mais eficaz.

4 SOLOS e COMPORTAMENTO ESPECTRAL

4.1 Solos

O solo, dependendo dos objetivos e enfoques científicos, têm sido interpretado de maneira diversa: produto de intemperismo físico e químico (Geologia), material escavável que perde sua resistência quando em contato com a água (Engenharia Civil), camada superficial da terra arável, possuidora de vida macrobiana (Agronomia), Oliveira (1998).

Com o advento da Pedologia (ciência que estuda o solo), ele passou a ser entendido como camada viva que recobre a superfície da Terra, em evolução permanente por meio de alteração de rochase de processos pedogenéticos, comandados por agentes físicos e biológicos, Oliveira (1998). Segundo ele, Birkeland apresenta uma definição mais completa e atualizada, na qual solo é o material natural consistindo de camadas ou horizontes de composto minerais e/ou orgânicos com variadas espessuras, deferindo do material original por propriedades morfológica, física, química e mineralógica, e por características biológicas. Os horizontes de solos são inconsolidados, mas alguns contêm suficientes porções de sílica, carbonato ou óxidos de ferro para cimentá-los.

A diferenciação vertical entre os horizontes tem sido utilizada como principal critério de classificação e mapeamento do solo. Os solos ocorrem na paisagem compondo unidades ou compartimentos delimitáveis por meio da distinção de características morfológicas (cor, textura, estrutura, consistência, cerosidade, nódulos, concreções, etc) dos horizontes pedológicos, observáveis no campo, e características físicas e químicas, determinadas por meio de ensaios laboratoriais e *in situ*.

A proposta aqui é apresentar os solos sob o ponto de vista pedológico, apresentando como pode ser útil na aplicação em engenharia e como deve ser classificado.

4.2 Solos lateríticos

Segundo Souza (1996) em termos de classificação pedológica, esse tipo de solo recebe várias designações: oxisoils, ferrasols, plinthsols, ferralitic soils, entre outras.

No Brasil, o levantamento da ocorrência de tais solos foram primeiramente realizados pela EMBRAPA e pelo Projeto RADAM em meados dos anos 70, Parry (1983).

A terminologia que se utilizou neste trabalho é a do Comitê de Solos Tropicais da Associação Internacional de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações que é a mais apropriada do ponto de vista de engenharia. Seguindo essa denominação e a terminologia desenvolvida por Vertamatti (1994), tais solos podem ser classificados da seguinte forma, Souza (1996):

- Laterítico: Horizontes A e B de perfis bem drenados, resultantes da atuação de clima tropical úmido. Na fração argila consta predominantemente argilo-minerais do grupo das caulitas e de hidróxidos e óxidos hidratados de ferro e/ou alumínio.
- Saprólítico: solo menos desenvolvido e exibe nitidamente estrutura reliquiar que auxilia na identificação da rocha matriz.
- Solos de Textura Fina: materiais ferruginosos cujo diâmetro das partículas não exceda à abertura da peneira 10.
- Solos Plintíticos: solos identificáveis pela estrutura mosqueada e proximidade ao lençol freático.
- Solos Lateríticos Concrecionados: porcentagem retida na peneira 10 é superior a 50% e fração grossa contendo principalmente concreções ferruginosas.

4.3 Características dos solos lateríticos

Segundo Vertamatti (1994), são solos formados devido a evolução geológica e pedológica. Possuem geralmente camadas pouca espessas e homogêneas, porosas e anisotrópicas verticalmente. Podem apresentar linha de seixo separando materiais com características distintas. Têm alta concentração de óxidos de Fe e Al hidratados. Podem apresentar concreções bastante resistentes, formadas pela aglutinação de tais óxidos. Apresentam baixa plasticidade, atividade e expansão e são bastante resistentes mesmo em presença de água. Se forem muito argilosos podem sofrer intensa contração. São bastante permeáveis e resistentes à erosão. Sua coloração é geralmente em tons amarelados e avermelhados, podendo também ser verificado na coloração branca.

Ainda segundo Vertamatti (1994), na fração areia é verificada presença de quartzo e concreções ferruginosas ou aluminosas. Os grãos de quartzo possuem algumas características que permitem associá-lo ao caráter laterítico dos solos: presença de película de óxidos (resulta na tonalidade a vermelhada e amarelada da fração areia), depressões que indicam efeito da dissolução lenta.

Souza (1996) afirma que os óxidos e hidróxidos mais freqüentemente encontrados na fração areia deste tipo de solos são: hidróxidos e óxidos de Fe (goetita, limonita, ferrididerita), hidróxidos de Al (gibbsite, bauxita, bohemita), hidróxidos de Fe e Al amorfos e óxidos anidros de Fe (hematita, magnetita). Os óxidos hidratados citados acima têm propriedade cimentante, ajudando na formação dos agregados que caracterizam o solo.

A magnetita e a ilmenita podem ser os minerais predominantes na fração areia dos solos conhecidos como “terra roxa”, um dos enfoques desse trabalho.

A peculiaridade mais notável dos solos lateríticos, do ponto de vista geotécnico, não está só na estrutura decorrente da agregação, mas também na permanência de sua resistência, mesmo em contato com água. Essa vantagem confere ao solo algumas propriedades interessantes, como manutenção da elevada porosidade e permeabilidade no estado natural com o aumento da umidade, permanência dos agregados na fração areia quando a amostra é obtida por métodos tradicionais de ensaio, resistência à compressão e cisalhamento acima das previstas pelos índices físicos tradicionais e mistura relativamente fácil, o que facilita o processo de uniformização da umidade de compactação, Souza (1996).

Por estas características apresentadas, este tipo de solos tem se mostrado de grande utilidade em obras civis, em especial as viárias, onde são usados em camadas compactadas de base e de reforço do sub-leito, misturadas ou não, e mesmo como agregado em misturas betuminosas para revestimentos.

4.4 Distribuição dos solos lateríticos

A formação desse tipo de solo é favorecida por condições climáticas sujeitas a intemperismo intenso e rápido, com altas temperaturas, ambiente úmido, chuvas abundantes e percolação fácil da água (Oliveira, 1998). Deste modo, verifica-se que a maior incidência dos

solos é verificada nas regiões tropicais, sendo encontrados em abundância na América do Sul e África.

No Brasil, este solo está distribuído em todo o território, de acordo com as informações pedológicas disponibilizadas (figura 4.1). Na legenda, estão representados os solos lateríticos.

O Mapa de Solos apresentado identifica os diferentes tipos de solos encontrados no Brasil, dos quais destacam-se os lateríticos. Para sua elaboração, foram utilizados os levantamentos exploratórios de solos produzidos pelo Projeto Radam Brasil ao longo das décadas de 1970 e 1980, complementados por outros estudos mais detalhados de solos produzidos principalmente pela Embrapa e pelo IBGE.

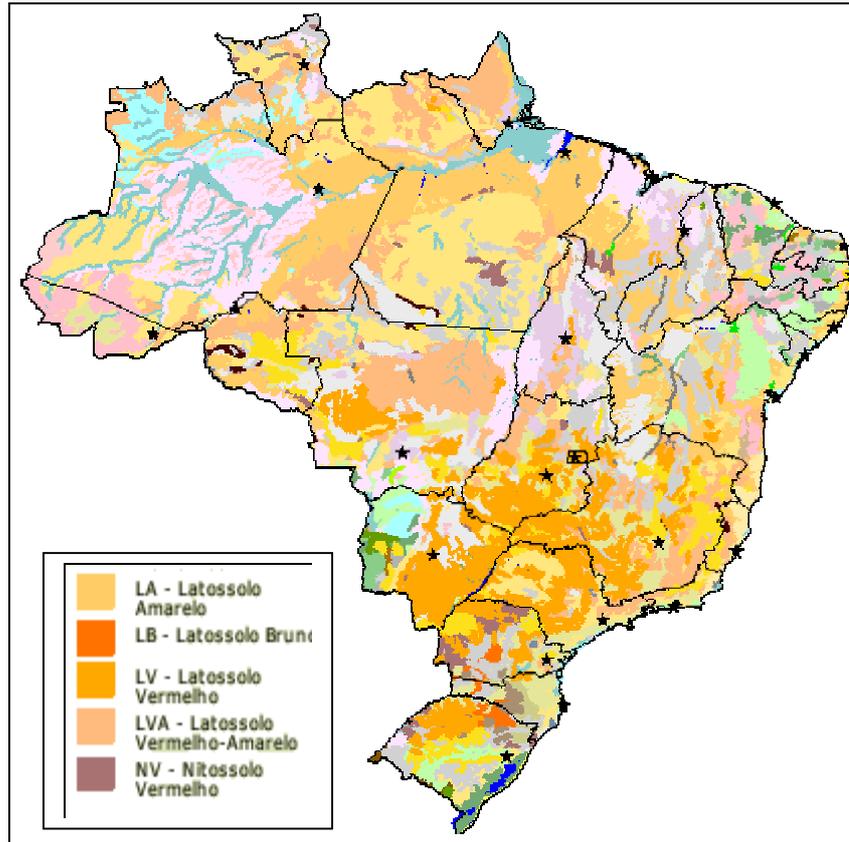


Figura 4.1: Mapa pedológico do Brasil

(Fonte: IBGE, 2005)

4.5 Comportamento Espectral

Como já foi anteriormente explicada, a radiância de um corpo depende de suas propriedades e características físicas e químicas. Conhecendo como cada tipo de material e forma como responde à incidência de radiação eletromagnética, é possível identificar, analisando as respostas obtidas de sensores de satélites, qual o tipo de material. Podemos citar como exemplo a capacidade que um sensor tem de diferenciar um corpo de água de uma feição de solos, devido às respostas de reflectância obtidas nas diversas bandas analisadas (figura 4.2).

Neste contexto, é possível prever a localização de solos e de que tipo se trata. No entanto, para identificar os diferentes tipos possíveis é necessário fazer uma análise das características dos mesmos e entender quais os parâmetros que, quando diferentes, podem resultar numa resposta diferenciada dos sensores.

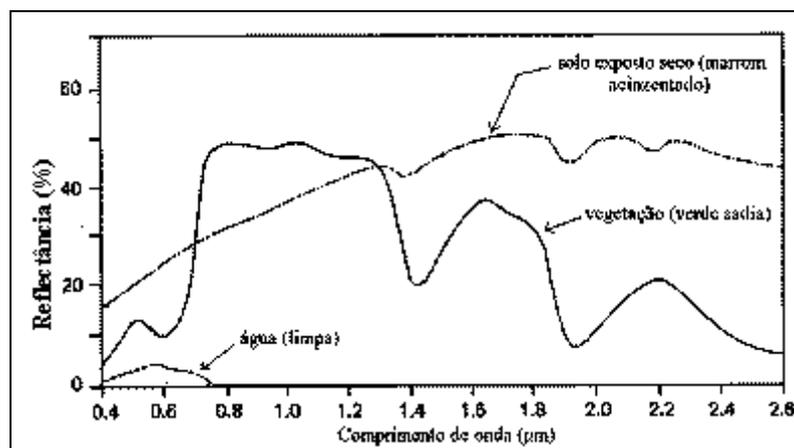


Figura 4.2: Comportamento espectral de alguns tipos de alvo

(Fonte: Richards, 1983 – adaptado)

De acordo com Formaggio e Epiphânio (1988) e Dematê (1995) as respostas espectrais dos solos podem variar de acordo com algumas características específicas, dentre as quais destacam-se: umidade, quantidade de matéria orgânica, gênese, textura, cor, estrutura, capacidade de troca catiônica, teor de Fe, mineralogia, rugosidade superficial e material de origem.

A análise espectral de solos na região da luz visível é importante pela grande cobertura dos mesmos na superfície do planeta e porque, através dessa análise, pode-se fazer uma caracterização dos solos, sua classificação e mapeamento.

Há poucos estudos em relação à análise espectral de solos tropicais – pois a maioria das publicações são internacionais e baseiam-se em estudos de solos temperados, com características bastante diferentes às dos solos lateríticos – mas algumas análises realizadas principalmente no estado de São Paulo são suficientes pra se conhecer um pouco da variação de resposta de acordo com as características de um solo para outro.

Em relação aos fatores intervenientes e de que maneira eles são capazes de alterar as informações espectrais, pode-se citar, Souza (1996):

- *Umidade:* com seu aumento, verifica-se a diminuição na reflectância dos solos; no entanto, a forma geral da curva não é alterada;

- *Matéria Orgânica*: provoca escurecimento na coloração do solo (mascarando sua cor original) e influencia na retenção de água e na capacidade de troca catiônica. O aumento do teor de quantidade de matéria orgânica reflete na diminuição da reflectância, semelhante ao que ocorre com o teor de argila.
- *Textura (granulometria) e Estrutura*: para materiais argilosos, à medida que se diminui o tamanho das partículas, há um aumento da reflectância. O efeito do tamanho da partícula na resposta espectral é bastante variável. Verifica-se que nos solos de textura arenosa, a redução no tamanho das partículas, resulta em diminuição da reflectância. Já em casos de textura fina e média, é identificada a correlação direta entre os dois parâmetros.
- *Cor*: solos de coloração mais clara apresentam altos valores de reflectância. Os fatores que mais influenciam na coloração do solo são teor e tipo de argilas, de ferro e de matéria orgânica.
- *Teor de Ferro*: a alta absorção da radiação na faixa do infravermelho pode estar associada a elevadas concentrações desse material. Solos com elevado teor de Fe apresentam inflexão na curva de reflectância e absorção bem definida no intervalo próximo a 900 nm.
- *Mineralogia*: é um dos aspectos mais importantes a serem analisados e influenciam a resposta espectral de diferentes maneiras. Solos com mineralogia gibbítica são altamente reflectivos, enquanto que os montmoriloníticos (geralmente associados a maiores teores de matéria orgânica) apresentam baixa reflectância.
- *Rugosidade Superficial*: com o incremento da rugosidade, há um maior espalhamento da luz e um aumento do sombreamento o que diminui a resposta de reflectância do alvo.
- *Material de Origem*: as curvas de reflectância separam solos de desenvolvimento calcáreo, folhelhos e arenitos. O aumento de reflectância é proporcional à quantidade de areia no solo e, portanto, solos com características mais argilosas tendem a apresentar valores inferiores de reflectância.

Este trabalho baseia-se na análise feita por Souza (1996) que demonstra que as bandas que mais destacam os tipos de solos do estudo são 7 e 5, pois estas são capazes de captar as informações de reflectância influenciadas pelos fatores acima citados.

5 Descrição Experimental

Os capítulos anteriores descreveram a parte teórica que dá embasamento a este trabalho. Este capítulo apresenta qual o procedimento adotado para a aquisição e utilização dos dados, bem como os resultados. O intuito é discorrer brevemente sobre o processo adotado nas fases do trabalho e como a teoria, anteriormente apresentada, pôde auxiliar na elaboração do mesmo.

Apresenta-se também as características principais da região de estudo e dos dados usados, justificando a escolha adotada e os resultados inerentes dessa opção.

Todos os processos utilizados foram explicados de forma a facilitar a compreensão do leitor, colocando-o a par das técnicas utilizadas e dos resultados de cada tentativa.

5.1 Área de Estudo

Após uma análise do mapa pedológico do território nacional, IBGE (2005) e identificação das áreas de ocorrência de solo laterítico e terra roxa, optou-se pela região que engloba o norte do Paraná (região de Londrina) ao sul de São Paulo (região de Assis). Trata-se de uma região que apresenta, além de notável presença de latossolos, também presença de solos com alta concentração de minério de ferro, e que têm coloração escura (terra roxa).

Optou-se por esta região na tentativa de se estender o método de identificação de solos desenvolvido por Souza (1996) também para este último tipo de formação citada. A região analisada (que corresponde aproximadamente à área em torno de -50° e -52° de longitude, e -22° e -24° de latitude) pode ser observada na figura 5.1.

Segundo dados da prefeitura londrinense, a região apresenta clima subtropical úmido, com chuvas em todas as estações. A temperatura média é de $23,7^\circ\text{C}$ no verão e $17,7^\circ\text{C}$ no inverno. A pluviosidade anual varia de 1.264 mm a 1700 mm e o tipo de solo predominante é latossolo (terra roxa).



Figura 5.1: Área de Estudo

(Fonte: Mapa político do Brasil, IBGE, 2005)

5.2 Ocorrência de Solos

Na região estudada, de acordo com o mapa pedológico disponibilizado pelo IBGE, os solos presentes são os apresentados abaixo, de onde se destaca aqueles de interesse no estudo (legenda da figura).

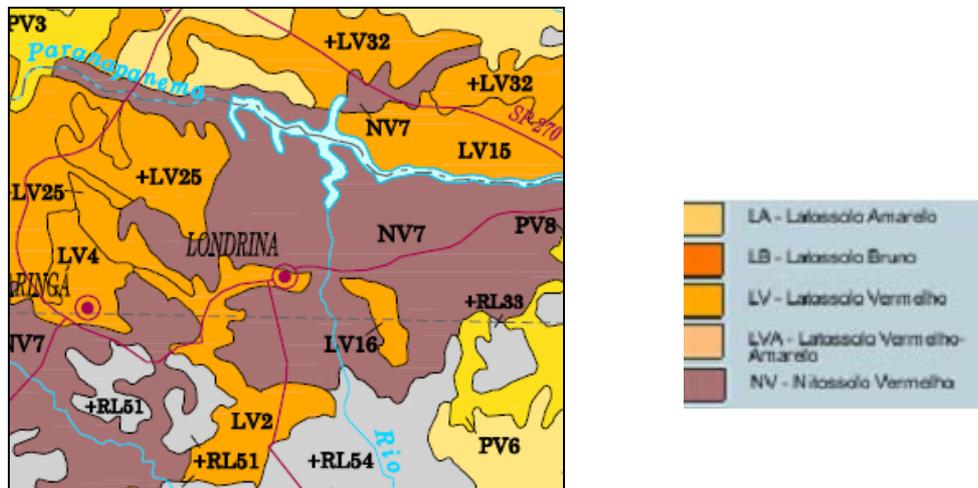


Figura 5.2: Ocorrência de solos na área de interesse e legenda

(Fonte: Mapa de Solos do Brasil, IBGE, 2005)

Na figura 5.2, é possível perceber na região a grande ocorrência de solo LV (Latosolo Vermelho) e NV (Nitossolo Vermelho), que correspondem aos solos de principal interesse nesse estudo, por se tratarem de solos de grande aplicação no campo geologia de engenharia.

5.3 Seleção e aquisição de imagens

Depois de escolhida a região de estudo, buscou-se uma maneira de se adquirir as imagens de satélite referentes à cena de interesse. Para tal, consultou-se o catálogo de imagens do INPE, buscando as cidades de Londrina – PR e Assis –SP. Procurando a região por cidades, o sistema retorna a seguinte informação visual (figura 5.3), de onde se tira o valor da órbita/ponto de interesse. Esse valor é uma convenção das imagens do sistema Landsat, fornecido pelo Sistema Internacional de Referência, Souza (1996).

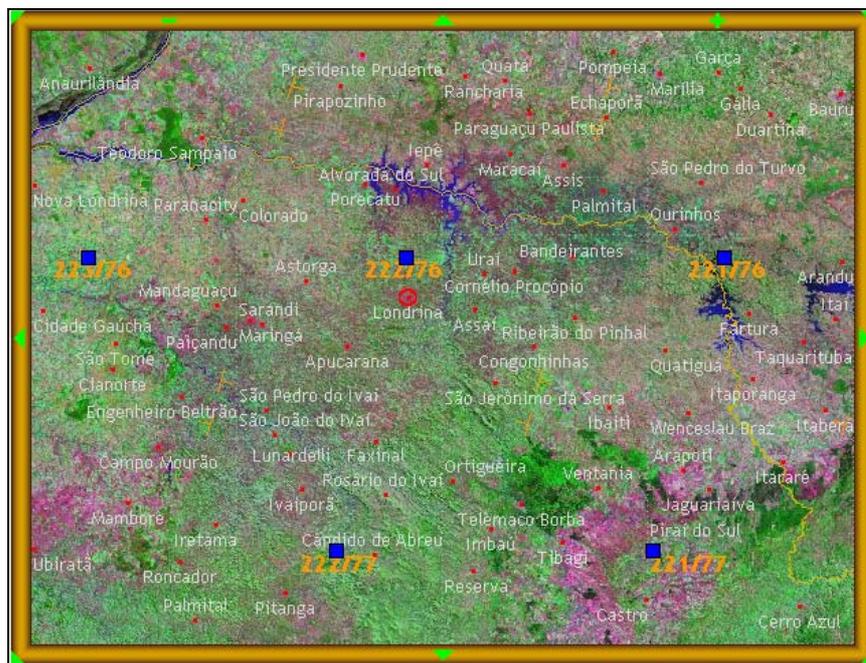


Figura 5.3: Imagem Landsat da região de estudo

(Fonte: INPE, 2005)

Da figura 5.3 vem que a órbita ponto desejada é 222/76, pois é esta que engloba as áreas de interesse para a realização do trabalho. Para obtenção das imagens, buscou-se o *site Global Land Cover Facility*. O sistema de busca da página forneceu três diferentes imagens, da qual tomou-se a mais recente (28/JUN/2003), que era a única imagem disponível do sistema Landsat 7 (as demais eram do Landsat 5). Essa cena conta com 8 diferentes imagens, devido às bandas captadas pelo sensor ETM+, sendo que a banda 6 (*Infrared*) divide-se em

duas cenas, com informações bastante semelhantes. A localização da cena estudada pode ser verificada na figura 5.4.



Figura 5.4: Localização da área de estudo

(Fonte: Global Land Cover Facility, 2005)

Depois de obtidas as cenas, estas foram gravadas, de modo a dar início ao processamento das imagens, para a obtenção das informações de interesse.

Para fazer uma análise comparativa do estudo com os solos sabidamente encontrados na região buscou-se também o auxílio de mapas pedológicos da região. Buscou-se na mapoteca do INPE as informações pedológicas, mas não havia disponibilidade de informações sobre solo no estado do Paraná. Informações do extremo sul de São Paulo foram obtidas no mapa pedológico, disponibilizado em papel. No entanto, evitou-se trabalhar com tal dado, uma vez que o processo de digitalização do mesmo gera muitas distorções e erros. Na página eletrônica do IBGE há um visualizador de mapas *online*, no entanto, não é possível referenciá-lo, pois não constam informações sobre latitude e longitude. Ainda nesta página, buscou-se mapas pedológicos mais completos e referenciados, conseguindo-se um material em PDF, disponível para *download*, em que constava a ocorrência de solos em toda a extensão do território nacional, bem como a referência de localização do mapa. Utilizou-se este dado (após georreferenciado) para comparação do banco de dados com os resultados obtidos na análise das imagens. É importante salientar que o material disponibilizado pelo IBGE, apesar de completo, não é muito preciso, uma vez que a escala é muito grande (1 : 5.000.00), o que prejudica os dados e a comparação destes com os resultados do trabalho.

Para se processar as informações, tanto das imagens do Landsat, como das cartas de solos obtidas fez-se uso de uma série de aplicativos, softwares e hardwares. Para o processamento de imagens utilizou-se o programa ERDAS IMAGINE 8.6, que permite a

manipulação de imagens (realce de bandas, composição, transformação RGB-IHS, etc). Para transportar as imagens analisadas para este relatório, fez-se uso de um visualizador e manipulador de imagens (*Acessório do Windows – Paint*). Para digitalizar o mapa pedológico em papel recorreu-se ao uso de *scanner*. Após digitalizado e registrado, era preciso unir as partes do mapa (pois não é possível digitalizar todo o mapa de uma só vez, em razão do tamanho da placa de scanner). Para tal, fez-se uso do programa *Regeemy*, que identifica pontos em comum entre as imagens, fazendo a junção otimizada das mesmas. Após este processo identificou-se uma série de possíveis problemas e distorções em tal imagem digitalizada, de modo que se optou apenas pela utilização dos dados originalmente digitais. Para exportar o mapa pedológico em formato PDF para um aplicativo em que pudesse ser referenciado e manipulado, utilizou-se o aplicativo *Corel Draw*, que fez a transformação da figura para o formato *TIFF*. Neste formato, para o registro e referenciamento dos pontos digitalizados utilizou-se novamente o aplicativo ERDAS. Para a composição dos histogramas referentes à ocorrência dos níveis de cinza, utilizou-se o programa Excel, do pacote MS Office. Os dados foram retirados do ERDAS e transportados para o Excel, a fim de compor os gráficos.

Um ponto importante a salientar é a dificuldade encontrada em apresentar o mapa no mesmo sistema de coordenadas das imagens obtidas do sistema Landsat. Tais imagens são referenciadas nas coordenadas UTM. Já o mapa (de acordo com as informações nele apresentadas) estava representado numa projeção policônica, de modo que ao referenciá-lo, encontrou-se discrepâncias. O mapa neste sistema policônico não “casava” com as imagens apresentadas, ou seja, não era possível adequá-los ao mesmo sistema. Para solucionar este problema optou-se por referenciar o mapa no sistema geográfico tradicional (Lat/Long), mas lembrando que tal procedimento pode causar algumas distorções na figura. No entanto, como a área em questão ficava num intervalo em que não há grandes variações angulares, a aproximação feita é bastante aceitável.

Por fim, depois que as imagens estavam realçadas e transformadas de acordo com a técnica apresentada, fez-se uso do aplicativo *ArcMap*, para sobrepor as imagens obtidas no processamento e o mapa pedológico referenciado. Com este programa, cria-se um projeto com todas as imagens a serem analisadas (as quatro imagens finais apresentadas do processamento e o mapa), distribuídas em diferentes *layers*. Para visualizar as imagens de interesse basta habilitar tais *layers*, deixando os outros inativos. Para sobrepor o mapa à

imagem processada, utilizou-se uma técnica de transparência de *layer*, em que a figura que aparece em cima, pode ter sua transparência aumentada de modo a permitir a visualização de duas cenas ao mesmo tempo, e assim, comparar os resultados.

5.4 Pré-processamento de imagens

As imagens disponibilizadas pelo *GLCF* já são retificadas e geometricamente corrigidas de modo que não foi necessária a realização desta etapa no trabalho.

Para a comparação com o banco de dados, dos mapas pedológicos disponibilizados, é necessário que as imagens de satélite estejam georreferenciadas. As imagens recebidas já estavam com referência de localização (sistema UTM).

5.5 Processamento

5.5.1 Realce de Contraste

O primeiro procedimento realizado foi visualizar as imagens obtidas do satélite. É preciso atentar ao fato de que o visualizador do programa apresenta a imagem com realce apenas para facilitar a compreensão do usuário, no entanto, esta imagem apresentada não traz as informações tais quais elas ocorrem. Para visualizar a imagem conforme ela foi obtida é necessário habilitar a opção de “não contraste” que o programa fornece. Assim é possível observar como a imagem possui níveis de cinza bem próximos, o que torna difícil a visualização. Destas imagens originais, tomou-se as informações estatísticas (desvio padrão e média), bem como a construção de seu respectivo histograma. Para efeito comparativo tomou-se também uma reprodução da mesma para apresentação neste trabalho.

Para realçar a imagem, algumas técnicas foram testadas. Seguindo o trabalho de Souza (1996), buscou-se um realce de contraste utilizando o método Mínimo-Máximo, já explicado anteriormente. No entanto, esta técnica não trouxe melhorias visuais e nem estatísticas às imagens, de modo que se optou por descartar tal técnica. A tentativa de se utilizar o aumento de contraste linear também foi considerada, entretanto, como não se pode permitir *overflow*, a função de transferência linear deve ser bem controlada e conhecida, a fim de se evitar perda

de informações. Para tanto, preferiu-se utilizar a técnica de equalização de histograma. O programa faz automaticamente as mudanças necessárias (determinação da função de transferência não linear) para a obtenção da nova imagem, e conseqüentemente de novas informações estatísticas da mesma. Novamente tomou-se a reprodução da imagem para a ilustração do procedimento. Os dados estatísticos foram computados e sua análise e gráficos feitos no Excel.

A técnica, como já explicado, visa aumentar a média e ampliar o intervalo de ocorrência dos níveis de cinza para facilitar a visualização pelo sistema visual humano. Tenta-se ocupar a maior parte possível do histograma para distribuir os valores, aumentando o contraste.

O processo acima descrito foi realizado com todas as imagens da cena observada. Em todas pôde-se observar significativas melhorias após a aplicação da técnica de realce. As melhorias, tanto visuais como estatísticas (histogramas), podem ser observadas no próximo capítulo (Análise dos Resultados).

5.5.2 Composição das Imagens

Depois de realçadas, realizou-se a composição das mesmas em grupos de três bandas (tripleto) para buscar um sistema de visualização colorido próximo ao real. Como orientação do trabalho de Souza (1996), a composição foi feita de modo a unir as bandas, que nas cores adequadas, sabidamente melhoram a identificação das feições de solos procuradas. De acordo com o autor, a combinação que mais acentua os latossolos são 7/5/2 e 7/5/3 na visualização R/G/B. Buscou-se portanto a composição com tais bandas.

Para efeito comparativo realizou-se a composição antes do realce individual das bandas e depois, observando que a composição antes do realce é ruim e dificulta a extração de informações das figuras. Para as demais análises, utilizou-se apenas composições com imagens puras realçadas.

A composição das bandas foi feita utilizando o programa ERDAS, opção *Spectral Enhancement* → *Layer Stack*, que é capaz de unir as bandas. Para a visualização da imagem formada, é necessário escolher qual cor cada banda deve assumir na composição, o que é feito

com a opção de alocação de cores às bandas, no *Viewer*. Isso é bastante importante, pois de acordo com o diagrama de cromaticidade, apresentado no capítulo 3, o olho humano é mais sensível a algumas determinadas cores, que devem ser atribuídas às variações mais sutis na imagem. Algumas combinações foram testadas, verificando-se que a melhor delas era mesmo a recomendada por Souza, por ser a que traz as informações com as cores mais próximas ao sistema real observado.

No próximo capítulo são apresentadas as composições 7R/5G/2B e 7R/5G/3B, realizadas neste processo.

5.5.3 Transformação IHS

Tal transformação foi realizada para, como afirma Crósta (1992), ser possível alterar as bandas da composição separadamente.

Após as imagens serem compostas no sistema RGB, realizou-se a transformação para o sistema IHS, de acordo com o esquema demonstrado na figura 5.5. O esquema da transformação inversa (IHS → RGB) também é apresentado na figura.

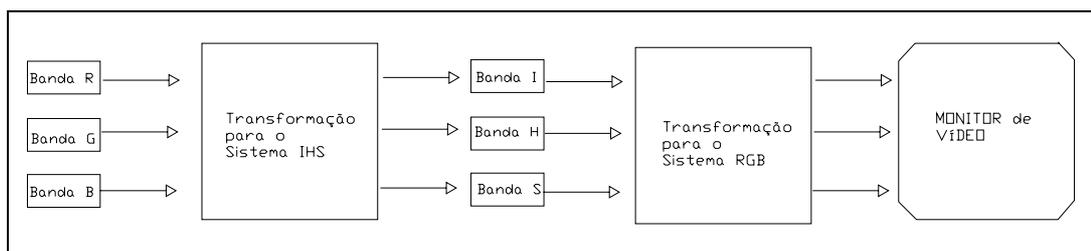


Figura 5.5: Esquema de transformação RGB – IHS – RGB

Neste esquema, segundo Souza (1996), as bandas R, G e B são as bandas espectrais contendo as informações de interesse. Uma vez selecionadas as bandas, sobre estas são feitos os cálculos da intensidade (I), do matiz (M) e da saturação (S) para o grupo de bandas. Tais cálculos são realizados pelo próprio programa de processamento, através de algoritmos matemáticos que relacionam os dois espaços de cores. O processo produz três novas imagens, representando respectivamente, a intensidade, o matiz e saturação da imagem original.

Tentou-se realizar a ampliação de contraste nas bandas I e S, e posteriormente substituir a banda I por sua primeira componente principal. No entanto, os resultados gerados não foram satisfatórios, uma vez que aumentaram os ruídos na imagem, dificultando a extração das informações necessárias e deixando as cores borradas. Além disso, o resultado da combinação de cores, fez com que as feições relacionadas aos solos de interesse ficassem com coloração e tons muito próximos aos de área de ocupação urbana, o que prejudicaria a análise. Deste modo, optou-se por descartar tal processamento de transformação da banda I e realce da banda S.

Após terminada as transformações desejadas para o sistema IHS, retornou-se para o sistema RGB para possibilitar a visualização no monitor de vídeo. Os resultados da transformação estão no próximo capítulo.

5.6 Produtos finais

Já foi comentado que a escolha das bandas – e das cores relacionadas a elas – foi feita de modo a favorecer a identificação dos solos lateríticos e de coloração vermelha, levando-se em conta a orientação de Souza (1996) e o diagrama de sensibilidade visual apresentado por Crósta (1992).

Tal escolha teve ainda que levar em conta o comportamento espectral de alvo, neste caso, solos, de acordo com os diversos parâmetros envolvidos (apresentados no capítulo 4).

Após o término do processamento associou-se às imagens os mapas de solos, que apresenta a ocorrência pedológica na região e, portanto, o resultado esperado para o projeto.

As imagens com os respectivos mapas associados encontram-se no fim do capítulo 6, que apresenta e discute os resultados obtidos.

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo finalmente apresenta e discute os resultados obtidos na análise proposta. Cada etapa teve diferentes tipos de resposta ao procedimento realizado e estes são mostrados neste item.

É interessante ressaltar que não foram apresentados apenas os resultados finais, mas também aqueles intermediários, de modo a facilitar o acompanhamento da evolução do trabalho.

6.1 Realce

O primeiro processamento feito com as imagens adquiridas do sistema Landsat foi o realce, utilizando a técnica de Equalização de Histograma, já apresentada anteriormente. Este procedimento melhorou as características visuais de contraste (e, portanto, as informações estatísticas também) de todas as imagens analisadas, mostrando ser uma técnica bastante eficiente. Esse contraste facilita a visualização da cena, permitindo assim uma melhor diferenciação dos alvos da cena. A seguir serão apresentadas as imagens antes e depois do processo de realce, bem como seus histogramas associados.

Para facilitar a compreensão, as frequências dos histogramas estão apresentadas em múltiplos de milhar.

A primeira imagem apresentada trata-se da original (antes do realce), acompanhada do seu histograma equivalente, com sua média e desvio padrão. A segunda equivale à imagem realçada, contendo também o histograma, a média e o desvio padrão.

Neste ponto, vale ressaltar, que como o processamento foi feito na imagem toda, há uma borda preta (que não pertence à cena), à qual é atribuído o valor 0 em seus *pixels*. Isso altera a média da distribuição. Depois do realce, os *pixels* nulos passam a valer 48 e novamente temos uma interferência na média. Desta forma, para evitar que haja interferência nas informações em virtude do contorno negro, optou-se por eliminar tais pontos e analisar apenas os pontos relativos à figura. Como não se sabe exatamente quantos pontos referem-se à borda, é possível que na eliminação de tais pontos haja perda de algum ponto pertencente à

imagem (caso a imagem tenha algum ponto interno no extremo preto); no entanto, essa perda será pouco significativa, por causa da ordem de grandeza de *pixels* existentes nas bordas.

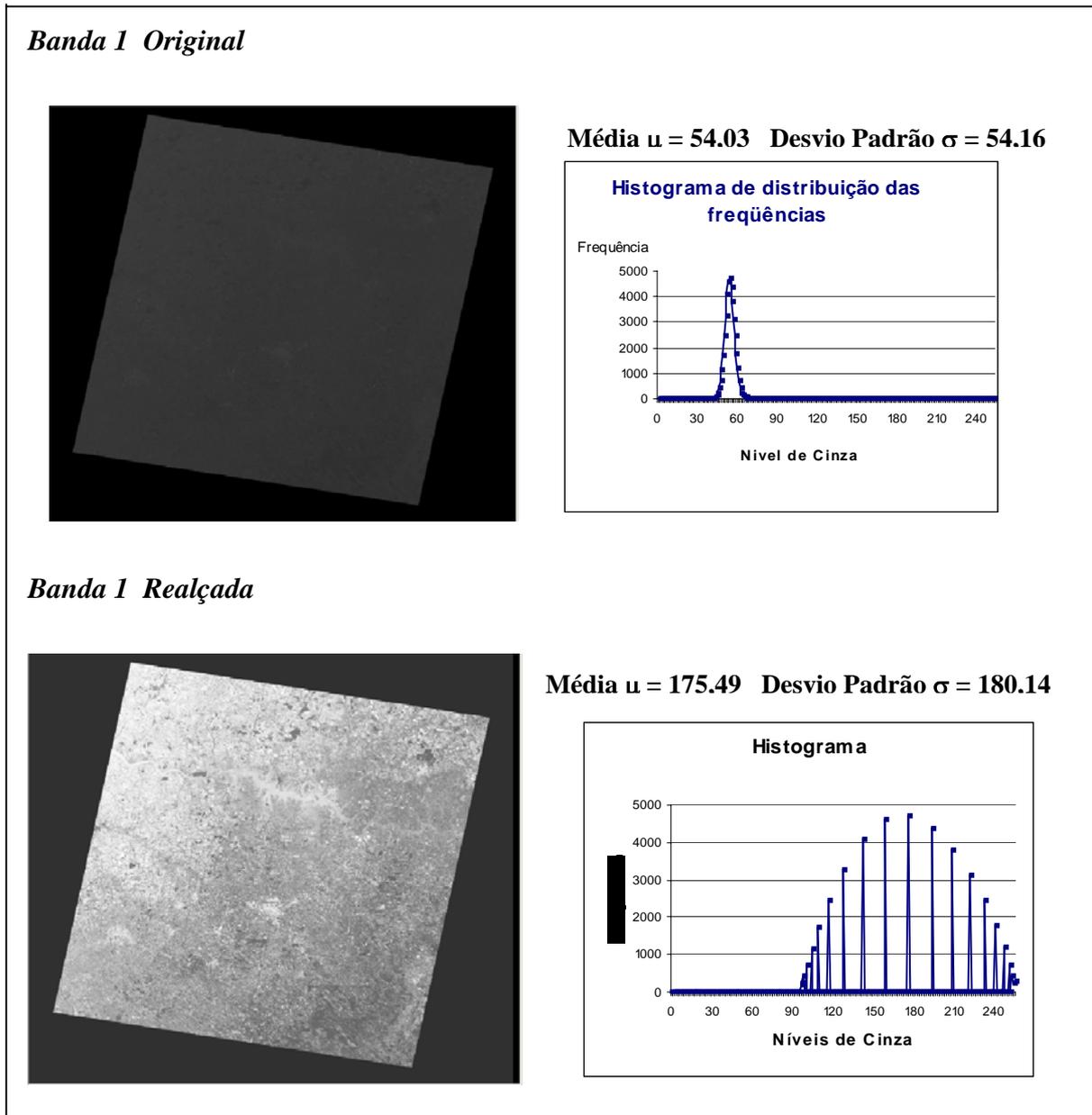
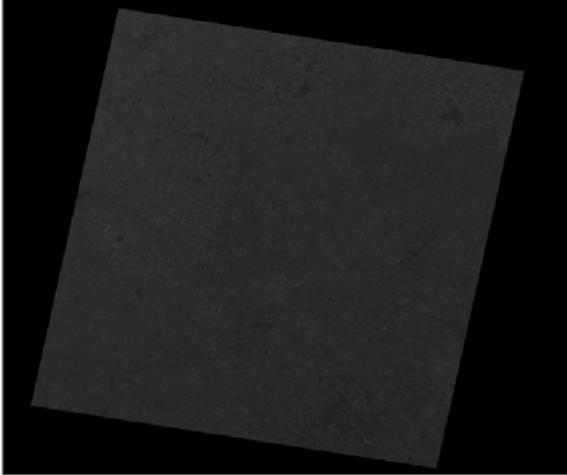
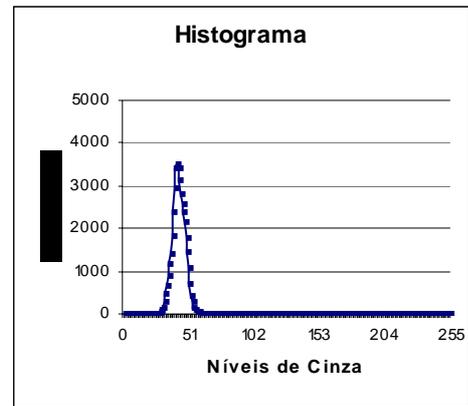
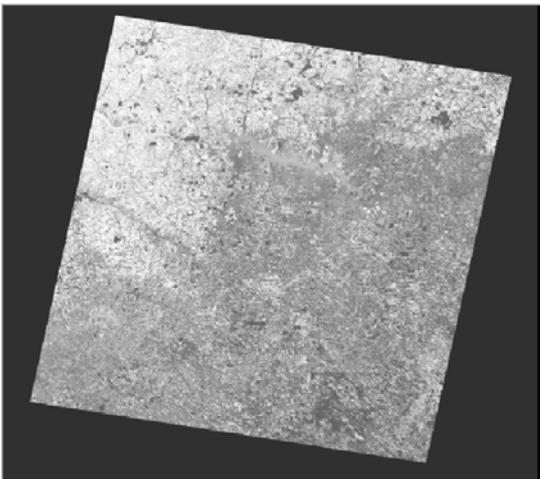


Figura 6.1: Equalização de Histograma na Banda 1

Banda 2 Original

Média $\mu = 43.18$ Desvio Padrão $\sigma = 43.48$

***Banda 2 Realçada***

Média $\mu = 175.5$ Desvio Padrão $\sigma = 180.1$

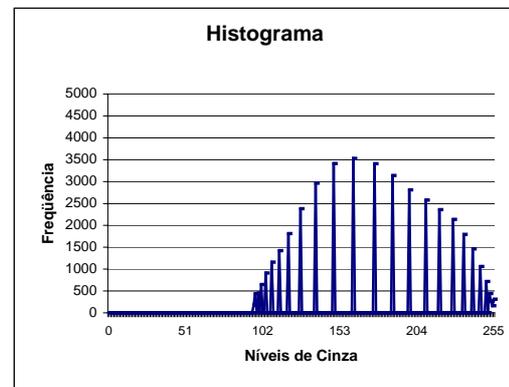
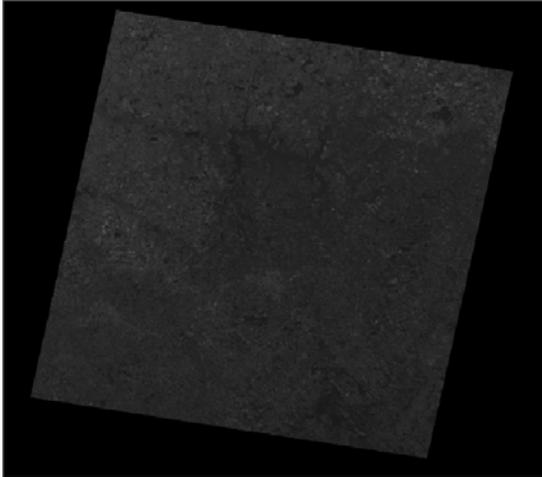
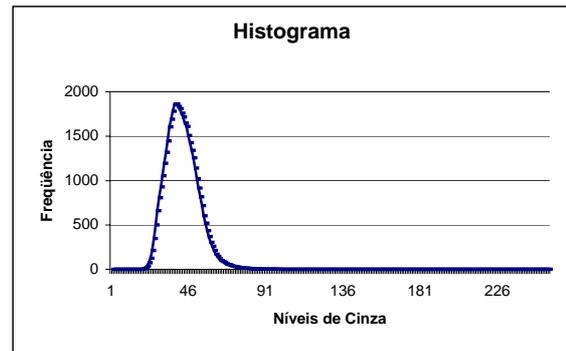
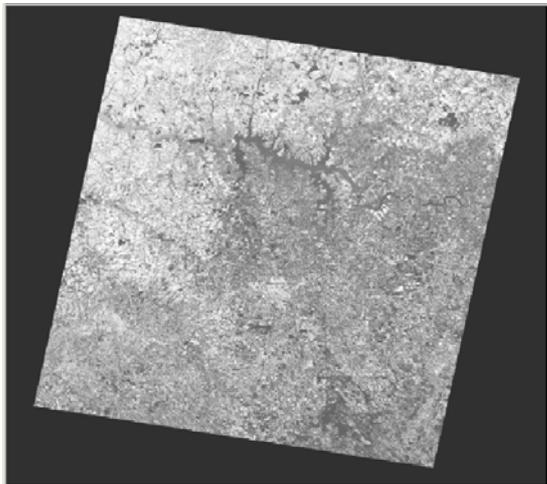


Figura 6.2: Equalização de Histograma na Banda 2

Banda 3 Original

Média $\mu = 41.21$ Desvio Padrão $\sigma = 42.25$

***Banda 3 Realçada***

Média $\mu = 175.49$ Desvio Padrão $\sigma = 185.41$

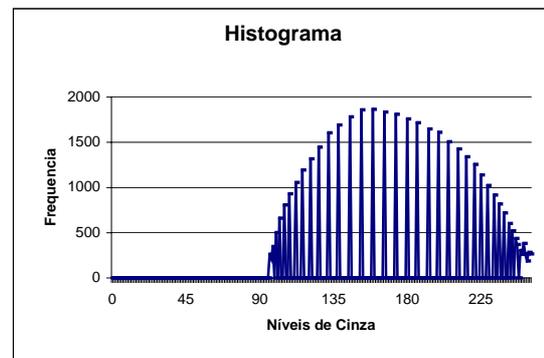
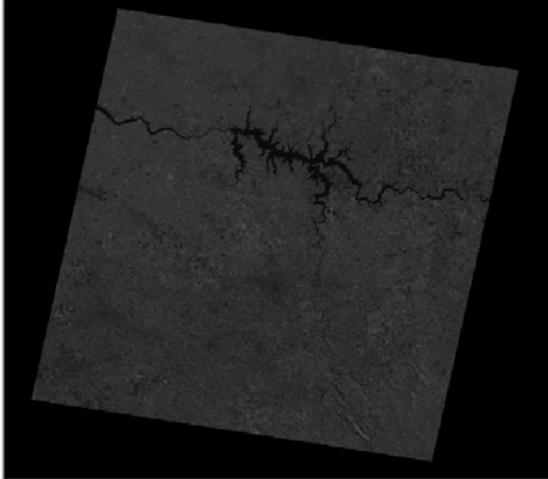
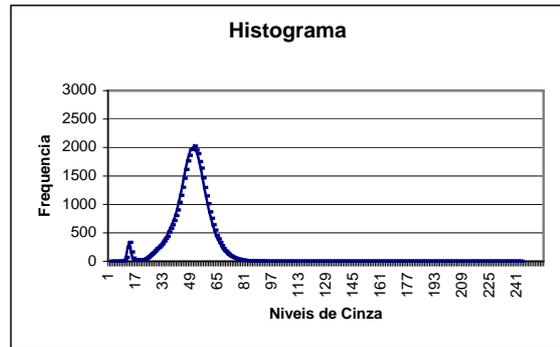
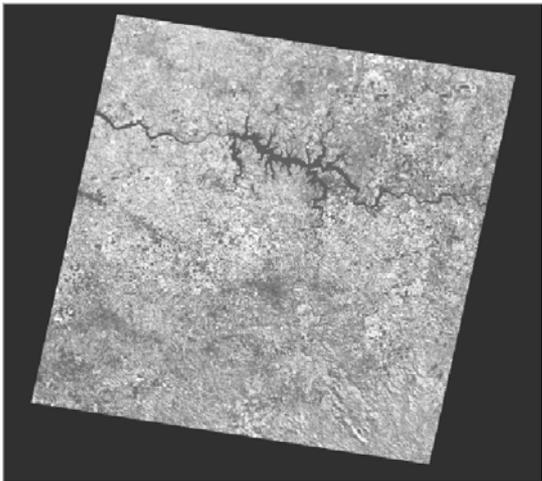


Figura 6.3: Equalização de Histograma na Banda 3

Banda 4 Original

Média $\mu = 47.16$ Desvio Padrão $\sigma = 49.14$

***Banda 4 Realçada***

Média $\mu = 175.60$ Desvio Padrão $\sigma = 180.66$

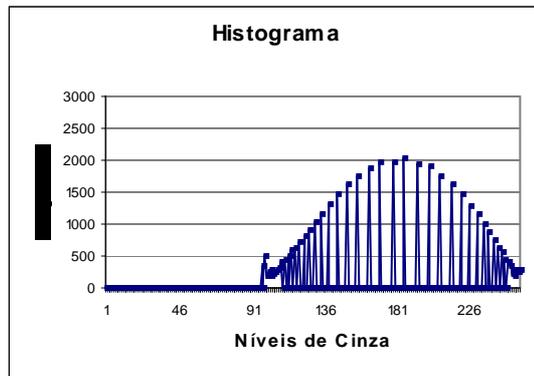
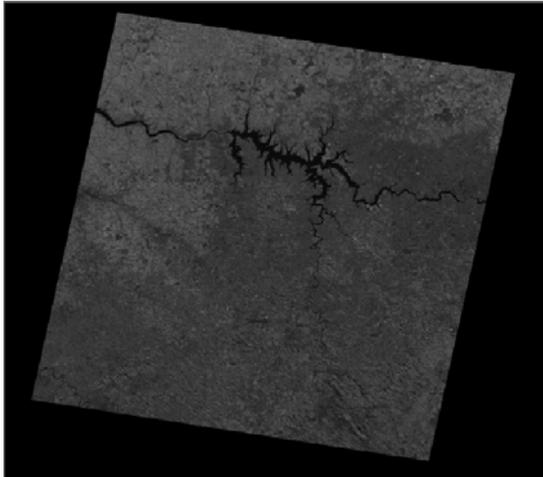
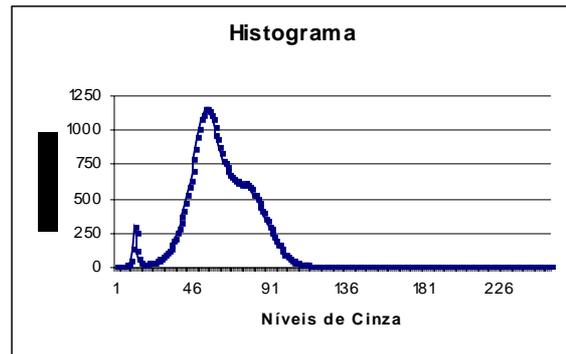
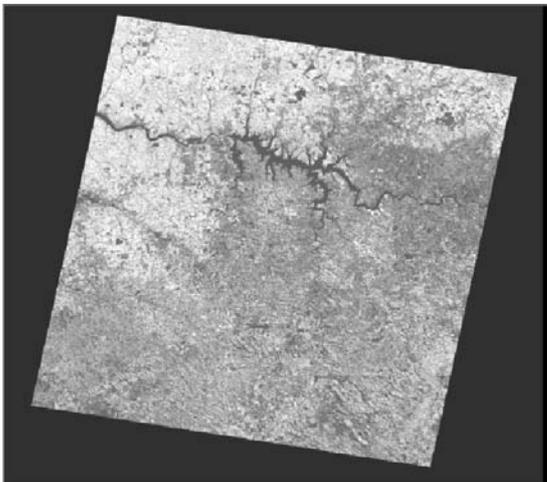


Figura 6.4: Equalização de Histograma na Banda 4

Banda 5 Original

Média $\mu = 60.75$ Desvio Padrão $\sigma = 63.36$

**Banda 5 Realçada**

Média $\mu = 175.58$ Desvio Padrão $\sigma = 180.48$

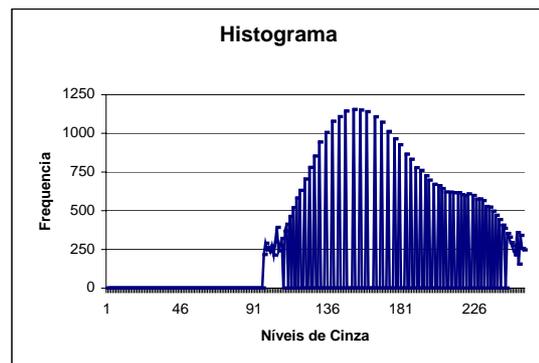
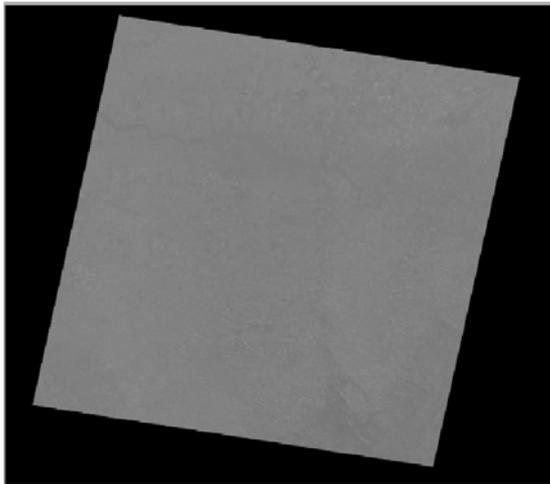
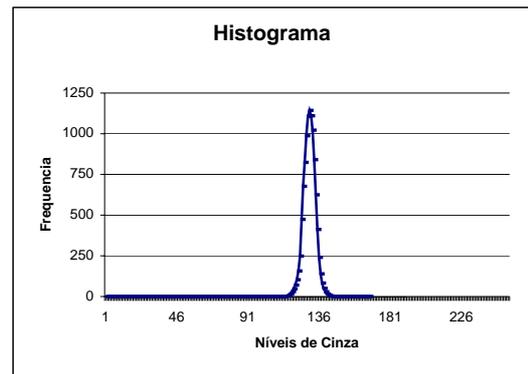
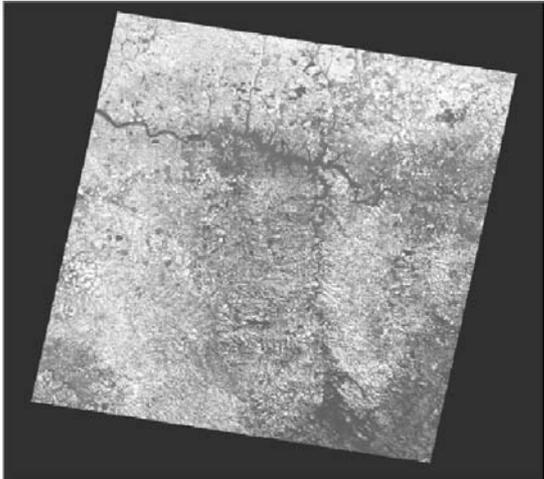


Figura 6.5: Equalização de Histograma na Banda 5

Banda 6.1 Original

Média $\mu = 128.86$ Desvio Padrão $\sigma = 128.91$

**Banda 6.1 Realçada**

Média $\mu = 175.70$ Desvio Padrão $\sigma = 180.58$

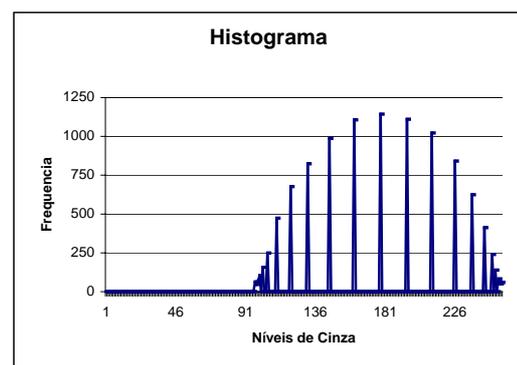
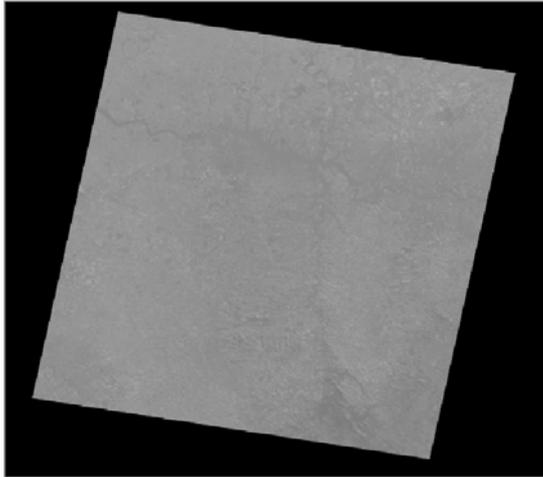
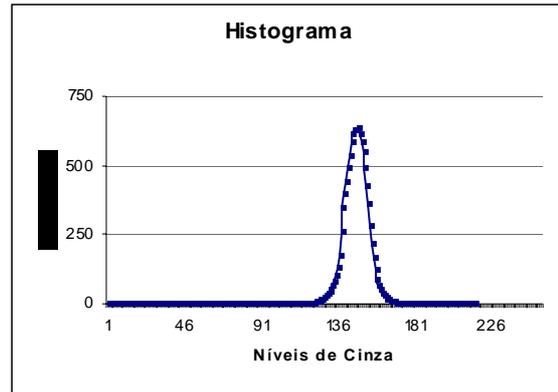
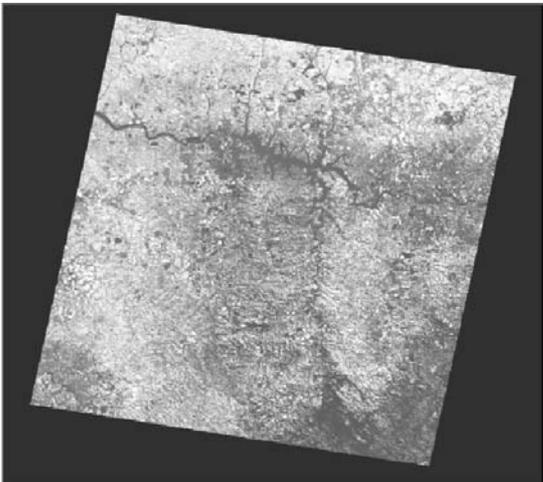


Figura 6.6: Equalização de Histograma na Banda 6.1

Banda 6.2 Original

Média $\mu = 145.66$ Desvio Padrão $\sigma = 145.81$

**Banda 6.2 Realçada**

Média $\mu = 175.68$ Desvio Padrão $\sigma = 180.43$

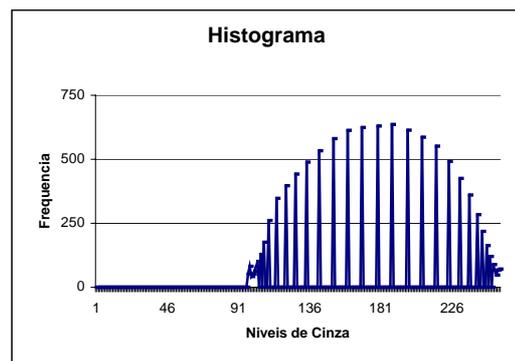
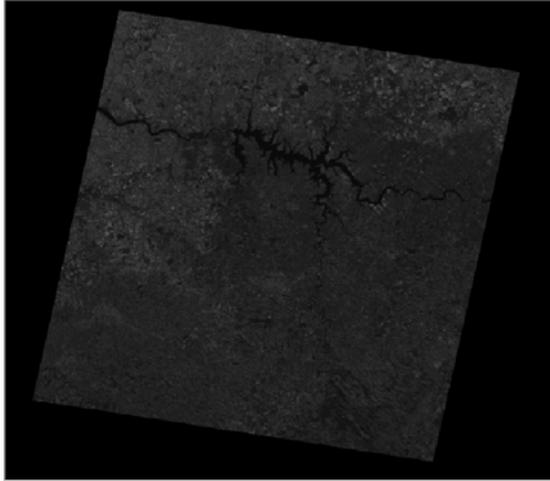
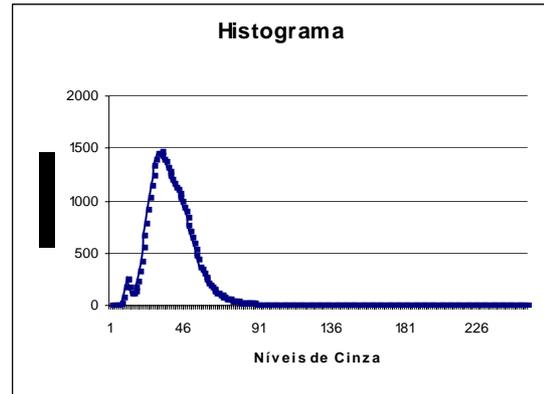
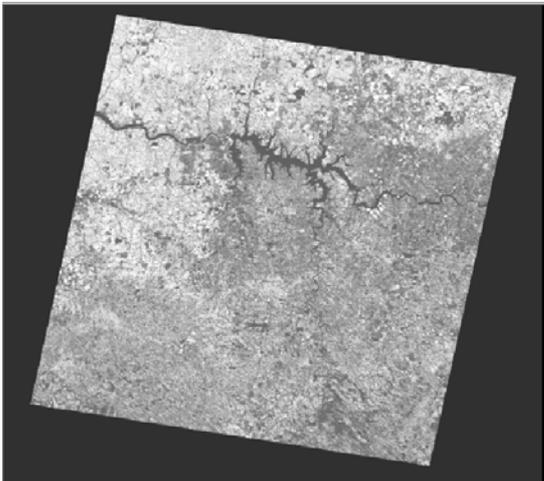


Figura 6.7: Equalização de Histograma na Banda 6.2

Banda 7 Original

Média $\mu = 36.67$ Desvio Padrão $\sigma = 38.86$

***Banda 7 Realçada***

Média $\mu = 175.57$ Desvio Padrão $\sigma = 180.35$

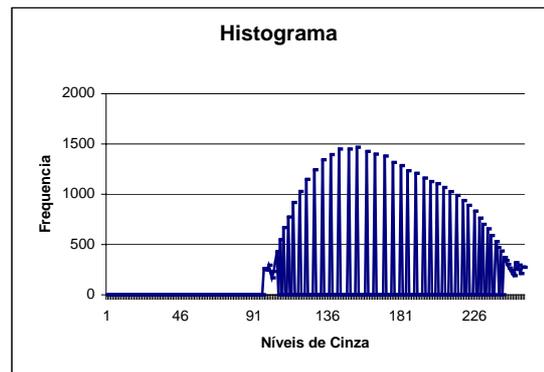
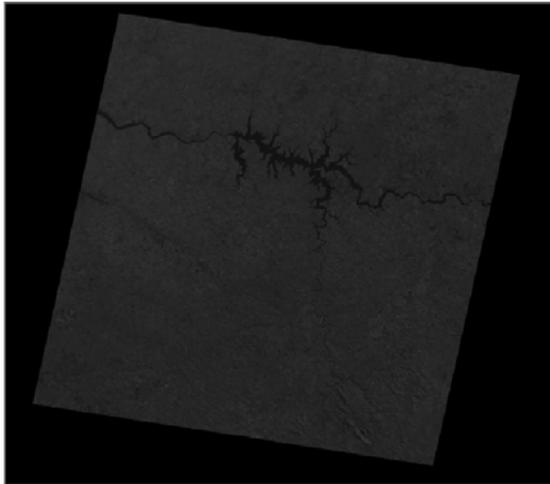
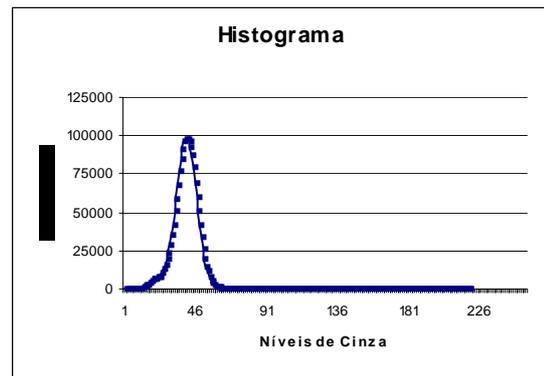
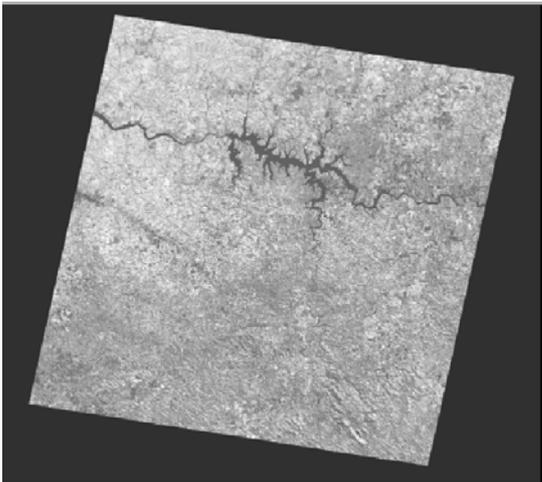


Figura 6.8: Equalização de Histograma na Banda 7

Banda 8 Original

Média $\mu = 38.72$ Desvio Padrão $\sigma = 39.44$

**Banda 8 Realçada**

Média $\mu = 175.62$ Desvio Padrão $\sigma = 180.26$

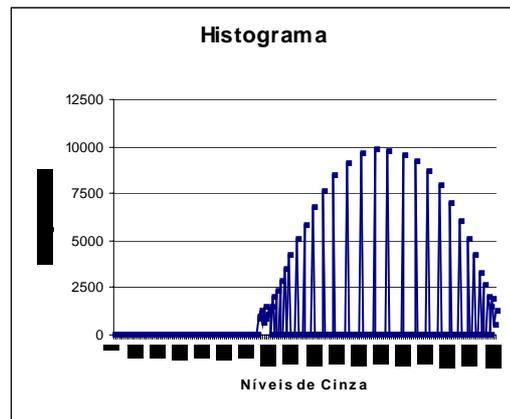


Figura 6.9: Equalização de Histograma na Banda 8

6.2 Composição Colorida

Esta seção apresenta os resultados obtidos na composição das imagens em tripletes de bandas, com alocação de cores no sistema RGB a cada uma delas. Vale ressaltar que foram realizadas diversas composições, testando o conjunto de diferentes bandas, com diversas alocações de cores. No entanto, foram apresentadas apenas as composições que se mostraram mais eficazes na caracterização dos solos em estudo.

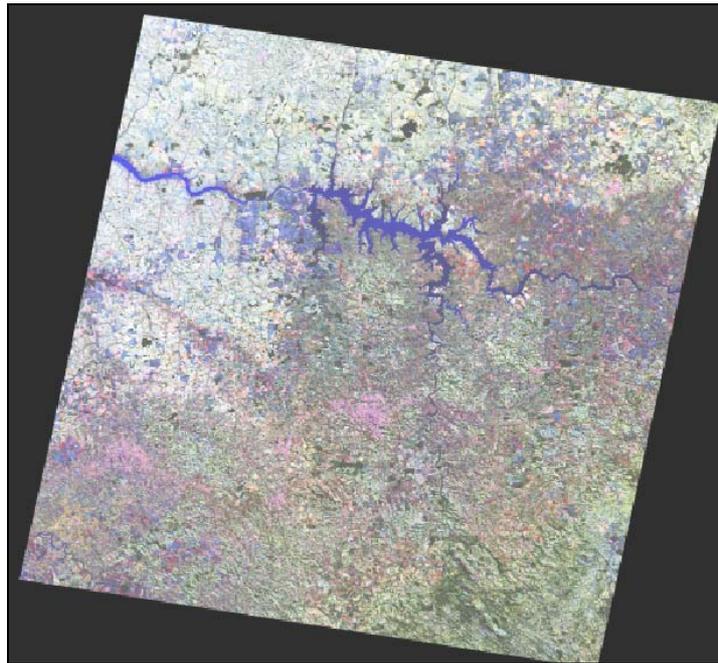


Figura 6.10: Composição colorida 7R/5G/2B

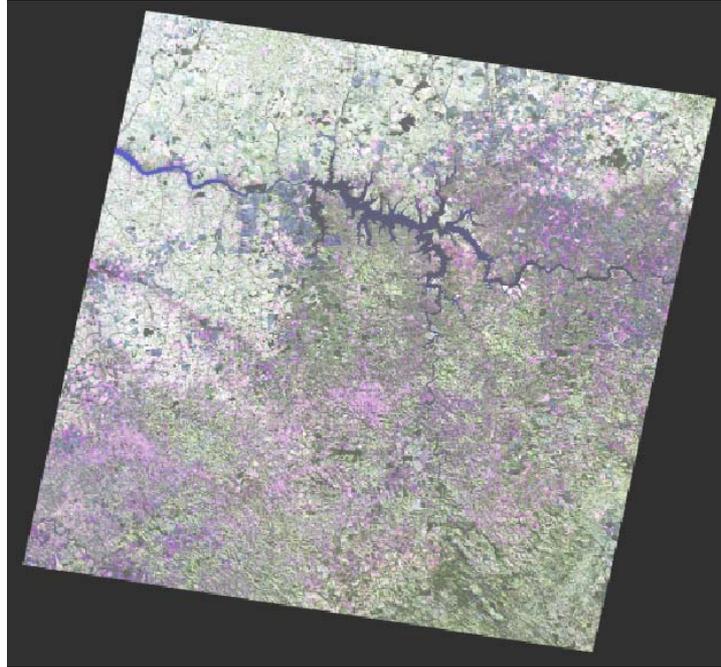


Figura 6.11: Composição colorida 7R/5G/3B

6.3 Transformação IHS

Verificou-se que tal transformação destaca as áreas de interesse, pois realça a diferenciação de cores, como pode ser verificado nas figuras 6.12 e 6.13.

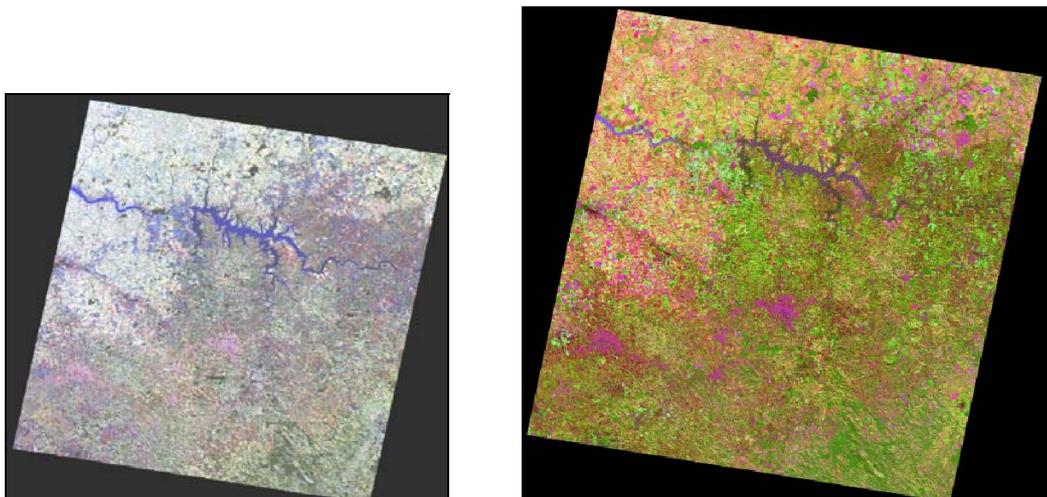


Figura 6.12: Comparação da composição 7R/5G/2B original e IHS

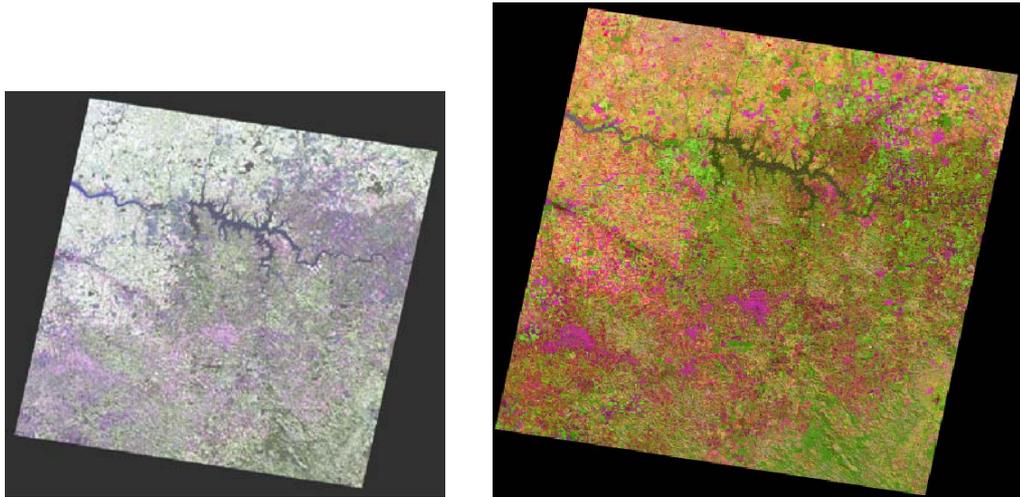


Figura 6.13: Comparação da composição 7R/5G/3B original e IHS

6.4. Comparação com mapa pedológico

Depois de obtidas, as imagens acima apresentadas foram contrastadas com os mapas da região, de modo a verificar a identificação das feições de destaque. Nesta análise, a combinação que se mostrou mais eficaz foi a 7R/5G/3B em IHS. Para a correta comparação das imagens, o mapa foi referenciado e foi destacada exatamente a região referente à cena analisada. Utilizando o aplicativo *ArcMap* foi possível sobrepor as imagens para melhor compará-las. O primeiro passo foi fazer o recorte da cena em questão no mapa pedológico e aumentar sua transparência (para que quando fosse sobreposto à imagem, permitisse a visualização da mesma), figura 6.14. Depois incorporou-se a imagem ao programa *ArcMap* (figura 6.15) e finalmente foi realizada a sobreposição das imagens (figura 6.16).

A figura 6.17 apresenta as duas imagens lado a lado (imagem composta pelo ERDAS e imagem do mapa pedológico) como uma forma alternativa utilizada para a comparação visual.

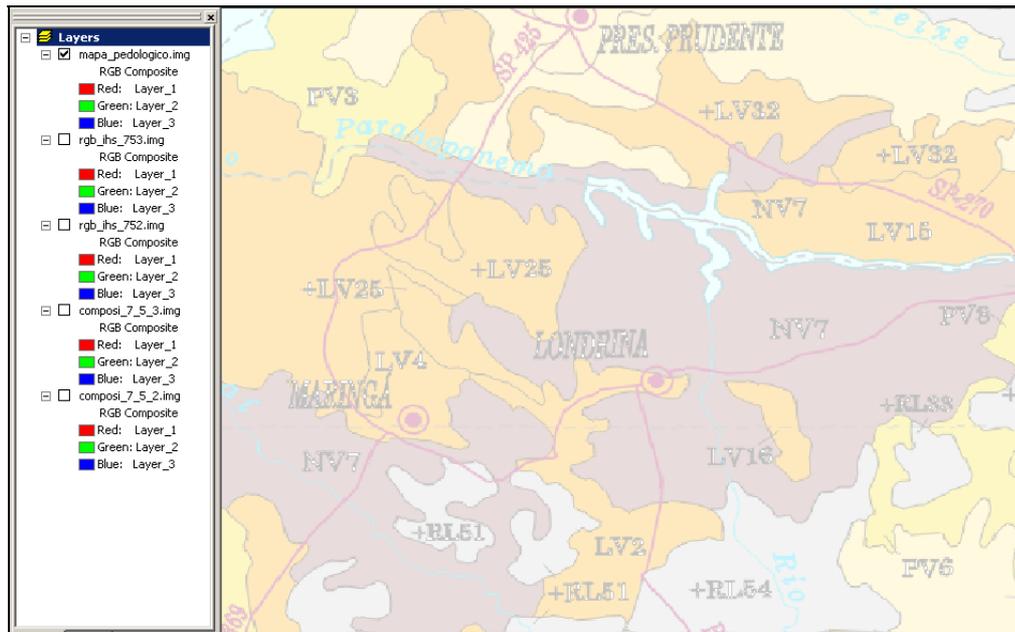


Figura 6.14: Recorte do mapa pedológico com 75% de transparência

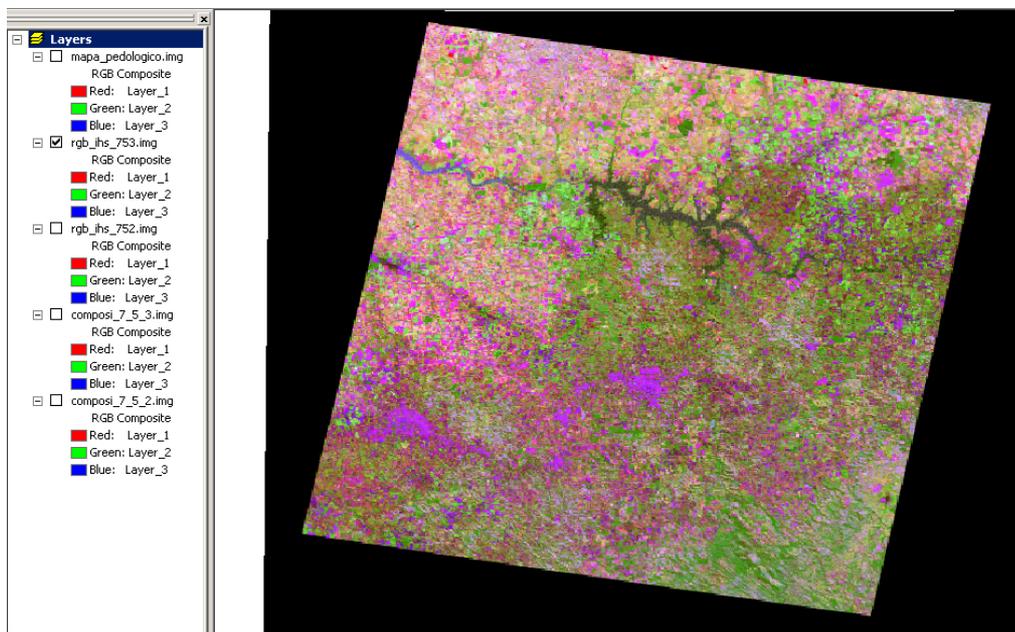


Figura 6.15: Apresentação da imagem analisada (aplicativo ArcMap)

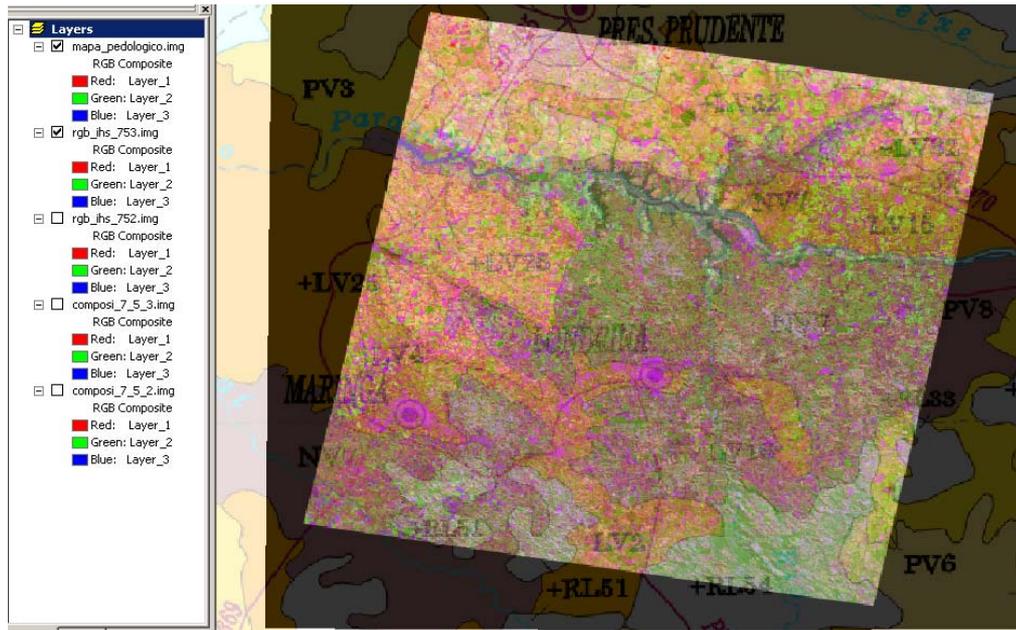


Figura 6.16: Sobreposição das imagens

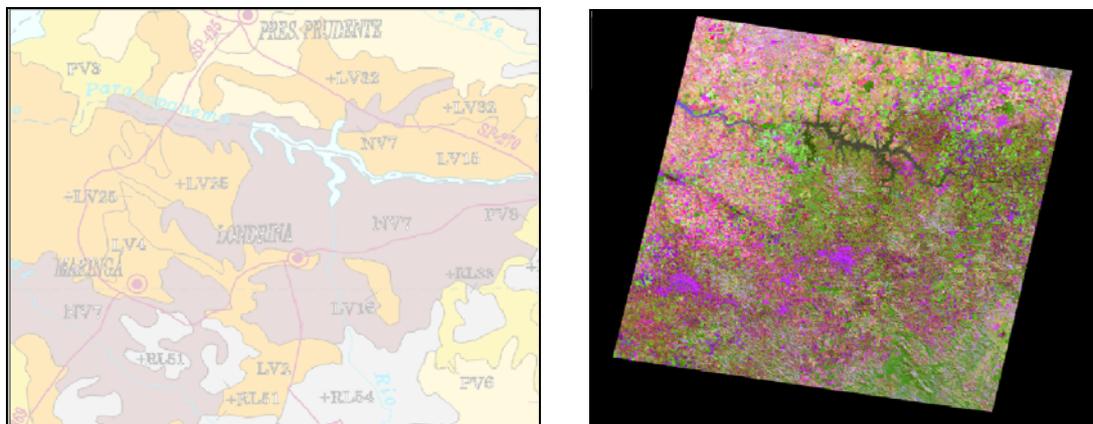


Figura 6.17: Imagens analisadas sem sobreposição

7 CONCLUSÃO

Analisando as imagens obtidas do satélite Landsat e aplicando as técnicas de processamento apresentadas é possível afirmar que:

- Aplicando o realce por equalização de histograma é possível melhorar as características de contraste em todas as bandas analisadas. O aumento de contraste pode ser verificado tanto visualmente quanto pela análise estatística da distribuição dos histogramas.
- As composições coloridas, alocando as cores citadas para as bandas utilizadas, resultam em imagens de cores bastante próximas às observadas pelo sistema visual humano. Além disso, verifica-se que a composição facilita a visualização e identificação das diferentes feições da cena.
- A transformação IHS para as composições analisadas se mostrou bastante eficaz, pois amplifica ainda mais a diferença de cores, tornando a cena mais fácil e compreensível à percepção humana.
- A composição que melhor realçou a cena utilizada foi a transformação IHS 7R/5G/3B.
- A substituição da banda I pelas suas componentes principais e realce das demais bandas no sistema IHS prejudicaram a identificação das feições de solo, uma vez que tornou muito próximas as colorações de áreas com solo e regiões de ocupação urbana.
- A aplicação das técnicas promoveu o destaque nas áreas de ocorrência de nitossolos vermelhos, no entanto foram identificadas áreas em que encaixe não era perfeito entre o tipo de solo esperado e a imagem analisada.
- Os motivos para as possíveis discrepâncias podem ser explicados pela cobertura vegetal – que ajuda a mascarar a resposta do solo em relação à incidência de radiação – à ocupação urbana – que impossibilita a análise visual do solo sobre a qual está alocada – e à escala do mapa – que pode prejudicar a análise por não fornecer informações tão detalhadas em relação ao resultado esperado.

O trabalho alcançou a proposta desejada mostrando que a técnica aplicada é eficaz, mas que na análise é necessário ter um cuidado e um controle bem definido dos dados e das técnicas, para que não ocorram falhas no processo de identificação das feições de solo e classificação das mesmas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARRET, E. C. e CURTIS, L.F. **Introduction to Environmental Remote Sensing**. 2 Ed, Chapman and Hall Ltd. London, 1976.
- CABRAL, W. **Sensoriamento Remoto**. Apostila do Curso de Pós-graduação em Engenharia de Infra-estrutura Aeronáutica do ITA. São José dos Campos, 2005.
- CRACKNELL, A. P. e HAYES, L. W. B. **Introduction to Remote Sensing**. Taylor & Francis Ltd. London, 1987.
- CRÓSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas, Unicamp, 1992. 170 p.
- DIAS, J. **Articulação de Imagens do Satélite Landsat**. 1999. Disponível em: <http://www2.uniderp.br/Atlas/landsat.htm> Acesso em 10 jul. 2005.
- DEMATTE, J.A.M. **Sensoriamento remoto aplicado a solos**. 1999.451f. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- EDEN, M. J., PARRY, J. T. **Remote Sensing and Tropical Land Management**. Montreal, 1983.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Mapa de Solos do Brasil**. 2005. Disponível em: <http://www.embrapa.br> Acesso em 20 out. 2005.
- EPIPHANIO, J.C.N.; FORMAGGIO, A.R.; VALERIANO, M.; OLIVEIRA, J.B. **Comportamento espectral de solos do estado de São Paulo**. São José dos Campos: INPE, 1992. 131p.
- GLOBAL LAND COVER FACILITY. **Landsat Images**. Maryland, 2005 Disponível em <http://gloclf.umiacs.umd.edu/index.shtml> Acesso em 04 out. 2005
- GUPTA, R. P. **Remote Sensing in Geology**. New York, 1991.
- HARRIS, R. **Satelic Remote Sensing: an introduction**. Routledge and Kegan Paul. London, 1987.
- INSTITUTO BRASILEIRO de GEOGRAFIA e ESTATÍSTICA – IBGE. **Mapa Pedológico do Brasil**. 2005. Disponível em: <http://www.ibge.com.br> Acesso em 12 nov. 2005.
- INSTITUTO NACIONAL de PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Imagens do Landsat**. 2005. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/catalogo> Acesso em 18 set. 2005.
- INSTITUTO NACIONAL de PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Manual do Spring**. 2005. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring> Acesso em 18 set. 2005.

- LILESAND, T. M. e KIEFER, R. W. **Remote Sensing: an image interpretation**. New York, 1994. 740 p.
- MASCARENHAS, N. D. A.; VELASCO, F. R. D. **Processamento digital de Imagens**. Rio de Janeiro, 1989.
- NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. São Paulo, 1989.303p.
- RICHARDS, J. A. **Remote Sensing Digital Image Analysis: an introduction**. Berlin, 1993. 340p.
- RUSS, J. C. **The image processing handbook**. Raleigh, 1998. 711p.
- SCHOWENGERDT, R.. A. **Remote sensing, models and methods for image processing**. San Diego, 1997. 522 p.
- SILVA, D. A. **Princípios Físicos de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos, 1995. 69 p.
- SILVA, D. A. **Sistemas sensores Orbitais**. São José dos Campos, 1995. 47 p.
- SLATER, P.N. **Remote Sensing: optics and optical system**. London, 1980, 575 p.
- SOUZA, E. B. **Técnicas de Processamento de Imagens Aplicadas à Localização de Solos Lateríticos**. 1996. 101f. Tese (Mestrado) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.
- VERTAMATTI, E. **Tecnologia de Solos Tropicais**. Apostila do Curso de Graduação em Engenharia de Infra-estrutura Aeronáutica do ITA. São José dos Campos, 1994.

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

^{1.} CLASSIFICAÇÃO/TIPO <p style="text-align: center;">TC</p>	^{2.} DATA <p style="text-align: center;">22 de novembro de 2005</p>	^{3.} DOCUMENTO N° <p style="text-align: center;">CTA/ITA-IEI/TC-009/2005</p>	^{4.} N° DE PÁGINAS <p style="text-align: center;">73</p>				
^{5.} TÍTULO E SUBTÍTULO: Análise da ocorrência e tipo de solos por retorno de rádio frequência							
^{6.} AUTOR(ES): Janine Lima Duarte							
^{7.} INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Divisão de Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica – ITA/IEI							
^{8.} PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: Processamento de Imagens; Solos; Landsat; Realce; Equalização de Histograma							
^{9.} PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: Processamento de imagens; Mapeamento de solos; Técnicas de formação de imagens; Satélites Landsat; Sensoriamento remoto; Engenharia eletrônica							
^{10.} APRESENTAÇÃO: <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 60%;"></td> <td style="width: 20%; text-align: center;">X Nacional</td> <td style="width: 20%; text-align: center;">Internacional</td> </tr> </table> Trabalho de Graduação, ITA, São José dos Campos, 2005. 73 páginas.					X Nacional	Internacional	
	X Nacional	Internacional					
^{11.} RESUMO: <p>O presente trabalho visa apresentar os procedimentos desenvolvidos para a identificação e localização de feições específicas de solos. Desejando-se encontrar latossolos e nitossolos, utilizou-se técnicas de processamento de imagens obtidas por sensoriamento remoto, de modo a comparar com os tipos de solos existentes nas áreas de estudo.</p> <p>A análise foi realizada na área que vai do norte do Paraná ao sul de São Paulo, entre as cidades de Londrina e Assis. Essa região caracteriza-se pela grande ocorrência de nitossolo vermelho.</p> <p>Utilizando procedimentos de realce por equalização de histograma, composição colorida em RGB e transformação para o sistema de cores IHS nas imagens de satélite foram obtidas novas informações, que foram comparadas ao mapa pedológico da região.</p> <p>Para os realces, composições e transformações desejadas utilizou-se imagens (bandas 1 a 8) do sistema sensor ETM+, do satélite Landsat 7. A órbita/ponto da cena analisada é 222/76.</p> <p>Verificou-se que a técnica de equalização de histograma é capaz de aumentar o contraste das imagens analisadas e testando diferentes combinações das bandas realçadas, foi possível verificar que as composições 7R/5G/2B e 7R/5G/3B e transformações IHS equivalentes são úteis na identificação dos solos analisados.</p>							
^{12.} GRAU DE SIGILO: <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 25%;"><input checked="" type="checkbox"/> OSTENSIVO</td> <td style="width: 25%;"><input type="checkbox"/> RESERVADO</td> <td style="width: 25%;"><input type="checkbox"/> CONFIDENCIAL</td> <td style="width: 25%;"><input type="checkbox"/> SECRETO</td> </tr> </table>				<input checked="" type="checkbox"/> OSTENSIVO	<input type="checkbox"/> RESERVADO	<input type="checkbox"/> CONFIDENCIAL	<input type="checkbox"/> SECRETO
<input checked="" type="checkbox"/> OSTENSIVO	<input type="checkbox"/> RESERVADO	<input type="checkbox"/> CONFIDENCIAL	<input type="checkbox"/> SECRETO				