



**UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA**

KLEBER TRABAQUINI

**O USO DO SENSORIAMENTO REMOTO E
GEOPROCESSAMENTO PARA IDENTIFICAÇÃO E
CARACTERIZAÇÃO DE LAVOURAS CAFEIRAS**

Londrina
2009

KLEBER TRABAQUINI

**O USO DO SENSORIAMENTO REMOTO E
GEOPROCESSAMENTO PARA IDENTIFICAÇÃO E
CARACTERIZAÇÃO DE LAVOURAS CAFEIRAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Édison Miglioranza.

Londrina
2009

**Catálogo na publicação elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da Universidade Estadual de Londrina.**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

T758u Trabaquini, Kleber.

O uso do sensoriamento remoto e geoprocessamento para identificação e caracterização de lavouras cafeeiras / Kleber Trabaquini. – Londrina, 2008.

73 f. : il.

Orientador: Édison Miglioranza.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2008.

Inclui bibliografia.

1. Café – Lavoura – Sensoriamento remoto – Teses. 2. Agricultura e tecnologia – Teses. 3. Café – Lavoura – Características físicas – Teses. I. Miglioranza, Édison. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título

CDU 631.4:528.8

KLEBER TRABAQUINI

**O USO DO SENSORIAMENTO REMOTO E
GEOPROCESSAMENTO PARA IDENTIFICAÇÃO E
CARACTERIZAÇÃO DE LAVOURAS CAFEEIRAS**

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Édison Miglioranza
UEL/CCA

Prof. Dr. Valmir de França
AUTÔNOMO

Prof. Dr. Osvaldo Coelho Pereira Neto
UEL/CCE

Prof. Dr. Getúlio Takashi Nagashima
UEL/CCA

Prof. Dr. Claudemir Zucareli
UEL/CCA

Londrina, 06 de Fevereiro de 2009.

DEDICATÓRIA

A minha mãe Valnice e ao meu pai Osvaldo (*in memoriam*), por serem grandes vencedores.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo caminho que tenho trilhado desde os primeiros dias de vida até os dias atuais, e pelas graças e conquistas que tenho recebido.

À minha família, que nunca negou esforços para que eu atingisse os meus objetivos. Começando pela minha mãe Valnice A. G. Trabaquini, que sempre me incentivou, me sustentou e me apoiou nos momentos de tristeza e de felicidade também.

Ao meu grande pai Osvaldo Trabaquini, que sempre me educou de forma que hoje, tenho muito a agradecer pela personalidade e caráter que me deixou. Pelo respeito e ensinamentos que me foram passados em todos seus dias de vida que foram dedicados a mim. Meu pai, é para mim um exemplo de vida e de homem.

À minha irmã Karina Trabaquini, que também sempre me apoiou e me fortaleceu. Eu e minha irmã, conquistamos coisas que, sozinhos não teríamos conseguidos, e tudo que temos hoje, são graças à educação e a dedicação que nossos pais tiveram conosco.

À minha namorada Mariane, que em todo esse período, esteve ao meu lado, me incentivando e me fortalecendo. Nas horas de tristeza, me apoiava e me confortava, e nas horas de felicidade, os gestos de amor por mim.

Ao meu orientador, Édison Miglioranza, pela constante orientação neste trabalho e que já vem ao longo da minha caminhada, me orientando e sendo também um grande amigo desde a minha graduação até os dias atuais.

Ao prof. Valmir de França, que também nunca negou esforços para que eu estivesse alcançado mais este objetivo de minha vida. Por ter se tornado também, um grande amigo e parceiro nos momentos decisivos deste trabalho.

Ao Prof. Osvaldo Coelho Neto, que me ajudou no desenvolvimento deste trabalho, com seus conhecimentos e sua dedicação, colaborando desde o início.

À prof. Ana Odete Santos Vieira, do departamento de Biologia que participou de parte da pesquisa.

À secretária de Pós-graduação da Agronomia, Weda Aparecida Westin, pela eficiência que exerce em seu trabalho.

À Secretaria de Agricultura do município de Londrina, em especial ao Eng. Agrônomo Elton, pelo auxílio nas localizações das lavouras de café.

À regional da Emater de Umuarama, que prestou auxílios também para a localização das lavouras em estudo.

Ao meu amigo Bruno Makino, que colaborou de forma essencial para os trabalhos de campo.

Aos meus amigos, Getúlio Nagashima, Diogo Néia, Danilton Flumignam, Fábio França, Bruno Jubileu, Harold, Leandro entre outros.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos durante todo o período do curso.

Se não puder vencer pelo talento

Vença pelo esforço

Dave Weinbaum

TRABAQUINI, Kleber. **O uso do sensoriamento remoto e geoprocessamento para identificação e caracterização de lavouras cafeeiras.** 2009. 74f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.

RESUMO

A cultura do café destaca-se tanto historicamente no desenvolvimento do Brasil, como atualmente, por ser o maior produtor mundial, participando com uma grande parcela na economia brasileira, e por isso, informações sobre esta cultura devem ser constantemente atualizadas. Para isso, as geotecnologias como o sensoriamento remoto e geoprocessamento são empregados na agricultura e permitem realizar estudos que venham a fornecer dados suficientes para a aquisição de informações. Deste modo, este trabalho teve como objetivo, realizar a espacialização e a caracterização do meio físico das lavouras cafeeiras existentes nos municípios de Londrina e Umuarama, localizados no norte e noroeste paranaense, respectivamente. Foi utilizada a imagem do satélite LANDSAT 5/TM (*Thematic Mapper*) e o *software* SPRING 4.3.3 para processamento das imagens. As bandas 3, 4 e 5 do sensor TM foram restauradas, resultando em imagens de 15m de resolução e posteriormente constituindo a composição colorida RGB, na seqüência TM4, TM5, TM3 que foi utilizada para a identificação das lavouras cafeeiras. Em Londrina, as lavouras foram mapeadas por meio da classificação supervisionada de *Bhattacharya*; já em Umuarama, o cafeeiro foi mapeado utilizando a classificação visual. A imagem do sensor TM possibilitou a execução da classificação visual e conseqüente identificação e mapeamento das lavouras cafeeiras com alta acurácia na região de Umuarama. Já a classificação automática resultou em um mapeamento com 79% de precisão na região de Londrina. Para o estudo do relevo, foram empregados dados da missão SRTM, os quais possibilitaram a geração das curvas de nível eqüidistantes de 20 metros, e posterior conhecimento da altimetria e declividade da região. A Tabulação Cruzada permitiu a quantificação das áreas de café nas diferentes áreas de declive, altitude e solo. Em Umuarama, constatou-se que aproximadamente 99% das lavouras cafeeiras estão localizadas entre 380 e 480 metros de altitude e que 90% destas estão situadas em declividades de até 8% de inclinação. Em relação aos solos, observou-se que 89% dos cafeeiros são cultivados sobre Latossolo Vermelho distrófico, de textura arenosa. No município de Londrina, verificou-se que 86% destas lavouras estão localizadas em altitudes superiores a 540 metros e que 50% destas estão localizadas predominantemente sobre áreas com relevo ondulado, ou seja, de 8 a 20% de declividade. Em relação aos solos, observou-se que os cafeeiros estão localizados preferencialmente, com 53%, em Nitossolo Vermelho eutrófico. Enfim, a utilização do sensoriamento remoto, geoprocessamento e do Sistema de Informação Geográfica SPRING, foram eficientes na avaliação e compreensão dos ambientes cafeeiros e permitiram assim, o levantamento e aquisição de dados que podem auxiliar no processo de planejamento e ações referentes à cafeicultura destes municípios.

Palavras-chave: Café. Umuarama. Londrina. Geotecnologias. LANDSAT 5. Caracterização física. SPRING.

TRABAQUINI, Kleber. **The use of remote sensing and geoprocessing for the identification and characterization of coffee crops**. 2009. 74p. Dissertation (Master Degree in Agronomy) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina 2009.

ABSTRACT

The coffee culture is historically highlighted, as well as currently, in the development of Brazil, for it is the biggest coffee producer in the world, being part of a great deal of the Brazilian economy; and therefore, information about this culture should constantly be updated. For this reason, the geotechnologies, as the remote sensing and geoprocessing, are applied in agriculture and allow studies that supply us with enough data to the acquisition of information. This way, the present work had the objective of making the spatialization and the characterization of the physical environment of the coffee crops in the cities of Londrina and Umuarama, located in the north and northwest of Paraná, respectively. The image of the LANDSAT 5/TM (Thematic Mapper) and the software SPRING 4.3.3 were used for the image processing. The bands 3, 4 and 5 of the sensor TM were restored, which resulted in images of 15m of resolution and, later, creating the color composition RGB, in sequence TM4, TM5, TM3 which was used for the identification of the coffee fields. In Londrina, the fields were mapped through the supervised classification of *Bhattacharya*; in Umuarama, the coffee field was mapped through visual classification. The image of the TM sensor enabled the execution of the visual classification and the consequent identification and mapping of the coffee fields very accurately, in the area of Umuarama. On the other hand, the automatic classification resulted in a mapping with 79% of precision in the area of Londrina. For the relief map study, the data of the SRTM mission were applied, which made possible the generation of equidistant level curves of 20 meters, and knowledge of the altimetry and declivity of the region. The Crossed Tabulation permitted the quantification of the coffee areas in the different areas of slope, altitude and soil. In Umuarama, it was noticed that about 99% of the coffee fields are located between 380 and 480 meters of altitude and that 90% of them are located in declivity of up to 8% of inclination. About the soils, it was observed that 89% of the coffee fields are grown over dystrophic Red Latosol, of sandy texture. In the town of Londrina, it was noticed that 86% of these fields are located in altitudes that are over 540 meters and that 50% of them are mostly located over areas with wavy relief area, in other words, from 8 to 20% of declivity. Related to soils, it was observed that the coffee fields are preferably located, with 53%, in eutroferric Red Nitosol. To sum up, the use of remote sensing, geoprocessing and the Geographical Information System SPRING, were efficient in the evaluation and comprehension of coffee environments and, therefore, permits the collection and the acquisition of data, which can help in the process of planning and acting related to the coffee culture of these towns.

Keywords: Coffee. Umuarama. Londrina. Geotechnologies. LANDSAT 5. Physical characterization. SPRING.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Esquematização das fases fenológicas do cafeeiro nas condições climáticas tropicais do Brasil17
- Figura 2** – Processo de interação da radiação eletromagnética com uma folha ..22
- Figura 3** – Curva de reflectância típica da vegetação.....23
- Figura 4** – O solo 1 é dominado pela matéria orgânica25

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO EM ÁREAS AGRÍCOLAS	15
2.2 ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DO CAFÉ (<i>COFFEA ARABICA L</i>).....	16
2.3 GEOTECNOLOGIAS NA CULTURA CAFEIEIRA	18
2.4 FATORES QUE AFETAM A IDENTIFICAÇÃO DE CULTURAS AGRÍCOLAS	19
2.4.1 Comportamento Espectral da Vegetação.....	21
2.4.2 Comportamento Espectral dos Solos	24
2.5 TRATAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS	25
2.5.1 Técnicas de Pré-Processamento	25
2.5.2 Georreferenciamento.....	26
2.5.3 Realce de Imagem	26
2.5.4 Restauração de Imagem	27
2.5.5 Segmentação de Imagem	27
2.5.6 Classificação de Imagens Digitais.....	28
2.6 CARACTERÍSTICAS DO SATÉLITE LANDSAT 5/TM.....	29
3 ARTIGO A – ESTUDO DO AMBIENTE FÍSICO DO CAFEIEIRO UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, NO MUNICÍPIO DE LONDRINA – PR	30
3.1 RESUMO	30
3.2 ABSTRACT	30
3.3 INTRODUÇÃO	31
3.4 MATERIAL E MÉTODOS	33
3.4.1 Caracterização da Área de Estudo.....	33
3.4.2 Identificação das Lavouras Cafeeiras	34
3.4.3 Declividade e Hipsometria.....	36
3.4.4 Solos	37
3.4.5 Cruzamento dos Planos de Informação	37
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
3.5.1 Identificação das Lavouras Cafeeiras	37

3.5.2 Declividade e Hipsometria.....	41
3.5.3 Solos	44
3.6 CONCLUSÕES	46
4 ARTIGO B – CARACTERIZAÇÃO DE LAVOURAS CAFEIRAS, UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, NO MUNICÍPIO DE UMUARAMA – PR...	48
4.1 RESUMO	48
4.2 ABSTRACT	48
4.3 INTRODUÇÃO	49
4.4 MATERIAL E MÉTODOS	50
4.4.1 Caracterização da Área de Estudo.....	50
4.4.2 Identificação das Lavouras Cafeiras	51
4.4.3 Declividade e Hipsometria.....	53
4.4.4 Solos	54
4.4.5 Cruzamento dos Planos de Informação	54
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
4.5.1 Identificação das Lavouras Cafeiras	54
4.5.2 Declividade e Hipsometria.....	57
4.5.3 Solos	61
4.6 CONCLUSÕES	63
5 CONCLUSÕES GERAIS	65
REFERÊNCIAS.....	66

1 INTRODUÇÃO

Dentre os inúmeros produtos agrícolas cultivados em território brasileiro, destaca-se desde o período colonial o café. Esta cultura instalada inicialmente no Maranhão e posteriormente em extensas áreas de São Paulo, Minas Gerais e Paraná foi responsável pela derrubada de inúmeros hectares de mata atlântica, cerrado e florestas em uma época em que o Código Florestal (Decreto nº23.793/1934) não era respeitado e a necessidade de desenvolvimento era prioritária a qualquer custo. A cafeicultura foi e continua sendo uma das principais culturas que impulsionou o crescimento e o desenvolvimento de diversas regiões brasileiras, como o norte do estado do Paraná, onde a economia esta embasada fortemente na agricultura.

A cultura do café sempre participou de forma expressiva na economia e no desenvolvimento do país. Atualmente o Brasil é o maior produtor e exportador desta “commodity”, sendo responsável por 30% nas exportações mundiais, porém o segundo maior mercado consumidor (ABIC, 2007). Estima-se que a cafeicultura esteja presente em 1700 municípios brasileiros, num total de 300 mil propriedades onde o cultivo de café gera empregos e conseqüentemente renda (CONAB, 2008).

A disponibilidade de informações confiáveis sobre a produção de culturas agrícolas é relevante para os vários setores envolvidos no agronegócio, principalmente daquelas de maior importância econômica no mercado nacional e internacional como, café, soja, milho e cana-de-açúcar. Assim, torna-se de suma importância tanto para o setor privado quanto para o setor público o conhecimento sobre a produção agrícola, sendo utilizado como base para a criação e o planejamento adequado de novas políticas agrícolas.

Devido à grande importância sócio-econômica do setor cafeeiro, o conhecimento da distribuição espacial, a estimativa de área plantada e sua correlação com o meio ambiente, tornam-se indispensável tanto para a previsão de safras quanto para o planejamento agrícola, seja em nível municipal, estadual ou federal.

Para a estimativa de área plantada sobre certa cultura, existem duas alternativas que podem ser utilizadas. A primeira é o convencional questionário

aplicado a campo diretamente aos produtores, com atividades que podem demorar meses, além de um custo elevado. Outra alternativa a ser utilizada é o emprego das técnicas de geoprocessamento aliado ao sensoriamento remoto, que quando comparado ao método convencional, passa a ser muito mais rápido, de baixo custo e de grande confiabilidade.

Com o advento do sensoriamento remoto aplicado à agricultura, houve um expressivo avanço no que diz respeito ao levantamento de dados. A aplicação desta técnica no monitoramento da cultura do café através de sensores remotos foi realizada por Tardin et al. (1992), utilizando imagens do sensor TM (*Thematic Mapper*) do LANDSAT 5. Com o lançamento de satélites, como SPOT, IKONOS e ALOS, os trabalhos estão adquirindo maior acurácia, devido à disponibilidade de sensores de melhor resolução espectral, espacial e temporal. Para Ippoliti-Ramilo et al. (1999), os dados de sensoriamento remoto são, hoje em dia, a maneira mais objetiva e precisa no levantamento de dados de cobertura da terra e por isso vêm sendo cada vez mais aplicados nas estimativas de área plantada.

O município de Londrina é o segundo maior produtor em área de café atualmente no estado do Paraná e Umuarama possui apenas o 47º lugar no ranking paranaense, porém sabemos que esta cultura, em ambos os municípios, já teve importantes participações na base econômica dos mesmos e nos dias atuais o cafeeiro compete com outras culturas como soja e milho principalmente. Além das importâncias econômicas, pesquisas anteriores, como a de Schimdt (2008), mostram que existem diferenças entre a classificação das bebidas originadas de solos argilosos e arenosos, porém necessita de informações geográficas sobre o ambiente físico destas lavouras, informação esta que será obtida nesta pesquisa. Por essa razão, o desenvolvimento de uma metodologia embasada na utilização do sensoriamento remoto aliado ao geoprocessamento para monitorar de forma eficiente o Agroecossistema Cafeeiro, necessita de estudos para identificar métodos que possam vir a atender aos objetivos de uma forma técnica sem perder o rigor científico.

A partir das considerações supracitadas, este estudo teve como objetivo realizar o mapeamento e a quantificação da ocupação de áreas cafeeiras utilizando técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, nos municípios de Londrina e Umuarama, situados no norte e noroeste do Estado do Paraná,

respectivamente, e avaliar a correlação das características da cafeicultura com o meio físico, o qual é considerado fator condicionador da capacidade de uso das terras de uma região.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO EM ÁREAS AGRÍCOLAS

Atualmente diversos estudos têm sido conduzidos através do emprego de geotecnologias, utilizando como ferramentas principalmente o sensoriamento remoto, o Sistema de Informações Geográficas (SIG) e o Global Positioning System (GPS). E a agricultura é uma das áreas que vem se beneficiando com a aplicação destas tecnologias, auxiliando no planejamento de muitas atividades deste setor e contribuindo com a precisão dos dados e a confiabilidade das informações.

Segundo Novo (1995), o sensoriamento remoto pode ser entendido como a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamentos e para transmissão de dados, aeronaves, espaçonaves, satélites, entre outros, cujo objetivo é estudar e caracterizar os alvos naturais existentes no ambiente terrestre através da energia radiante, refletida ou emitida por estes.

Integrado também às geotecnologias, o Sistema de Informação Geográfica (SIG), auxilia na geração de mapas a partir de imagens de satélites e podem ser relacionados a outras informações como solos e relevo com o objetivo de construir uma base de dados sobre uma área de estudo ou certa cultura agrícola (FORMAGGIO et al., 1992). Assim, o geoprocessamento vem se tornando uma opção, frente às necessidades referentes ao monitoramento, caracterização, planejamento e tomada de decisão relativa ao espaço geográfico (SAIZ; FILHO, 1997; GAUSMANN; FITZ, 1999).

Para contribuir na orientação espacial de roteiros dos trabalhos de campo, é utilizado o GPS, que auxilia na identificação precisa de pontos e localidades e na demarcação de áreas agrícolas. Este sistema é constituído por 24 satélites, divididos em seis diferentes órbitas circulares de 12 horas de duração, a cerca de 20.200 km de altitude. Tais satélites estão colocados em órbita de tal modo que qualquer ponto da Terra estará sempre visível para seis deles, possibilitando então a triangulação e formação das coordenadas de latitude e longitude, dados de altimetria e de horário local (FERREIRA, 2008).

Segundo Vieira et al. (2000), além do sensoriamento remoto permitir extrair informações como, características do plantio, área ocupada e monitoramento temporal da cultura devido à cobertura temporal dos satélites, esta tecnologia também permite o estudo do meio físico, como solo e relevo, bem como estudos sobre a ocupação do solo, possibilitando serem realizados de modo mais eficientes e rápidos, com o uso desta ferramenta.

Assim, Pino (2001) ressalta que os levantamentos de dados agropecuários a partir de geotecnologias, em comparação a outras formas de levantamento, têm como vantagens a rapidez e a precisão, além do baixo custo, quando utilizado em larga escala. Além disso, o caráter repetitivo da aquisição de imagens pelos satélites possibilita a atualização periódica da ocupação da superfície de interesse, sendo, portanto, uma ferramenta eficaz para análise do uso do solo e mensuração de áreas.

2.2 ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DO CAFÉ (*COFFEA ARABICA L.*)

O café é uma planta nativa da África, dicotiledônea, perene, de clima tropical, pertencente à família das *Rubiaceas* e ao gênero *Coffea*. Dentre as espécies cultivadas, o *Coffea arabica* (café arábica) e o *Coffea canephora* (café robusta) são as mais comercializadas no mercado internacional, detendo aproximadamente 70% e 30% desse mercado, respectivamente. Para Matiello (2005), a espécie mais valorizada comercialmente é a arábica, devido ao seu aroma e sabor; e por isso, cerca de 74% do parque cafeeiro nacional é ocupado por esta espécie.

Quanto à fenologia, as lavouras de café apresentam floradas principais no início de setembro em regiões com temperaturas mais elevadas, porém em regiões com temperaturas médias anuais inferiores a 20°C, como é o caso das regiões de Franca (SP), Machado (MG) e Londrina (PR), a florada principal é um pouco mais tardia, ocorrendo no final de setembro e no início de outubro (CAMARGO; CAMARGO, 2001).

Segundo Camargo e Camargo (2001), para atingir o estágio fenológico de frutificação, o cafeeiro exige dois anos (Figura 1), fator que o difere da

maioria das plantas agricultáveis, que completam seu ciclo produtivo em um ano. De acordo com Matiello (1991), no período de vegetação e frutificação o cafeeiro é exigente em água e na fase de colheita a exigência é menor permitindo inclusive a ocorrência de pequena deficiência hídrica, sem grandes prejuízos para a planta. Além disso, curtos períodos de seca parecem ser importantes para o crescimento das raízes, maturação dos ramos formados na estação chuvosa e principalmente para a diferenciação floral e maturação dos frutos.

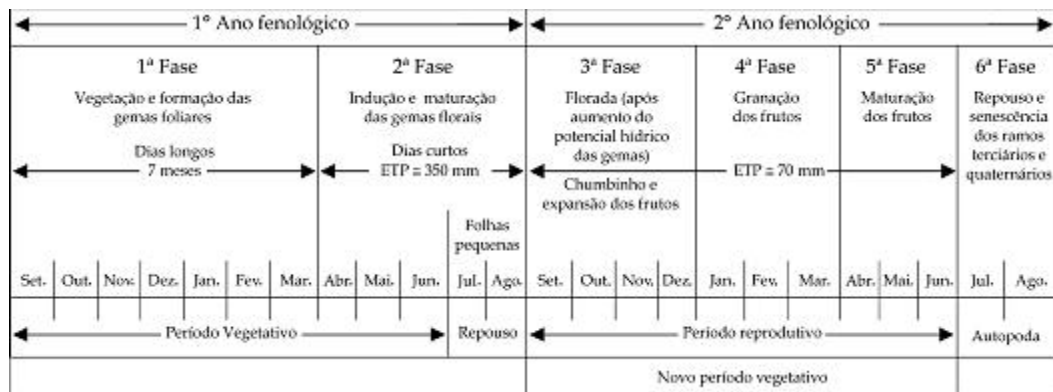


Figura 1 – Esquematização das fases fenológicas do cafeeiro nas condições climáticas tropicais do Brasil.

Fonte: Camargo e Camargo (2001)

Matiello (1991) relata que uma pluviosidade anual de 1200 mm pode ser considerada adequada para o bom desenvolvimento do café arábica. Quando a deficiência hídrica for maior do que 150 mm e as temperaturas médias forem superiores a 23°C, áreas destinadas ao plantio que se enquadram neste perfil são consideradas inaptas, uma vez que restringem a frutificação, resultando em baixa produtividade.

Com relação à safra nacional de café (2006/2007), esta resultou em uma produção de 33,7 milhões de sacas de café beneficiadas, onde tivemos uma área cultivada de 2,3 milhões de hectares. Desse total, 91,5%, (2,1 milhões de hectares) estão em produção e os 8,5% (192,6 mil hectares) restantes estão em formação (CONAB, 2008).

No estado do Paraná a produção colhida (2006/2007), foi de 1,6 milhões de sacas de café beneficiadas, ocupando o 5º lugar no ranking de produção e participando com 4,8% da produção nacional, ficando atrás de Minas Gerais,

Espírito Santo, São Paulo e Bahia. A área plantada de café arábica no Paraná foi de 105.650 ha, sendo que deste total, 94,97% estão em produção, e o restante, 5,03% estão em formação, não havendo registro de produção comercial de café robusta neste estado (CONAB, 2008). O município de Londrina-PR, localizado no norte do estado teve uma área cultivada estimada em 5.103 ha, já o município de Umuarama-PR, localizado a noroeste, registrou uma área de 635 ha desta cultura (SEAB, 2008).

2.3 GEOTECNOLOGIAS NA CULTURA CAFEIEIRA

As geotecnologias como o SIG e o sensoriamento remoto, podem facilitar a avaliação da distribuição das áreas cafeeiras, com a quantificação e o entendimento das relações entre os sistemas de produção e o ambiente físico, pois o SIG permite o cruzamento de dados espaciais, possibilitando a caracterização de ambientes e as imagens de satélite, a coleta de informações periódicas em áreas agrícolas auxiliando no planejamento racional desta atividade (SANTOS; ALVES, 2007).

Por meio de técnicas de geoprocessamento, Alves et al. (2003), realizaram estudos em áreas cafeeiras, na região sul de Minas Gerais, com o objetivo de levantar informações sobre o meio físico e gerar mapas temáticos dos componentes deste agrossistema. Através de um SIG, criou-se um banco de dados com as imagens do sensor LANDSAT 5/TM na área de interesse. Técnicas de geoprocessamento foram empregadas para obter mapas de declividade e solos. Os mapas temáticos elaborados, associados às informações da cultura cafeeira, permitiram avaliar a correlação das características da cafeicultura com o meio físico. A metodologia utilizada mostrou-se eficiente para caracterizar este agroecossistema, resultando em informações suficientes para subsidiar o planejamento e o gerenciamento racional deste setor.

Com o objetivo de melhorar a identificação da cultura cafeeira em relação aos demais alvos em uma região de Minas Gerais, Moreira et al. (2004) elaboraram uma análise espectral temporal da cultura do cafeeiro utilizando imagens LANDSAT TM. Foram utilizadas sete imagens, sendo três do ano de 1999 e quatro de 2001 e analisadas as imagens das bandas canais 3 (0,63 - 0,69 μm), 4 (0,76 -

0,90 μm) e 5 (1,55 - 1,75 μm) do sensor TM. Realizou-se o pré-processamento das imagens com o realce, registro e recorte da área de estudo. Os autores concluíram que imagens coletadas no período seco, entre julho e setembro, foram mais eficientes no mapeamento de lavouras cafeeiras em formação e produção. A resposta dos alvos na imagem da banda 4 foram as que melhor permitiram a separação entre café e demais culturas nesta época do ano.

Santos e Alves (2007) realizaram estudos sobre a caracterização do ambiente cafeeiro, com o tipo de solo e o relevo em quatro municípios do sul de Minas Gerais, utilizando imagens do satélite SPOT-5 aliada às técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. Para os autores, os resultados foram satisfatórios e concluíram que a utilização de imagens de alta resolução, dados de modelo numérico obtido pela missão espacial SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) e do SIG – SPRING foram satisfatórios para o mapeamento e a caracterização de ambientes cafeeiros nos municípios estudados.

Em estudos realizados por Bertoldo et al. (2003), na região de São Sebastião do Paraíso, MG, o geoprocessamento e produtos de sensoriamento remoto orbital foram utilizados para gerar um banco de dados digital, implementado no software SPRING, a fim de caracterizar o meio físico das áreas ocupadas pela cultura do café. Mapas de uso do solo foram gerados a partir de imagens do satélite LANDSAT 7/TM, e através de cartas planialtimétricas da região, foi gerado o mapa de declividade, o qual foi correlacionado com as classes de solo da área. Segundo os autores, o geoprocessamento permitiu a caracterização do agroecossistema cafeeiro, quantificando a ocupação da cafeicultura nas unidades ambientais de relevo e solo, mostrando-se uma metodologia eficiente tanto em termos de economia de tempo quanto de recursos.

2.4 FATORES QUE AFETAM A IDENTIFICAÇÃO DE CULTURAS AGRÍCOLAS

Sabe-se que vários fatores podem interferir ou interagir em estudos dirigidos à identificação de uma cultura. Assim, o cafeeiro pode vir a sofrer influências de certos elementos interferindo na reflectância da cultura. Características da lavoura, como espaçamento, estágio de desenvolvimento, face do

relevo, sombra, declividade, tipo de solo e tratos culturais, resultam em diferentes valores de radiância e de comportamento espectral do dossel. Segundo Leonardi (1990), o sensoriamento remoto é um meio potencial para aquisição de informações relativas à cafeicultura, devido ao seu formato multiespectral e repetitividade no tempo e espaço, quando comparado à fotografia aérea. Porém, em termos de observações por sensores remotos, devido a sua heterogeneidade, esta cultura apresenta diversas características típicas da complexidade, apresentando variabilidade em todos os parâmetros culturais que influenciam na resposta espectral (EPIPHANIO et al., 1994).

Para Goel (1988) a radiação solar incidente sobre um dossel é espalhada e refletida, tendo sua direção e composição espectral alteradas de maneira bastante complexa. Essa alteração é causada tanto por parâmetros inerentes ao próprio dossel, como fenologia, distribuição espacial, densidade, estado nutricional da planta, fertilidade dos solos, quanto por fatores externos, como condições atmosféricas, ângulo zenital do Sol, ângulo de visada dos sensores do satélite etc. Ou seja, a energia refletida oriunda de um dossel, que é detectada pelos sensores remotos, não pode ser apenas representada por características intrínsecas desse dossel, mas também de interferências externas (PONZONI, 2001).

Ainda segundo Richardson et al. (1975) e Kollenkark et al. (1982), os dosséis de culturas agrícolas, apresentam alguns fatores que interferem na reflectância da vegetação, como: espaçamento das fileiras, morfologia do dossel, diâmetro da copa da planta, altura da planta, teor de água na planta e no solo, condições fitossanitárias, entre outros fatores. Para Ranson et al. (1984), as vegetações ou culturas plantadas em fileiras, apresentam geralmente cenas compostas de vegetação e solo exposto, variando esta proporção sazonalmente com o crescimento da cultura. Ahlrichs e Bauer (1983) comentam que o solo exposto contribui mais fortemente na reflectância do dossel quando as culturas estão no período inicial de desenvolvimento.

Leonardi (1990) avaliou a influência dos parâmetros culturais do café sobre sua resposta espectral. Os resultados revelaram que os parâmetros relativos às características da planta (altura, ano e poda, porcentagem de cobertura do terreno, idade, vigor vegetativo e tipo de poda) são mais bem correlacionados com a reflectância do cafezal do que parâmetros relativos às características do substrato (porcentagem de cobertura nas entrelinhas, matéria orgânica, plantas daninhas, solo

exposto) ou da geometria (orientação das fileiras de plantio, declividade e orientação de declive). A análise de regressão múltipla evidenciou a influência predominante dos parâmetros, altura da planta e porcentagem de cobertura do terreno na resposta espectral do dossel cafeeiro.

Segundo Cotter e Tomczak (1994), um fator que pode restringir o uso das imagens de sensoriamento remoto é a interferência de nuvens, principalmente para a agricultura, pois a época chuvosa é, em geral, também o período de desenvolvimento da maioria das culturas, o que dificulta a obtenção de imagens livres de nuvens. É essencial que as imagens contenham baixa ou nenhuma cobertura de nuvens, que, segundo a FAO (1996), não deve exceder 5% ou 10%. Assim, não é necessário que a imagem esteja totalmente livre destas, pois na imagem, a área de estudo pode não sofrer interferências devido a sua localização, conseqüentemente estando apta ao uso, para isso, pode-se recorrer à avaliação da cena utilizando-se o Quick Look, o qual permite verificar se o quadrante de interesse esta livre de nuvens.

2.4.1 Comportamento Espectral da Vegetação

Devido à grande área exposta à radiação incidente e também às suas propriedades de reflexão, transmissão e absorção de radiação eletromagnética, as folhas são os principais órgãos responsáveis pelo comportamento espectral do dossel. Na Figura 2 está representado o processo de interação da radiação eletromagnética com uma folha, onde pode ser observada a energia incidente (I), a absorvida (A), a transmitida (T) e a refletida (R).



Figura 2 – Processo de interação da radiação eletromagnética com uma folha. I- energia incidente; R- energia refletida; A- energia absorvida e T- energia transmitida.

Fonte: CCRS (1999).

Os constituintes da folha, considerados os mais importantes sob o ponto de vista da interação com a radiação são: celulose (encontrada nas paredes celulares), solutos (íons e moléculas), espaços intercelulares e pigmentos existentes dentro dos cloroplastos (carotenóides, clorofila e antocianina). O comportamento espectral de uma folha é função de sua composição, morfologia e estrutura interna. Desde que as características da folha são geneticamente controladas, existirão diferenças no comportamento espectral entre grupos geneticamente distintos (PONZONI, 2001). Gausman (1985) complementa que além desses constituintes, existem outros fatores que afetam a energia refletida pelas folhas, como conteúdo de água, maturação ou idade da folha, posição nodal, condição de iluminação (folhas expostas ao sol e folhas constantemente à sombra) e senescência.

Segundo Liu (2006), o comportamento espectral de uma folha pode ser dividida em três categorias. Na primeira, a região do visível que compreende a faixa de 0,5 a 0,75 μm , é responsável por 90% de absorção da radiação pelos pigmentos, 2% de transmitância e 8% de reflectância. A segunda categoria, a região do infravermelho próximo que compreende a faixa de 0,75 a 1,35 μm , apresenta 55% de reflectância, que é afetada pela estrutura interna da folha, 40% de transmitância e 5% de absorção. A terceira categoria é a região do infravermelho de ondas curtas, compreendendo a faixa de 1,35 a 2,5 μm , que é responsável pela

absorção de radiação pela presença de água com os picos em 1,45 μm (65%) e 1,95 μm (85%).

Na Figura 3, é apresentada a curva de reflectância espectral de uma folha sadia. Nela pode-se observar que a reflectância varia em função do comprimento de onda, com regiões do espectro mais significativas e distintas nos comprimentos de onda do visível, do infravermelho próximo e do infravermelho médio. Pode-se observar que a folha da planta também absorve e transmite a radiação incidente, dependendo do comprimento de onda da radiação.

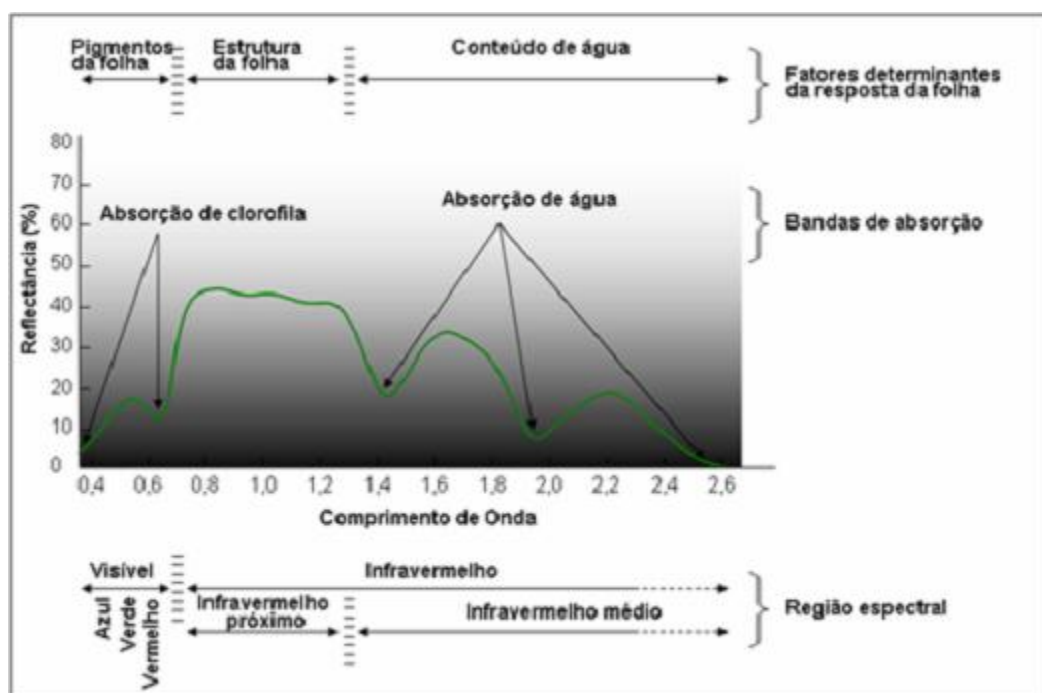


Figura 3 – Curva de reflectância típica da vegetação: pigmentos da folha que absorvem no visível; alta reflectância no infravermelho próximo devido à estrutura da folha; picos de absorção no infravermelho médio devido à água.

Fonte: Modificada de Swain e Davis (1978)

Observando uma imagem de satélite referente à região do visível, os dosséis apresentam tonalidade escura por causa da baixa reflectância da radiação nessa faixa espectral, em função dos pigmentos fotossintetizantes. Nas imagens da região do infravermelho próximo, esses mesmos dosséis deverão apresentar-se com tonalidade clara e em imagens do infravermelho de ondas curtas os tons de cinza são intermediários entre o escuro das imagens do visível e o claro daquelas do infravermelho próximo (PONZONI, 2001).

2.4.2 Comportamento Espectral dos Solos

Devido aos diferentes tipos de solos encontrados em nossa superfície terrestre, é importante ter o conhecimento de suas propriedades físicas, químicas e biológicas, uma vez que, servindo como substrato, a radiação eletromagnética interage com os diversos fatores que constituem os solos, interferindo também na resposta espectral dos objetos estudados.

Segundo Moreira (2005), os parâmetros do solo que influenciam a radiação refletida da superfície são vários, porém os mais importantes são os óxidos de ferro, a umidade, a matéria orgânica, a granulometria e a capacidade de troca catiônica.

À medida que o teor de matéria orgânica do solo aumenta, a reflectância deste decresce no intervalo de comprimento de onda de 0,4 a 2,5 μm (HOFFER; JOHANNSEN, 1969), em termos gerais este fato pode ser explicado pela alta absorção da radiação pelo carbono orgânico presente na matéria orgânica dos solos. Outro importante fator é o teor de argila e a capacidade de troca de cátions, que apresentam uma correlação negativa com os valores de reflectância dos solos, ou seja, quanto maiores estes percentuais, menores serão a radiação refletida (MENESES; MADEIRA NETTO, 2001).

O conteúdo de óxido de ferro do solo pode causar uma diminuição da reflectância de até 40% na faixa do visível, devido à energia absorvida por estes elementos presentes no solo, como a hematita (Fe_2O_3) e goetita ($\text{Fe}_2\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$). A alta reflectância do solo arenoso no intervalo de 0,4 a 0,86 μm é causada pelos baixos teores de óxidos de ferro e da textura grossa do solo. Já os solos de textura fina, tais como os solos argilosos, estão associados à menor reflectância, por possuírem altos teores de matéria orgânica e umidade (LIU, 2006). Segundo Hoffer e Johannsen (1969), a água presente no solo, aumenta a absorção da radiação eletromagnética, conseqüentemente fazendo com que a reflectância do solo decresça na região do visível e do infravermelho próximo ao espectro eletromagnético, quando comparado ao seu estado seco.

De maneira geral, a reflectância dos solos argilosos é normalmente inferior à dos solos arenosos (MYERS; ALLEN, 1968). Montgomery (1976) relata que o aumento do conteúdo de argila provoca forte atração do vapor de água na

superfície do solo, resultando em forte absorção nos comprimentos de onda na região de 0,5 a 0,7 μm e ao redor das bandas de absorção de 1,4, 1,9 e 2,2 μm .

A Figura 4 demonstra as curvas espectrais de diferentes tipos de solo, podendo se observar o comportamento e reflectância de cada um deles.

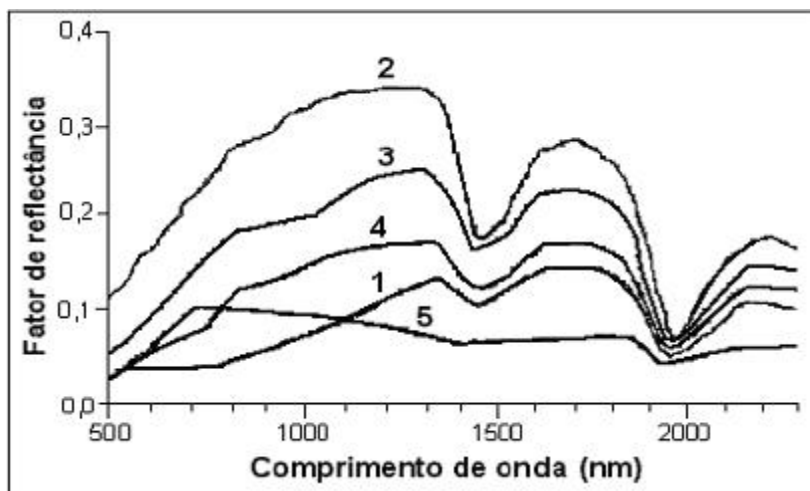


Figura 4 – O solo 1 é dominado pela matéria orgânica, com teor superior a 20 g kg^{-1} . O solo 2 possui baixo teor de matéria orgânica ($< 20 \text{ g kg}^{-1}$) e médio teor de óxido de ferro (1 a 4% de Fe_2O_3). O solo 3 é afetado por óxidos de ferro ($> 4\%$ de Fe_2O_3) e baixo teor de matéria orgânica. O solo 4 possui alto teor de matéria orgânica e o solo 5 apresenta alto teor de óxidos de ferro.

Fonte: Stoner e Baungardner (1981).

2.5 TRATAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS

2.5.1 Técnicas de Pré-Processamento

Segundo Crósta (1992), imagens geradas por sensores remotos estão sujeitas a uma série de distorções geométricas, necessitando de um processamento prévio para correção dos dados. Todas as operações de pré-processamento são direcionadas para restaurar as imagens adquiridas com os esforços de remover os efeitos dos ruídos causados pelas interferências atmosféricas e as limitações dos sistemas de satélite, a curvatura do globo,

desgastes dos sensores em movimento e degradação dos sensores e deslocamento do satélite no espaço durante o tempo do seu funcionamento. Pelos processos de eliminação desses efeitos, os dados são restaurados em uma região específica sob condições atmosféricas semelhantes (LIU, 2006). Por isso as imagens necessitam passar por técnicas de pré-tratamento que visam transformar os valores digitais brutos em valores digitais calibrados, fornecendo assim valores corretos e precisos.

2.5.2 Georreferenciamento

O procedimento de georreferenciamento consiste em associar cada *pixel* na imagem a uma coordenada baseada em um modelo de projeção terrestre, desta forma associando cada ponto da imagem a uma latitude e uma longitude. Este procedimento é realizado por meio de funções matemáticas que executam esta correção nas imagens orbitais (LILLESAND; KIEFER, 1999).

Essa transformação tem por finalidade eliminar as distorções existentes na imagem, causadas pela diferente resolução espacial e pelo deslocamento do satélite com o tempo. Na acurácia do georreferenciamento deve-se levar em consideração a escala de trabalho, mas geralmente esta precisão deve ser menor que a resolução de um pixel de determinado sensor do satélite. No caso de ocorrer erro nesta etapa acima de um pixel, devem ser acrescentados mais pontos de controle para melhorar sua exatidão (LIU, 2006).

2.5.3 Realce de Imagem

O contraste ou realce de imagem é utilizado para aumentar a discriminação visual entre os objetos presentes na imagem, diminuindo assim os efeitos do sombreamento causado pelo ângulo de elevação solar, que dependendo do período do ano este ângulo pode ser alto, como nos verões e baixo no inverno, interferindo na identificação dos objetos na imagem. Considerando como exemplo uma imagem em 8 bits ou 256 níveis de cinza (NC), o realce consiste em deslocar

os valores de níveis de cinza mais altos (mais claros) para próximo de 255 e os valores mais baixos próximos de zero (LILLESAND; KIEFER, 1999; MATHER, 1999; MOREIRA, 2005).

2.5.4 Restauração de Imagem

Geralmente as degradações ocasionadas pelos sensores acarretam em imagens com qualidade reduzida, conseqüentemente reduzindo os níveis de detalhe dos alvos na cena. Para corrigir esse efeito, que é comum em imagens obtidas por sensores que já estão em operação por um longo tempo, aplica-se o procedimento de restauração de imagens. A restauração pode ser entendida como o procedimento aplicado nas imagens para eliminar essas degradações inerentes ao desgaste do sensor ao longo do tempo e gerar uma nova imagem com qualidade superior à original (FONSECA, 1988; MATHER, 1999).

Segundo Moreira (2005), a imagem resultante do processo de restauração pode ter o tamanho do pixel igual ou menor ao do pixel da imagem original, porém em áreas agrícolas, o objetivo é que a imagem restaurada tenha o pixel menor do que a original, pois com isto, a visualização da imagem é melhorada.

2.5.5 Segmentação de Imagem

A segmentação de uma imagem é o processo pelo qual um grupo de *pixels* são agrupados em regiões onde os valores destes são próximos uns dos outros, ou seja, são agrupamentos espectrais homogêneos na imagem que possuem *pixels* com características similares (forma, textura e parâmetros espectrais) (GONZALES; WOODS, 2000). A partir da segmentação de uma imagem pode-se iniciar a definição de padrões ou de classes a serem discretizadas. Além disto, a segmentação tem como objetivo evitar a subjetividade do analista, como pode ocorrer nas classificações supervisionadas (MOREIRA, 2005).

Os algoritmos utilizados para dividir a imagem em regiões espectralmente homogêneas, implementados no SPRING, são dois: crescimento de regiões e detecção de bacias. Para áreas agrícolas e com vegetação natural, o segmentador mais utilizado e que tem mostrado bom desempenho é o crescimento por regiões (MOREIRA, 2005).

O segmentador por crescimento de regiões baseia-se em dois limiares, os quais são introduzidos pelo analista: o de similaridade e o de área. O limiar de similaridade é um parâmetro que indica a diferença máxima de nível de cinza (NC) que um dado *pixel* da imagem pode assumir em relação ao NC médio da classe em consideração. Em outras palavras, se a diferença do valor do NC do *pixel* for menor ou igual ao valor do limiar, o *pixel* é agrupado a essa região, caso contrário, o *pixel* é agrupado a outra região (ADAMI, 2003). Em síntese, pode-se dizer que a similaridade serve como regra de decisão para associar ou não um *pixel* da imagem a uma dada região. O limiar de área é utilizado para limitar o tamanho mínimo da área na imagem que deve ser individualizada (INPE, 2007).

2.5.6 Classificação de Imagens Digitais

De acordo com Lillessand e Kiefer (1999), a classificação digital tem o objetivo de se relacionar um grupo de *pixels* com a real utilização a que se refere na imagem do sensor, ou seja, atribui-se a cada um destes grupos uma classe que irá representar este objeto no mundo real.

Fonseca (2000) explica que existem dois grupos de classificadores automáticos disponíveis: a) classificador não supervisionado, onde os *pixels* de uma imagem são associados a uma classe espectral sem conhecimento prévio do usuário; b) classificador supervisionado, em que o especialista seleciona amostras das classes identificadas na imagem, que normalmente são descritas por parâmetros estatísticos estimados pelas amostras de treinamento.

Os métodos de classificação supervisionada se baseiam na disponibilidade prévia de amostras representativas, identificadas na imagem, para cada classe de interesse (MATHER, 1999). Fonseca (2000) comenta que o êxito da classificação e, conseqüentemente, a separabilidade de classes está relacionada diretamente com a qualidade de aquisição e a quantidade das amostras de treinamento. Estas devem ser significativamente diferentes para cada um dos alvos,

evitando *pixels* com muita mistura espectral. As classes pré-definidas para a classificação da imagem normalmente representam uma simplificação da realidade terrestre. A mistura extremamente variável de uma série de objetos reais em um mesmo pixel influencia negativamente no resultado da classificação.

A classificação supervisionada de *Bhattacharya* utiliza amostras partindo de uma imagem segmentada para treinar o classificador, calculando a média e matriz de covariância de cada classe. Em seguida, cada segmento é alocado a uma dessas classes segundo a menor distância de *Bhattacharya*, visando aperfeiçoar o mapeamento final (BINS et al., 1996). Para Góes et al, (2006), o classificador que apresenta o melhor desempenho, discriminando os diferentes tipos de alvos, é aquele que utiliza uma imagem segmentada.

Segundo Leão et al. (2007), o classificador *Bhattacharya* possui melhor valor de precisão da classificação em uma área de estudo bastante heterogênea, quando comparados com outras metodologias como, *Maxver* ou *Isoseg*, podendo assim gerar resultados de maior confiabilidade.

2.7 CARACTERÍSTICAS DO SATÉLITE LANDSAT 5/TM

O satélite LANDSAT 5/TM lançado no ano de 1984, opera com o sensor TM (*Thematic Mapper*) a uma altitude de 705 km, em sete bandas espectrais, sendo três na região do visível, três na região do infravermelho refletido e uma na região termal (Tabela 1). A largura de faixa imageada é de 185 km. A resolução espacial do sensor que opera nas regiões do visível e infravermelho refletido é de 30 m x 30 m e a do sensor da região do termal é de 120 m x 120 m e possui uma resolução temporal de 16 dias.

Tabela 1 – Características espectrais e espaciais do sensor TM

Banda	Faixa espectral	Região do espectro
1	0,42 - 0,52 μm	Azul
2	0,52 - 0,60 μm	Verde
3	0,63 - 0,69 μm	Vermelho
4	0,76 - 0,90 μm	IV próximo
5	1,55 - 1,75 μm	IV médio
6	10,4 - 12,5 μm	IV termal
7	2,08 - 2,35 μm	IV médio

Fonte: Moreira (2005).

3 ARTIGO A: ESTUDO DO AMBIENTE FÍSICO DO CAFEIEIRO UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, NO MUNICÍPIO DE LONDRINA – PR

3.1 RESUMO

O uso do sensoriamento remoto orbital e do geoprocessamento representam atualmente uma ferramenta de apoio e de grande valia para os levantamentos de dados da agricultura. O presente trabalho teve por objetivo estudar a distribuição e a caracterização do meio físico do Agroecossistema Cafeeiro, através do auxílio de geotecnologias, no município de Londrina, localizado no norte do estado do Paraná, Brasil; utilizando imagens do satélite LANDSAT 5/TM, aliadas às técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. Foi criado um banco de dados com informações de altimetria, declividade e classes de solos, sendo realizado o cruzamento destas informações com a localização das lavouras cafeeiras, a qual foi obtida por meio de classificação supervisionada utilizando o classificador *Bhattacharya*. A imagem do sensor TM possibilitou a execução da classificação automática e conseqüente identificação e mapeamento das lavouras cafeeiras com 79% de precisão. Quanto ao relevo, verificou-se que 86% destas lavouras estão em altitudes superiores a 540 metros e que 50% destas estão localizadas predominantemente sobre áreas com relevo ondulado, ou seja, de 8 a 20% de declividade. Em relação aos solos, observou-se que os cafeeiros estão localizados preferencialmente, com 53%, em Nitossolo Vermelho eutroférico. Todas estas tarefas foram executadas por meio do Sistema de Informação Geográfica SPRING 4.3.3, o qual se apresentou como uma excelente ferramenta para análise geográfica aplicada à agricultura.

Palavras-chave: Café. Geotecnologias. Caracterização ambiental. LANDSAT 5/TM.

3.2 ABSTRACT

The use of orbital remote sensing and geoprocessing currently represents a tool of support and of great value for the data collecting in agriculture. The present work had the objective to study the distribution and the characterization of the physical environment of Coffee Agroecosystems, through the assistance of geotechnologies, in the town of Londrina, located in the northern area of the state of Paraná, Brazil; by using images of the satellite LANDSAT 5/TM, along with the techniques of geoprocessing and remote sensing. A data base with information of altimetry, declivity and soil classes was created, which was done by crossing the collected data

and with the localization of the coffee fields, obtained through means of supervised classification by the classifier Bhattacharya. The image from the TM sensor enabled the automatic execution and classification and also the identification and mapping of the coffee fields with a precision of 79%. As for the relief, it could be noticed that 86% of these fields are in altitudes higher than 540 meters and that 50% of them are located over areas with a wavy relief, in other words, from 8 to 20% of declination. About the soil, it was observed that the coffee crops are preferably located, with 53%, in eutroferric Red Nitosol. All these tasks were performed through the System of Geographic Information, SPRING 4.3.3, which happened to be an excellent tool of geographic analysis used in agriculture.

Keywords: Coffee. Geotechnologies. Environment characterization. LANDSAT 5/TM.

3.3 INTRODUÇÃO

A demanda sobre informações e a dinâmica das operações agrícolas requerem o controle e a atualização constante de dados e levantamentos atualizados. Estas informações são essenciais ao planejamento de políticas agrícolas, cujos detalhes estão normalmente ligados à espacialização, relevo, tipos de solo e uso da terra. Neste contexto, o conhecimento da distribuição espacial e a estimativa da área plantada de certa cultura torna-se indispensável tanto para a previsão de safras quanto para o planejamento agrícola.

A cultura do café destaca-se tanto historicamente no desenvolvimento do Brasil, como atualmente, por ser o maior produtor mundial. Esta cultura sempre participou com uma grande parcela na economia brasileira, tanto no mercado interno, como nas exportações para o mercado internacional. As características do cultivo, ainda hoje, são altamente dependentes do serviço braçal, o que lhe atribui uma importante função social, por gerar empregos diretos no setor rural (MELLO, 2001).

O café é uma planta nativa da África, da região da Etiópia, dicotiledônea, perene, de clima tropical, pertencente à família das *Rubiaceas* e ao gênero *Coffea*. Dentre as espécies cultivadas, o *Coffea arabica* (café arábica) e o *Coffea canephora* (café robusta) são as duas comercializadas no mercado internacional, detendo 70% e 30% desse mercado, respectivamente.

A cafeicultura é a base econômica de vários municípios brasileiros, como ocorre com o município de Londrina, que já foi considerado a capital mundial do café entre as décadas de 1960 e 1970. Porém, devido principalmente à geada de 1975 que dizimou diversas lavouras, a cultura vem perdendo espaço para outras, como soja e milho. Atualmente o município contabiliza uma área cultivada estimada em 5.103 ha (SEAB, 2008), o que é bem menor se comparado aos 10.753 ha plantados em 1980 (IPPUL, 1997).

Geralmente os levantamentos sobre uma cultura, como área plantada e produção, são realizadas através das informações dos municípios, que são coletadas sob métodos subjetivos, através dos censos agropecuários, baseados em agentes técnicos e econômicos, que nem sempre produzem dados confiáveis sobre certas culturas e suas respectivas áreas (OLIVEIRA, 2003), tornando-se muitas vezes onerosa, devido à demora e ao alto custo financeiro, pois necessita da dependência de recursos humanos.

Segundo Grigg (1996), o Sistema de Informação Geográfica é, dentre as ferramentas de análise de sistemas, aquela que apresenta maior potencial de suporte à tomada de decisão, sendo especialmente adequado, em função de sua característica de análise espacial, para o tratamento de informações ligadas ao meio ambiente. Desta forma, o sensoriamento remoto aliado ao geoprocessamento, tornaram-se ferramentas imprescindíveis no planejamento do espaço geográfico e no estudo dos recursos naturais (ODUM; ODUM, 2001). Sendo assim, segundo Ippoliti-Ramilo (1998) esta ferramenta é utilizada de maneira mais objetiva e precisa no levantamento de dados de cobertura da terra e por isso vêm sendo cada vez mais aplicados em áreas agrícolas, nas estimativas de áreas plantadas, demonstrando resultados bastante satisfatórios como os apresentados nos trabalhos de Bertoldo et al. (2005) e Barros (2006).

Assim, segundo esse contexto, o estudo teve como objetivo realizar a espacialização e a caracterização do meio físico do Agroecossistema Cafeeiro no município de Londrina-PR, utilizando imagens do satélite LANDSAT 5/TM, e técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, através de sua distribuição por classes de declividade, hipsometria e unidades de solos, os quais são fatores condicionantes da capacidade de uso da terra de uma região.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 Caracterização da Área de Estudo

A área selecionada para estudo compreende o município de Londrina, localizado ao norte do estado do Paraná, entre as latitudes 23°09'53" S e 23°46'54" S e longitudes 50°52'09" W e 51°19'56" W. Segundo IBGE (2008), Londrina é um município com 1.652 Km² de extensão territorial, onde o relevo predominante é o suave ondulado e está situado no Terceiro Planalto paranaense, sobre a formação Serra Geral, que é essencialmente constituída por basaltos (rochas básicas), resultando na maioria das vezes na formação de solos argilosos (Figura 3.1).

O clima da região é classificado conforme método Köeppen como Cfa, ou seja, clima subtropical, com temperatura média no mês mais frio inferior a 18° C (mesotérmico), média anual de precipitação de 1600 mm, temperatura média no mês mais quente acima de 22° C, com verões quentes, geadas pouco freqüentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão; contudo, sem estação seca definida. A vegetação é do tipo Floresta Estacional Semidecidual (IAPAR, 2000).



Figura 3.1 – Localização do Município de Londrina, ilustrada com a imagem LANDSAT 5/TM, na composição colorida RGB, na seqüência TM4, TM5, TM3. Órbita/Ponto: 222/076 e data de passagem em 06/09/2007.

3.4.2 Identificação das Lavouras Cafeeiras

Realizou-se a caracterização do Agroecossistema Cafeeiro, por meio da aplicação do geoprocessamento e do sensoriamento remoto orbital, utilizando como apoio tecnológico o SIG, especificamente o *software* SPRING 4.3.3 desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Foi utilizada a imagem do satélite LANDSAT 5/TM (*Thematic Mapper*), cena completa com 185 km x 185 km de visada com as seguintes características: órbita/ponto, 222/076; data da passagem, 06/09/2007. Possuindo as sete bandas espectrais conforme a Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Características espectrais e espaciais do sensor TM do satélite LANDSAT 5.

Banda	Faixa espectral	Região do espectro	Resolução espacial (m)
1	0,42 - 0,52 μm	Azul	30 m
2	0,52 - 0,60 μm	Verde	30 m
3	0,63 - 0,69 μm	Vermelho	30 m
4	0,76 - 0,90 μm	IV próximo	30 m
5	1,55 - 1,75 μm	IV médio	30 m
6	10,4 - 12,5 μm	IV termal	120 m
7	2,08 - 2,35 μm	IV médio	30 m

Fonte: Moreira, M.A. (2005)

Foram realizados trabalhos de campo para levantamento e georreferenciamento de amostras de áreas cafeeiras para estabelecer os padrões para interpretação e acurácia das imagens. Utilizando a imagem TM do satélite LANDSAT 5, identificou-se as áreas ocupadas pela cultura do café através dos seguintes passos: georreferenciamento da área de estudo com oito pontos de controle coletados a campo com GPS (*Global Positioning System*) de navegação Etrex; restauração das bandas TM3, TM4 e TM5, a fim de corrigir distorções causadas pelos sensores, resultando em três novas bandas com 15 m de resolução espacial; seleção e ajuste de contraste linear das bandas resultantes da restauração; segmentação por crescimento de regiões das três bandas com o limiar de similaridade 11 e área (*pixels*) de 17; classificação digital supervisionada da imagem pelo classificador *Bhattacharya*, com limiar de aceitação de 99%, sendo assim, 1% da classe será excluída; pós-classificação com Peso 1 e Limiar 1, para eliminar pixels isolados ou agrupados em pequenos números. Para finalizar, utilizando os resultados da classificação *Bhattacharya*, e com base na composição colorida RGB, na sequência TM4, TM5, TM3 da imagem digital, foi executada a edição matricial das áreas cafeeiras, a fim de melhorar e aumentar a exatidão da classificação para a elaboração do mapa temático final.

3.4.3 Declividade e Hipsometria

Para a análise da declividade e altimetria do terreno foi elaborada a carta de declividade e hipsometria; foram utilizadas as curvas de nível eqüidistantes de 20 metros, originadas de imagens orbitais adquiridas pela missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), da NASA, cuja carta topográfica de referência é S24W52. O arquivo com as curvas de nível foi obtido por meio do software Global Mapper, o qual foi importado para o ambiente SPRING, e através do recurso Modelo Numérico do Terreno (MNT), o mapa de classes de declividade foi gerado, a partir de uma grade triangular (TINs). Foram determinadas, segundo modelo proposto por Lemos e Santos (1984), as seguintes classes de declividade, conforme Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Classes de declividade adotada segundo Lemos e Santos (1984) para análise do relevo no município de Londrina-PR.

Classes de Declividade	
Classes	Descrição
Plano	Superfície de topografia horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos com declividades de 0 a 3%
Suave ondulado	Superfície de topografia pouco movimentada, apresentando declives suaves de 3 a 8%
Ondulado	Superfície de topografia pouco movimentada, apresentando declives acentuados de 8 a 20%
Forte ondulado	Superfície de topografia movimentada, formada por morros, com declives fortes de 20 a 45%
Montanhoso	Superfície de topografia vigorosa, com predomínio de formas acidentadas, constituída por morros, montanhas e maciços montanhosos, apresentando declividades acima de 45%

Para o mapa altimétrico, utilizou-se a grade retangular, gerada a partir da grade triangular (TINs), onde foi aplicado o recurso do Fatiamento, disponível em MNT, sendo executadas em cinco classes de altitude, determinadas pela prévia avaliação das cotas mínima e máxima da área de estudo, resultando nas seguintes classes: 340 a 440 m; 440 a 540 m; 540 a 640 m; 640 a 740 m e 740 a 840 m de altitude.

3.4.4 Solos

Para obter o mapa de solos do município, foi utilizado o Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná (1971), com escala aproximada de 1/300.000, onde através deste material escaneado e georreferenciado, foi digitalizado o mapa de solos de Londrina, contendo as cinco classes de solo, atualizadas segundo nomenclatura da Embrapa (1999), resultando em: LVdf: Latossolo Vermelho distroférico; LVef: Latossolo Vermelho eutroférico; NVdf: Nitossolo Vermelho distroférico; NVef: Nitossolo Vermelho eutroférico e RLe: Neossolo Litólico eutrófico.

3.4.5 Cruzamento dos Planos de Informação

Após gerar os planos de informação com os mapas temáticos de declividade, hipsometria e classes de solos, realizou-se os cruzamentos destes planos de informações, com os resultados da localização e distribuição das áreas ocupadas por café, por meio da Tabulação Cruzada disponível no SPRING. Tal ferramenta permitiu a quantificação das áreas de café nas diferentes classes de declive, altitude e solo.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 Identificação das Lavouras Cafeeiras

Utilizando a imagem orbital e também com os trabalhos de campo realizados no município de Londrina-PR, realizou-se o mapeamento das lavouras cafeeiras. A Figura 3.2 mostra uma região da área de estudo, captada pelo sensor TM, do satélite LANDSAT 5, após passar por procedimentos de restauração e

contraste, em composição colorida RGB, na seqüência TM4, TM5, TM3. Nesta área de estudo, a vegetação nativa apresentou uma resposta espectral muito semelhante ao dossel cafeeiro.

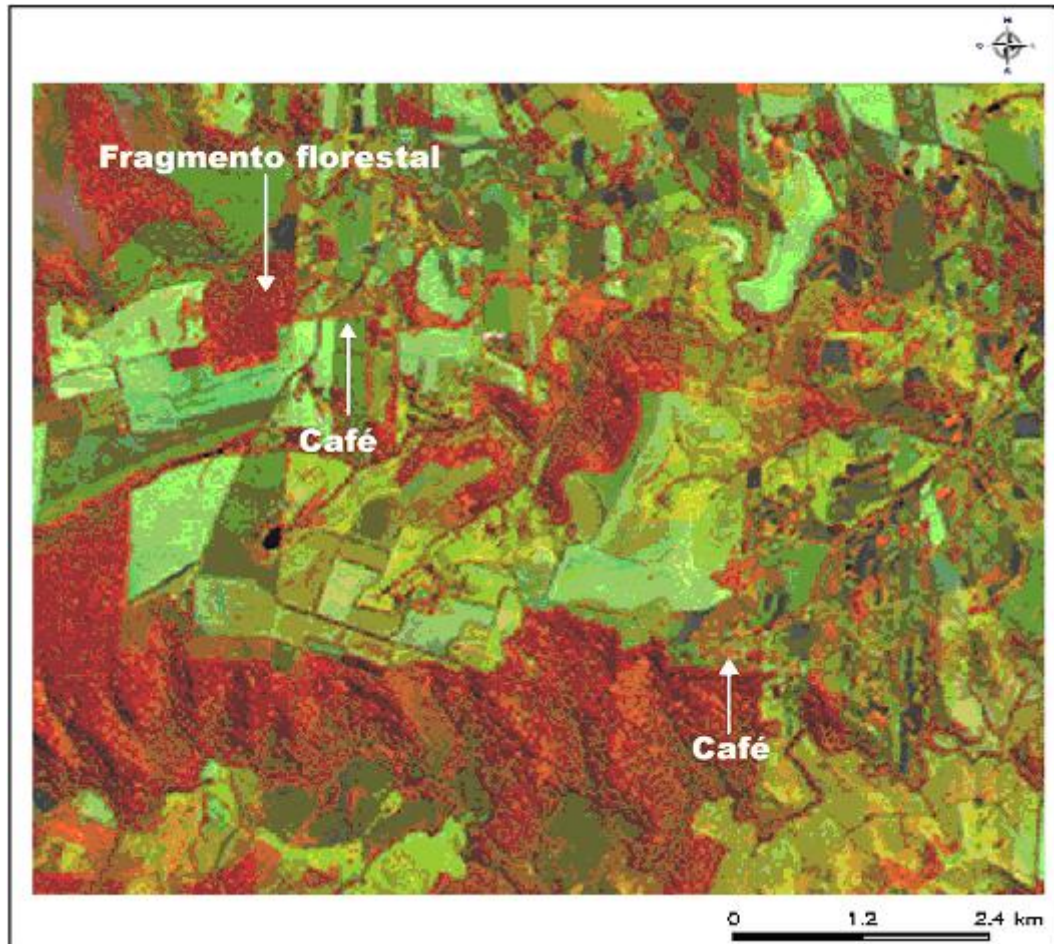


Figura 3.2 – Imagem do satélite LANDSAT 5/TM, com data de passagem em 06/09/2007 e órbita ponto 222/076, com composição colorida RGB, na seqüência TM4, TM5, TM3, restaurada e com realce, destacando as classes de café e fragmento florestal no município de Londrina-PR.

A localização e a distribuição das áreas cafeeiras estão representadas na Figura 3.3, gerada a partir da classificação de *Bhattacharya* que identificou 3.650 ha de lavoura cafeeira, onde posteriormente foi realizada a edição matricial das áreas mapeadas, com o auxílio da composição colorida RGB, na seqüência TM4, TM5, TM3, a fim de ajustar e melhorar a classificação final, resultando em 4.055 ha. Utilizando o classificador *Bhattacharya*, Duarte e Brito (2007) realizaram o mapeamento da cultura do café em um município de Minas

Gerais, e constataram que as áreas de fragmento florestal tiveram resposta espectral muito semelhante às áreas de cafeicultura, dificultando o mapeamento desta cultura.

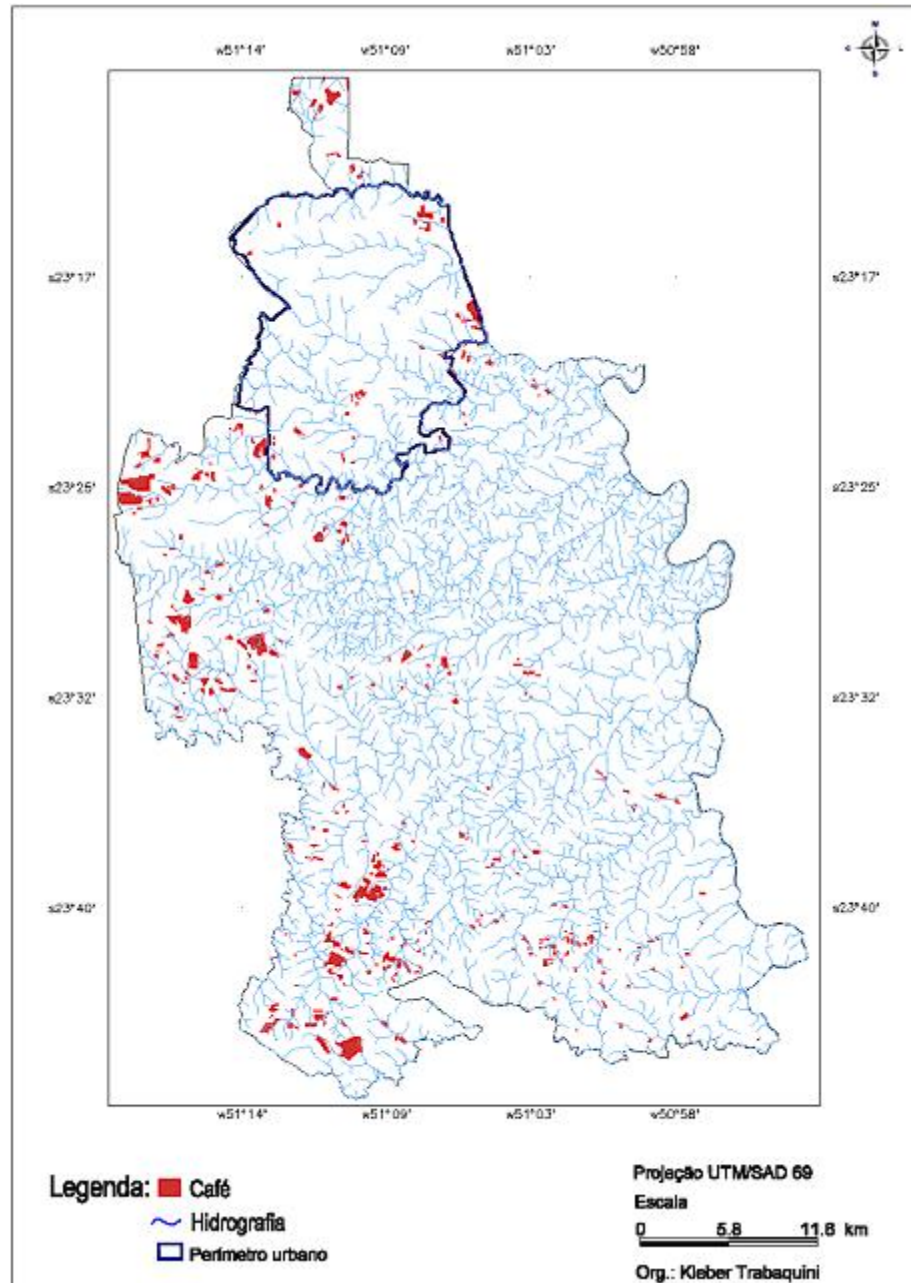


Figura 3.3 – Mapa de localização e distribuição das lavouras cafeeiras do município de Londrina-PR gerado após classificação de *Bhattacharya* e edição matricial a partir da imagem LANDSAT 5/TM, com data de passagem em 06/09/2007 e órbita ponto 222/076.

Para Moreira (2004), é fundamental que o resultado da classificação digital seja corrigido por meio da fotointerpretação na tela do computador. Segundo levantamentos da SEAB e IBGE, referentes à safra 2006/2007, o município de Londrina possui uma área de aproximadamente 5.103 ha de café, o que lhe confere o 2º lugar no ranking estadual, em se tratando de área cultivada, ficando atrás somente de Carlópolis, com 6.038 ha. Para Moreira (2005), a precisão do mapeamento de uma classe estudada, quando se utilizam imagens de satélite, pode ser avaliada utilizando a área da classe estimada no mapa e a área real no campo, conforme a expressão seguinte.

$$PM (\%) = \frac{\text{área da classe estimada no mapa}}{\text{área real no campo}} \times 100$$

Para este estudo, a Precisão do Mapeamento (PM) foi de 79%, ou seja, o mapa gerado utilizando esta metodologia representa cerca de 79% do Agroecossistema Cafeeiro existente em todo o município.

Segundo Miglioranza et al. (2007), no município de Londrina, o tamanho médio das lavouras cafeeiras é de aproximadamente 7 ha. No mapa pode-se verificar que as lavouras cafeeiras são cultivadas muitas vezes em áreas de pequeno porte, vindo a dificultar na identificação e mapeamento da cultura, visto que a resolução espacial teórica da imagem LANDSAT 5/TM é de 30 m, ou seja, 900 m². Barros (2006), diz que o dossel cafeeiro é mais bem identificado pelos classificadores supervisionados, quando se tem grandes talhões desta cultura, diminuindo a confusão com outras classes mapeadas.

Verificou-se também uma grande variabilidade espectral das lavouras, pois existem propriedades em que a lavoura ainda é manejada através do sistema tradicional, onde os espaçamentos mais antigos deixam o solo mais exposto, contribuindo para uma mistura de resposta espectral. Segundo Moreira et al. (2004), lavouras plantadas no sistema tradicional, com 3 m entre linhas e 1,5 entre plantas, tem uma resposta espectral muito influenciada pela componente solo; já as plantadas no sistema adensado, com 2,5 entre linhas e 1 entre plantas, apresentam alto vigor vegetativo, com forte resposta espectral na banda TM4, facilitando assim a identificação dos cafezais. Fatores como espaçamento, idade, cultivar, face do relevo e tratos culturais podem influenciar no comportamento espectral das lavouras de café.

3.5.2 Declividade e Hipsometria

A partir da grade triangular (TINs), gerada pelas curvas de nível eqüidistantes de 20 metros, foi gerado o mapa hipsométrico do município de Londrina-PR, onde o ponto de menor altitude foi de 340 metros e o de maior altitude de 840 metros (Figura 3.4). Os resultados mostram que as classes de 440 a 540 m e 540 a 640 m, predominaram na área total do município, com 58.972 ha e 55.725 ha, 36% e 34% respectivamente (Tabela 3.3, coluna A).

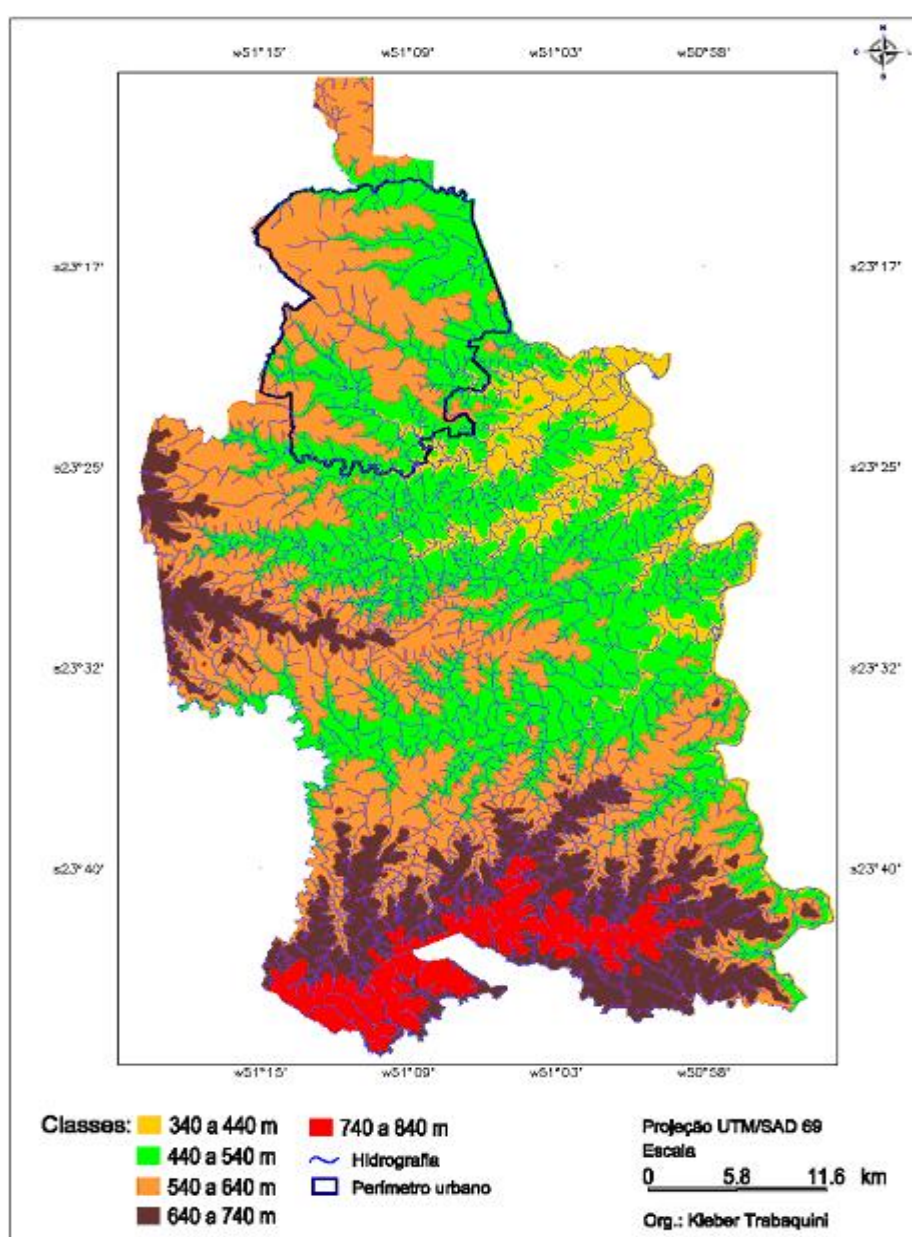


Figura 3.4 – Mapa Hipsométrico do município de Londrina-PR gerado a partir das curvas de nível eqüidistantes de 20 metros SRTM.

Após isto, utilizando a ferramenta de Tabulação Cruzada, tornou-se possível o cruzamento dos dados de altitude com os dados de localização das lavouras cafeeiras, verificando que cerca de 86% destas lavouras estão localizadas em altitudes superiores a 540 metros, sendo que a classe de altitude 640 a 740 m possui cerca de 41% dos cafezais instalados, seguido da classe 540 a 640 m com 34% dos cafeeiros. Para as classes de 440 a 540 m e 740 a 840 m, foram encontradas 12% em cada classe de altitude e o intervalo de 340 a 440 m, foram encontrados uma pequena parcela de 0,3% (Tabela 3.3, coluna B).

Tabela 3.3 – Quantificação das classes de altitude no município de Londrina – PR (A), e localização de lavouras cafeeiras segundo as classes de altitude (B).

Classes de Altitude metros	Londrina (coluna A)		Lavoura Cafeeira (coluna B)	
	ha	%	ha	%
340 a 440	14.878	9	12	0,3
440 a 540	58.972	36	520	13
540 a 640	55.725	34	1.374	34
640 a 740	26.439	16	1.659	41
740 a 840	9.256	5	490	11,7
Total	165.270	100	4.055	100

Através destes resultados é possível conhecer o relevo da região, e as áreas preferencialmente ocupadas pelas lavouras cafeeiras. No Brasil, geralmente, o cafeeiro vem sendo cultivado em regiões com altitudes que variam de 400 a 1.200 m (MATIELLO et al., 2005). Segundo Camargo (1998), as fases fenológicas do cafeeiro são bem definidas; porém, em regiões de maior altitude, a planta de café leva maior tempo para completar o ciclo reprodutivo. A influência da altitude no ciclo reprodutivo do cafeeiro está relacionada, principalmente, às temperaturas mais amenas em maiores altitudes. Segundo Malavolta (2000), a altitude é um dos fatores que afetam a qualidade da bebida, sendo que o café cultivado em maiores altitudes amadurece mais lentamente, o que poderá resultar numa bebida de melhor qualidade.

Em relação à declividade, podemos observar que em Londrina, o relevo ondulado, referente à classe de 8 a 20% de declividade é predominante, representando 48% do território, seguido do relevo plano que equivale à classe de 0 a 3%, com 30% (Figura 3.5). O relevo suave ondulado, representa 14% do território

e, por fim, os relevos de menor expressão foram os relevos forte ondulado e montanhoso, com 8% e 0,4%, respectivamente.

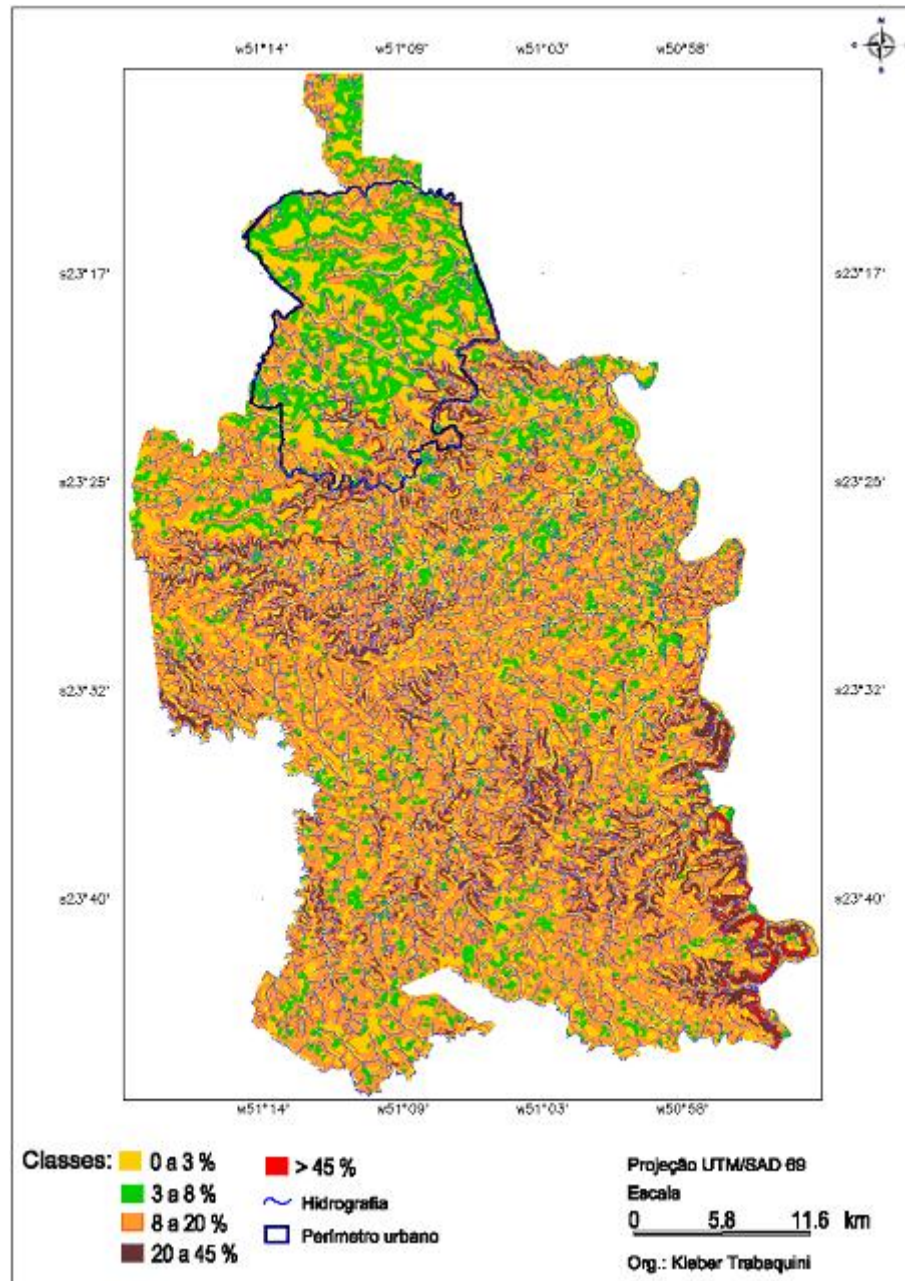


Figura 3.5 – Mapa de Declividade do município de Londrina-PR gerado a partir das curvas de nível equidistantes de 20 metros SRTM.

Quanto a ocupação das lavouras cafeeiras, 50% destas estão localizadas predominantemente sobre áreas com relevo ondulado, ou seja, de 8 a 20% de declividade, seguido de 31% de lavouras sobre relevo plano e 14% sobre

relevo ondulado. Cerca de 5% das lavouras estão sobre o relevo forte ondulado e nenhuma lavoura foi localizada sobre o relevo montanhoso (Tabela 3.4, coluna B).

Tabela 3.4 – Quantificação das classes de declividade no município de Londrina – PR (A), e localização das lavouras cafeeiras segundo as classes de relevo (B).

Classes de Declividade		Londrina (coluna A)		Lavoura Cafeeira (coluna B)	
Classes	Declive	ha	%	ha	%
Plano	0 a 3%	49.536	30	1.233	31
Suave ondulado	3 a 8%	22.056	14	591	14
Ondulado	8 a 20%	78.749	48	2.024	50
Forte ondulado	20 a 45%	14.535	8	207	5
Montanhoso	> 45%	390	0,4	0	0
Total		165.270	100	4.055	100

A declividade do terreno constitui-se em um dos principais fatores de decisão para o emprego de técnicas agrícolas. Segundo Matiello (2005), a declividade pode influenciar na possibilidade de usar máquinas agrícolas, no escoamento ou acumulação do ar frio e na velocidade de perda de solo pela erosão. Ainda segundo este mesmo autor, de um modo geral, terrenos ondulados possuem solos com características melhores, pois a drenagem se faz de modo suficiente e o processo erosivo pode ser reduzido, além de favorecer o escoamento do ar frio pelas encostas, diminuindo os riscos com as geadas.

3.5.3 Solos

Na Tabela 3.4 (coluna A), são descritos as cinco classes de solos mapeadas em todo o território do município de Londrina. O Nitossolo Vermelho eutroférico (NVef) é predominante, sendo encontrado em 54% da área de estudo, seguido pelas seguintes classes: Neossolo Litólico eutrófico (RLe) com 26%; Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) com 10%; Latossolo Vermelho eutroférico (LVef) com 8% e Nitossolo Vermelho distroférico (NVdf) com apenas 2% (Figura 3.6). Com relação às lavouras cafeeiras, podemos observar que estas estão localizadas preferencialmente, com 53% em Nitossolo Vermelho eutroférico, seguido de 19,3% das lavouras sobre Latossolo Vermelho eutroférico, 14% das

lavouras estão sobre Latossolo Vermelho distroférico, 13% estão sobre Neossolo Litólico eutrófico e apenas 0,7% das lavouras estão localizadas sobre Nitossolo Vermelho distroférico (Tabela 3.5, coluna B).

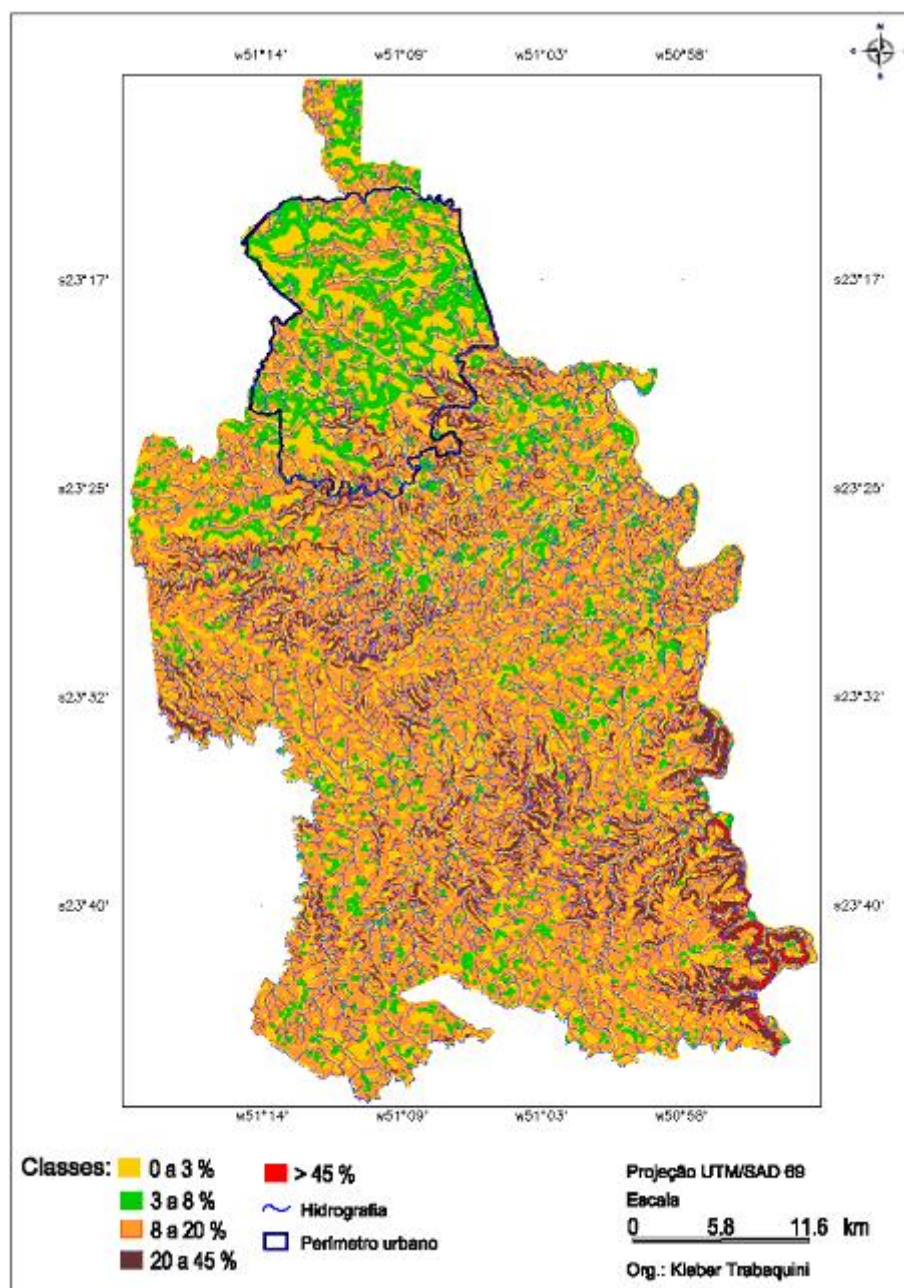


Figura 3.6 – Mapa de Solos do município de Londrina-PR, gerado a partir do Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná (1971).

Além da classe Nitossolo Vermelho eutrófico (NVef) predominar na área do município de Londrina, a distribuição expressiva das lavouras cafeeiras

sobre este tipo de solo pode estar associada à alta disponibilidade de nutrientes, devido a estes solos apresentarem soma de bases elevadas (> 50%) e teores de óxido de ferro (Fe_2O_3) de 15 a 36%, favorecendo a cultura instalada. Além disso, segundo Resende (2000), o grupo de solos Nitossolo Vermelho e Latossolo Vermelho, derivados de rocha basáltica, como ocorre na região com a Formação Serra Geral, apresentam fertilidade natural mais elevada.

Tabela 3.5 – Quantificação das classes de solos no município de Londrina – PR (A), e localização das lavouras cafeeiras segundo as classes de solo (B).

Classes de Solo		Londrina (coluna A)		Lavoura Cafeeira (coluna B)	
Símbolo	Solo	ha	%	ha	%
LVef	Latossolo Vermelho eutroférico	12.780	8	792	19,3
NVef	Nitossolo Vermelho eutroférico	89.658	54	2.158	53
LVdf	Latossolo Vermelho distroférico	16.874	10	583	14
RLe	Neossolo Litólico eutrófico	42.944	26	494	13
NVdf	Nitossolo Vermelho distroférico	3.001	2	28	0,7
Total		165.270	100	4.055	100

Por outro lado, podemos observar que 13% das lavouras ocorrem sobre Neossolo Litólico eutrófico (RLe), o qual se caracteriza por solos rasos e pouco desenvolvidos, ocorrendo normalmente em relevo forte ondulado, por conseguinte, possuindo alta vulnerabilidade a processos erosivos, o que requer um criterioso manejo agrícola, sob o aspecto conservacionista (SILVA; SILVA, 1997). Já os solos da classe Latossolo Vermelho são profundos, bem drenados, geralmente encontrados em relevo suave ondulado e originários de rochas básicas, o que os caracterizam como mecanizáveis e favoráveis à prática agrícola (RESCK, 1991).

3.6 CONCLUSÕES

1. A identificação das lavouras cafeeiras utilizando imagens LANDSAT 5/TM e classificação supervisionada de *Bhattacharya* com posterior edição manual, pode ser considerada como satisfatória, pois foram mapeadas cerca de 79% do Agroecossistema Cafeeiro existente em todo o município. Porém não pode ser considerada de grande precisão, pois a resolução espacial de 30 m favorece a

grande variabilidade da resposta espectral dos alvos estudados, justificando assim a dificuldade na identificação da cultura.

2. A maioria das lavouras cafeeiras mapeadas deste município, cerca de 75%, estão entre 540 a 740 metros de altitude, e 95% destas lavouras estão localizadas em declividades de até 20% de inclinação, o que os torna mecanizáveis e favoráveis à prática agrícola, facilitando o manejo desta cultura e também auxiliando nas práticas de conservação de solo.

3. Quanto às unidades de solos, verificou-se que aproximadamente 72% das lavouras cafeeiras estão localizadas sobre Nitossolo Vermelho e Latossolo Vermelho, os quais ambos são derivados de rocha basáltica e conseqüentemente apresentam uma alta fertilidade natural.

4. As lavouras cafeeiras do município de Londrina estão de forma geral situadas em locais que favorecem o cultivo e o manejo desta cultura, visto que esta região apresenta uma diversidade elevada em relação aos aspectos físicos.

4 ARTIGO B: CARACTERIZAÇÃO DE LAVOURAS CAFEIRAS, UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, NO MUNICÍPIO DE UMUARAMA – PR

4.1 RESUMO

O sensoriamento remoto e o geoprocessamento permitem realizar estudos que venham a fornecer dados suficientes para o entendimento das relações ambientais em que uma determinada cultura está inserida. Assim, este trabalho teve como objetivo, realizar a espacialização e a caracterização do meio físico das lavouras cafeeiras existentes no município de Umuarama-PR utilizando geotecnologias. Foi utilizada a imagem do satélite LANDSAT 5/TM (*Thematic Mapper*) e o software SPRING 4.3.3. As bandas 3, 4 e 5 do sensor TM foram restauradas, resultando em imagens de 15 m de resolução e posteriormente constituindo a composição colorida RGB, na seqüência TM4, TM5, TM3 que foi utilizada para a identificação das lavouras cafeeiras. Para o estudo do relevo, foram empregados dados da missão SRTM, os quais possibilitaram o conhecimento da altimetria e declividade da região. A imagem do sensor TM possibilitou a execução da classificação visual e conseqüente identificação e mapeamento das lavouras cafeeiras com alta acurácia. Quanto ao relevo, verificou-se que aproximadamente 99% das lavouras cafeeiras estão localizadas entre 380 e 480 metros de altitude e que 90% destas estão situadas em declividades de até 8% de inclinação. Em relação aos solos, observou-se que 89% dos cafeeiros são cultivados sobre Latossolo Vermelho distrófico, de textura arenosa. Enfim, a utilização das geotecnologias permitiu realizar uma avaliação de forma eficiente dos ambientes cafeeiros.

Palavras-chave: LANDSAT 5/TM. Cafeicultura. Geotecnologias. Caracterização física.

4.2 ABSTRACT

The remote sensing and geoprocessing allows studies that provide enough data for the understanding of the environmental relations where a specific culture is in. This way, the present work had the objective of making the spatialization and the characterization of the physical environment of the coffee crops in the city of Umuarama-PR by using geotechnologies. The image of the LANDSAT 5/TM (*Thematic Mapper*) and the software SPRING 4.3.3 were used for the image processing. The bands 3, 4 and 5 of the sensor TM were restored, which resulted in images of 15m resolution and, later, creating the color composition RGB, in

sequence which was used for the identification of the coffee fields. For the relief map study, the data of the SRTM mission were applied, which enabled us to know the altimetry and declivity of the region. The image of the TM sensor enabled the visual classification and the consequent identification and mapping of the coffee fields very accurately. As for the relief area, it was noticed that about 99% of the coffee fields are located between 380 and 480 meters of altitude and that 90% of them are located in declivity of up to 8% of inclination. About the soils, it was observed that 89% of the coffee fields are grown over distrofic Red Latosol, of sandy texture. Thus, the use of geotechnologies allowed the evaluation of coffee environments in an efficient way.

Keywords: LANDSAT 5/TM. Coffee culture. Geotechnologies. Physical characterization.

4.3 INTRODUÇÃO

A cultura do café já teve uma significativa contribuição no quadro produtivo agrícola no município de Umuarama. Porém, a fragilidade dos cafezais diante das geadas, do mercado enfraquecido e de problemas com algumas patologias enfraqueceu a proposta de pequenas propriedades, transferindo para a pecuária, a atividade de maior expressão na região atualmente, com 60% da área total do município (GUAZZELLI, 2001). Mesmo assim, alguns produtores ainda persistem na cultura cafeeira que movimentou a economia nacional principalmente no final da década de 1960 e de 1970, auxiliando no desenvolvimento e na economia desta região.

Para se realizar um planejamento sustentável de qualquer atividade agropecuária, é necessário o conhecimento prévio do meio ambiente onde determinada cultura está inserida. Para isto, os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) e a aplicação do sensoriamento remoto podem auxiliar neste reconhecimento, contribuindo no estudo da espacialização e atualização dos dados coletados e conseqüente gerenciamento racional das atividade agrícolas (RESENDE et al., 1995).

Pino (2001) ressalta que os levantamentos de dados agropecuários a partir da aplicação do sensoriamento remoto aliado às técnicas de geoprocessamento, em comparação a outras formas de levantamento, têm como

vantagens a rapidez e a precisão, além do baixo custo quando utilizado em larga escala. Segundo Medeiros et al. (1996), as pesquisas relacionadas à identificação de culturas agrícolas utilizam em sua grande maioria imagens de sensores ópticos de média resolução, sendo principalmente provenientes dos satélites da série LANDSAT, cuja boa resolução espectral auxilia na distinção entre os diversos tipos de vegetação, porém sempre tendo como auxílio informações obtidas a campo para melhor acurácia.

Estudos envolvendo culturas agrícolas por sensoriamento remoto e geoprocessamento, assim como a separação de culturas utilizando imagens de satélite vêm sendo realizados por diversos pesquisadores, dentre eles, Alves (2003), que realizou a caracterização do meio físico do agroecossistema cafeeiro na região sul de Minas Gerais, utilizando técnicas de sensoriamento remoto e Sistema de Informações Geográficas. E outras pesquisas similares que foram executadas, como as de Santos e Alves (2007), Bertoldo et al. (2003), entre outras. Para Vieira et al. (2000), informações sobre a distribuição das áreas cafeeiras e as características dos ambientes onde estas lavouras estão localizadas são de extrema importância.

É possível assim, com o advento destas geotecnologias, realizar com precisão e eficácia estudos que venham a fornecer dados suficientes para o entendimento das relações ambientais em que a cultura cafeeira esta inserida, vindo a servir também como subsídio para futuras pesquisas desta cultura. Deste modo, este trabalho teve como objetivo, realizar a espacialização e a caracterização do meio físico das lavouras cafeeiras existentes no município de Umuarama-PR, utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

4.4.1 Caracterização da Área

Área de estudo abrange o município de Umuarama que possui uma área territorial de 1.225 km², e está localizado na região noroeste do Estado do Paraná, no Terceiro Planalto paranaense, na formação geológica Caiuá e no divisor

de águas das bacias dos rios Piquirí, Ivaí e sub-bacia do Rio Paraná, entre as latitudes $23^{\circ} 26' 11''$ e $23^{\circ} 58' 22''$ e longitudes $53^{\circ} 10' 22''$ e $53^{\circ} 40' 36''$ (Figura 4.1). Devido à formação geológica, os solos desta região são constituídos predominantemente por arenitos de frações médias a finas, com coloração variando de vermelho-arroxeadado a vermelho-escuro (GASPARETTO, 2003).

O clima da região, conforme método de Köppen é classificado como Cfa, clima subtropical úmido mesotérmico. As temperaturas médias nos meses mais frios são inferiores a 18°C e nos meses quentes é superior a 22°C , com geadas pouco freqüentes no inverno. A precipitação pluviométrica esta entre 1200 a 1600 mm, com tendência de concentração das chuvas nos meses de verão (IAPAR, 2000).

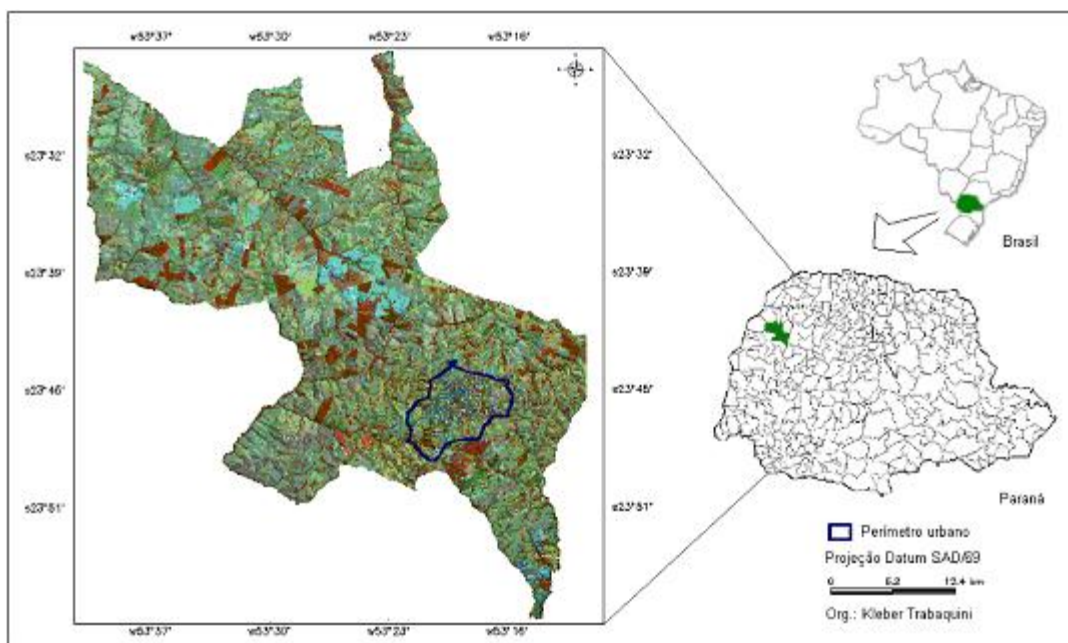


Figura 4.1 – Localização do município de Umuarama, ilustrada com a imagem LANDSAT 5/TM, na composição colorida RGB, na seqüência TM4, TM5, TM3. Órbita/Ponto: 223/76 - 223/77 e data de passagem em 02/07/2007.

4.4.2 Identificação das Lavouras Cafeeiras

Realizou-se a caracterização do agroecossistema cafeeiro através da aplicação do sensoriamento remoto e geoprocessamento, utilizando como apoio

tecnológico o SIG, especificamente o *software* SPRING 4.3.3 desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), com sede em São José dos Campos-SP. Foi utilizada a imagem do satélite LANDSAT 5/TM (*Thematic Mapper*), cuja área de estudo foi abrangida através do mosaico de duas cenas completas com 185 km de visada com as seguintes características: órbita_ponto, 223/76 e 223/77, com data da passagem em 02/07/2007, possuindo as bandas espectrais conforme a Tabela 4.1. O registro da imagem foi realizado por meio da coleta de oito pontos de controle coletados a campo com GPS (*Global Positioning System*) de navegação Etrex.

Tabela 4.1 – Características espectrais e espaciais do sensor TM do satélite LANDSAT 5.

Banda	Faixa espectral (μm)	Região do espectro	Resolução espacial (m)
1	0,42 - 0,52	Azul	30
2	0,52 - 0,60	Verde	30
3	0,63 - 0,69	Vermelho	30
4	0,76 - 0,90	IV próximo	30
5	1,55 - 1,75	IV médio	30
6	10,4 - 12,5	IV termal	120
7	2,08 - 2,35	IV médio	30

Fonte: Moreira, M.A. (2005)

Inicialmente foram tomadas 25 lavouras cafeeiras como referência, sendo estas localizadas através de trabalhos de campo e registradas as suas coordenadas (latitude e longitude) com um ponto central utilizando o GPS. Estas amostras foram utilizadas no estudo prévio das leituras de pixel na imagem TM, onde se verificou uma alta variabilidade de resposta espectral destas lavouras. Mesmo assim, realizaram-se alguns testes utilizando classificadores automáticos como *Isoseg* e *Bhattacharya*, cujos resultados foram visualmente considerados insatisfatórios, não sendo possível, portanto, executar a classificação digital supervisionada.

As bandas TM 3, TM 4 e TM 5 passaram por uma restauração, afim de corrigir distorções causadas pelos sensores, resultando em três novas bandas com 15 m de resolução espacial. Posteriormente foi aplicado um contraste linear em cada banda, auxiliando também numa melhora visual da imagem. Assim, a identificação das lavouras de café foi realizada através da classificação visual, a qual

necessitou de novos trabalhos de campo para validação do mapeamento. No total foram localizadas 94 áreas ocupadas pela cultura do café em todo município nos trabalhos de campo, e a partir das coordenadas coletadas com o GPS, estas foram delimitadas através da edição vetorial disponível no *software*, utilizando a composição colorida RGB, na seqüência TM4, TM 5, TM3, a qual a vegetação é representada pela coloração vermelha (Figura 4.1).

4.4.3 Declividade e Hipsometria

Para o estudo da declividade e da altimetria do município, foram utilizadas curvas de nível eqüidistantes de 20 metros, originadas de imagens interferométricas orbitais adquiridas pela missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), da NASA, cuja carta topográfica de referência é S24W54. O arquivo com as curvas de nível foi obtido por meio do *software* Global Mapper, o qual foi exportado para o SPRING como sendo um Modelo Numérico do Terreno (MNT). O mapa de classes de declividade foi, então, gerado, a partir de uma grade triangular (TINs), e foram determinadas, segundo modelo proposto por Lemos e Santos (1984), as seguintes faixas de declividade, conforme Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Classes de declividade adotada segundo Lemos e Santos (1984) para análise do relevo no município de Umuarama-PR.

Classes de Declividade	
Classes	Descrição
Plano	Superfície de topografia horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos com declividades de 0 a 3%
Suave ondulado	Superfície de topografia pouco movimentada, apresentando declives suaves de 3 a 8%
Ondulado	Superfície de topografia pouco movimentada, apresentando declives acentuados de 8 a 20%
Forte ondulado	Superfície de topografia movimentada, formada por morros, com declives fortes de 20 a 45%

Para o estudo da hipsometria, foi gerada no SPRING uma grade retangular, obtida a partir da grade triangular (TINs) e, com o recurso do Fatiamento, foram criadas cinco classes de altitude, determinadas pela prévia avaliação das

cotas mínima e máxima da área de estudo: 260 a 300 m; 300 a 340 m; 340 a 380 m; 380 a 420 m e 420 a 480 m de altitude.

4.4.4 Solos

A partir do mapa escaneado e georreferenciado de Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná (1971), cuja escala aproximada é de 1/300.000, foi digitalizado o mapa de solos do município de Umuarama, resultando em quatro classes de solos, sendo que estas foram atualizadas segundo nomenclatura da Embrapa (1999), resultando em: LVd: Latossolo Vermelho distrófico; PVd: Argissolo Vermelho distrófico; PVe: Argissolo Vermelho eutrófico e NVef: Nitossolo Vermelho eutrófico.

4.4.5 Cruzamento dos Planos de Informação

Após gerar os planos de informação com os mapas temáticos de declividade, hipsometria e classes de solos, realizou-se os cruzamentos destes planos de informações, com os resultados da localização e distribuição das áreas ocupadas pela cultura cafeeira, utilizando-se da Tabulação Cruzada disponível no SPRING, a qual permite o cruzamento de diferentes planos de informação. Tal ferramenta permitiu a quantificação das áreas de café nas diferentes classes de declive, altitude e solo.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1 Identificação das Lavouras Cafeeiras

Com a análise visual da imagem e também dos trabalhos de campo realizados no município de Umuarama-PR, realizou-se o mapeamento das lavouras

cafeiras. A Figura 4.2 mostra uma região da área de estudo, captada pelo sensor TM, do LANDSAT 5, após passar por procedimentos de restauração e contraste, em composição colorida RGB, na seqüência TM4, TM5, TM3. Nesta composição, a vegetação mais densa se revela nas cores mais avermelhadas e a vegetação menos densa ou com menos massa verde (intercalada visualmente com solo), se revela em tons mais esverdeados. Segundo Machado (2002), o olho humano é mais sensível às tonalidades vermelhas, por isso as imagens são interpretadas nesta composição, onde a cobertura vegetal é mais bem destacada e se apresenta com maior nitidez. Neste caso pode-se observar que as lavouras cafeeiras apresentam uma grande variabilidade de resposta espectral, com diferentes tons de coloração. As áreas de floresta ou fragmento florestal apresentam uma tonalidade avermelhada mais escura, em comparação à vegetação em estudo. Para Moreira (2005), fatores como espaçamento, idade, cultivar, face do relevo, tipo de solo e tratos culturais podem influenciar no comportamento espectral das lavouras de café.

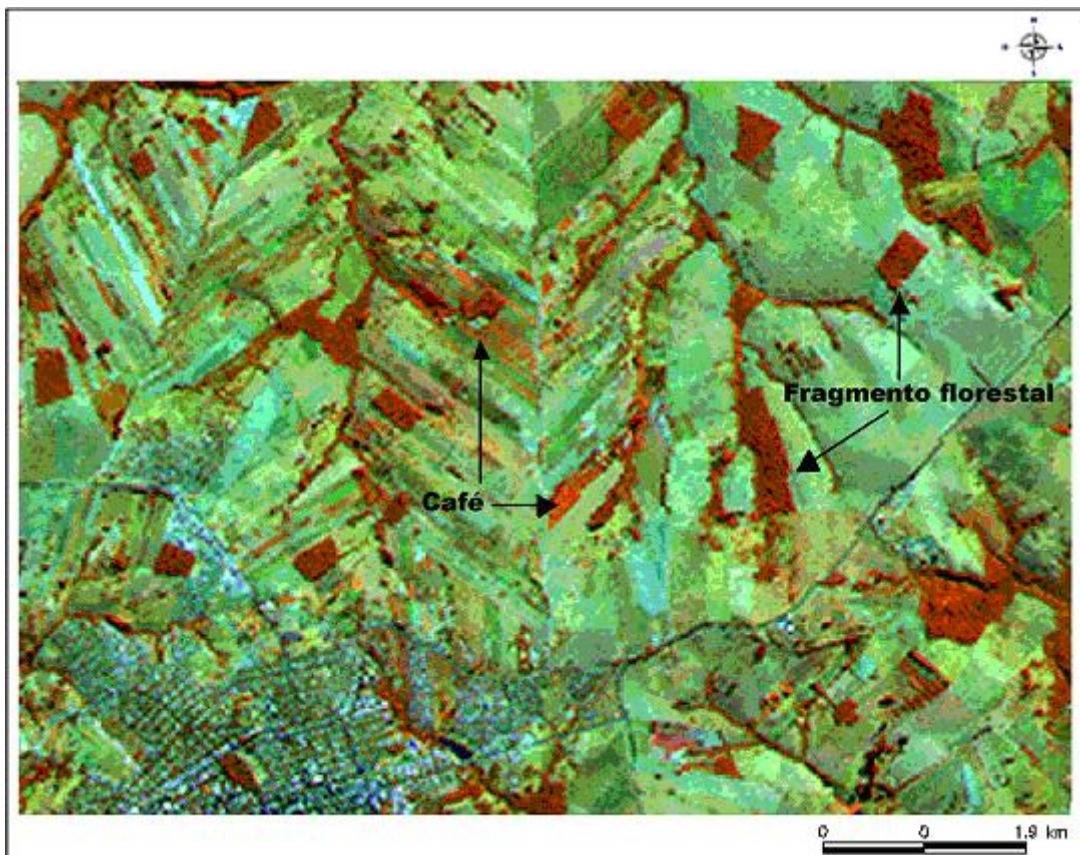


Figura 4.2 – Imagem do satélite LANDSAT 5/TM, com data de passagem em 02/07/2007 e órbita ponto 223/76 - 223/77, com composição colorida RGB, na seqüência TM4, TM5, TM3, restaurada e com realce,

destacando as classes de café e fragmento florestal no município de Umuarama-PR.

A grande variabilidade espectral das lavouras cafeeiras pode possivelmente ser justificada, devido à alta reflectância do solo arenoso, a qual segundo Liu (2006) é causada pelos baixos teores de óxidos de ferro e da textura grossa do solo. A campo verificou-se que algumas lavouras são manejadas no sistema tradicional, onde as plantas não cobrem totalmente a superfície do solo, o que resulta numa maior contribuição do fator solo na reflectância do dossel. Ainda, segundo Moreira et al. (2004), lavouras plantadas no sistema tradicional têm uma resposta espectral muito influenciada pela componente solo.

A localização e a distribuição das áreas cafeeiras são mostradas no mapa temático gerado pela classificação visual que identificou 607 ha de lavoura cafeeira (Figura 4.3). Segundo levantamentos do IBGE de 2007, o município de Umuarama possui uma área de 635 ha de café, já a SEAB quantificou 600 ha desta cultura no mesmo período. Mesmo havendo divergências entre os levantamentos efetuados por estes órgãos, o resultado apresentado por este trabalho pode ser considerado de grande valia, se levado em consideração que existe um erro de aproximadamente 4% em relação aos dados do IBGE e 1% aos da SEAB.

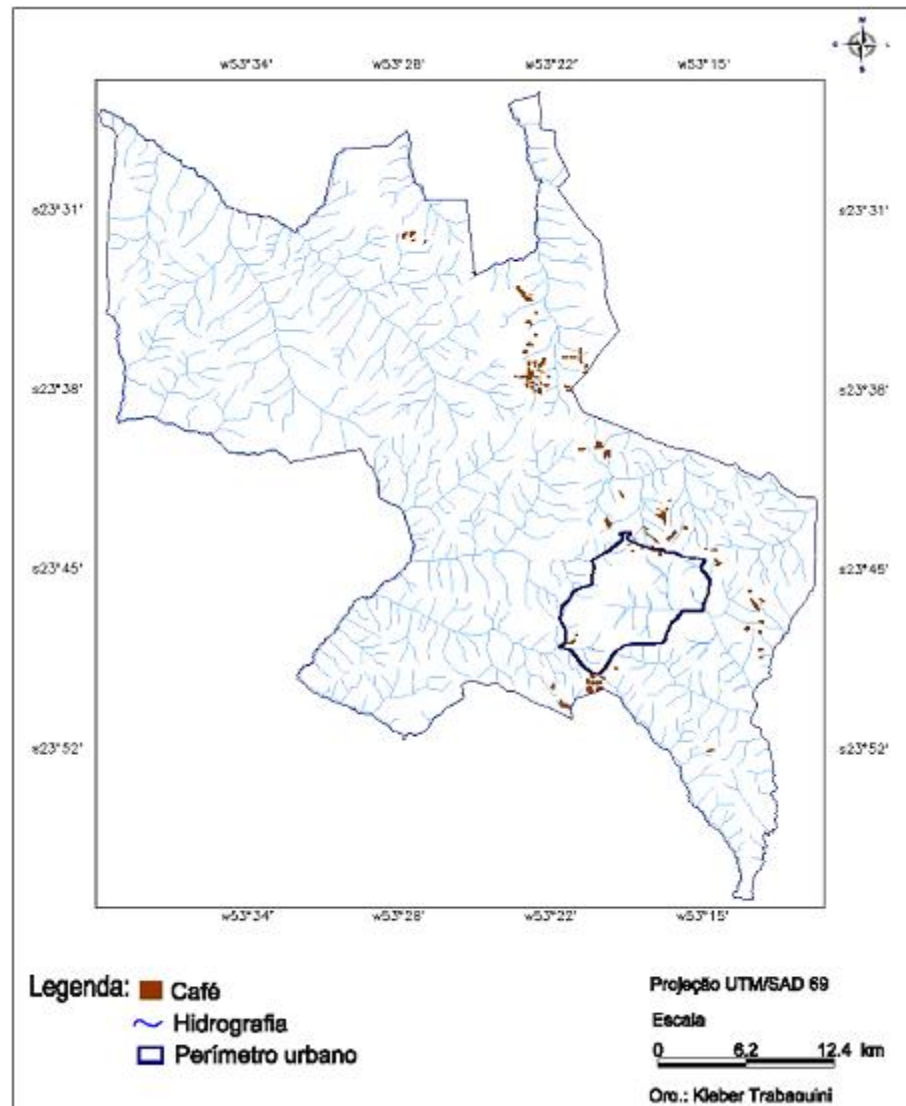


Figura 4.3 – Mapa de localização e distribuição das lavouras cafeeiras do município de Umuarama-PR gerado a partir da classificação visual da imagem LANDSAT 5/TM, com data de passagem em 02/07/2007 e órbita ponto 223/76 - 223/77.

4.5.2 Declividade e Hipsometria

A partir da grade triangular (TINs) gerada pelas curvas de nível eqüidistantes de 20 metros, foi gerado o mapa hipsométrico do município de Umuarama-PR, onde o ponto de menor altitude foi de 260 metros e o de maior altitude de 480 metros (Figura 4.4). A Tabela 4.3 (coluna A) mostra que 62% deste município apresenta uma altitude entre 340 a 420 m. Utilizando a ferramenta de

Tabulação Cruzada, tornou-se possível o cruzamento dos dados de altitude com os dados de distribuição das lavouras cafeeiras, verificando que 71,5% destas lavouras estão localizadas em altitudes de 420 a 480 m, seguido da classe 380 a 420 m com 28% dos cafeeiros e uma pequena parcela de 0,5% na classe 340 a 380 m. Outra característica que podemos observar ainda nesta tabela, é que abaixo dos 340 m não foi constatada a existência de cafezais, pois no inverno, estas áreas de menor altitude acumulam o ar frio das encostas, possibilitando a ocorrência de geadas e possíveis danos às plantas.

Tabela 4.3 – Quantificação das classes de altitude no município de Umuarama – PR (coluna A), e localização de lavouras cafeeiras segundo as classes de altitude (coluna B).

Classes de Altitude metros	Umuarama (coluna A)		Lavoura Cafeeira (coluna B)	
	ha	%	ha	%
260 a 300	4.200	3	0	0
300 a 340	20.200	18	0	0
340 a 380	38.500	31	3	0,5
380 a 420	38.500	31	169	28
420 a 480	21.100	17	435	71,5
Total	122.500	100	607	100

Podemos observar na Tabela 4.3 que as lavouras estão predominantemente instaladas nos patamares de maior altitude deste município, relacionado, principalmente, a ocorrência de temperaturas mais amenas em maiores altitudes. Segundo Malavolta (2000), a altitude é um dos fatores que afetam a qualidade da bebida, sendo que o café cultivado em maiores altitudes amadurece mais lentamente, possivelmente resultando numa bebida de melhor qualidade. A altitude deve ser levada em consideração quando na instalação da cultura, pois em diversas pesquisas como a de Silva et al. (2008), Figueroa et al. (2000) e Decasy et al. (2003), os autores citam esta, como fator importante na qualidade de bebida do café.

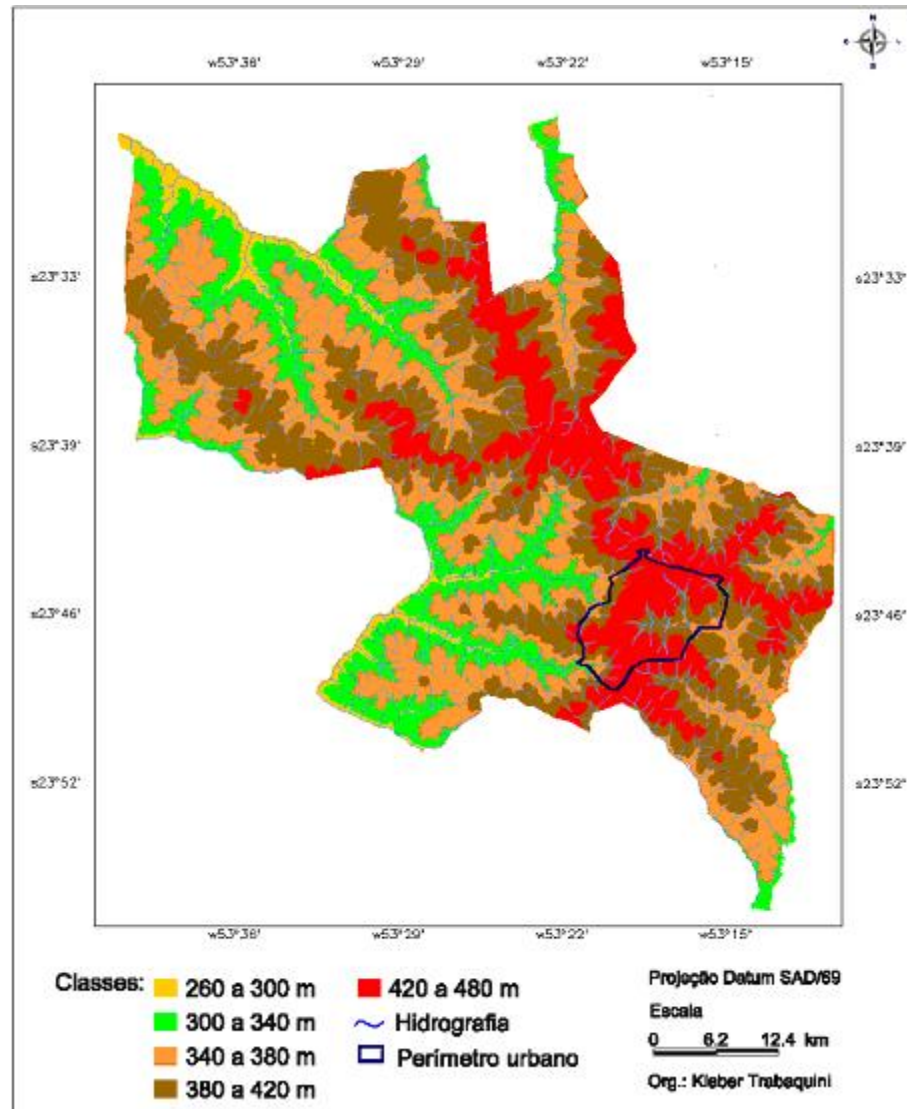


Figura 4.4 – Mapa Hipsométrico do município Umuarama-PR gerado a partir das curvas de nível eqüidistantes de 20 metros SRTM.

Podemos observar na Tabela 4.4 (coluna A), que o relevo suave ondulado, referente à classe 3 a 8% de declividade, esta presente em 54% do território deste município, seguido do relevo plano e ondulado, com 26 e 19,95%, respectivamente. O relevo forte ondulado representa uma inexpressiva parcela deste território, com 0,05% (Figura 4.5). Quanto a ocupação das lavouras cafeeiras, 62% destas estão localizadas predominantemente sobre o tipo de relevo suave ondulado, ou seja, de 3 a 8% de declividade, seguido de 29% de lavouras sobre relevo plano e 9% sobre relevo ondulado. Não foram constatadas lavouras cafeeiras sobre o domínio do relevo forte ondulado (Tabela 4.4, coluna B).

Tabela 4.4 – Quantificação das classes de declividade no município de Umuarama – PR (coluna A), e localização das lavouras cafeeiras segundo as classes de relevo (coluna B).

Classes de Declividade		Umuarama (coluna A)		Lavoura Cafeeira (coluna B)	
Classes	Declive	ha	%	ha	%
Plano	0 a 3%	33.300	26	178	29
Suave ondulado	3 a 8%	65.630	54	376	62
Ondulado	8 a 20%	23.500	19,95	53	9
Forte ondulado	20 a 45%	70	0,05	0	0
Total		122.500	100	607	100

A declividade do terreno constitui-se em uma das características físicas que podem influenciar numa produção rentável de café. Para Matiello (2005) e Caramori et al. (2001), a lavoura cafeeira deve ser implantada em terrenos com declividade superior a 5%, fazendo com que o ar frio escoe pelas encostas, diminuindo os riscos de incidência e danos causados pelas geadas e também favorecendo a boa drenagem do solo. Além disso, o relevo suave ondulado permite o manejo e as práticas mecanizáveis desde o plantio até a colheita, o que reduz bastante o custo de produção da lavoura e possibilita também a exploração da atividade em grande escala. Porém 29% das lavouras cafeeiras de Umuarama estão situadas entre 0 a 3% de declividade, o que não é indicado, pois este relevo não favorece o escoamento do ar frio e a drenagem da água no solo.

No relevo ondulado, que compreende o intervalo de 8 a 20% de declividade, foram encontrados 9% das lavouras e no relevo forte ondulado, 20 a 45% de declividade, não foram localizadas plantações de café.

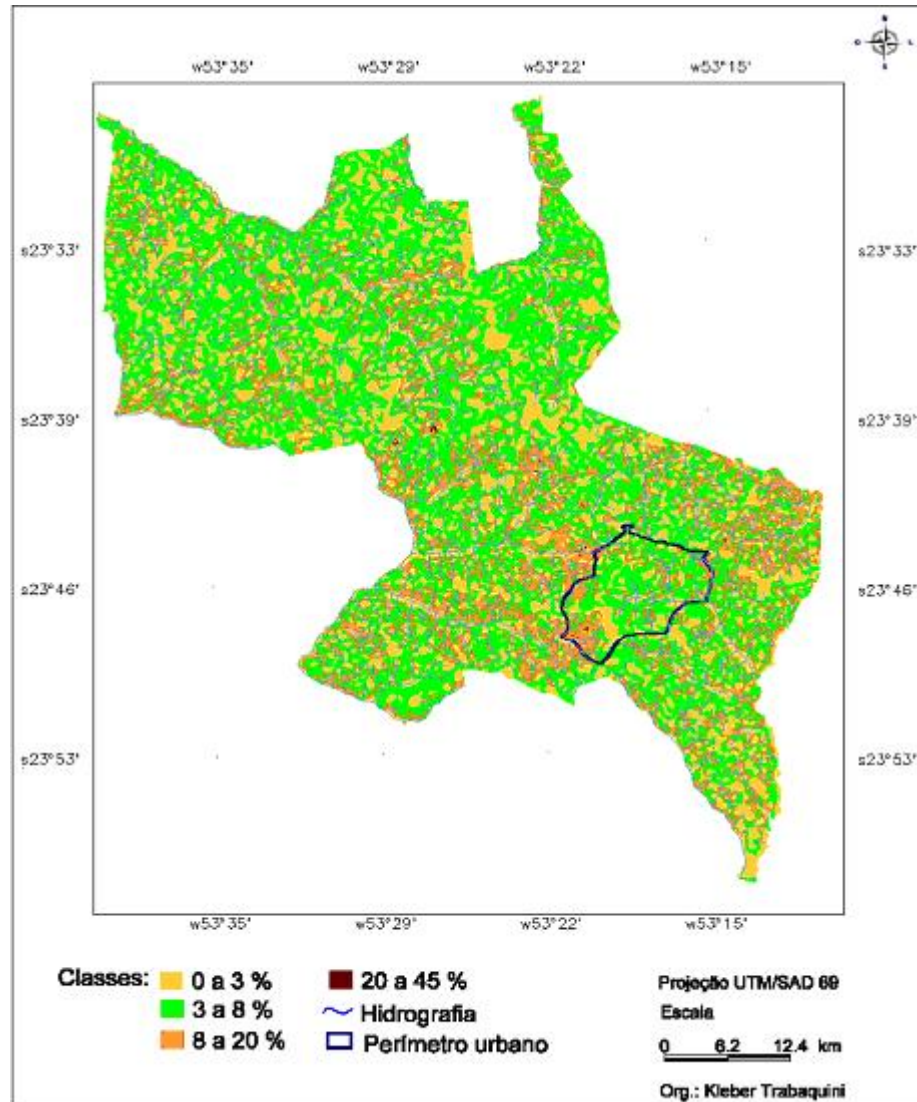


Figura 4.5 – Mapa de Declividade do Município de Umuarama-PR gerado a partir das curvas de nível eqüidistantes de 20 metros SRTM.

4.5.3 Solos

Analisando a Tabela 4.5 (coluna A), onde são descritas as quatro classes de solos mapeadas em todo o território de Umuarama, pode-se constatar que o Latossolo Vermelho distrófico (LVd) é predominante, ocorrendo em 56% da área de estudo (Figura 4.6). Ainda na mesma tabela, na coluna B, pode-se observar que 89% das lavouras cafeeiras estão localizadas preferencialmente sobre a classe de solo LVd.

Tabela 4.5 – Quantificação das classes de solos no município de Umuarama – PR (coluna A), e localização das lavouras cafeeiras segundo as classes de solo (coluna B).

Classes de Solo		Umuarama (coluna A)		Lavoura Cafeeira (coluna B)	
Símbolo	Solo	ha	%	ha	%
LVd	Latosolo Vermelho distrófico	68.600	56	540	89
PVd	Argissolo Vermelho distrófico	26.100	21	25	4
PVe	Argissolo Vermelho eutrófico	27.120	22,4	42	7
NVef	Nitossolo Vermelho eutrófico	680	0,6	0	0
Total		122.500	100	607	100

Normalmente, a classe Latossolo Vermelho distrófico (LVd) ocorre em locais de relevo plano ou suavemente ondulado, com alta profundidade efetiva. Nesta região são caracterizados por apresentarem textura arenosa, baixos teores de matéria orgânica, baixo armazenamento de água e com teores de argila inferiores a 15%; conseqüentemente, um solo deficiente em nutrientes e predisposto a altas taxas de processos erosivos (PRADO, 2001). Segundo Fidalski (1997), o cultivo sucessivo e o revolvimento excessivo destes tipos de solos, os quais são encontrados em grandes proporções na formação arenito Caiuá, na região noroeste do estado do Paraná, predispõe às altas taxas de erosão, de compactação e de perdas de matéria orgânica, resultando na degradação física, química e biológica dos mesmos, necessitando de manejo adequado, como adubação, calagem e implantação de terraços. Já a classe dos Argissolos, os quais servem de substrato para o restante das lavouras cafeeiras, são encontrados em relevo ondulado; possuem baixa fertilidade natural, contem teores de óxidos de ferro inferiores a 15% e são altamente suscetíveis à erosão.

Outra característica importante que deve ser relacionada aos tipos de solos é de que as lavouras cafeeiras situadas em solos arenosos apresentam normalmente uma maturação mais precoce dos frutos, quando comparadas às situadas em solos argilosos (SCHMIDT, 2008). Informação esta que se torna necessária no manejo da cultura, principalmente no planejamento da colheita.

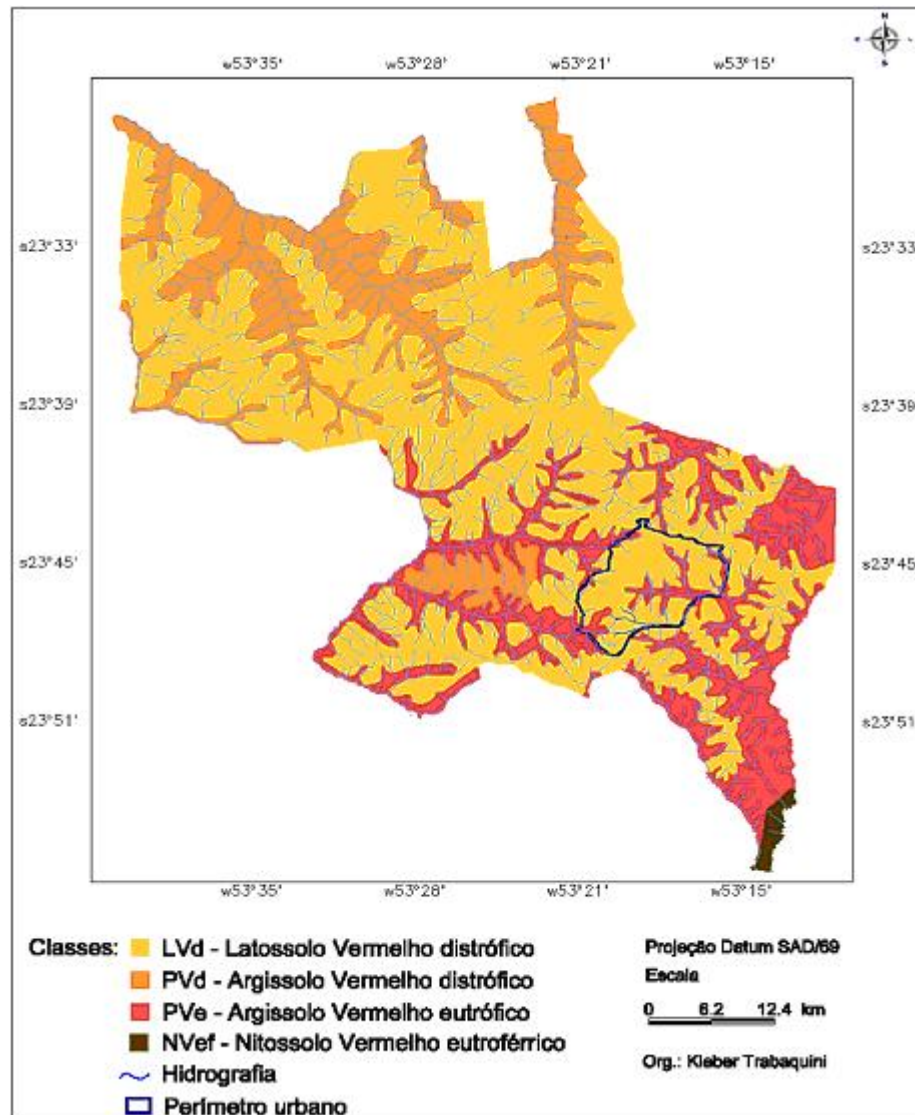


Figura 4.6 – Mapa de Solos do Município de Umuarama-PR, gerado a partir do Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná (1971).

4.6 CONCLUSÕES

1. As imagens LANDSAT 5/TM, após passarem por procedimentos de restauração e contraste em composição colorida RGB, na seqüência TM4, TM5, TM3, possibilitaram maior facilidade na execução da classificação visual e conseqüente identificação e mapeamento das lavouras cafeeiras no município de Umuarama, com alta acurácia, aproximando-se dos dados de levantamentos agropecuários efetuados por órgãos governamentais.

2. As lavouras de café do município de Umuarama encontram-se, em sua grande maioria, em situação favorável quanto aos fatores físicos do ambiente, como declividade e hipsometria.

3. Quanto às classes de solos, verificou-se que 89% das lavouras cafeeiras estão localizadas sobre Latossolo Vermelho distrófico (LVd), de textura arenosa e com alta profundidade efetiva, porém com baixa fertilidade natural e elevada predisposição a processos erosivos.

4. Este estudo pode colaborar no entendimento da atual ocupação cafeeira frente à pastagem, sendo a pecuária a atividade de maior expressão na região de Umuarama atualmente.

5 CONCLUSÕES GERAIS

Devido à predominância de solos argilosos e com altos teores de óxido de ferro no município de Londrina-PR, foi possível executar a identificação e o mapeamento das lavouras cafeeiras neste local com a aplicação da classificação automática supervisionada, pois nesta região, os solos apresentaram uma menor interferência na reflectância do dossel quando comparados aos solos arenosos da região de Umuarama-PR, onde foi preciso realizar a classificação visual dos cafeeiros, devido à alta reflectância dos solos presentes na área de estudo, interferindo com maior intensidade na identificação destas lavouras. Apesar dos resultados satisfatórios, recomenda-se, para melhor acurácia, a continuidade do mapeamento com a utilização de imagens de sensores com maior resolução espacial.

Verificou-se também que o município de Londrina supera em aproximadamente oito vezes a área cultivada com café no município de Umuarama, devido, possivelmente, aos solos de maior fertilidade natural, originários de rochas basálticas, ocorrerem na região de Londrina, e assim permitindo o cultivo mais intensivo desta cultura. Em contrapartida, os solos encontrados na região de Umuarama, originários de rochas de arenito, apresentam baixa fertilidade natural.

Foi possível constatar de maneira geral, em ambos os municípios, que as lavouras cafeeiras tendem a estar localizadas em regiões onde o ambiente físico vem a proporcionar fatores favoráveis, os quais interferem na produção desta cultura, como temperatura, solos, relevo, entre outros.

Este estudo pode contribuir para uma rastreabilidade do café, vindo a fornecer dados necessários para identificar a origem do produto, já que a qualidade da bebida é dependente não apenas do manejo da cultura, mas também da localização das lavouras, com isto atribuindo e agregando valor ao produto final.

Enfim, a utilização do sensoriamento remoto, geoprocessamento e do Sistema de Informação Geográfica SPRING, foram eficazes na avaliação e compreensão dos ambientes cafeeiros e permitiram assim, o levantamento de dados que podem auxiliar no processo de planejamento e ações referentes à cafeicultura destes municípios.

REFERÊNCIAS

ABIC. Associação Brasileira da Indústria de Café. **A história do café: Origem e trajetória.** Disponível em <<http://www.abic.com.br>>. Acesso em: 15 maio 2007.

ADAMI, M. **Estimativa de áreas agrícolas por meio de técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e amostragem.** 2003. 123p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

AHLRICH, J. S.; BAUER, M. E. Relation of agronomic and multispectral reflectance characteristics of spring wheat canopies. **Agronomy Journal**, Madison, v.75, p.987-993, 1983.

ALVES, H. M. R.; LACERDA, M. P. C.; VIEIRA, T. G. C. Caracterização de agroecossistemas cafeeiros nas principais regiões produtoras do Estado de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p.11-17.

BARROS, M. A. **Geotecnologias como contribuição ao estudo do agroecossistema cafeeiro de Minas Gerais em nível municipal.** 2006. 157p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos.

BERTOLDO, M. A.; VIEIRA, T. G. C.; ALVES, H. M. R.; SOUZA, V. C. L.; SANTOS, N. B. Uso de imagens CBERS para avaliação de áreas cafeieras no município de Campo do Meio, Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p.835-841.

BERTOLDO, M. A.; VIEIRA, G. C. V.; ALVES, H. M. R.; OLIVEIRA, M. L. R.; MARQUES, H. S. Caracterização da cultura cafeeira em relação às classes de solos e declividade utilizando técnicas de geoprocessamento na região de São Sebastião do Paraíso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003, p.33-38.

BINS, L.S.; FONSECA, L. G.; ERTHAL, G.J.; II F. A. M. Satellite imagery segmentation: a region growing approach. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996. p.677-680.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Nordeste do Estado do Paraná**. Curitiba, 1971. 144p. (Boletim técnico, 16).

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Noroeste do Estado do Paraná**. Curitiba, 1971. 144p. (Boletim técnico, 16).

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v.60, n.1, p.65-68, 2001.

CAMARGO, A.P. As oito fases fenológicas da frutificação do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 24., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro do Café, 1998. p.41-42.

CCRS. Canada Centre for Remote Sensing. **Fundamentals of Remote Sensing**. Ottawa, Ontário, Canadá, 1999. Disponível em: <<http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/learn/learn.html>>. Acesso em: 25 fev. 2008.

CARAMORI, P. H.; CAVIGLIONE, J. H.; WREGGE, M. S.; GONÇALVES, S. L.; FARIA, R. T.; FILHO, A. A.; SERA, T.; CHAVES, J. C. D.; KOGUISHI, M. S. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de café (*Coffea arabica* L.) no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, n.3, p.486-494, 2001.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra 2006/2007**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 26 abr. 2008.

COTTER, J. J.; TOMCZAK, C. M. An image analysis system to develop area sampling frames for agricultural surveys. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 60, n. 3, p.299-306, mar. 1994.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas: UNICAMP, 170p. 1992.

DECASY, F.; AVELINO, J.; GUYOT, B.; PERRIOT, J. J.; PINEDA, C.; CILAS, C. Quality of different Honduran coffees in relation to several environments. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 68, n. 7, p.2356-2361, 2003.

DUARTE, W. O.; BRITO, J. L. S. Mapeamento da Cultura do Café no município de Araguari-MG utilizando imagens do sensor CCD do satélite CBERS-2. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p.161-167.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro. 1999.

EPIPHANIO, J. C. N.; LEONARDI, L.; FORMAGGIO, A. R. Relações entre parâmetros culturais e resposta espectral de cafezais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.3, p.379-386, 1994.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Multiple frame agricultural surveys**. Volume 1 (Current survey based on area and list sampling methods). Rome: FAO, 119p. (FAO Statistical Development Series, 7). 1996.

FERREIRA, J. **O GPS TRACKMACKER**. Disponível em: <<http://www.gpstm.com/index.php?lang=port>>. Acesso em: 7 fev. 2008.

FIDALSKI, J. Fertilidade do solo sob pastagens, lavouras anuais e permanentes na região Noroeste do Paraná. **Revista Unimar**, Maringá, v. 19, p.853-861, 1997.

FIGUEROA, P.; JIMENEZ, O. H.; LEON, E. L.; ANZUETO, F. Influencia de la variedad y la altitud em lãs características organolepticas y físicas del café. In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE CAFEICULTURA, 19, 2000, San José, Costa Rica. **Anais...** San José: ICAFE, 2000. p. 493-497.

FONSECA, L. M. G., **Restauração de imagens do satélite Landsat por meio de técnicas de projeto de filtros FIR**. 1998. 148p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrônica). Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

FONSECA, L. M. G. **Processamento digital de imagens**. Apostila de aula (INPE). São José dos Campos, 105p. 2000.

FORMAGGIO, A. R.; ALVES, D. S.; EPIPHANIO, J. C. N. Sistemas de informações geográficas na obtenção de mapas de aptidão agrícola e de taxa de adequação de uso das terras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, p.249-256, 1992.

GASPARETTO, V. L. N.; SOUZA, L. M. Contexto geológico-geotécnico da Formação Caiuá no Terceiro Planalto Paranaense – Pr. In: ENCONTRO GEOTÉCNICO DO TERCEIRO PLANALTO, 1., 2003, Maringá. **Anais...** Maringá: UEM, 2003. p.1-12.

GAUSMAN, H. W. Leaf reflectance of near-infrared. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v. 51, n. 11, p.1725-1734, 1985.

GAUSMAN, E.; FITZ, P. R. Manejo de microbacias hidrográficas com a utilização de técnicas de geoprocessamento. In: CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO DA AMÉRICA LATINA-GISBRASIL, 5., 1999, Salvador. **Anais...** Salvador: Universo Online, CD-ROM. 1999.

GOEL, N. S. Models of vegetation canopy reflectance and their use in estimation of biophysical parameters from reflectance data. **Remote Sensing Reviews**, Amsterdam, v. 4, p.1-21, 1988.

GÓES, C. A.; FILHO, W. L. M.; CARVALHO, M. Avaliação do desempenho de diferentes classificadores (Isoseg, Bhattacharyya, Maxver e Maxver-ICM), utilizando imagens CCD/CBERS-1 e ETM+/Landsat-7 fusionadas. **Revista Ambiente e Água**. v. 1, n. 2, p.80-89, 2006.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento de Imagens Digitais**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 2000. 509p.

GRIGG, N.S. **Water resources management: principles, regulations, and cases**. McGraw-Hill Book Co., Inc., New York. 1996.

GUAZZELLI, N. N. **Resíduos nas edificações e danos à drenagem urbana – recomendações acerca de fatores culturais, legais e produtivos, para a cidade de Umuarama, PR**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

HOFFER, R.M.; JOHANNSEN, C. J. Ecological potentials in spectral signature analysis. In: JOHNSON, P. L. **Remote sensing in ecology**. University of Georgia Press, Athens, 1969. p.1-19.

IAPAR. Instituto Agrônomo do Paraná. **Cartas climáticas do estado do Paraná**. Londrina, p. 9 -11. 45p. 2000.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal 2006**. Brasília. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 2 abr. 2008.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Sistema de Processamento de Informações Geográficas – SPRING 4.3.3 – Tutoriais**. São José dos Campos, SP, 2007.

IPPOTILI-RAMILO, G.A. **Imagens TM/Landsat-5 da época de pré-plantio para a previsão da área de culturas de verão**. 1998. 183 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

IPPUL. Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Londrina. **Áreas de lavouras e efetivos da pecuária de Londrina, 1980-1995**. Londrina, PR, 1997.

KOLLENKARK, J. C.; DAUGHTRY, C. S. T.; BAUER, M. E.; HOUSLEY, T. L. Effects of cultural practices on agronomic and reflectance characteristics of soybean canopy. **Agronomy Journal**, v. 74, n. 4, p.751-758, 1982.

LEÃO, C.; KRUG, L. A.; KAMPEL, M.; FONSECA, L. M. G. Avaliação de métodos de classificação em imagens TM/Landsat e CCD/CBERS para o mapeamento do uso e cobertura da terra na região costeira do extremo sul da Bahia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p.939-946.

LEMONS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo e Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Campinas, 45p., 1984.

LEONARDI, L. **Influência de parâmetros culturais de cafezais sobre os dados TM/LANDSAT-5**. 1990. 171p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R.W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 4. ed. New York, 736p., 1999.

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: Ed. UNIDERP, 908p., 2006.

MACHADO, M. L. **Caracterização de agroecossistemas cafeeiros da Zona da Mata de Minas Gerais, usando sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas.** 2002. 137p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Lavras, Lavras.

MALAVOLTA, E. **História do café no Brasil: agronomia, agricultura e comercialização.** São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 464p., 2000.

MATIELLO, J. B. **O café do cultivo ao consumo.** São Paulo: Globo, 320p., 1991.

MATIELLO, J. B.; SANTIAGO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S.R.; FERNANDES, D. R. **Cultura de café no Brasil: Novo manual de recomendações.** Rio de Janeiro, Varginha, MAPA /PROCAFE, 387p., 2005.

MATHER, P. M. **Computer processing of remotely-sensed images: an introduction,** 2 ed. Chichester: John Wiley & Sons, 292p., 1999.

MEDEIROS, A. M. P.; RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E. Imagens Landsat na estimativa de áreas de cana-de-açúcar, milho e soja. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996. p.33-37.

MELLO, E. V. Cafeicultura no Brasil. In: ZAMBOLIM, L. **Tecnologias de produção de café com qualidade.** Viçosa: 2001. p.565-646.

MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. da S. **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais.** Brasília, DF: UnB/Planaltina/EMBRAPA Cerrado. 262p. 2001.

MIGLIORANZA, R.; MASSARUTTI, J.; MIGLIORANZA, E. Perfil dos produtores de café orgânico e de café tradicional no município de Londrina. 2007. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 5., 2007, Águas de Lindóia. **Anais...** Brasília: EMBRAPA CAFÉ, 2007. p.1-5.

MONTGOMERY, O. L. **An investigation of the relationship between spectral reflectance and chemical, physical and genetic characteristics of soil.** 1976.148p. Tese (PhD em Ciência do Solo). Purdue University, Indianápolis.

MOREIRA, M. A.; ADAMI, M.; RUDORFF, B. F. T. Análise espectral e temporal da cultura do café em imagens Landsat. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** v. 39, p.223-231, 2004.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologia de aplicação**. Mauricio Alves Moreira. 3. ed. atual. ampl. Viçosa : Ed. UFV, 2005.

MYERS, V. I.; ALLEN, W. A. Electrooptical remote sensing methods as nondestructive testing and measuring techniques in agriculture. **Applied Optics**, Washington, DC, v.7, p.1818-1838, 1968.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**, São Paulo: Edgar Blücher, 2 ed. 308p. 1995.

ODUM, H. T.; ODUM, E. C. **A prosperous way down: principles and policies**. Colorado, USA: University Press of Colorado, 2001.

OLIVEIRA, J. C. **Índice para avaliação de segmentação (IAVAS): uma aplicação em agricultura**. 2003. 160p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

PINO, F. A. Tendências em informações agropecuárias. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, Imagem Multimídia, 2001. Palestras.

PONZONI, F. J. Comportamento Espectral da Vegetação. In: MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. da S. **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília, DF: UnB/ Planaltina/ Embrapa Cerrado, 2001. p.157-197.

PRADO, H. **Solos do Brasil: gênese, morfologia, classificação e levantamento**. 2.ed. rev. e ampl. Piracicaba, 2001.

RANSON, K. J.; BIEHL, L. L.; BAUER, M. E. **Variation in spectral response of soybeans with respect to illumination, view and canopy geometry**. West Lafayette, IN. LARS TR-073184, 27p. 1984.

RESCK, D. V. S.; PEREIRA, J.; SILVA, J. E. **Dinâmica da matéria orgânica na região dos cerrados**. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC, 1991. 22p. (Embrapa, CPAC. Documentos, 36).

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B. D.; CORREA, G. F. **Pedologia: Base para distinção de ambientes**. Viçosa: NEPUT, 1995. 304p.

RESENDE, R. J. T. P. **Caracterização do meio físico de áreas cafeeiras do sul de Minas por meio do SPRING**. 2000. 120p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Lavras, Lavras.

RICHARDSON, A. J.; WIEG, C.L.; GAUSMAN, H.W.; CUELLAR, J. A.; GERBERMANN, A.H. Plant, soil and shadow reflectance components of row crops. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 41, n. 11, p.1401-1407, nov. 1975.

SAIZ, C.; FILHO, M. V. Técnicas de geoprocessamento aplicadas ao levantamento e integração de dados do meio físico como subsídio ao planejamento conservacionista. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, CD-ROM. 1997.

SANTOS, W. J. R.; ALVES, H. M. R. Sensoriamento remoto para a caracterização do ambiente cafeeiro das cidades: Arceburgo, Monte Santo de Minas, Guaxupé e Guaranésia, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 33., 2007, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2007. p.197-198.

SCHMIDT, C. A. P. **Caracterização qualitativa, química e microbiológica de cafés de solos de basalto e arenito**. 2008. 160p. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

SEAB. Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento. **Safra 2006/2007**. Disponível em: <http://www.seab.pr.gov.br/arquivos/File/PDF/SAFRA_2006.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2008.

SHIMABUKURO, Y. E.; MELLO, E. M. K.; MOREIRA, J. C.; DUARTE, V. **Segmentação e classificação da imagem sombra do modelo de mistura para mapear desflorestamento na Amazônia**. São José dos Campos: INPE, 14p. (INPE- 6147-PUD/029). 1997.

SILVA, J. R. C.; SILVA, F. J. da. Eficiência de cordões de pedra em contorno na retenção de sedimentos e melhoramentos de propriedades de um solo Litólico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, p.447-456, 1997.

SILVA, V. A.; PEREIRA, R. G. F. A.; BORÉM, F. M.; FERREIRA, D. F. Qualidade do café produzido em diferentes altitudes do sul de Minas Gerais e processado por via seca. **Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 1, n. 2, p.219-229, maio/ago. 2008.

STONER, E.R.; BAUMGARDNER, M.F. Characteristic variations in reflectance of surface soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.41, p.1161-1165, 1981.

SWAIN P. H.; DAVIS, S. M. **Remote Sensing: the quantitative approach**. New York: McGraw-Hill, 396p, 1978.

TARDIN, A.T.; ASSUNÇÃO, G.V.; SOARES, J.V. Análise preliminar de imagens TM visando a discriminação de café, citrus e cana-de-açúcar na região de Furnas-MG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.27, p.1355-1361, 1992.

VIEIRA, T. G. C.; LACERDA, M. P. C.; ALVES, H. M. R. Imagens orbitais aplicadas ao levantamento da cultura do café em Minas Gerais. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2000. p.86-89.