

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOMÁTICA

**APLICAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO  
COMO APOIO À OBTENÇÃO DE CRITÉRIOS PARA A  
PREVISÃO DE SAFRAS DE UVAS NA SERRA  
GAÚCHA, BRASIL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Erick de Melo Maciel

Santa Maria, RS, Brasil

2009

APLICAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO COMO  
APOIO À OBTENÇÃO DE CRITÉRIOS PARA A  
PREVISÃO DE SAFRAS DE UVAS NA SERRA GAÚCHA,  
BRASIL

por

Erick de Melo Maciel

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geomática, Área de Concentração em Tecnologia da Geoinformação, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Geomática.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Liane de Souza Weber

Santa Maria, RS, Brasil

2009

---

© 2009

Todos os direitos autorais reservados a Erick de Melo Maciel. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor.

Endereço: Rua Horácio Mônaco nº 37/810, Bairro Centro, Bento Gonçalves, RS, 95700-000  
Fone (54) 3702 4114; Fax (54) 3702 4111; End. Eletr: [erick-maciel@patulus.org](mailto:erick-maciel@patulus.org)

---

Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Geomática

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**APLICAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO COMO  
APOIO À OBTENÇÃO DE CRITÉRIOS PARA A  
PREVISÃO DE SAFRAS DE UVAS NA SERRA GAÚCHA,  
BRASIL**

elaborada por  
Erick de Melo Maciel

como requisito parcial para obtenção do grau de  
Mestre em Geomática

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

Liane de Souza Weber, Dr.<sup>a</sup>  
(Presidente/Orientador)

José Luiz Silvério da Silva, Dr. (UFSM)

Rosemary Hoff, Dr.<sup>a</sup> (EMBRAPA)

Santa Maria, 07 de abril de 2009.

## DEDICATÓRIA

*A Deus pelas experiências vivenciadas durante os estudos e trabalhos desenvolvidos até o momento; aos meus pais pelo tempo despendido à minha educação e formação moral e à minha querida companheira e filho, que está por vir, as maiores dádivas de minha vida, dedico-lhes este trabalho.*

## AGRADECIMENTO

Agradeço à minha Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Liane de Souza Weber por ter me aceitado como seu orientado e ter me ajudado a vencer diversos obstáculos, orientando, planejando e indicando que caminhos seguir.

Agradeço ao Prof.<sup>o</sup> Dr. José Luiz Silvério da Silva por ter sido um grande amigo e me conduzido aos caminhos da pesquisa e contatos com outras mentes que abriram meus olhos para trabalhos científicos e a atenção despendida durante nossas diversas conversas.

Agradeço à Dr.<sup>a</sup> Rosemary Hoff por ter aceitado ser minha co-orientadora, demonstrando proficiência em sensoriamento remoto, disponibilizando o laboratório de sensoriamento remoto da Embrapa Uva e Vinho para os estudos realizados, contribuindo sobremaneira para a elaboração deste trabalho.

Agradeço aos professores do PPGG pela compreensão e ensinamentos.

Agradeço aos meus pais por eu existir.

Agradeço à minha companheira, Eng.<sup>a</sup> MSc. Fernanda Santos, pelos momentos de carinho e estímulo, motivando-me a continuar no caminho.

Agradeço aos colegas pela ajuda e estímulo.

A genialidade é 1% de inspiração e  
99% de transpiração.  
(Thomas Edison)

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Geomática  
Universidade Federal de Santa Maria

# APLICAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO COMO APOIO À OBTENÇÃO DE CRITÉRIOS PARA A PREVISÃO DE SAFRAS DE UVAS NA SERRA GAÚCHA, BRASIL

AUTOR: ERICK DE MELO MACIEL

ORIENTADORA: LIANE DE SOUZA WEBER

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 07 de abril de 2009.

Este trabalho tem por finalidade aplicar técnicas de sensoriamento remoto na previsão de safras de uvas, em área previamente delimitada, para estudo piloto, na Região do Vale dos Vinhedos, na Serra Gaúcha, buscando verificar a utilização desta tecnologia para o monitoramento e controle dos dosséis vitícolas em relação ao volume de biomassa e instrumentalização para a construção de um sistema de tomada de decisão no manejo dos vinhedos. Os dados para o desenvolvimento do trabalho foi levantado junto à Prefeitura de Bento Gonçalves/RS e à Embrapa Uva e Vinho, das quais se conseguiu imagens da região de interesse, Vale dos Vinhedos. As imagens obtidas foram IKONOS e QUICKBIRD. Devido à grande área do Vale dos Vinhedos e a existência de muito pouco dado sobre os vinhedos para o uso de sensoriamento remoto, optou-se por uma área de vinhedos da Embrapa Uva e Vinho, que está dentro dos limites do Vale dos Vinhedos. Foi utilizado o Índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) para a avaliação do vigor dos vinhedos. A análise da classificação das imagens possibilitou à identificação de áreas de vigor vegetal em ambas as imagens usadas, sendo o método MAXVER aplicado para a realização da classificação. A matriz de confusão é utilizada para avaliar o resultado da classificação. Para a imagem QUICKBIRD classificada, indica uma porcentagem de 82,74% para a classe vinhedo, acurácia de 84,9587% e coeficiente Kappa foi de 0,7648, indicando que a classificação foi muito boa. Para a imagem IKONOS classificada, foi de 79,75% para a classe vinhedo, acurácia de 80,4188% e coeficiente Kappa de 0,7161, indicando que a classificação foi muito boa. A imagem NDVI somente foi obtida através da imagem IKONOS, o que possibilitou a confirmação da classificação em relação à imagem QUICKBIRD. Verificou-se que no ano de 2000 a quantidade de uvas produzidas foi muito maior que no ano de 2008, pois nesta data houve diminuição de área plantada na área do vinhedo analisado. A análise da aplicação do sensoriamento remoto na previsão de safras de uvas possibilita subsidiar ações de monitoramento agrícola para a viticultura, de modo a maximizar, por meio do planejamento e zoneamento das áreas de plantio, o uso do solo e de recursos e insumos para a cultura. A metodologia utilizada possibilitou a obtenção de informações a respeito das áreas de plantio utilizadas e as características dos alvos e suas relações espaciais.

Palavras-chave: viticultura de precisão; sensoriamento remoto; previsão de safra.



RESUMÉN  
Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Geomática  
Universidade Federal de Santa Maria

# **APLICACIÓN DE PERCEPCIÓN REMOTA COMO APOYO PARA LA PREDICCIÓN DE SAFRA DE UVAS EN SIERRA GAUCHE, BRASIL**

AUTOR: ERICK DE MELO MACIEL

ORIENTADOR: LIANE DE SOUZA WEBER

Fecha y Lugar de la Defensa: Santa Maria, 07 de abril de 2009.

Este trabajo tiene como objetivo aplicar las técnicas de teledetección en la predicción de las cosechas de uva, en una zona previamente delimitadas para el estudio piloto, en el Valle de los Viñedos, Sierra Gaúcha, con el objetivo de verificar el uso de esta tecnología para la vigilancia y el control de expediente vino en relación con el volumen de la biomasa y de instrumentación para la construcción de un sistema de toma de decisiones en la gestión de los viñedos. Los datos para el desarrollo del trabajo se planteó en el Ayuntamiento de Bento Gonçalves / RS y Embrapa Uva y Vino, que cuenta con imágenes de la región de interés, Valle de los viñedos. Imágenes IKONOS y se Quickbird. Debido a la gran área del Valle de los Viñedos y hay muy pocos datos sobre el viñedo para la utilización de la teledetección, elegimos una zona de viñedos de Embrapa Uva y Vino, que se encuentra dentro del Valle de los Viñedos. Se utilizó el índice de la vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para evaluar el efecto de los viñedos. El análisis de la clasificación de las imágenes permitió la identificación de áreas de vegetación existente en las dos imágenes, y el método aplicado MAXVER para realizar la clasificación. La confusión matriz se utiliza para evaluar los resultados de la clasificación. Quickbird para la imagen clasificada, indica un porcentaje de 82,74% para la clase viñedos, una precisión del 84,9587% y el coeficiente de Kappa fue 0,7648, lo que indica que la clasificación fue muy bueno. Clasificados para la imagen IKONOS fue 79,75% para la clase viñedos, precisión 80, 4188% y el coeficiente de Kappa de 0,7161, lo que indica que la clasificación fue muy bueno. La imagen NDVI se obtuvo sólo a través de la imagen IKONOS, que permitió la confirmación de la clasificación en el Quickbird imagen. Se constató que en 2000 la cantidad de uva producida es mucho mayor que en el año 2008 porque esta vez hubo una disminución en la superficie plantada en la viña analizados. El análisis de la aplicación de la teledetección en la predicción de cosecha de la uva permite el seguimiento de acciones de apoyo a la agricultura para la viticultura, con el fin de aprovechar al máximo, mediante la planificación y la zonificación de las áreas de plantación, el uso de la tierra y los recursos e insumos para cultura. La metodología permite obtener información sobre los ámbitos de la planta utilizada y las características de los objetivos y sus relaciones espaciales.

Palabras clave: viticultura de precisión, teledetección, predicción de safra.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Variação da radiação refletida pelas culturas da soja e do milho nas bandas TM3 e TM4 do Landsat-5.	20
Figura 02: Imagem NDVI correspondente a dosséis da variedade Merlot. De acordo com o índice as zonas vermelhas correspondem a setores de alto vigor, enquanto que os setores em azul indicam menor biomassa.	23
Figura 03: imagem comparando dois tipos de resolução espacial. Do ponto de vista de manejo do vinhedo, a imagem B é suficiente.	24
Figura 04: Sistemas de condução: à esquerda latada; à direita espaldeira.	25
Figura 05: Modelo esquemático da geometria de aquisição em laboratório de medidas de reflectância por espectrorradiômetro, (E) irradiância da fonte, (L) radiância da amostra, ( $\rho$ ) reflectância.	27
Figura 06: Interação da radiação eletromagnética em uma interface.	29
Figura 07: Espectro eletrorradiométrico.	30
Figura 08: Comportamento espectral do salvos.	31
Figura 09: Cidade do Rio de Janeiro / Aeroporto Santos Dumont. Extrato de Cena IKONOS modo PAN, com 1 m de resolução, adquirida em 28-02-2000 com visada de 76.90 graus. 380Kb Copyright © 2000 SPACE IMAGING.	32
Figura 10: curva média de vegetação fotossinteticamente ativa.	34
Figura 11: reflectância espectral das faces ventral e dorsal de folhas de <i>Syringa vulgaris</i> .	36
Figura 12: Dinâmica dos fatores de reflectância de dosséis simulados em função do aumento do número de camadas de folhas.	37
Figura 13: Imagens correspondentes às frações de cobertura de solo, sombra e vegetação.	40
Figura 14: IVP x VIS.	42
Figura 15: composição colorida e imagem NDVI.	45
Figura 16: Níveis de aquisição de dados por sensoriamento remoto.	47
Figura 17: partes componentes e um sistema sensor.	48
Figura 18: Classificação dos sistemas sensores quanto à categoria, princípio de funcionamento e fonte de radiação.	48
Figura 19: Esquema de um sensor passivo (A) e um ativo (B).	49
Figura 20: Esquema para representar o IFOV e PSF.	51
Figura 21: Esquema para mostrar o efeito do uso de IFOV menores.	52
Figura 22: Imagens do Landsat/TM, do SPOT/PAN, do IKONOS de São José dos Campos, SP, com resoluções espaciais de 30, 10, 1 e 4 m, para uma escala de 1:25 000.	52
Figura 23: Simulação de uma imagem do Landsat-TM com dois e quatro níveis de cinza obtida sobre a cidade de Brasília.	53
Figura 24: Quickbird em órbita.	54
Figura 25: Imagem Quickbird, Ruínas Incas/Peru.	56
Figura 26: satélite Ikonos em órbita.	56

Figura 27: imagem IKONOS, Região de Araraquara/SP.	59
Figura 28: Mapas de produtividade de soja em 2001 e 2003, respectivamente.	60
Figura 29: Características dos histogramas de diferentes tipos de cenas.	62
Figura 30: Manipulação do histograma da imagem original de modo a realçar diferentes objetos da cena.	63
Figura 31: Representação do espaço IHS.	65
Figura 32: composição RGB e IHS.	66
Figura 33: Exemplo de filtro linear.	67
Figura 34: Representação bidimensional dos níveis de brilho de uma imagem e sua relação com o comportamento espectral dos tipos de cobertura do solo.	68
Figura 35: imagem original e imagem classificada, respectivamente.	69
Figura 36: Exemplo de diferença entre os polígonos mapeados em campo e em imagem. Polígonos derivados da imagem (Azul); polígonos derivados de campo (Ciano).	70
Figura 37: Região vitivinícola da Serra Gaúcha ao Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul.	71
Figura 38: Mapa da Região do Vale dos Vinhedos: esta região se localiza no contexto de uma grande área produtora de uvas entre Bento Gonçalves, Garibaldi e Monte Belo do Sul.	73
Figura 39: diagrama morfológico da Região Nordeste do Estado do Rio grande do Sul, destacam-se as vertentes abruptas e os sucessivos patamares do Planalto das araucárias.	75
Figura 40: Mapa da Região do Vale dos Vinhedos: toponímia – as denominações usadas para o relevo e a hidrografia relacionam-se ao processo histórico da área e a altimetria situa o vale nos patamares médios no relevo do Rio Grande do Sul.	76
Figura 41: Mapa da Região do Vale dos Vinhedos: declividade.	77
Figura 42: Região do vale dos Vinhedos: distribuição das estações meteorológicas nos municípios de Bento Gonçalves, Garibaldi e Monte Belo do Sul.	78
Figura 43: Mapa da Região do Vale dos Vinhedos: distribuição da temperatura média anual estimada.	79
Figura 44: Mapa de solos da Região do Vale dos Vinhedos.	80
Figura 45: Encosta Superior do Nordeste, onde está localizada a Região da Serra Gaúcha.	82
Figura 46: Mapa da Região do Vale dos Vinhedos: imagem Landsat composição R5G4B3 para uso e cobertura do solo.	84
Figura 47: Delimitação da área piloto de estudo – Embrapa uva e Vinho.	86
Figura 48: Área de estudo – Embrapa Uva e Vinho. Imagem IKONOS recortada.	87
Figura 49: Área de estudo – Embrapa Uva e Vinho. Imagem QUICKBIRD recortada.	87
Figura 50: Apresentação das imagens originais e classificadas de cada tipo de plataforma.	90
Figura 51: Área de estudo. Imagem IKONOS recortada. Classificação supervisionada MAXVER.	91
Figura 52: Área de estudo. Imagem QUICKBIRD recortada. Classificação supervisionada MAXVER.	91
Figura 53: Imagem NDVI obtida pela razão da Banda Red e a Banda NIR do Ikonos.	94
Figura 54: Recorte das imagens QUICKBIRD [a] e IKONOS [b] com o vinhedo de interesse.	95

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Comprimentos de ondas do visível e infravermelho.	30
Tabela 02: Principais reações fotoquímicas das plantas.	35
Tabela 03: Distribuições angular foliar ( $\theta I$ ) para os vários tipos de dosséis. A coluna média é a inclinação angular das folhas.	38
Tabela 04: Principais índices de vegetação segundo Elvidge e Chen <i>apud</i> Ponzoni, 2001	43
Tabela 05: principais características técnicas do satélite QUICKBIRD 2.	54
Tabela 06: Principais instrumentos sensores Quickbird.	55
Tabela 07: principais características técnicas do satélite IKONOS II e de seus produtos.	57
Tabela 08: Principais instrumentos sensores IKONOS.	57
Tabela 09: Matriz de confusão originada da classificação da imagem Quickbird (%).	92
Tabela 10: Matriz de confusão originada da classificação da imagem Ikonos (%).	93
Tabela 11: Valores do coeficiente Kappa e grau da qualidade da classificação.	93

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	15
<b>1.1 Delimitação do tema</b>	15
<b>1.2 Justificativa</b>	16
<b>1.3 OBJETIVOS</b>	16
1.3.1 Objetivo geral	16
1.3.2 Objetivos específicos	17
<b>1.4 Referencial teórico</b>	17
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	19
<b>2.1 Agricultura de precisão</b>	19
<b>2.2 Viticultura de precisão</b>	21
<b>2.3 Sistema de plantio de uvas</b>	24
2.3.1 Sistema latada	25
2.3.2 Sistema espaldeira	26
<b>2.4 Radiometria óptica espectral</b>	26
2.4.1 Interações espectrorradiométricas	28
2.4.2 Radiação eletromagnética	28
2.4.3 espectro eletromagnético	29
<b>2.5 Comportamento espectral da vegetação</b>	32
2.5.1 A vegetação e a radiação eletromagnética	34
2.5.2 Interações com as folhas	35
2.5.3 interações com dosséis	36
2.5.4 Aparência da vegetação em imagens multi-espectrais	39
2.5.5 Índice de vegetação	41
<b>2.6 Sistemas sensores</b>	46
2.6.1 Principais características	47
2.6.2 Classificação dos sistemas sensores	48
2.6.3 Sensor do satélite Quickbird	53
2.6.4 Sensor do satélite Ikonos	56
<b>2.7 Aplicações do sensoriamento remoto na agricultura</b>	59
<b>2.8 Processamento digital de imagem</b>	61
<b>2.9 Técnicas de classificação e realce</b>	65
<b>3 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b>	71
<b>3.1 Localização</b>	71

<b>3.2 Topografia e clima</b>	74
<b>3.3 Solos</b>	79
<b>3.4 Vegetação</b>	80
<b>3.5 Uso e cobertura do solo</b>	83
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b>	85
<b>4.1 Levantamento de dados</b>	85
<b>4.2 Delimitação da área piloto da Embrapa Uva e Vinho</b>	85
<b>4.3 Classificação das imagens</b>	86
<b>4.4 Equipamentos e softwares utilizados</b>	88
<b>4.5 índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI)</b>	88
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	89
<b>5.1 Análise da classificação digital das imagens Ikonos e Quickbird</b>	89
5.1.1 Matriz de confusão	92
<b>5.2 Análise dos resultados do NDVI</b>	93
<b>5.3 Análise dos dados obtidos para previsão de safra de uvas</b>	94
<b>6 CONCLUSÕES</b>	96
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES</b>	98
<b>8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	99

## 1 INTRODUÇÃO

As vinícolas da Serra Gaúcha, principal região produtora de vinhos do país, tem se modernizado para o melhor atendimento das exigências mercadológicas, levando a uma produção de vinhos finos de maior qualidade e identidade local (PROTAS *et al*, 2002). Em passos mais lentos, mas também em evolução encontra-se a viticultura, que busca novas tecnologias para o trato cultural e o manejo dos vinhedos.

Assim, buscando maximizar a qualidade inerente às uvas de excelência dentro de um vinhedo, se iniciou atividades voltadas ao desenvolvimento de um sistema de suporte à tomada de decisão (SSTD) no manejo dos vinhedos na Embrapa Uva e Vinho, entre os anos de 2000 e 2005 (NAISSA, 2005).

A obtenção de informações das características fisiológicas das plantas e de qualidade das uvas, com o auxílio de imagens orbitais, permitirá, a exemplo do que vem ocorrendo em outros países (BRAMLEY; HAMILTON, 1999), o direcionamento da matéria-prima de qualidade superior e o maior equilíbrio das características enológicas dos vinhos provenientes de uvas de menor qualidade. Além de técnicas de sensoriamento remoto, o SSTD será composto por sistemas de posicionamento global e de informações geográficas, com rotinas voltadas à tomada de decisão sobre dados de entrada e geração de recomendações de manejo na forma de mapas e relatórios (LUZ, 2005).

Desta forma, a possibilidade do uso do sensoriamento remoto poderá servir não só para previsão de safras dos vinhedos, mas também estimativa de área cultivada, acompanhamento da evolução temporal das plantas e mapeamento de atributos de solo, otimizando recursos, pessoal e matéria-prima.

### 1.1 Delimitação do tema

Para a realização deste trabalho, partiu-se da seguinte hipótese: o sensoriamento remoto pode ser aplicado na previsão de safras de uvas na região do Vale dos Vinhedos, na Serra Gaúcha/RS?

Os motivos para a escolha do tema foram:

1. Pouca informação a respeito da aplicação do sensoriamento remoto em cultura de uvas no Brasil;

2. Viabilidade da aplicação de sensoriamento remoto para previsão de safras de vinhedos, área plantada e vigor das plantas, verificada em trabalhos realizados em outros países;
3. Auxílio na tomada de decisão no manejo dos vinhedos.

## **1.2 Justificativa**

Durante os últimos tempos, tem surgido um grande interesse no tema do sensoriamento remoto propriamente dito, bem como a sua utilização em áreas agrícolas, especialmente em cultura de grãos, e mais recentemente, em vinhedos. Outro fator relevante para a escolha do tema é por ser relativamente novo no país, existindo muitas expectativas para as potencialidades desta tecnologia para melhorar o manejo do vinhedo. No entanto, em geral, existe pouco conhecimento sobre a utilidade do sensoriamento remoto em vinhedos e especialmente na obtenção de imagens adequadas para a realização destes estudos, além da dificuldade de escolha do sensor.

O sensoriamento remoto na agricultura pode se aplicar às atividades de levantamento e caracterização de solos ou identificação e mapeamento de diversas culturas. Informações confiáveis sobre os tipos de culturas instaladas, área plantada e distribuição espacial, são fundamentais na tomada de decisões para o planejamento, definição de prioridades e liberação de financiamento pelos setores públicos ou privados envolvidos na agricultura. O sensoriamento remoto fornece estes dados atualizados e a um custo relativamente baixo.

Assim, este trabalho visou apresentar as potencialidades da aplicação do sensoriamento remoto na viticultura nacional, pelo estudo de uma área piloto na Região do Vale dos Vinhedos, que foram os vinhedos experimentais da Embrapa Uva e Vinho, RS, Brasil.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo geral**

Aplicar técnicas de sensoriamento remoto como apoio à obtenção de critérios para previsão de safras de uvas, em área previamente delimitada, para estudo piloto, na Região do Vale dos Vinhedos, na Serra Gaúcha, buscando verificar a utilização desta tecnologia para o



monitoramento e controle dos dosséis vitícolas em relação ao volume de biomassa.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- 1) Levantamento dos vinhedos na área piloto para estudo na Região do Vale dos Vinhedos;
- 2) Obtenção e análise das imagens dos vinhedos da área piloto;
- 3) Verificação da aplicabilidade de técnicas de sensoriamento remoto, a partir de imagens de alta resolução espacial, na identificação de critérios para previsão de safra de uvas na área de estudo.

## 1.4 Referencial teórico

Segundo Florenzano (2002), Sensoriamento Remoto (SR) é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados, da superfície terrestre, através da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície. Já para Moraes Novo (1988) é o uso conjunto de modernos sensores, equipamentos para processamento e de transmissão de dados, aeronaves, espaçonaves, etc., com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra em suas mais diversas manifestações.

O SR possui diversas aplicações como previsão do tempo, detecção de focos de incêndio e áreas queimadas, monitoramento dos usos do solo, zoneamento ecológico-econômico, controle de inundações, desmatamentos, vegetação, monitoramento de culturas agrícolas, entre outros.

O SIPAM, RADAM Brasil e o Inventário Contínuo do Rio Grande do Sul são exemplos de programas e projetos que se valeram do SR para sua realização. Áreas rurais são caracterizadas por matas ciliares, pastagens, associados à criação de animais, reflorestamentos e cultivos diversos, além de construções esparsas e de baixa densidade demográfica.

Nestas áreas, o SR tem grande potencialidade no estudo do uso da terra, a partir da interpretação de imagens pode-se identificar o tipo de uso, calcular a área ocupada com cada tipo de uso, estimativa da área plantada e da produção agrícola, bem como informações sobre o vigor das plantas das culturas.

Outro fator que amplia o uso do SR na agricultura é o aspecto multitemporal das imagens de satélite que nos permitem monitorar as mudanças que ocorrem, permitindo o seu acompanhamento ao longo do tempo e registrá-las em mapas, de forma manual ou automática, usando um sistema de informações geográficas, permitindo seu emprego em atividades de agricultura de precisão (FLORENZANO, 2002).

Atualmente, observa-se um grande uso do SR em lavouras de soja, devido seu valor econômico para o Estado do Rio Grande do Sul e país. Várias pesquisas sobre o tema mostram a contribuição para sistemas de previsão de safras, tanto para estimativa de área cultivada como para o acompanhamento da evolução temporal das plantas (ALMEIDA *et al.*, 2005).

Giotto *et al.* (2006) diz que a geração e a interpretação de mapas de produtividade de culturas agrícolas é um dos segmentos da agricultura de precisão, que tem recebido especial atenção de pesquisadores e de fabricantes de máquinas agrícolas, em face de sua importância no contexto do entendimento do processo da variabilidade espacial da produção e manutenção sustentada dos índices de produtividade de uma lavoura agrícola.

As aplicações do SR em viticultura são múltiplos, como para identificação de áreas com diferentes vigores dentro do vinhedo para a aplicação de diferentes manejos, monitoramento do desenvolvimento fenológico da planta, detecção de pragas e identificação de variedades de plantas (ESSER; ORTEGA, 2003).

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Agricultura de precisão

Segundo Bramley (2001), o conceito de agricultura de precisão não é novo e tampouco difícil de entender. O benefício do uso de imagens orbitais na agricultura para manejo de safras é conhecido desde 1929, quando fotografias aéreas começaram a ser empregadas para mapear recursos de solo (SEELAN *at al.*, 2003). Na Austrália e Estados Unidos, a indústria de grãos foi a que primeiramente teve interesse na agricultura de precisão (SILVA, 2006).

A agricultura de precisão, conforme Sulzbach (2003) pode ser definida como um ciclo de atividades e tomada de decisões no sistema produtivo, podendo ser dividido em três etapas: colheita e geração de mapas de produtividade; análise e avaliação do mapa de produtividade e geração e execução de mapas de aplicação variável para as seguintes atividades: preparo do solo, fertilização do solo e pulverização.

O autor diz, ainda, que o mapa de produtividade é a representação gráfica da quantidade do produto agrícola colhida a cada ponto georreferenciado da lavoura, possuindo como objetivo a determinação da variabilidade espacial da produção.

Segundo Moreira e Rudorff (2002), os satélites de recursos naturais, ou seja, aqueles satélites que foram construídos para observar e coletar dados da superfície terrestre, por exemplo, a área ocupada com floresta, carregam a bordo sensores que coletam estes dados. Este tipo de satélite carrega a bordo um conjunto de sensores (sistema sensor) que operam em diferentes faixas do espectro eletromagnético. Devido a isso temos uma coleta da energia refletida em forma multi-espectral. Além disso, eles passam num mesmo ponto da superfície terrestre de tempo em tempo. Com esta repetitividade dos satélites, podemos obter dados de uma área agrícola várias vezes, durante seu ciclo de crescimento e desenvolvimento. Isso permite criar um banco de dados com informações multi-temporais.

Os autores comentam que no caso de culturas agrícolas, a radiação refletida que é coletada pelos sistemas sensores traz informações que podem estar relacionadas, por exemplo, com o tipo de cultura plantada, com as condições fenológicas ou nutricionais da cultura e, conseqüentemente, com a produtividade, podendo, assim, estimar a produção da cultura agrícola. A figura 01 apresenta a variação da radiação refletida pelas culturas da soja e do milho.

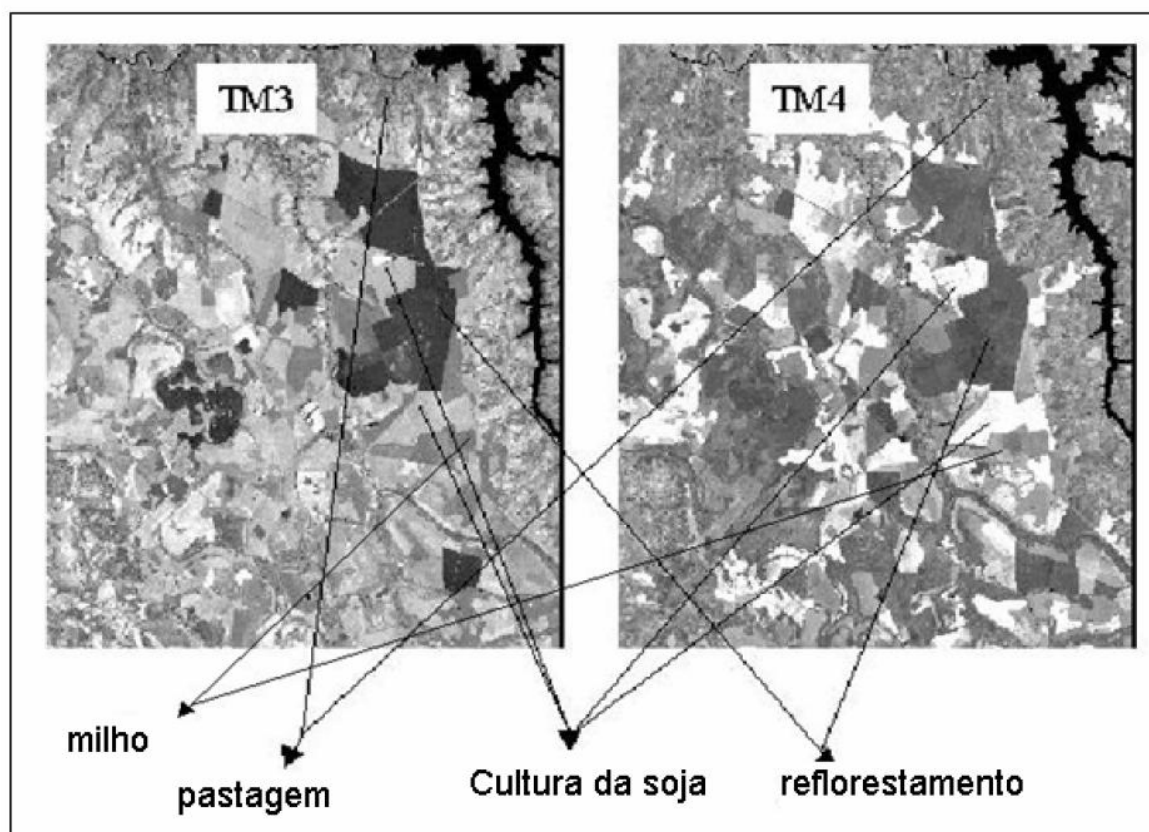


Figura 01: Variação da radiação refletida pelas culturas da soja e do milho nas bandas TM3 e TM4 do Landsat-5.  
Fonte: Moreira; Rudorff, 2002.

As principais culturas estudadas em agricultura de precisão são a cana-de-açúcar, café, arroz irrigado, milho, trigo e soja. Entretanto há uma vasta possibilidade de utilização das técnicas de sensoriamento remoto para outras culturas, como para a viticultura.

Segundo Rey e Rodríguez (2006), a agricultura de precisão estabelece os seguintes desafios: utilizar a informação e tecnologias disponíveis aplicadas aos pequenos sistemas de produção; sistematização da captura da informação em uma escala apropriada às características do sistema de produção; desenvolvimento de métodos de amostragem mais eficientes; organização da informação e integração em um sistema de informações geográficas; desenvolvimento de sistemas de tomada de decisão conforme o avanço tecnológico; implementação de respostas adequadas à implementação de sistemas de manejos apropriados; desenvolvimento de metodologias considerando a propriedade rural como unidade experimental e o desenvolvimento de uma nova forma de se fazer pesquisa.

Os autores ainda dizem que a agricultura de precisão recupera as condições ideais de plantio e que a gestão dos sistemas de produção em função das condições locais existentes evita o uso da tecnologia em um referencial uniforme em grandes regiões, onde existem

grandes diferenças nas condições ambientais. Além disso, a agricultura de precisão incentiva a utilização eficiente dos fatores de produção e a melhoria da pesquisa com o mínimo impacto econômico sobre o meio ambiente, além de incentivar o produtor a manter registros cada vez mais detalhados e confiáveis para a tomada de decisões na gestão das áreas de produção.

## **2.2 Viticultura de precisão**

Há algum tempo, tem surgido grande interesse no uso do sensoriamento remoto na previsão de safras de diversas culturas agrícolas, como soja, milho, arroz e cana-de-açúcar. A novidade é sua utilização em monitoramento de vinhedos.

A utilização do sensoriamento remoto aliado a outras ferramentas possibilita aos produtores de uva e vinho adquirir informações georreferenciadas detalhadas sobre o desempenho dos vinhedos. Neste sentido, o uso destas informações para a produção de uvas e vinhos, conforme com a expectativa de desempenho dos vinhedos, permite atingir metas desejadas e planejadas, em termos de produção, qualidade e desenvolvimento da planta (BRAMLEY; HAMILTON, 1999).

Neste tipo de cultura sua aplicação ainda é relativamente nova, existindo muita expectativa em torno de seu potencial para melhorar o manejo vitícola. No contexto geral há muito pouco conhecimento a respeito da utilização de sensores remotos e imagens orbitais.

Entretanto, ao contrário do que se pensa as aplicações de sensoriamento remoto datam de mais de duas décadas, as quais começaram na Alemanha por volta de 1978. Na década de 1980 a NASA juntamente com algumas universidades dos Estados Unidos, desenvolveram algoritmos para prever o rendimento por imagens aéreas e identificar áreas infestadas com vírus nos vinhedos.

Na década de 1990 é que começa em maior escala as pesquisas nesta área do conhecimento, ou seja, na aplicabilidade do sensoriamento remoto na previsão de safras de uvas. Em 1993, a NASA desenvolve o Projeto GRAPES (Grapevine Remote Sensing Analysis of Phylloxera Early Stress). Através de imagens aéreas infravermelhas tomadas sobre os vinhedos californianos, os viticultores obtiveram informações do comportamento da Phylloxera em seus vinhedos, permitindo realizar um monitoramento da evolução da moléstia.

Pelo sucesso inicial, o projeto passou a se chamar CRUSH (Canopy Remote Sensing for Uniform Segment Harvest), quando se usou imagens com resolução de 2 m tomadas em 1997, determinando-se áreas de baixo, médio e alto vigor, cujas uvas foram vinificadas

separadamente, obtendo-se distintas variedades e/ou qualidades de vinhos. Esta é a origem da aplicação do sensoriamento remoto nos estudos do comportamento de vinhedos.

A Serra Gaúcha como principal região produtora de vinho do País, tem necessidade de inovação em aspectos relacionados ao monitoramento dos vinhedos e previsão de safra, com o intuito de otimizar os recursos investidos na cultivo da uva e produção de vinhos. Pelo relevo ser muito acidentado e pouco mecanizável fica clara a dificuldade de mapeamento dos cultivos existentes.

A agroindústria nacional e regional tem evoluído muito nas últimas décadas (PROTAS *et al.*, 2002), e a necessidade de produtos obtidos a partir de sensores remotos deve acompanhar esta tendência. Conforme as exigências do mercado consumidor crescem, deve haver um incremento tecnológico no processo de tomada de decisão e no manejo das áreas cultivadas, tanto por necessidade de otimização no uso dos recursos e conseqüente otimização dos dividendos quanto pela redução dos impactos ambientais negativos, a exemplo do que vem ocorrendo nos países desenvolvidos com aplicação de tecnologias de agricultura de precisão (LUCHIARI, 2003).

Diante deste contexto, busca-se a geração de informações a respeito do comportamento espectral das variedades de maior interesse econômico regional e nacional, que subsidiem a análise da viabilidade de identificação de variedades de *Vitis* spp. e da detecção de alterações nas condições fisiológicas e estruturais das plantas.

Com o desenvolvimento de diversas técnicas para estudar qualitativa e quantitativamente o estado da vegetação a partir de medidas espectrais obtidas através de sensores remotos, concentrando as informações desejadas em imagens multi e hiper-espectrais, de modo a facilitar a tomada de decisão a partir destas, desenvolveram-se os chamados índices de vegetação. Estes índices correspondem a uma combinação matemática de bandas espectrais, cuja função é realçar a contribuição da vegetação, em função da resposta espectral de determinada superfície, e atenuar a contribuição de outros fatores como solo, atmosfera, entre outros (ESSER; ORTEGA, 2003).

Atualmente existem alguns índices de vegetação de uso potencial na viticultura, entre estes se pode mencionar o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), o índice verde de vegetação (GVI), índice de diferença de vegetação (DVI), índice razão de vegetação (RVI) ou índice de razão simples (SR), índice de vegetação perpendicular PVI), entre outros. A figura 02 apresenta uma imagem NDVI de um vinhedo, indicando a variação de biomassa.

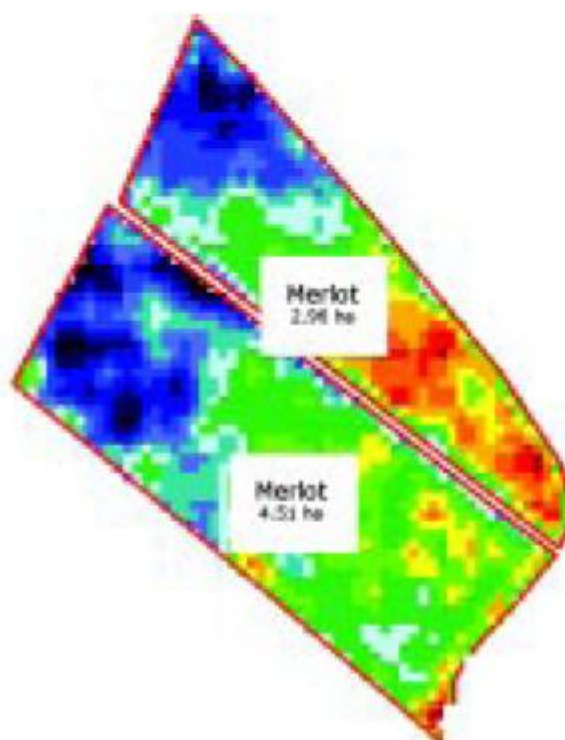


Figura 02: Imagem NDVI correspondente a dosséis da variedade Merlot. De acordo com o índice as zonas vermelhas correspondem a setores de alto vigor, enquanto que os setores em azul indicam menor biomassa. Fonte: Adaptado de Agrosat Chile, 2003.

Cada tipo de imagem possui diversas características que são importantes na hora de se decidir qual utilizar, pois cada uma se ajusta melhor a determinado tipo de estudo. Os principais pontos a considerar são os tipos de resolução: a espacial, a temporal, a radiométrica e a espectral. Baseando-se em cada uma delas é que se escolherá qual o melhor tipo de sensor para a realização do Trabalho, e com vinhedos não se poderia ser diferente. Demonstrando estas peculiaridades a figura 03 apresenta a comparação de uma imagem de 1 ha de Cabernet Sauvignon em duas resoluções especiais diferentes: a) 20 cm e b) 3 m. Na primeira se distingue claramente as fileiras, o que não se verifica na imagem de menor resolução.

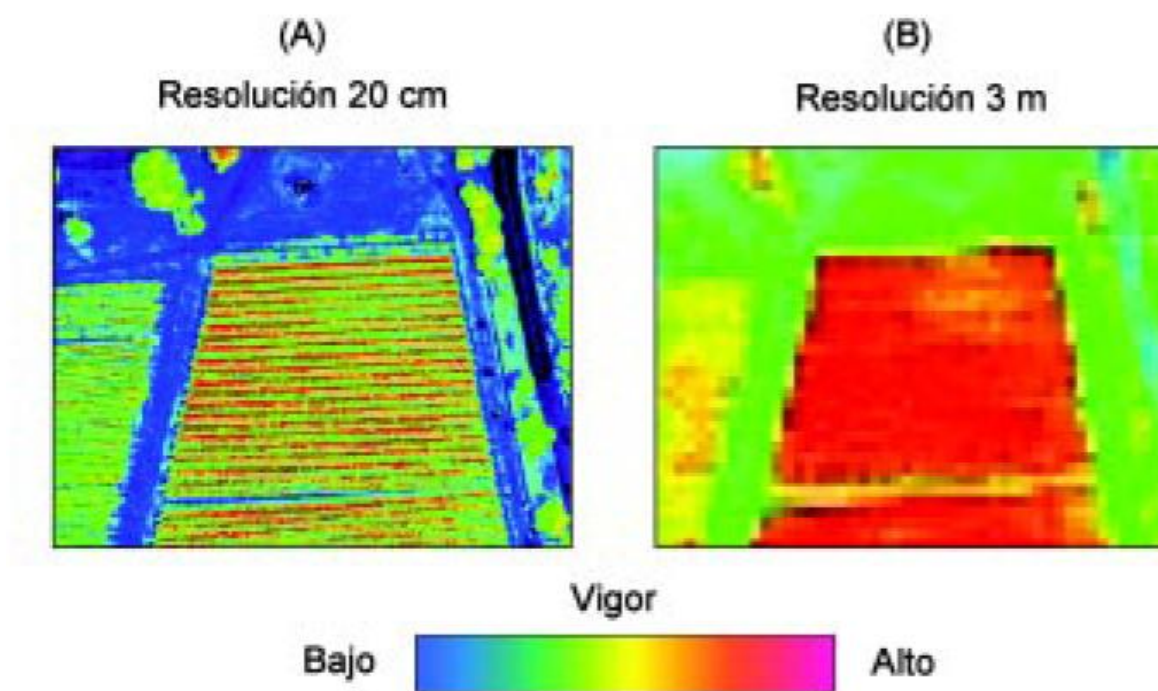


Figura 03: imagem comparando dois tipos de resolução espacial. Do ponto de vista de manejo do vinhedo, a imagem B é suficiente. Fonte: Esser; Ortega, 2003.

Tisseyre (2008), em palestra via Internet sobre viticultura de precisão, apresentou para os participantes do XII Congresso Brasileiro de Viticultura e Enologia, realizado em Bento Gonçalves/RS em 2008, a perspectiva de produção utilizando viticultura de precisão, mostrando as possibilidades de detecção das variações existentes dentro da área de um vinhedo, identificando as necessidades de cada planta e as tratando individualmente. Segue o autor, para que seja viável esse tipo de produção, que já se adota em alguns países mais tecnificados, é necessário inicialmente identificar e mapear a variabilidade espacial do vinhedo. É possível medir a variabilidade entre plantas analisando imagens aéreas ou orbitais do vinhedo em diferentes cores (verde, vermelho e infravermelho) ou com medidas terrestres feitas com sensores acoplados a um trator que se movimenta através do vinhedo. Entretanto, no Brasil quase não existe trabalhos nessa aérea, carecendo de maior detalhamento das informações e os poucos trabalhos existentes estão focados na área de espectrorradiometria.

### 2.3 Sistemas de plantio de uvas

A videira, salvo exceções, não pode ser cultivada satisfatoriamente sem alguma forma de suporte. É uma planta que apresenta uma grande variedade na arquitetura de seu dossel. A



distribuição espacial do dossel juntamente com o sistema de sustentação, constitui o sistema de condução da videira. Há vários fatores que influenciam a escolha do sistema de condução, que são o objetivo da produção (qualidade ou quantidade); a variedade; o tamanho do cacho; vigor da planta, que pode requerer altura e/ou largura maiores para uma melhor exposição solar; as condições do solo e do clima; a topografia do terreno; o método de colheita, manual ou mecanizado; o custo de instalação e de manutenção dos postes e fios; a conjuntura econômica do viticultor (SILVA, 2006).

Segundo Silva (2006) existe grande diversidade de sistemas de condução da videira usados em diferentes regiões vitícolas do mundo. No sistema de produção de uvas viníferas para processamento em regiões de clima temperado, são mais comumente usados os sistemas de condução latada e espaldeira. A figura 04 apresenta a forma dos dois sistemas.

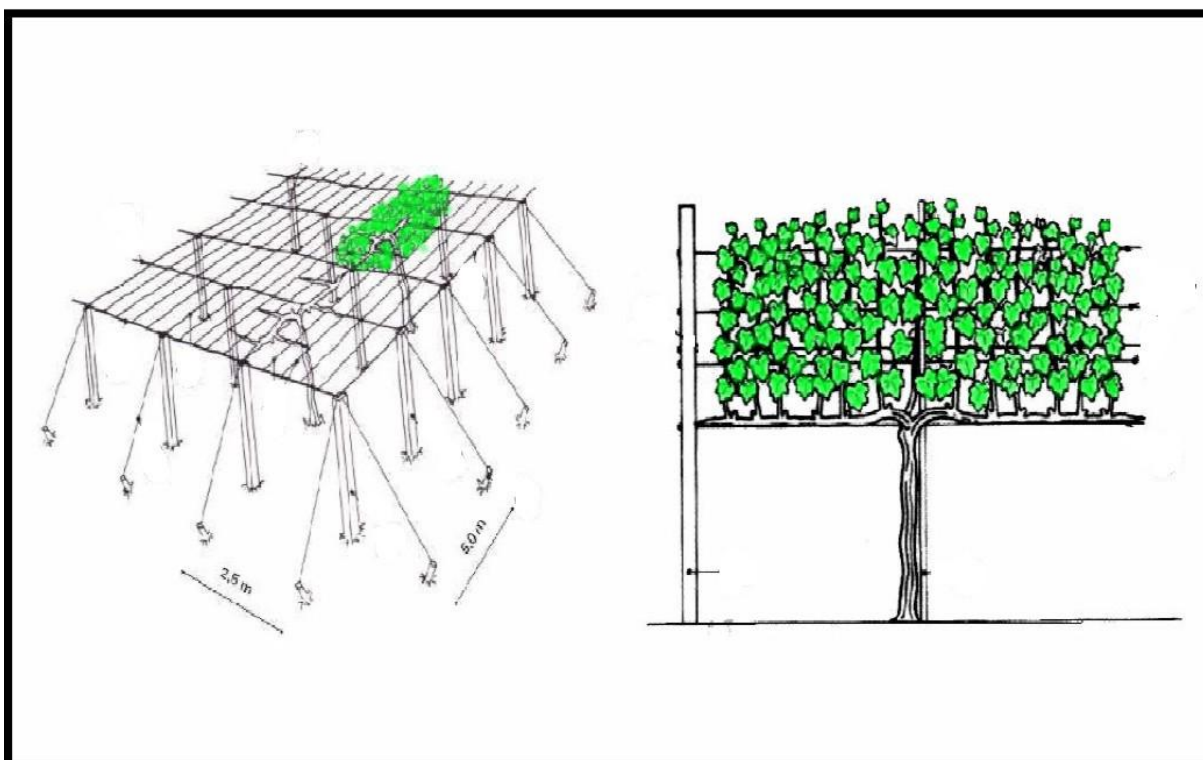


Figura 04: Sistemas de condução: à esquerda latada; à direita espaldeira. Fonte: Adaptado de Silva, 2006.

### 2.3.1 Sistema latada

O sistema de condução latada, também conhecido como de pérgola, é o sistema mais usado na Serra Gaúcha e no Vale do Rio do Peixe/SC. Na América do sul tem alguma expressão na Argentina, Chile e Uruguai. Na Europa, aparece em determinadas regiões

vitícolas, especialmente na Itália, com denominações e formas diferenciadas (SILVA, 2006). Neste sistema, o dossel é horizontal, conforme figura 04.

### 2.3.2 Sistema espaldeira

O sistema de condução espaldeira é um dos mais usados pelos viticultores nos principais países vitivinícolas. No Estado do Rio Grande do Sul, é adotado especialmente na Região da Campanha, Serra do Sudeste e por algumas vinícolas da Serra Gaúcha. As videiras conduzidas em espaldeira apresentam o dossel na vertical (SILVA, 2006), conforme mostrado na figura 04.

## 2.4 Radiometria óptica espectral

Radiometria é a medida quantitativa da intensidade de qualquer um dos tipos conhecidos de radiação, como a radiação eletromagnética, emitida pelo Sol ou fontes artificiais de emissão, como uma lâmpada (MENESES, 2001).

A radiometria espectral é uma das mais importantes áreas do sensoriamento remoto, pois são através das medidas radiométricas realizadas em laboratório ou em campo que se descobrem as intensidades refletidas de radiação eletromagnéticas dos alvos nos diversos comprimentos de onda do espectro, possibilitando a explicação e o entendimento do comportamento de cada alvo apresentado nas imagens. Um alvo que possua alta intensidade de reflectância em determinado comprimento de onda será codificado na imagem preto e branco correspondente àquela banda espectral, com um tom de cinza-claro e, o oposto, um que absorva toda a radiação eletromagnética, apresentar-se-á em tons de cinza-escuro (MENEZES, 2001).

A importância da radiometria é reconhecida na prática. Todas as vezes que as imagens forem usadas para se fazer interpretações temáticas, como mapas do uso da terra, mapas geológicos ou qualquer outro, cujo objetivo seja identificação ou discriminação dos alvos de interesse, se estará fazendo uso da radiometria para sua interpretação.

A análise ou a interpretação das imagens de alvos registrados por um sensor imageador multiespectral, obrigatoriamente exige conhecimentos sobre como estes se

comportam espectralmente ao longo dos diversos intervalos de comprimento de onda da radiação eletromagnética: visível, infravermelho, termal e microondas, conforme a figura 05.

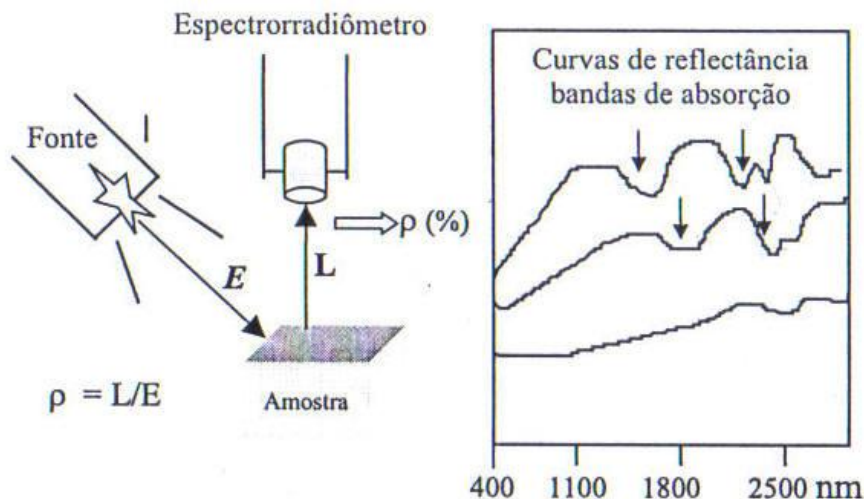


Figura 05: Modelo esquemático da geometria de aquisição em laboratório de medidas de reflectância por espectrorradiômetro, (E) irradiância da fonte, (L) radiância da amostra, ( $\rho$ ) reflectância. Fonte: Meneses, 2001.

O conhecimento do comportamento espectral dos alvos auxilia na análise das imagens orbitais, possibilitando a correta identificação e interpretação, caso contrário, é praticamente impossível interpretar imagens multi-espectrais de sensores remotos, se não se sabe como se comportam espectralmente os diferentes alvos naturais da superfície terrestre: solo, rocha, vegetação e água.

Tão poderosa é a informação espectral que as pesquisas atuais e concepções para o desenvolvimento de novos sensores orbitais, vêm sendo direcionadas para o sensoriamento remoto hiperespectral, capaz de adquirir mais de uma centena de imagens (MENESES, 2001). Isto se deve ao fato de os distintos materiais existentes na natureza exibem diferentes comportamentos de reflectância, pois cada um absorverá ou refletirá maiores ou menores quantidades de radiação eletromagnética em função das suas variadas constituições físicas, químicas e biológicas.

Diversos autores detalharam o comportamento espectral e caracterizaram através de curvas espectrais os padrões de reflectância dos diversos tipos de rochas em função de suas composições mineralógicas. Outros estenderam os estudos para solos, água e vegetação, disponibilizando os conhecimentos necessários e fundamentais para se extrair informações sobre a natureza dos objetos contida nos *pixels* das imagens, isto é, os recursos para

interpretar uma imagem multi-espectral para gerar um mapa geológico ou da cobertura vegetal de determinada área de interesse (MENESES, 2001).

#### 2.4.1 Interações espectrorradiométricas

Espectrorradiometria de reflectância é uma técnica que tem a função de medir em diferentes comprimentos de onda a energia eletromagnética refletida da superfície de alvos terrestres e representá-la em forma de gráfico, denominado de curva de reflectância espectral (MENESES, 2001).

Meneses (2001) comenta que tanto no campo como no laboratório é muito importante definir a melhor relação geométrica relativa entre as posições da fonte de iluminação, objeto e sensor. Dessa forma, o uso das medidas espectrorradiométricas dos materiais, com o fim de orientar a calibração da interpretação das imagens, deve ser visto como um modelo não absoluto, porque em algumas situações o intérprete precisará ter algum conhecimento de campo das condições texturais, estruturais e de forma dos objetos para realizar uma interpretação confiável.

As interações podem ser macroscópicas e microscópicas. As primeiras são aquelas controladas pelas propriedades ópticas do material e envolvem efeitos com refração, difração e espalhamento conforme sejam as características da superfície do material (MENESES, 2001).

#### 2.4.2 Radiação eletromagnética

A radiação eletromagnética (REM) é o meio por onde a informação de um alvo é transferida para o sensor remoto. A REM pode ser definida como uma forma dinâmica de energia que se manifesta a partir de sua interação com a matéria.

Quando a onda eletromagnética incide sobre determinada superfície, alguma energia é refletida, espalhada e transmitida, como mostra a figura 06 (NOVO, 2008).

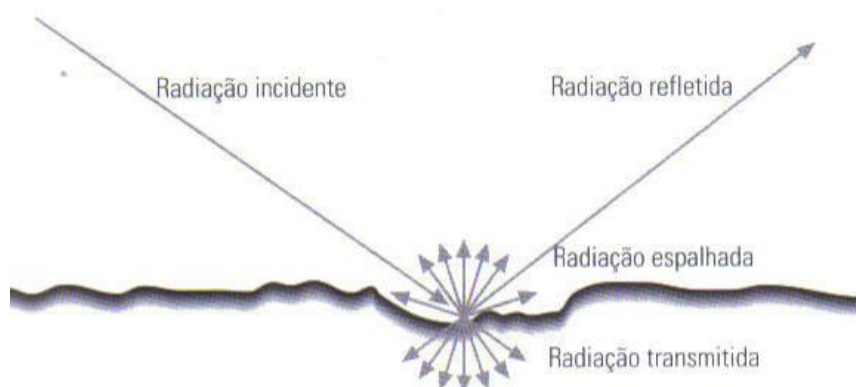


Figura 06: Interação da radiação eletromagnética em uma interface. Fonte: Novo, 2008.

A REM é a energia utilizada para as aplicações de sensoriamento remoto, caracterizando a principal fonte de informações a respeito dos alvos de interesse.

#### 2.4.3 Espectro eletromagnético

Ao conjunto de ondas eletromagnéticas que compõem o campo de radiação de determinado alvo se denomina espectro. O espectro eletromagnético representa todo o conjunto de comprimentos de onda conhecidos, desde os raios gama até ondas de rádio (NOVO, 2008).

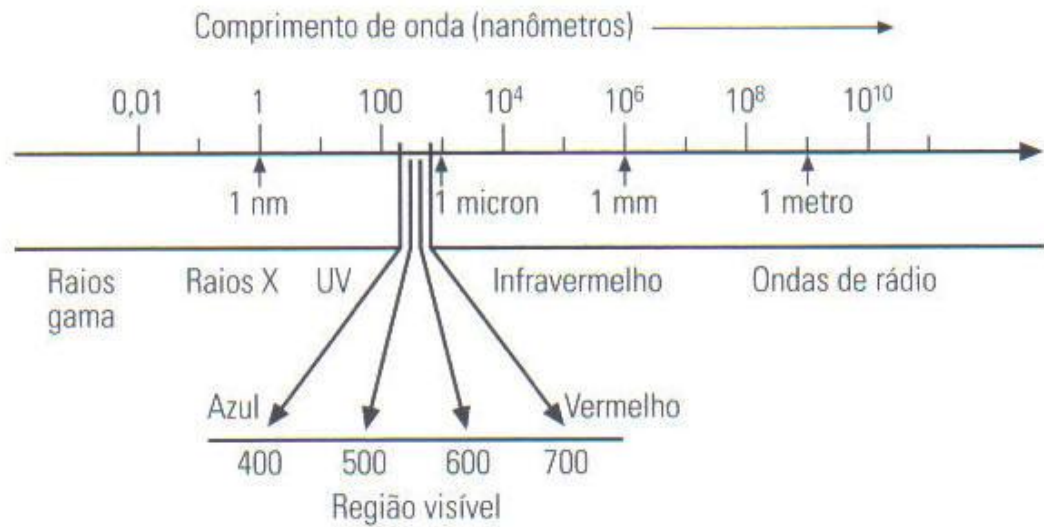


Figura 07: Espectro eletromagnético. Fonte: Novo, 2008.

Através do conhecimento do espectro eletromagnético é possível escolher que a melhor faixa do espectro se ajusta aos tipos de trabalhos desenvolvidos, facilitando a fotointerpretação da imagem. A tabela 01 apresenta os comprimentos de ondas das sub-regiões do visível e do infravermelho.

Tabela 01: Comprimentos de ondas do visível e infravermelho.

Região	Sub-região	Comprimento de onda (μm)
Visível	Violeta	0,38 – 0,45
	Azul	0,45 – 0,49
	Verde	0,49 – 0,56
	Amarelo	0,56 – 0,59
	Laranja	0,59 – 0,63
	Vermelho	0,63 – 0,76
Infravermelho	Próximo	0,76 – 1,50
	Ondas curtas	1,50 – 3,00
	Médio	3,00 – 5,00
	Termal	5,00 – 15,00
	Distante	15,00 – 300,00

Fonte: Adaptado de Novo, 2008; Meneses, 2001.

Os alvos da superfície terrestre como a vegetação, a água e o solo refletem, absorvem e transmitem REM em proporções que variam com o comprimento de onda, conforme as suas características físico-químicas e biológicas. Estas variações podem ser representadas através de curvas, caracterizando a assinatura espectral de cada alvo (FLORENZANO, 2002).

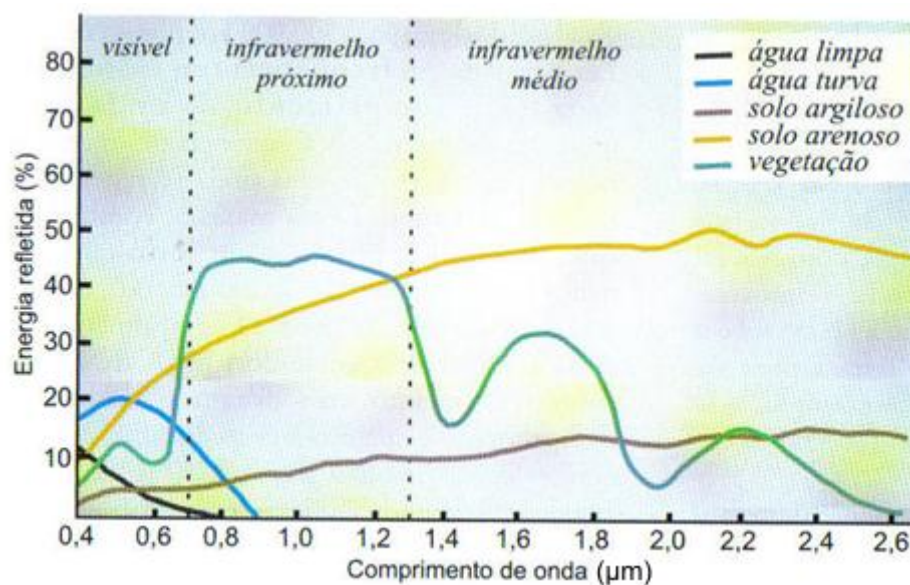


Figura 08: Comportamento espectral dos alvos. Fonte: Florenzano, 2002.

Avaliando a figura 08, constata-se que na região do visível a vegetação reflete mais energia da faixa correspondente ao verde, o que explica enxergarmos a vegetação na cor verde. Já na faixa do infravermelho próximo, a vegetação reflete muito mais energia, se destacando dos demais alvos. A curva do solo indica uma maior uniformidade, pois as variações são menores em relação à vegetação ao longo do espectro. A água limpa reflete pouca energia na faixa do visível e quase nada na do infravermelho, enquanto que a água turva reflete mais energia na faixa do visível, ocasionada pelos sedimentos em suspensão ou poluição.

Devido a essas variações do espectro eletromagnético, distinguem-se os diferentes alvos da superfície terrestre nas imagens de sensores remotos. As feições dos alvos nas imagens variam do branco, quando refletem muita energia, ao preto, quando refletem pouca energia, como na figura 09.



Figura 09: Cidade do Rio de Janeiro / Aeroporto Santos Dumont. Extrato de Cena IKONOS modo PAN, com 1 m de resolução, adquirida em 28-02-2000 com visada de 76.90 graus. 380Kb Copyright © 2000 SPACE IMAGING. Fonte: [www.engesat.com.br](http://www.engesat.com.br) , acessado em 17/02/2009.

## 2.5 Comportamento espectral da vegetação

Segundo Ponzoni (2001) a cobertura vegetal é estudada ao longo do tempo, de acordo com os mais variados níveis de abordagens, que incluem estudos taxonômicos, botânicos, fisiológicos, fitossociológicos, entre outros. Quando descobriram que os vegetais extraem do Sol a energia necessária para viver, passou-se a estudar mais detalhadamente a interação entre a radiação eletromagnética e a vegetação. O sensoriamento remoto é uma das tecnologias que mais contribuíram para o avanço dos conhecimentos de como a vegetação processa a radiação eletromagnética, viabilizando diversos estudos da fisiologia vegetal em laboratório.

Continua o autor, o aprimoramento do conhecimento da interação do REM e a vegetação tem ocorrido pela realização de estudos sobre o comportamento espectral da vegetação, que representa as características de reflectância da REM pelas folhas, plantas individuais e conjunto de plantas. Ao “comportamento espectral” estão associados conceitos de reflectância, transmitância e absorvância espectrais, i. e., para se conhecer o comportamento espectral da vegetação é preciso conhecer como se dá o processo de interação



com a REM em termos desses fenômenos físicos, contudo, os casos que envolvem o uso do sensoriamento remoto em estudos da vegetação analisam, na sua maioria, a reflectância.

Diversos experimentos têm sido conduzidos para caracterizar o comportamento espectral das partes das plantas, plantas e conjuntos de plantas (dosséis), com o fim de atender às necessidades específicas desde um simples trabalho acadêmico, até a aquisição de dados compatíveis com modelos matemáticos destinados à previsão de fenômenos e/ou à estimativa de parâmetros biofísicos mediante o uso de dados orbitais (PONZONI, 2001).

Pensar no processo de interação entre a REM com a vegetação nos leva a perceber que há variações marcantes de estruturas de folhas entre espécies diferentes e até mesmo entre folhas de uma mesma espécie, cujos indivíduos se desenvolvem em condições ambientais diferenciadas, porém o que é relevante compreender é que a folha em si pode ser considerada como um meio de tráfego da REM e dependendo do comprimento de onda dessa radiação, alguns componentes desse meio vão exercer certa influência no processo de interação. As frações espectrais da radiação incidente que serão refletidas, absorvidas e transmitidas, dependerão das características físico-químicas e biológicas de um alvo da superfície terrestre. Aplica-se o mesmo raciocínio para a vegetação (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

A figura 10 apresenta a curva espectral média da vegetação fotossinteticamente ativa. Analisando o gráfico, verifica-se que a radiação se decompõe em três regiões espectrais, em função dos fatores que condicionam seu comportamento: até 0,7  $\mu\text{m}$  a reflectância é baixa (< que 20%), dominando a absorção da radiação incidente pelos pigmentos da planta; de 0,7  $\mu\text{m}$  a 1,3  $\mu\text{m}$ , tem-se a região dominada pela alta reflectância da vegetação (30% <  $\rho$  < 40%); entre 1,3  $\mu\text{m}$  a 2,5  $\mu\text{m}$ , a reflectância da vegetação é dominada pelo conteúdo de água nas folhas (NOVO, 2008).

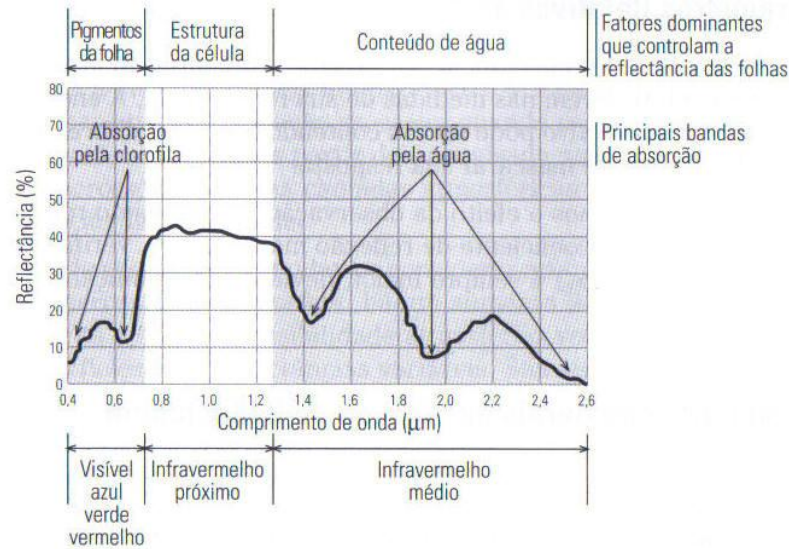


Figura 10: curva média de vegetação fotossinteticamente ativa. Fonte: Novo, 2008.

### 2.5.1 A vegetação e a radiação eletromagnética

Estudos envolvendo a reflectância espectral de dosséis têm procurado relacionar os níveis de cinza (NC), que definem os padrões existentes em fotografias aéreas e imagens orbitais de diferentes regiões espectrais, às diferentes tipologias vegetais. Goel (1988) definiu um sistema pertinente ao sensoriamento remoto da vegetação, com base em dados de reflectância espectral de dosséis, constituídos pelos subsistemas: fonte de radiação, atmosfera, dossel, solo e detector.

Segundo Novo (2008) o comportamento espectral da vegetação pode ser afetado pela arquitetura do dossel e pelo tipo de substrato, e que o mesmo é sensível à reflectância do solo.

Um dossel é constituído por muitos elementos da própria vegetação, como folhas, galhos, frutos, flores. Um fluxo de radiação incidente sobre qualquer um desses elementos estará sujeito aos processos de espalhamento e absorção (PONZONI, 2001). A tabela 02 mostra as principais reações fotoquímicas das plantas.

Tabela 02: Principais reações fotoquímicas das plantas.

Processo	Reações	Fotorreceptor	Pico do espectro (nm)	Banda espectral (nm)
Síntese de Clorofila	Redução da protoclorofila	Protoclorofila	Azul: 445 Vermelho: 650	350 - 470 570 - 670
Fotossíntese	Dissociação da água e redução do CO <sub>2</sub>	Clorofilas e carotenóides	Azul: 445 Vermelho: 675 Vermelho: 650	350 - 530 600 - 700
	Acréscimo da fotossíntese	Clorofilas	Vermelho distante: 710	630 - 690 690 - 730
Reações no Azul	Fototropismo	Carotenóides e flavinas	U.V.: 370 Azul: 445 - 475	350 - 500
Reações no Vermelho	Germinação da semente, síntese da antocianina, crescimento vegetativo e crescimento heterotrófico	Fitocromo	Indução pelo vermelho: 660	570 - 700
			Reversão pelo vermelho distante: 710 e 730	680 - 780

Fonte: Moreira, 2003.

### 2.5.2 Interações com as folhas

Segundo Ponzoni (2001), de todos os elementos da vegetação, a folha constitui o principal deles quando considera o processo de interação com a REM. Na determinação das propriedades espectrais das folhas aparecem diversos trabalhos, destacando-se a extensa revisão sobre os processos de reflectância realizado por Kumar (1972).

A partir da reflectância, transmitância e absorptância que são realizados os estudos espectrais da vegetação, entretanto, há poucas medidas espectrorradiométricas disponíveis na literatura destinadas ao entendimento dessa dependência (PONZONI, 2001).

Ponzoni (2001) relata que os constituintes mais importantes da folha sob o ponto de vista da interação com a REM são a celulose, os solutos, os espaços intercelulares e os pigmentos existentes nos cloroplastos. Segue o autor dizendo que o comportamento espectral de uma folha é função de sua composição, morfologia e estrutura interna.

Uma série de fenômenos ocorrem na vegetação quando se considera a região do visível. Um exemplo desses fenômenos é a diferença nas reflectâncias espectrais das faces dorsal e ventral das folhas. A face dorsal, normalmente, é mais reflectiva do que a ventral.

Essa distinção é mais evidente na região do visível, já que, na região do infravermelho próximo, a reflectância é praticamente a mesma. A figura 11 apresenta a reflectância espectral das faces ventral e dorsal de folhas *Syringa vulgaris* (PONZONI, 2001).

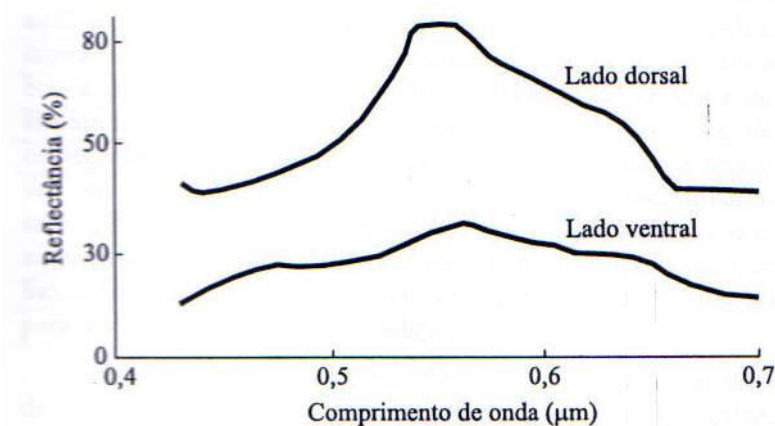


Figura 11: reflectância espectral das faces ventral e dorsal de folhas de *Syringa vulgaris*. Fonte: Kumar *apud* Ponzoni, 2001.

É importante ressaltar que fatores ambientais ou de caráter patogênico que atuem na composição química ou estrutural da folhas, acarretarão alterações nas suas propriedades espectrais. As folhas quando infectadas por fungos, exibem reflectância maior do que as folhas saudáveis na região do visível, o que provavelmente pode ser explicado pela perda da clorofila, enquanto que é menor na região do infravermelho próximo, o que pode ser atribuído à invasão das hifas nos espaços intercelulares, que tendem a compactar a estrutura interna das folhas (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

### 2.5.3 Interações com dosséis

Ponzoni e Shimabukuro (2007) comentam que a aplicação das técnicas de sensoriamento remoto no estudo da vegetação inclui a necessidade de compreender o processo de interação entre a REM e todas as partes que compõem a planta, o que subentende o estudo dessa interação com os diversos tipos de fisionômicos de dosséis, como florestas, culturas agrícolas, formações de porte herbáceo, entre outros. Na região do visível, a reflectância diminui com o aumento da camada de folhas, enquanto que na região do

infravermelho próximo aumenta com o número de camadas de folhas. Este aumento na região do infravermelho próximo o aumento da reflectância com a adição de camadas não será linear, como na região do visível, e apresentará acréscimos sempre menores à medida que forem adicionadas camadas a mais de folhas. Fenômeno conhecido como reflectância infinita (figura 12).

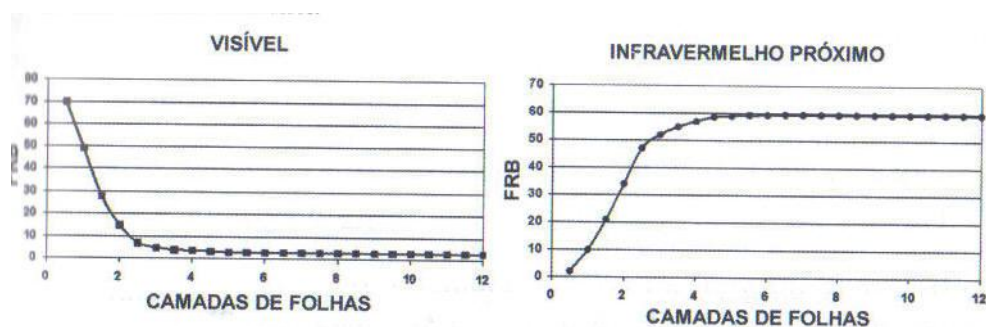


Figura 12: Dinâmica dos fatores de reflectância de dosséis simulados em função do aumento do número de camadas de folhas. Fonte: Ponzoni; Shimabukuro, 2007.

Segundo Ponzoni (2001), um elemento da vegetação recebe dois tipos de radiação: a que não é interceptada pelos demais elementos e a interceptada e espalhada por esses elementos. Desta forma, o sensor recebe diversos tipos de fluxos: o fluxo espalhado somente uma vez por um elemento da vegetação; o fluxo espalhado várias vezes por muitos elementos da vegetação sem ter atingido o solo e o fluxo refletido pelo solo que atinge o sensor sem ter sido interceptado por qualquer elemento ou é espalhado em direção ao sensor.

A distribuição espacial dos elementos da vegetação, bem como suas densidades e orientações, definem a arquitetura da vegetação. Esta distribuição depende de como foram arranjadas as sementes no plantio no caso de vegetação cultivada, do tipo de vegetação existente e do estágio de desenvolvimento das plantas. Em vários modelos de reflectância da vegetação, um dossel é considerado como sendo composto por vários subdosséis arranjados regularmente no solo (em fileiras, p. ex.) ou aleatoriamente. Para um dossel ou subdossel homogêneo, assume-se que a densidade dos elementos da vegetação é uniforme, o que é caracterizado pelo índice de área foliar (IAF), que representa a razão entre a área do elemento e a área do terreno. O IAF é um dos principais parâmetros da vegetação e é requerido em modelos de crescimento vegetal e de evapotranspiração, é ainda relacionado à biomassa (PONZONI, 2001; PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

Para Ponzoni (2001) os parâmetros arquitetônicos das distribuições de dosséis afetam qualitativamente a reflectância da vegetação. Na região do visível, onde a energia incidente é absorvida, com o aumento do número de folhas, i. e., com o aumento do IAF, mais e mais energia será absorvida pela vegetação. Quando o IAF atinge determinado valor (entre 2 e 3), muito da radiação incidente é interceptada e absorvida pelas folhas e um permanente aumento do IAF não influenciará a reflectância da vegetação. Por outro lado, a reflectância na região do visível decresce quase que exponencialmente com o aumento do IAF até atingir valor próximo de 0 quando o IAF assumir valores entre 2 e 3. Na região do infravermelho próximo, uma vez que a absorção é mínima, o aumento do IAF implica o aumento do espalhamento e o conseqüente aumento da reflectância da vegetação, até que o IAF atinja valores entre 6 e 8.

A orientação das fileiras dos dosséis exerce menos influência na região do infravermelho próximo do que na região do visível, devido ao menor efeito das sombras, já que as folhas são praticamente transparentes no infravermelho. Outro efeito da arquitetura do dossel sobre a reflectância ocorre quando os elementos da vegetação não se encontram uniformemente distribuídos. Supondo que as folhas estivessem agrupadas, esse agrupamento apresentaria lacunas em toda a extensão do dossel que aumentaria a influência do espalhamento dos elementos localizados nas camadas mais próximas ao solo (PONZONI, 2001).

Em relação à distribuição das folhas, Ponzoni (2001) e Moreira (2003) comentaram que os dosséis podem ser descritos pelos seguintes tipos de distribuição angular das folhas: planófila, erectófila, plagiófila, extremófila, uniforme e esférico. A tabela 03 apresenta essas distribuições, acompanhadas dos valores médios e do ângulo de inclinação foliar ( $\theta_l$ ).

Tabela 03: Distribuições angular foliar ( $\theta_l$ ) para os vários tipos de dosséis. A coluna média é a inclinação angular das folhas.

	$f(\theta_l)$	Média	$\langle \theta_l \rangle$	$\mu$ (*)	$v$ (*)
Planófila	$2(1 + \cos^2 \theta_l)/\theta$	26,76	1058,60	2,770	1,172
Erectófila	$2(1 - \cos^2 \theta_l)/\theta$	63,24	4341,40	1,172	2,770
Plagiófila	$2(1 - \cos^4 \theta_l)/\pi$	45,00	2289,65	3,326	3,326
Extremófila	$2(1 + \cos^4 \theta_l)/\pi$	45,00	3110,35	0,433	0,433
Uniforme	$2/\pi$	45,00	2700,00	1,000	1,000
Esférica	$\sin \theta_l$	57,30	3747,63	1,101	1,930

\* Parâmetros de distribuição beta.

Fonte: Ponzoni, 2001.

Tanto para as folhas quanto para os dosséis, os padrões das curvas de reflectância são bastante semelhantes, somente com diferenças nos valores das intensidades. De forma geral, na região do visível, os valores da reflectância de uma folha isolada são mais elevados do que os referentes ao dossel do qual a folha faz parte. Se forem extraídas folhas das árvores de um plantio e suas reflectâncias forem medidas e comparadas com as reflectâncias do plantio, espera-se que os valores das reflectâncias das folhas sejam ligeiramente superiores. Para a região do infravermelho próximo, frequentemente este efeito é o inverso, devido ao espalhamento múltiplo da REM entre as camadas de folhas dispostas ao longo dos níveis verticais de um dossel (PONZONI, 2001).

#### 2.5.4 Aparência da vegetação em imagens multi-espectrais

Nas imagens multi-espectrais de sensores orbitais, um dossel vegetal apresenta valores de reflectância relativamente baixo na região do visível, devido à ação dos pigmentos fotossintetizantes que absorvem a REM para a realização da fotossíntese. Na região do infravermelho próximo esses valores são elevados, devido ao espalhamento interno sofrido pela REM em função da disposição da estrutura morfológica da folha e ao espalhamento múltiplo entre as diferentes camadas de folhas, enquanto que na região do infravermelho médio há diminuição da reflectância por causa da presença de água no interior da folha (PONZONI, 2001; PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

Segundo Ponzoni (2001), é comum o analista de imagens orbitais associar os padrões de reflectância com as características estruturais da cobertura vegetal, embora haja particularidades que devem ser consideradas, como os valores de IAF em relação aos valores de reflectância na região do visível e infravermelho próximo.

Os números digitais (ND) existentes nas imagens orbitais são proporcionais a valores de radiância que foram medidos por cada sensor em cada faixa espectral na qual atua. A reflectância de um alvo expressa uma quantidade relativa de REM que é refletida por esse alvo. Um alvo que apresenta valores elevados de reflectância em determinada faixa espectral, deverá apresentar níveis de cinza (NC) igualmente elevados em uma imagem adquirida por plataforma aérea ou orbital na faixa espectral correspondente. Espera-se, com isso, que os valores de radiância medidos nessa faixa sejam elevados e que uma vez discernidos em uma escala de NC, de 8 ou 16 bits, produzam um padrão claro desse alvo na imagem da respectiva

faixa espectral (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007). A figura 13 apresenta em NC as feições de alvos terrestres.

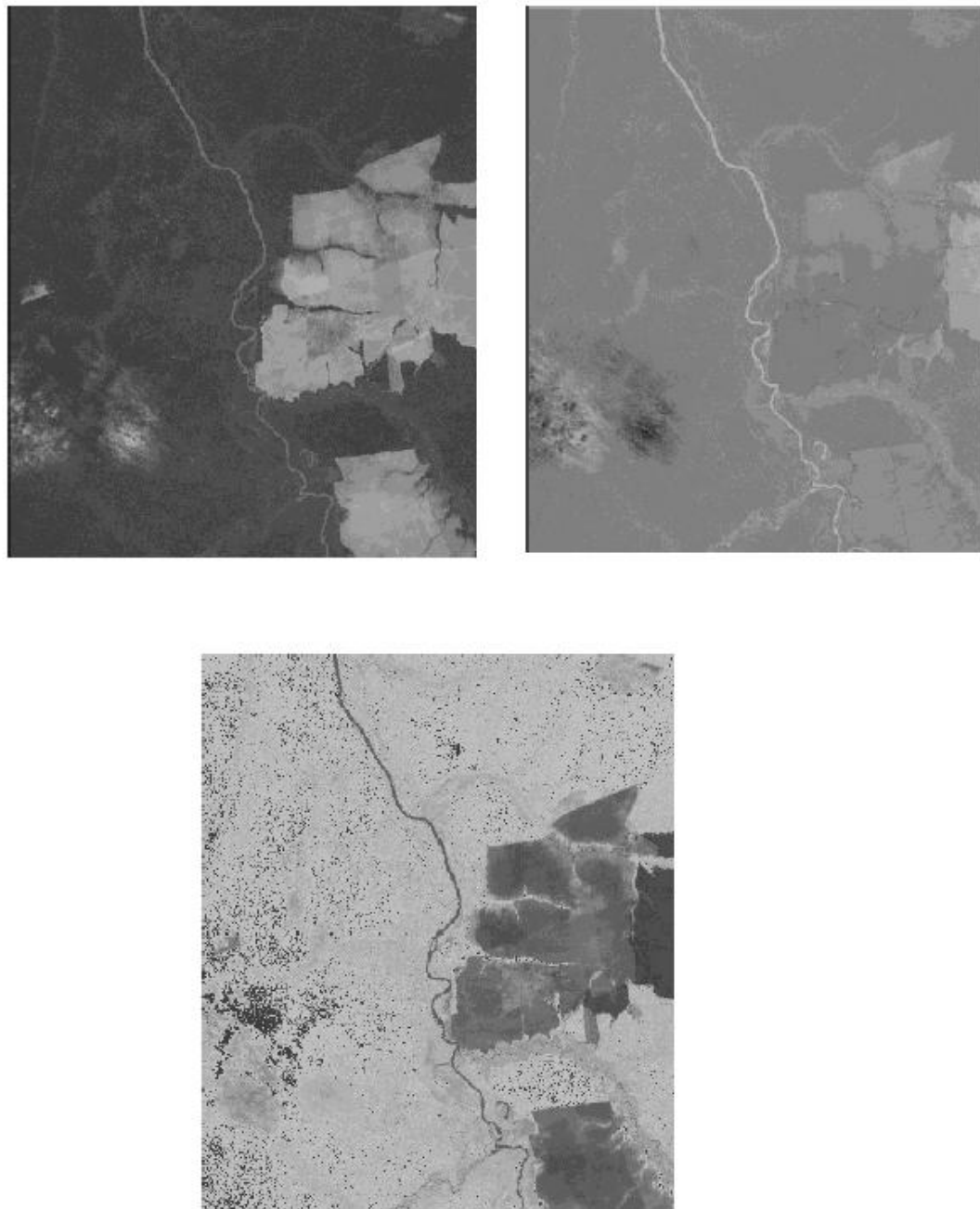


Figura 13: Imagens correspondentes às frações de cobertura de solo, sombra e vegetação. Fonte: Fonseca, 2000.



### 2.5.5 Índices de vegetação

Para muitos objetivos da classificação de imagens orbitais no formato digital, o uso de dados espectrais transformados é, na maioria das vezes, mais conveniente do que trabalhar com os originais. A característica multi-espectral da maioria dos dados de sensoriamento remoto proporciona a vantagem de gerar novas imagens através de transformações radiométricas, cujas imagens geradas representam uma alternativa para apresentação de informações de diversas formas, que realçam informações que não são muito visíveis nas imagens originais ou podem preservar o conteúdo das informações com um número reduzido de bandas transformadas. Para o estudo da vegetação, o índice de vegetação e o modelo de mistura espectral são as transformações mais amplamente difundidas para várias aplicações (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

Ponzoni e Shimabukuro (2007) comentam que diversos índices de vegetação têm sido propostos na literatura com o objetivo de explorar as propriedades espectrais da vegetação, principalmente nas regiões do visível e do infravermelho próximo. Tais índices são relacionados a parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, como biomassa e IAF, além de diminuir os efeitos de iluminação da banda, declividade da superfície e geometria de aquisição que influenciam os valores de reflectância da vegetação.

Segundo os mesmos autores, a fundamentação da proposição desses índices reside no comportamento antagônico da reflectância da vegetação nas duas faixas do espectro mencionadas (visível e infravermelho próximo). Em princípio, quanto maior for a densidade da cobertura vegetal em determinada área, menor será a reflectância na região do visível, ocasionada pelos pigmentos fotossintetizantes, e maior na região do infravermelho próximo devido ao espalhamento múltiplo da REM nas diferentes camadas de folhas. A figura 14 apresenta o contraponto dos valores de reflectância na região do visível e infravermelho próximo.

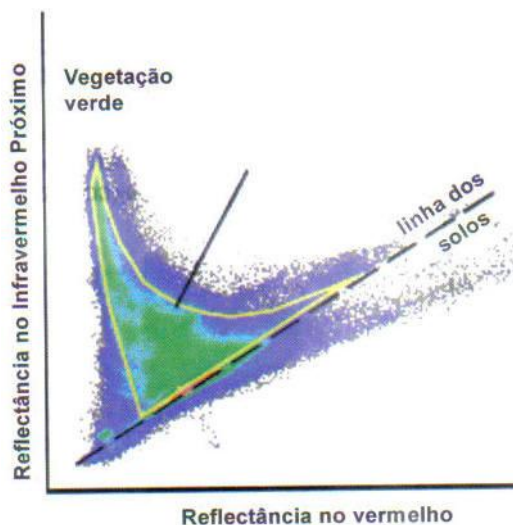


Figura 14: IVP x VIS. Fonte: Ponzoni; Shimabukuro, 2007.

O desenvolvimento de relações funcionais entre as características da vegetação, em especial em culturas agrícolas, e dados coletados remotamente tem sido meta de muitos profissionais de setores agrícola e florestal. Para diminuir a variabilidade causada por fatores externos, a reflectância espectral tem sido transformada e combinada em diversos índices de vegetação, sendo os mais empregados que usam a informação contida nas reflectâncias de dosséis referentes às regiões do vermelho (visível) e do infravermelho próximo que são combinadas sob a forma de razões. O que estes índices medem, servem como indicadores do crescimento e do vigor de vegetação verde e podem ser utilizados no diagnóstico de vários parâmetros biofísicos, incluindo o IAF, biomassa, porcentagem de cobertura do solo, atividade fotossintética e produtividade, com os quais têm apresentado elevados graus de correlação (PONZONI, 2001). A tabela 04 resume os diversos tipos de índice de vegetação mais conhecidos.

Tabela 04: Principais índices de vegetação.

Sigla	Denominação	Fórmula	Proponente
RVI	Ratio Vegetation Index	$RVI = IVP/V$	Jordan (1969)
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	$NDVI = (IVP-V)/(IVP+V)$	Rouse et al. (1973)
SAVI	Soil Adjusted Vegetation Index	$SAVI = ((IVP-V)/(IVP+V))(1+L)$	Huete (1988)
TSAVI	Transformed Soil Adjusted Vegetation Index	$TSAVI = a (IVP-aV-b)/(V+aIVP-ab)$	Baret et al. (1989)
SAVI <sub>2</sub>	Soil Adjusted Ratio Vegetation Index	$SAVI_2 = IVP/(V+b/a)$	Major et al. (1990)
PVI	Perpendicular Vegetation Index	$PVI = (IVP-aV-b)/SQRT(1+a^2)$	Richardson & Wiegard (1977)
DVI	Difference Vegetation Index	$DVI = IVP-V$	Tucker (1979)

Fonte: Ponzoni, 2001.

A reflectância espectral característica da vegetação verde sadia mostra um evidente contraste entre a região do visível e a do infravermelho próximo, podendo se considerar que quanto maior for esse contraste, maior vigor terá a cobertura vegetal imageada. O uso da diferença entre as reflectâncias registradas no infravermelho próximo e no vermelho (visível) para estimativas de biomassa ou IAF, é apresentado em diversos trabalhos. Este é o princípio em que se baseiam os índices de vegetação que combinam a informação registrada nestas duas bandas (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007). Para efeito deste estudo, serão apresentados apenas o índice de vegetação da razão simples (SR ou RVI) e o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI).

O índice de vegetação da razão simples foi primeiro a ser usado (JORDAN, 1969), obtido pela divisão de valores de reflectância referentes à região do infravermelho próximo por valores correspondentes à região do vermelho (visível).

$$RVI = \rho_{IVP} / \rho_V$$

Equação 01

Onde:  $\rho_{IVP}$  - reflectância na região do infravermelho próximo

$\rho_V$  - reflectância na região do vermelho

Para áreas densamente vegetadas, a quantidade refletida de radiação eletromagnética referente à região do vermelho se aproxima de valores muito pequenos e esta razão aumentará sem limites.

Rouse *et al.* (1973) normalizaram a razão simples para o intervalo -1 a +1, propondo o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI). Para alvos terrestres o limite inferior torna-se aproximadamente zero e o limite superior aproximadamente 0,80. A normalização é feita pela equação abaixo.

$$NDVI = \frac{(\rho_{IVP} - \rho_V)}{(\rho_{IVP} + \rho_V)} \quad \text{Equação 02}$$

Onde:  $\rho_{IVP}$  - reflectância na região do infravermelho próximo

$\rho_V$  - reflectância na região do vermelho

Como ferramenta para o monitoramento da vegetação, o NDVI é usado para construir perfil sazonal e temporal das atividades da vegetação, possibilitando comparações inter-anuais desses perfis. O perfil temporal do NDVI tem sido usado para detectar atividades sazonal e fenológica, duração do período de crescimento, pico de verde, mudanças fisiológicas das folhas e períodos de senescência. Explorado em diferentes abordagens, o NDVI é utilizado em estudos de culturas agrícolas, florestais e climáticos, entretanto, sua interpretação deve levar em consideração diversos fatores limitantes, que incluem pontos de saturação que se manifestam de forma diferenciada nas faixas espectrais do vermelho e infravermelho próximo, interferência atmosférica, posicionamento do centro e largura de cada banda que varia entre os sensores orbitais, devendo-se ainda considerar a resolução espacial do sensor com o qual se trabalhará, porque os resultados para uma mesma cena e data de aquisição de dados, podem variar em função destas variáveis que afetam a pureza espectral ou composição do pixel. (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007). A figura 15 apresenta uma cena com composição colorida e a imagem NDVI.

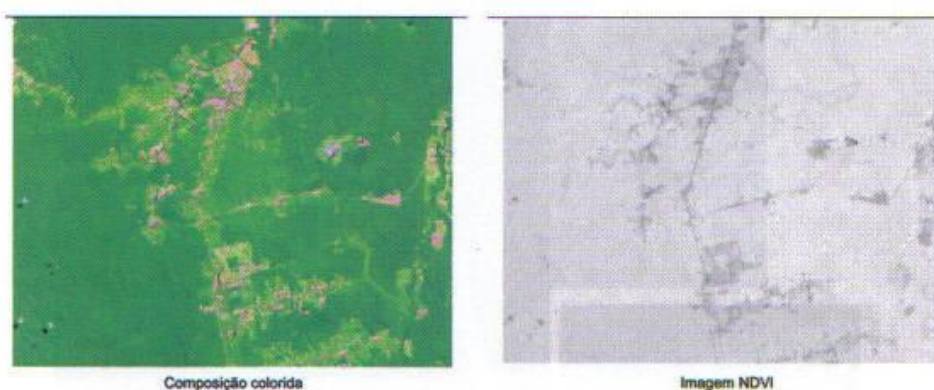


Figura 15: composição colorida e imagem NDVI. Fonte: Ponzoni; Shimabukuro, 2007.

A assinatura espectral característica de uma vegetação verde sadia mostra um evidente contraste entre a região do visível (vermelho) e do infravermelho próximo, e quanto maior for este contraste, terá maior vigor da vegetação na área imageada. Este é o princípio em que se baseiam os índices de vegetação que combinam a informação espectral nestas duas bandas do espectro eletromagnético (MOREIRA, 2001).

Segundo Ippoliti-Ramilo (1989), os índices de vegetação foram concebidos para ressaltar o comportamento espectral da vegetação nos solos. O contraste da informação espectral do solo na região do vermelho e do infravermelho próximo não é tão marcante como a vegetação. Isso mostra que as imagens NDVI são muito práticas para se fazer um acompanhamento da ação antrópica, seja de desmatamento, seja de áreas agrícolas (MOREIRA, 2001).

A aplicação de técnicas de sensoriamento remoto no estudo da vegetação constitui campo ilimitado de ações e o sucesso das iniciativas nessa direção é diretamente proporcional ao grau de conhecimento que os analistas têm da vegetação em si, como dos fundamentos das técnicas de sensoriamento remoto. O início de qualquer iniciativa de envolver o sensoriamento remoto, em quaisquer níveis de coleta de dados ou escala de trabalho, no estudo da vegetação, deve ser precedido de muitos cuidados e análises, procurando identificar as potencialidades e as limitações inerentes a cada atividade (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

## 2.6 Sistemas sensores

Os sensores são os sistemas responsáveis pela conversão da energia originada dos alvos terrestres em um registro na forma de imagem ou gráfico que possibilita associar a distribuição da radiância, emitância, ou retroespalhamento com suas propriedades físicas, químicas, biológicas ou geométricas. No processo de conversão e registro dessa energia pode ocorrer degradações ocasionadas pelas transformações radiométricas, geométricas e espaciais, induzindo ao conhecimento e compreensão da natureza das mesmas para a melhor correção (NOVO, 2008).

Os sensores remotos são equipamentos que captam e registram a energia refletida ou emitida pelos elementos da superfície terrestre. Dependendo de suas características, podem ser instalados em plataformas terrestres, aéreas e orbitais. As câmeras fotográficas, câmeras de vídeo, os radiômetros, os sistemas de varredura e os radares são alguns exemplos de sensores. Os sensores operam nas diversas faixas do espectro eletromagnético e dependendo do tipo de sensor, pode captar dados de uma ou várias regiões do espectro (FLORENZANO, 2002).

O tipo de plataforma também interfere no efeito que a atmosfera possa ter sobre a qualidade dos dados. Quanto maior for a altitude da plataforma maior será a interferência da atmosfera naquelas regiões do espectro em que sua transmitância é baixa, levando à correção dos dados obtidos por plataformas de alta altitudes. Passando-se de um tipo de plataforma a outro, verifica-se que as feições dos alvos de interesse se modificam, necessitando de uma atenção maior durante a interpretação dos dados (NOVO, 2008). A figura 16 mostra os diversos níveis de aquisição de dados possíveis.

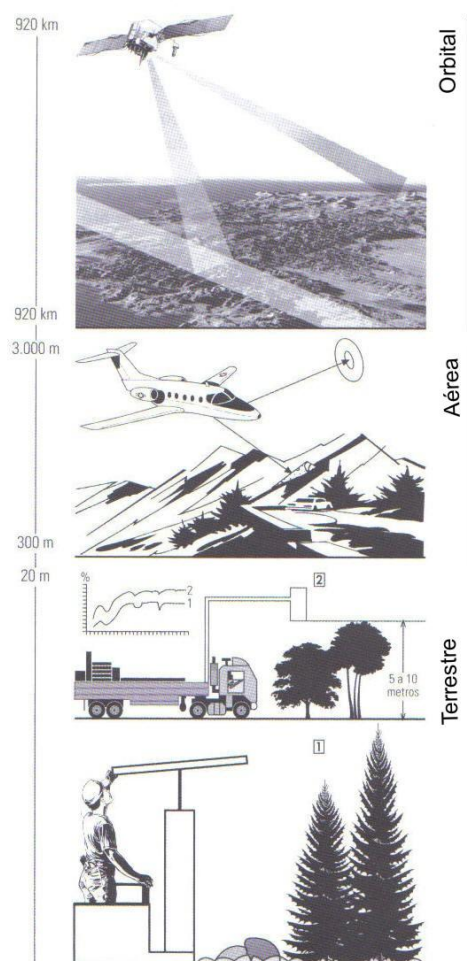


Figura 16: Níveis de aquisição de dados por sensoriamento remoto. Fonte: Adaptado de Novo, 2008.

### 2.6.1 Principais características

Procura-se medir com os sistemas sensores a radiação solar ou a eletromagnética em suas interações com os alvos da superfície terrestre. Os equipamentos que medem a radiação eletromagnética são genericamente denominados de radiômetros, que são ditos sensores. Conforme a plataforma e o sistema de operação, os radiômetros recebem denominações específicas, como sistema sensores, espectrorradiômetros, radiômetro de banda, entre outras (MOREIRA, 2003).

Um sistema sensor é constituído basicamente por um coletor, que pode ser um conjunto de lente, espelho ou antena, e um sistema de registro que pode ser um filme ou outros dispositivos e um processador, conforme é ilustrado na Figura 17.

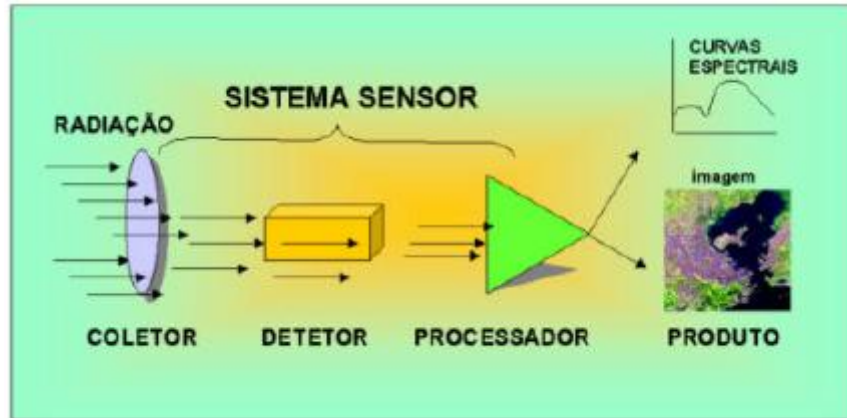


Figura 17: partes componentes e um sistema sensor. Fonte: Moreira, 2001.

### 2.6.2 Classificação dos sistemas sensores

Os sistemas sensores podem ser classificados quanto à fonte de radiação, ao princípio de funcionamento e ao tipo de produto, conforme é resumido na Figura 18.

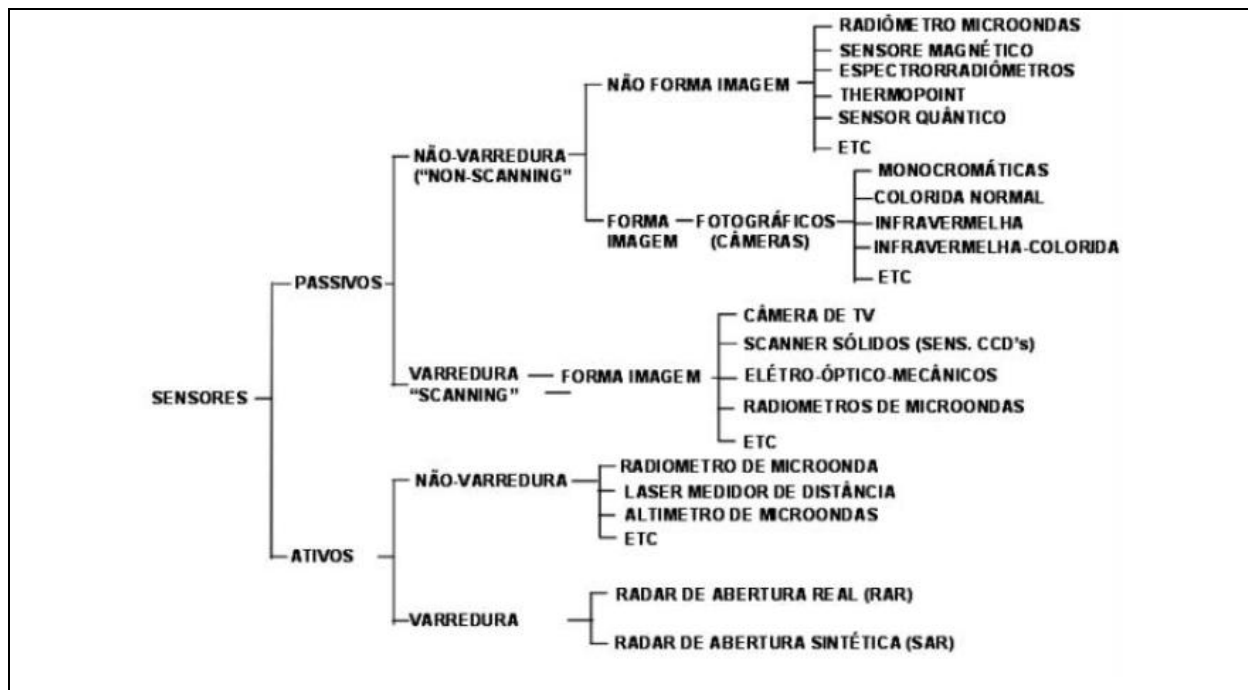


Figura 18: Classificação dos sistemas sensores quanto à categoria, princípio de funcionamento e fonte de radiação. Fonte: Moreira, 2001.

Quanto à fonte de radiação os sensores que medem a radiação refletida e/ou emitida pelos alvos, que provém de uma fonte externa (e.x. do sol), são denominados de sensores passivos, porque eles não possuem radiação própria, isto é, dependem de uma fonte de iluminação externa, conforme é ilustrado na Figura 19 A.



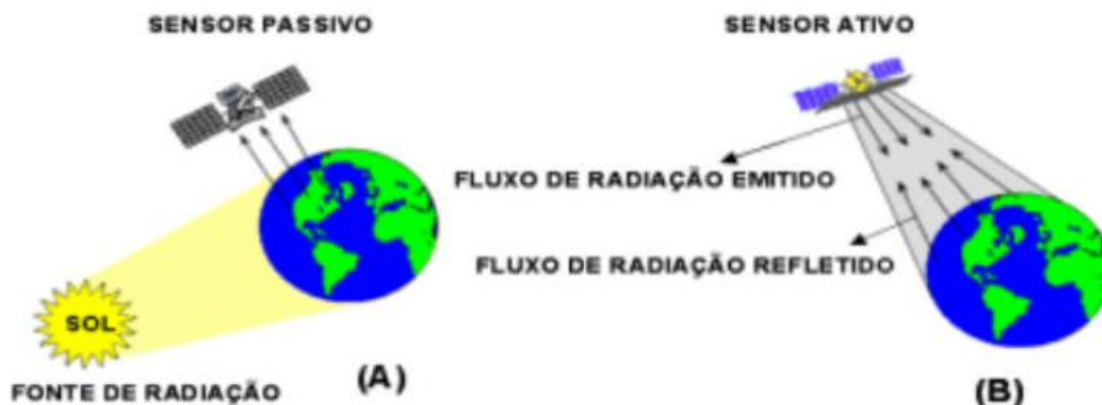


Figura 19: Esquema de um sensor passivo (A) e um ativo (B). Fonte: Moreira, 2001.

Observe na Figura 19 A que a radiação que incide nos alvos da superfície terrestre provém do sol, uma fonte externa, quando interage com os alvos, parte dela é refletida, sendo captada pelo detector de um sistema sensor que, eventualmente, esteja sobre a área irradiada. Como exemplo de sistema ativo têm-se os radares, o laser, radiômetros de microondas e câmaras fotográficas quando utilizam como fonte de radiação o “flash” (Figura 19 B).

Moreira (2001) classifica os sistemas sensores quanto ao princípio de funcionamento e ao tipo de produto. Quanto ao princípio de funcionamento os sensores passivos e ativos são agrupados em duas categorias: de varredura (“scanning”) e de não-varredura (“non scanning”). Os sistemas sensores de não-varredura registram a radiação refletida de uma área da superfície da Terra em sua totalidade num mesmo instante. Por essa razão, são também conhecidos por sensores de quadro (“freming systems”). Os dados de radiação coletados por esses sensores podem ser expressos em duas formas: imagem e não imagem (gráfica ou numérico). Nessa categoria tem-se os sistemas fotográficos (forma imagem) e os radiômetros (não forma imagem). Quanto ao tipo de produto os sistemas são classificados em sistemas fotográficos e não-fotográficos. Nesse caso, os sistemas não-fotográficos incluem os não imageadores e imageadores. Para os objetivos do sensoriamento remoto, os sistemas fotográficos mais utilizados são aqueles aerotransportados, entre eles pode-se citar as câmeras métricas. Sensores não-fotográficos são dispositivos utilizados para medir a intensidade da radiação eletromagnética, proveniente dos alvos de uma superfície da Terra, em determinadas faixas espectrais do espectro eletromagnético. Os equipamentos que dispõem de sistemas sensores não-fotográficos são chamados de radiômetros. Por outro lado, os radiômetros são sistemas passivos que medem a intensidade da radiação, proveniente de todos os pontos de uma superfície, dentro do campo de visada (FOV), em determinadas regiões espectrais do

espectro eletromagnético. Os radiômetros podem ser classificados como não-imageadores e imageadores.

Os radiômetros não-imageadores medem a radiância do alvo e apresentam os dados em forma de gráficos ou numéricos. Os radiômetros, cujos dados permitem obter uma curva dos valores da radiância, numa determinada faixa do espectro eletromagnético, recebem a denominação de espectrorradiômetros. Assim, enquanto no primeiro caso obtêm-se alguns valores da radiância ou da energia emitida, no segundo é possível obter um número bem maior desses valores que permite traçar uma curva de representação da energia refletida pelos alvos. Já os imageadores são equipamentos cujos resultados finais são em forma de imagens de uma área (cena) no terreno. Nestes equipamentos, o elemento de resolução do terreno (ERT) se desloca gerando uma linha de varredura. As características dos sistemas sensores não-fotográficos imageadores em geral são expressas em função de quatro domínios de resolução, a espectral, a espacial ou geométrica, a temporal e a radiométrica (Ibid., 2001).

A resolução espectral se refere ao poder de resolução que o sensor tem para discriminar diferentes alvos sobre a superfície terrestre, ou seja, refere-se à melhor ou à pior caracterização dos alvos em função da largura da banda espectral em que o sensor opera.

A resolução espacial ou geométrica se refere-se ao campo de visada instantânea (IFOV, do inglês, Instantaneous Field of View). O IFOV corresponde à área sobre o terreno que, no terreno, é “vista” pelo sistema sensor a uma dada altitude num dado instante de tempo. O IFOV pode ser medido de duas maneiras: em relação ao ângulo de incidência ou em relação a uma distância no terreno (X,Y), conforme é mostrado na Figura 20 A. Na realidade a distância X,Y corresponde a diagonal do círculo (MOREIRA, 2001; NOVO, 2008).

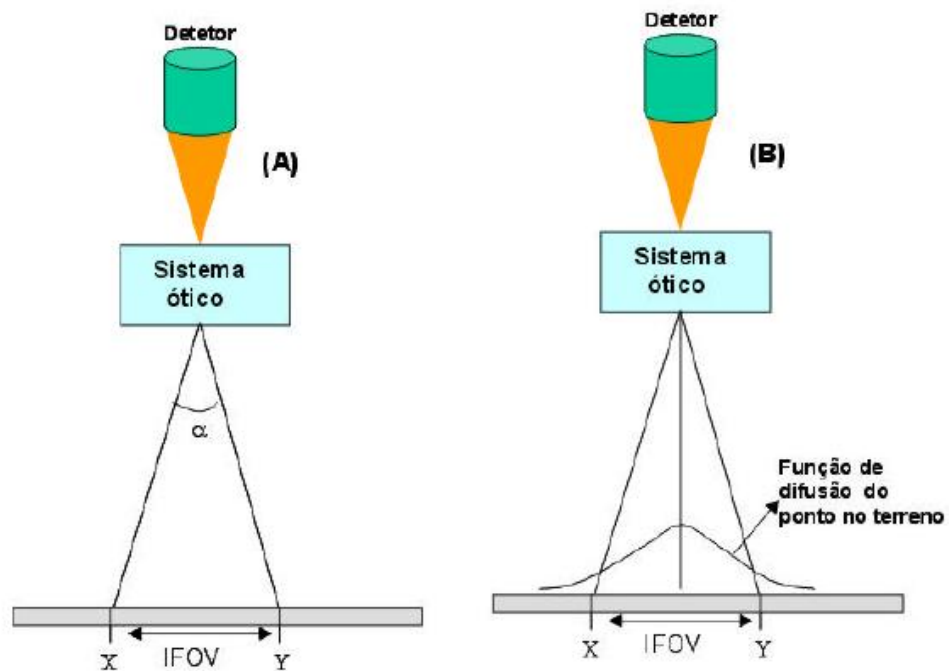


Figura 20: Esquema para representar o IFOV e PSF. Fonte: Moreira, 2001.

É bom salientar que os pixels de bordas, isto é, localizados entre dois alvos distintos, no caso mata e cultura ou pasto e cultura ou ainda pasto e mata, continuam sendo pixels que contém uma mistura de energia refletida pelos dois alvos. Para esses pixels a radiância (energia refletida) será representada pelos alvos dominantes. No exemplo citado, se o pasto tiver mais fitomassa do que a cultura, os pixels de bordas terão valores de reflectância mais parecidos com aqueles dentro da área de pastagem, indicado pela figura 21 (MOREIRA, 2001).

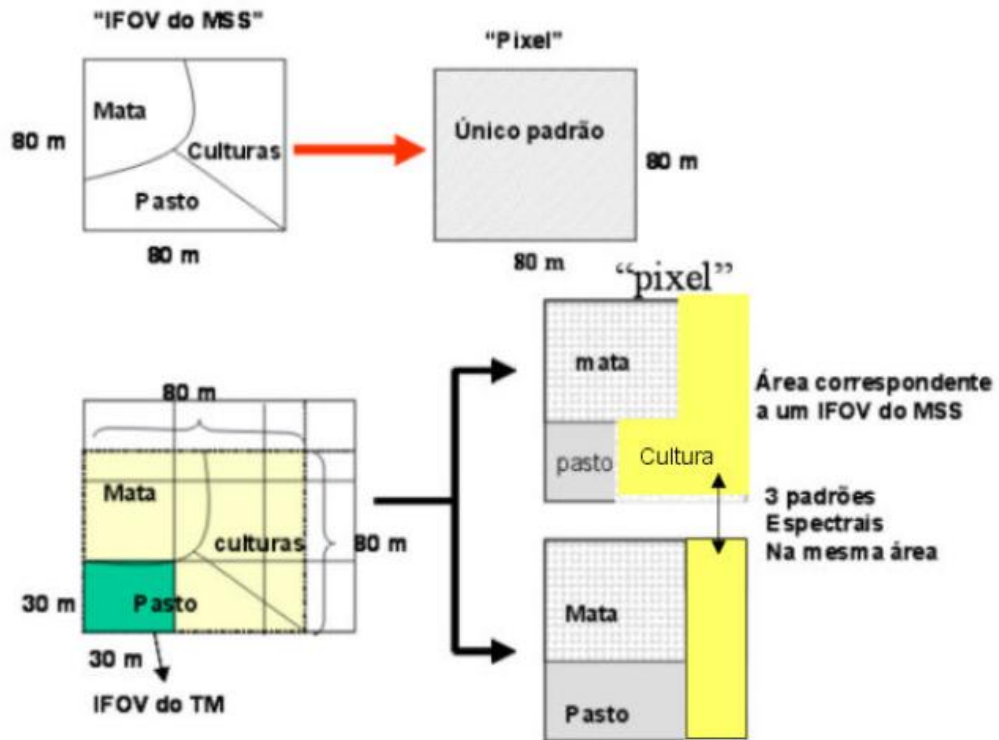


Figura 21: Esquema para mostrar o efeito do uso de IFOV menores. Fonte: Moreira, 2001.

Na Figura 22 são mostradas imagens obtidas por diferentes sensores com resoluções espaciais diferentes (sensores com diferentes IFOVs).

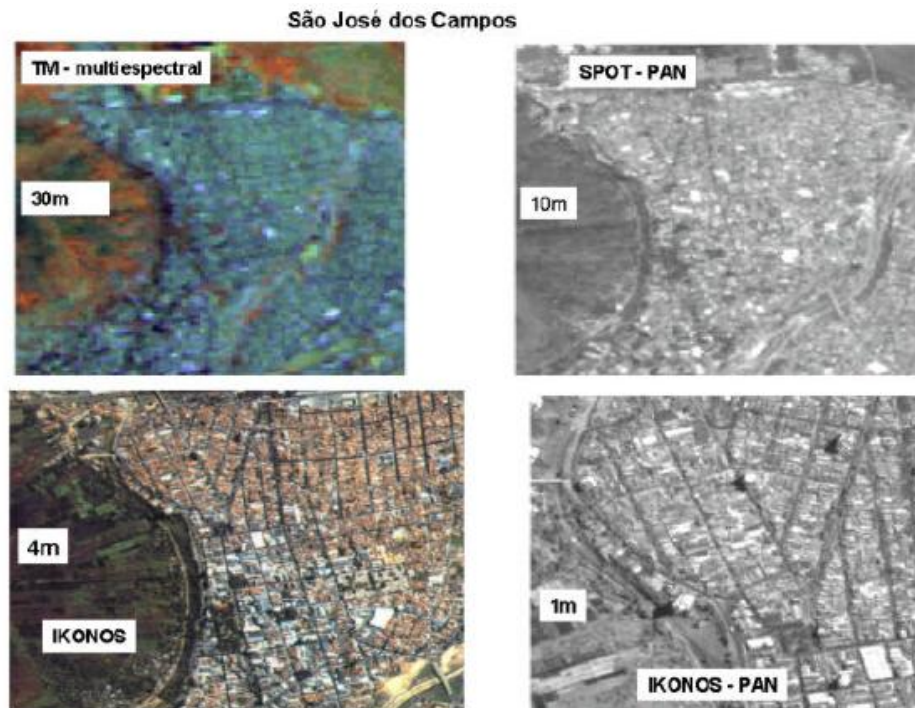


Figura 22: Imagens do Landsat/TM, do SPOT/PAN, do IKONOS de São José dos Campos, SP, com resoluções espaciais de 30, 10, 1 e 4 m, para uma escala de 1:25 000. Fonte: Moreira, 2001.

A resolução temporal é função das características da plataforma na qual o sensor está colocado. No caso de sistemas sensores orbitais, a resolução temporal indica o intervalo de tempo que o satélite leva para voltar a recobrir a área de interesse. Isso depende da largura da faixa imageada no solo.

A resolução radiométrica descreve a habilidade do sistema sensor distinguir as variações no nível de energia refletida, emitida ou retro-espalhada que deixa a superfície do alvo. Esta energia apresenta variações de intensidade contínuas, que precisam ser detectadas, registradas e reproduzidas pelo sensor. Para representar esses valores da intensidade do sinal elétrico, que são enviados ou gravados a bordo, atribui-se tons de cinza, que variam de escuro, para o valor de intensidade igual ou próximo de zero, e cinza claro para o maior valor de máxima intensidade. Os valores dos níveis de cinza (NC) são atribuídos em bits, assim, quanto maior o número de bits, maior será a resolução radiométrica, figura 23. (MOREIRA, 2001; NOVO, 2008).

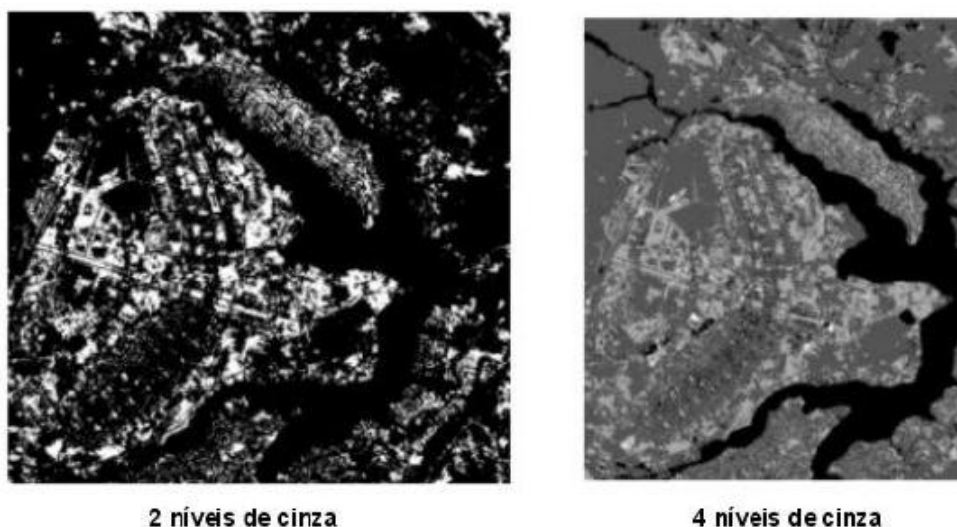


Figura 23: Simulação de uma imagem do Landsat-TM com dois e quatro níveis de cinza obtida sobre a cidade de Brasília. Fonte: Moreira, 2001.

### 2.6.3 Sensor do satélite Quickbird

O Quickbird foi desenvolvido pela DigitalGlobe e é um satélite de alta precisão que oferece imagens comerciais de alta resolução da Terra. As imagens pancromáticas e multi-

espectrais são planejadas para dar suporte nas aplicações em gerenciamento de avaliação de riscos e publicações de mapas com ênfase nas áreas urbanas.

O sistema de coleta dados com 61 centímetros de resolução espacial no pancromático e 2,5 metros no multiespectral em um vasto campo de observação, apresenta rápida seleção de alvo e permite a geração de pares estereoscópicos. A frequência média de visita é de 1 a 3,5 dias. A figura 24 apresenta a imagem do satélite, enquanto que as tabelas 5 e 6 apresentam características do sistema sensor.



Figura 24: Quickbird em órbita. Fonte: Digitalglobe, 2004.

Tabela 05: principais características técnicas do satélite QUICKBIRD 2.

Missão	Boeing Delta II lançado em Vandenberg Air Force Base, Califórnia /USA
Instituição Responsável	Empresa DigitalGlobe
País/Região	Estados Unidos
Satélite	QUICKBIRD 2
Lançamento	18/10/2001
Situação Atual	Ativo
Órbita	Heliossíncrona
Altitude	450 km
Inclinação	98°
Tempo de Duração da Órbita	93,4 min
Horário de Passagem	s.d.
Período de Revisita	Máximo 3,5 dias
Instrumentos Sensores	QUICKBIRD

s.d. = sem dados/informações

Fonte: [www.sat.cnpem.embrapa.br](http://www.sat.cnpem.embrapa.br), acessado em 17/02/09.

Tabela 06: Principais instrumentos sensores Quickbird.

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Faixa Imageada
QUICKBIRD	PANCROMÁTICA	450 - 900 nm	61 a 72 cm	1 a 3,5 dias, dependendo da latitude	16,5 x 16,5 km
	MULTIESPECTRAL (Visível)	450 - 520 nm	2,4 a 2,8 m		
		520 - 600 nm			
		630 - 690 nm			

Fonte: [www.sat.cnpm.embrapa.br](http://www.sat.cnpm.embrapa.br), acessado em 17/02/09.

As principais aplicações do Quickbird são:

- Mapeamentos urbanos e rurais que exijam alta precisão dos dados (cadastro, redes, planejamento, telecomunicações, saneamento, transportes);
- Mapeamentos básicos e aplicações gerais em Sistemas de Informação Geográfica;
- Uso da Terra (com ênfase em áreas urbanas);
- Estudo de áreas verdes urbanas;
- Estimativas de colheitas e demarcação de propriedades rurais;
- Laudos periciais em questões ambientais.

A figura 25 apresenta uma imagem de alta resolução, multi-espectral, adquirida pelo sistema sensor do Quickbird.



Figura 25: Imagem Quickbird, Ruínas Incas/Peru. Fonte: Digitalglobe, 2004.

#### 2.6.4 Sensor do satélite Ikonos

O satélite IKONOS II (Figura 26) foi lançado no dia 24 de Setembro de 1999, e está operacional desde o início de janeiro de 2000. È o primeiro satélite com imagens de alta resolução, em formatos digitais, comercialmente disponíveis. Sua órbita está a uma altitude de 680 km e o tempo de revisita é de 03 dias para imagens pancromáticas e de 1,5 dias para multi-espectrais, estando as imagens disponibilizadas em faixas de 11 km x 100 km até 11 km x 1000 km. As resoluções são de 1 m na banda pancromática e 4 m nas 04 bandas multi-espectrais.



Figura 26: satélite Ikonos em órbita. Fonte: Space Imaging, 2004.



As tabelas 07 e 08 apresentam as características do IKONOS.

Tabela 07: principais características técnicas do satélite IKONOS II e de seus produtos.

Missão	IKONOS-II
Instituição Responsável	Space Imaging
País/Região	Estados Unidos
Satélite	IKONOS-II
Lançamento	24/09/1999
Situação Atual	Ativo
Órbita	Heliossíncrona
Altitude	681 km
Inclinação	98,1°
Tempo de Duração da Órbita	98 min
Horário de Passagem	10:30 A.M.
Período de Revisita	3 dias
Instrumentos Sensores	PANCROMÁTICO E MULTIESPECTRAL

Fonte: [www.sat.cnpem.embrapa.br](http://www.sat.cnpem.embrapa.br), acessado em 17/02/09.

Tabela 08: Principais instrumentos sensores IKONOS.

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Faixa Imageada
PANCROMÁTICO	PAN	0,45 - 0,90 $\mu$ m	1 metro	2,9 dias	13 X 13 km
	AZUL	0,45 - 0,52 $\mu$ m	4 metros	1,5 dia	
MULTIESPECTRAL	VERDE	0,52 - 0,60 $\mu$ m			
	VERMELHO	0,63 - 0,69 $\mu$ m			
	INFRAVERMELHO PRÓXIMO	0,76 - 0,90 $\mu$ m			

Fonte: [www.sat.cnpem.embrapa.br](http://www.sat.cnpem.embrapa.br), acessado em 17/02/09.

A alta resolução do IKONOS muda até o modo de usar as imagens de satélite por ele gerado, pois, se anteriormente um pixel continha vários objetos, agora, um objeto é composto de vários pixels. Os algoritmos de interpretação mudam. O nível de detalhamento igualmente.

O IKONOS tem capacidade para ser ampliado com qualidade até 1:2.500, sendo que irá oferecer a precisão cartográfica correspondente somente se corretamente produzido.

Para os ramos que já usam imagens de satélite e sofriam da limitação da resolução, são inúmeras as aplicações potenciais para o uso das imagens IKONOS, como:

- GIS (redes, telecomunicações, planejamento, meio ambiente )
- Elaboração de Mapas Urbanos
- Mapas de arruamentos e cadastro
- Cadastro urbano e rural
- Apoio em GPS
- Uso e ocupação do solo (urbano sobretudo)
- Meio Ambiente em escalas grandes
- Arquitetura/Urbanismo/Paisagismo
- Fundiário (regularização de propriedades, demarcação de pequenas glebas)
- Engenharia (simulações mais realistas) em escalas da ordem 1:5.000 até 1:2.500
- Agricultura convencional e Agricultura de Precisão
- Florestal (estimativa de potencial econômico, projetos de desenvolvimento sustentável, censo de árvores)
- Turismo (identificação de locais específicos, mapas de localização de atrativos turísticos)
- Trabalhos até então realizados com fotos aéreas
- Perícias em questões ambientais

A figura 27 apresenta uma imagem adquirida pelo sistema sensor do IKONOS.



Figura 27: imagem IKONOS, Região de Araraquara/SP. Fonte: Engesat, 2003.

## 2.7. Aplicações do sensoriamento remoto na agricultura

As principais aplicações de sensoriamento remoto em agricultura é apoiar as estimativas de safras, que são essenciais para um eficaz planejamento agrícola. Tradicionalmente, o levantamento de dados da safra agrícola pode ser feito através do censo agrícola ou de técnicas de amostragem. Segundo Adami *et al.* (2007), o levantamento censitário não se presta à previsão de safras devido ao alto custo e o longo tempo de aquisição e processamento das informações. Os métodos por amostragens são os mais adequados para este fim. O uso de sensoriamento remoto como suporte á identificação e mapeamento de culturas agrícolas com o intuito de previsão de safras é igualmente eficiente para todas as culturas e em todos os ambientes, daí a importância de se escolher os melhores sensores para o tipo de trabalho a realizar. Entretanto, verifica-se através da análise de diversos trabalhos científicos sobre o assunto, ser possível não estimar a área plantada para fins de previsão de safra, mas também como ferramenta de controle e monitoramento ambiental do avanço das culturas em região de proteção ambiental (NOVO, 2008).

Ao ambientes rurais se caracterizam por áreas cobertas por matas secundárias, pastagens associadas à criação de gado, por reflorestamentos, cultivos, construções esparsas e baixa densidade demográfica. As imagens de sensores remotos têm um grande potencial no estudo do uso da terra nestas áreas. Pode-se identificar, a partir da interpretação das imagens,

o tipo de uso, calcular a área ocupada com cada tipo de uso, obter uma estimativa de área plantada e da produção agrícola, bem como informações sobre o vigor vegetativo das culturas, pois a energia refletida pelas culturas muda quando são submetidas a estresse hídrico decorrente de seca, ou ainda, quando sofrem agressões por geadas, granizo, ataques de pragas, etc. O aspecto multitemporal das imagens de satélites nos permite monitorar as mudanças ocorridas como substituição de mata por pastagem, de cultura por pastagem, entre outras, possibilitando o acompanhamento das transformações dos ambientes ao longo do tempo e registrá-las em mapas, facilitando seu manuseio e tomada de decisão (FLORENZANO, 2002).

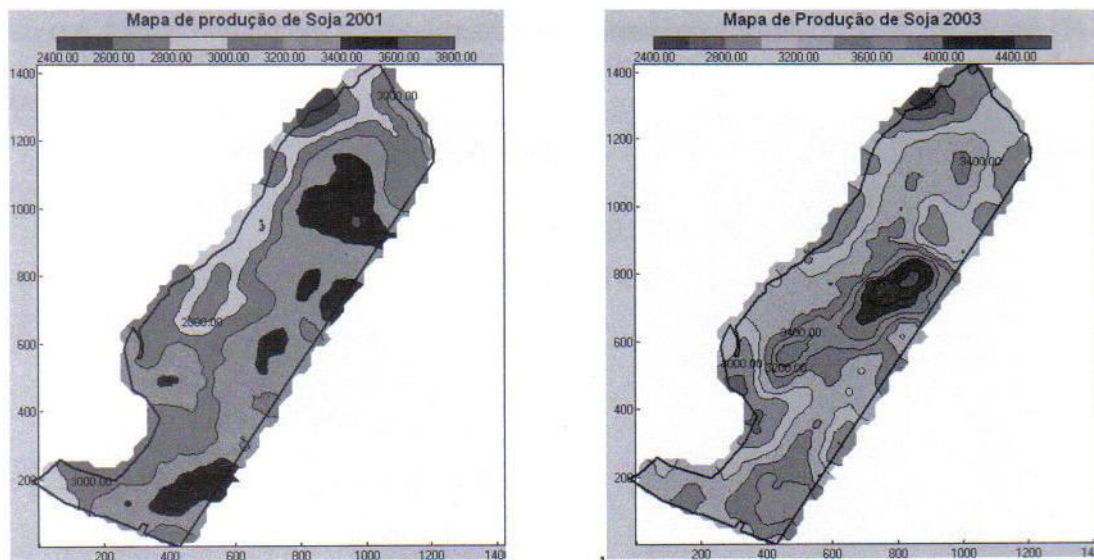


Figura 28: Mapas de produtividade de soja em 2001 e 2003, respectivamente. Fonte: Giotto *et al*, 2006.

Segundo Assad e Sano (1998), a disponibilidade de informações confiáveis sobre os tipos de culturas instaladas, área plantada e distribuição espacial dentro de determinada região, são fundamentais na tomada de decisões para o planejamento, definição de produtividade e liberação de financiamentos pelos setores públicos ou privados envolvidos na agricultura (Figura 28). Estas informações podem ser obtidas por métodos convencionais, já citados, ou através de sensoriamento remoto.

## 2.8 Processamento digital de imagem

Segundo Novo (2008), sensoriamento remoto é a ciência pela qual transformamos medidas de propriedade do fluxo de energia radiante registradas por um sistema sensor, em informações sobre os objetos que compõem a superfície terrestre.

Para Pacheco e Ribas (1998), o processamento digital de imagem de sensoriamento remoto trata especificamente das técnicas utilizadas para identificar, extrair, condensar e realçar a informação de interesse para determinado fim, a partir de uma enorme quantidade de dados multi-espectrais que as compõem.

Do ponto de vista do processamento dos dados digitais, as características importantes são: a) a resolução espectral, i.e., o número de bandas e as regiões espectrais a que se referem; b) a resolução espacial, i.e., o tamanho do pixel no terreno; c) a resolução radiométrica, i. e., o número de elementos discretos que representa o brilho de cada pixel; d) os dados auxiliares que permitirão sua correção radiométrica e geométrica (NOVO, 2008).

Novo (2008) diz que é importante conhecer as características das imagens com as quais se está trabalhando não apenas para proceder à sua interpretação correta, mas também para configurar adequadamente os sistemas de processamento e análise de dados digitais. O tamanho da imagem, o número de bandas espectrais, a resolução espacial e a resolução radiométrica, ditas anteriormente, determinam o volume de dados a serem processados e, portanto, a configuração de equipamentos e sistemas de processamento digital a serem usados.

A distribuição de níveis digitais de uma imagem pode ser representada por um histograma que mostra a frequência de pixels existentes na cena em cada nível digital. O histograma de uma imagem pode mostrar se a cena tem baixa radiância, i. e., há maior frequência de níveis digitais baixos. O histograma de uma cena pode indicar se a imagem apresenta alto ou baixo contraste. As cenas de baixo contraste apresentam histogramas estreitos, com muitos pixels concentrados em poucos níveis digitais de valor muito próximo (NOVO, 2008). A figura 29 apresenta histogramas típicos de imagens com baixa (a) e alta (b) radiância e baixo (c) e alto contraste (d).

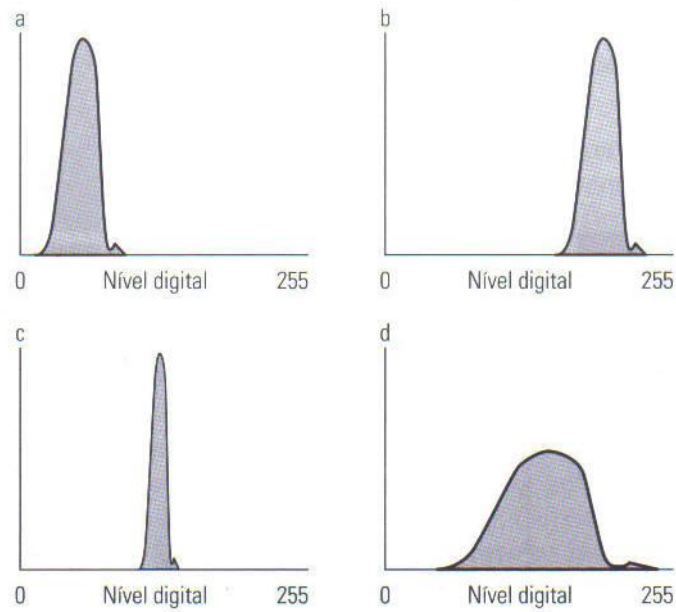


Figura 29: Características dos histogramas de diferentes tipos de cenas. Fonte: Novo, 2008.

A manipulação de contraste é um dos procedimentos mais simples a que se pode submeter uma imagem. A manipulação de contraste permite que seja alterado o histograma original, gerando uma nova imagem com o realce dos alvos de interesse.

A figura 30 mostra o efeito desse processamento sobre uma imagem. Nela uma mesma cena é apresentada com diferentes tipos de manipulação de contraste, realçando mais ou menos as diferentes feições existentes. Observa-se que as informações contidas nos dados originais tornam-se mais visíveis quando sofrem um processamento adequado às necessidades do trabalho pretendido.

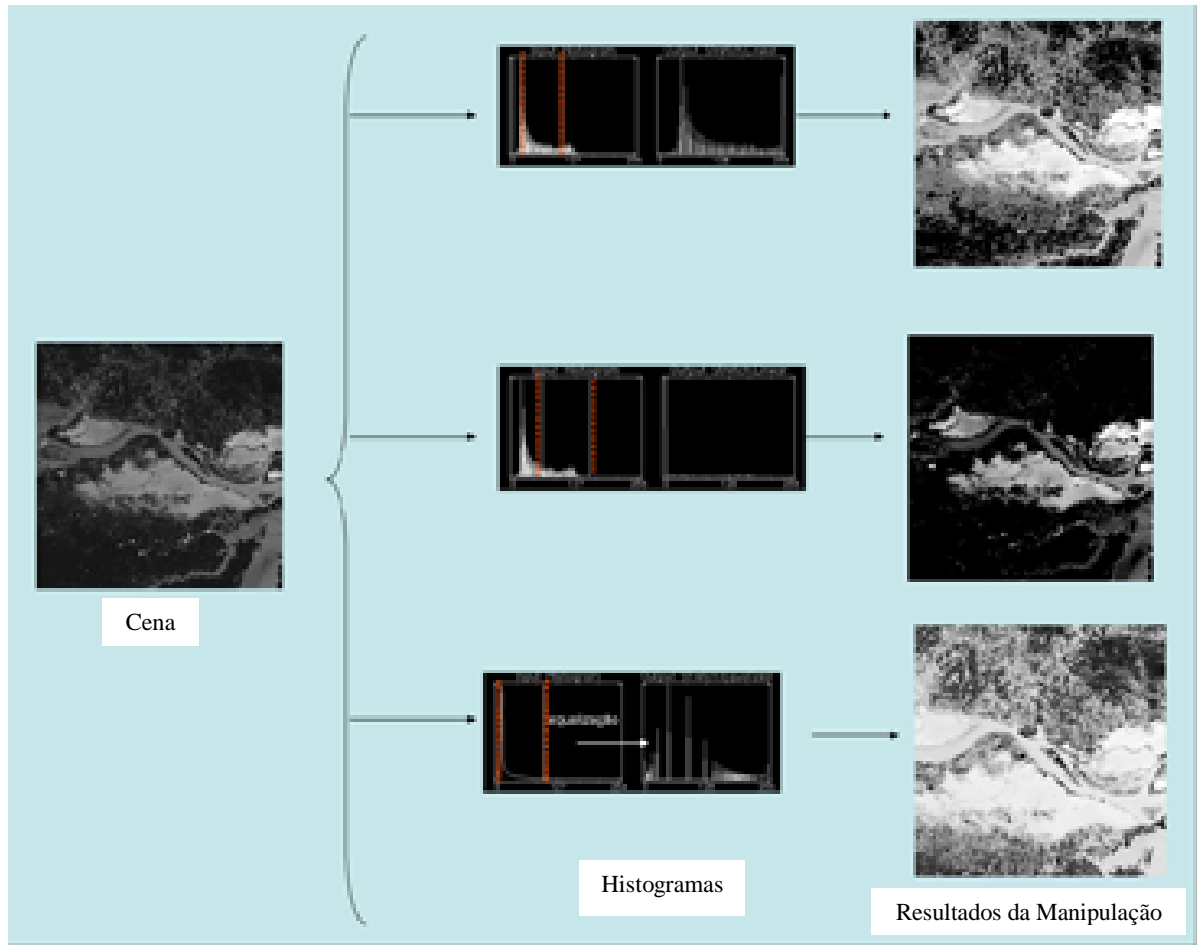


Figura 30: Manipulação do histograma da imagem original de modo a realçar diferentes objetos da cena. Fonte: Novo, 2008.

É facilmente entendido o conceito múltiplo de processamento digital de imagem ao analisar as imagens, observa-se que diferentes objetos ou materiais apresentam características próprias que vão se modificando ou assumindo novas características, conforme sejam observadas em diferentes bandas espectrais (MENESES, 2001).

No sensoriamento remoto a identificação e distribuição dos alvos ou materiais são feitas pelas diversas características espectrais nas variadas bandas de sistemas sensores. Quanto maior for o número de bandas, maior será o volume de dados digitais, tornando-se preciso a utilização de técnicas automáticas de análise, que introduzam múltiplas formas de abordagem de dados (LILLESAND; KIEFER, 1987).

Conforme Slater (1980), os sistemas sensores multi-espectrais são idealizados para atender uma multidisciplinaridade de aplicações, exigindo ao especialista e usuário de sensoriamento remoto o mínimo de conhecimento sobre as propriedades físicas, químicas e

biológicas dos diferentes alvos da superfície terrestre, porque a informação espectral que estará contida num pixel será uma integração do conjunto de propriedades destes alvos, como vegetação, solo e água.

Os produtos de sensores remotos podem apresentar diversos tipos de distorções, não possuindo, assim, precisão cartográfica quanto ao posicionamento dos objetos, superfícies ou fenômenos nelas representados. Richards (1986) diz que os erros geométricos são resultantes de fatores como rotação e curvatura da Terra, movimento do espelho de imageamento e abertura de visada do sistema sensor, variações de altitude, posição e velocidade da plataforma, distorção de panorama e distorção topográfica. Daí a importância do processamento digital, que visa minimizar os impactos causados por estas distorções.

O tratamento de imagens digitais pode ser entendido como a identificação automática de todos os pixels contidos em determinada cena, em classes temáticas, segundo a ocupação do solo. Para Mascarenhas e Velasco (1984), o tratamento de imagens digitais significa identificar e extrair informações da imagem sobre fenômenos ou objetos do mundo real, e transforma a imagem de tal maneira que as informações radiométricas nelas contidas sejam mais facilmente discrimináveis pelo analista, i.e., por quem interpreta a imagem.

A análise de dados digitais ocorre em quatro fases distintas: pré-processamento, transformação de dados digitais, classificação e pós-processamento (MOREIRA, 2003). Entretanto, alguns autores consideram apenas três fases para o processamento digital de imagens: pré-processamento, realce e análise, incluídos nesta última a segmentação e a classificação da imagem.

A fase de pré-processamento consiste na preparação dos dados da imagem para classificação. Nesta fase se emprega técnicas para a melhoria da qualidade dos dados, como remoção de ruídos, realce, correção, retificação geométrica e registro, e redução da dimensionalidade. Complementarmente emprega-se a técnica de correção radiométrica e restauração do pixel, para estudo de comportamento espectral de alvos agrícolas ao longo do ciclo de crescimento e desenvolvimento das culturas.

A fase de transformação de dados digitais para muitos dos objetivos da classificação de imagens orbitais é mais conveniente do que trabalhar com os originais. Dentre os métodos para fazer a transformação de dados digitais, os mais usados são a rotação espectral; a restauração; a imagem NDVI e o modelo linear de mistura espectral.

Durante a fase de classificação os alvos recebem a denominação genérica de classes temáticas, i.e., procura-se identificar cada pixel da imagem segundo a ocupação do solo.



## 2.9 Técnicas de classificação e realce de imagens

Segundo Novo (2008), uma das técnicas de realce disponíveis é a conversão de cores do espaço RGB (Red/Vermelho, Green/Verde, Blue/Azul) para o espaço IHS (Intensity/Intensidade, Hue/Matiz, Saturation/Saturação). No sistema IHS, a intensidade descreve o brilho, o matiz a cor em termos de seu comprimento de onda e a saturação é a quantidade de cor presente, i.e., a distinção entre o vermelho e o cor-de-rosa. A intensidade descreve a diferença entre um verde-claro e um verde-escuro. Estes componentes podem ser representados por um cone, como apresentado na figura 31.

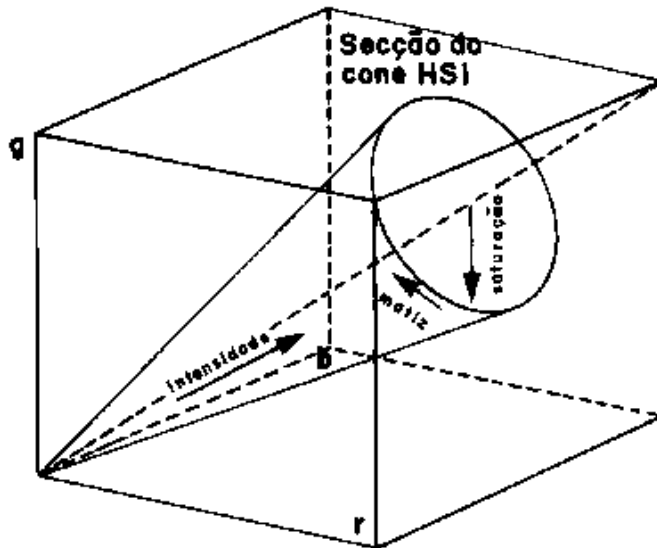


Figura 31: Representação do espaço IHS. Fonte: Fonseca, 2000.

A transformação do espaço RGB para o IHS permite gerar composições coloridas em que há menor correlação entre as bandas, possibilitando um maior aproveitamento de cores. A figura 32 mostra a mesma cena numa composição RGB e o resultado de sua transformação IHS. Nota-se que a composição IHS realçou bastante a presença de fitoplâncton na água, do que na composição RGB.

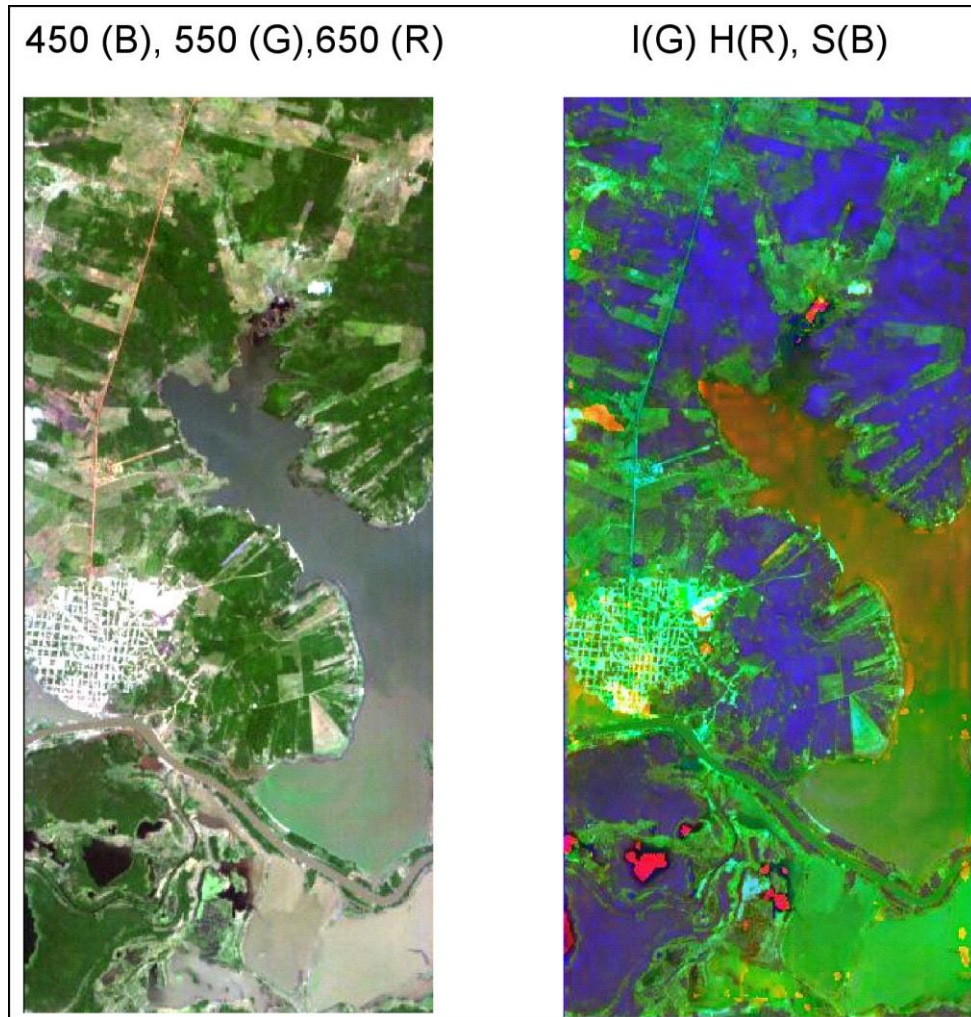


Figura 32: composição RGB e IHS. Fonte: Novo, 2008.

Embora o IHS tenha grandes possibilidades de uso para o realce de imagens digitais, não é o mais difundido.

Outra técnica de realce muito usada, e que permite diminuir a redundância de informação entre bandas de comportamento espectral muito semelhante, é a transformação pelas componentes principais. O número de componentes principais é igual ao número de bandas. Há também manipulações das imagens que se dão no chamado domínio espacial das imagens. Essas transformações permitem extrair ou modificar os atributos espaciais das imagens, realçando certos aspectos da cena. Dentre as transformações espaciais mais comuns estão os filtros lineares, os filtros morfológicos e os filtros de textura (Figura 33).

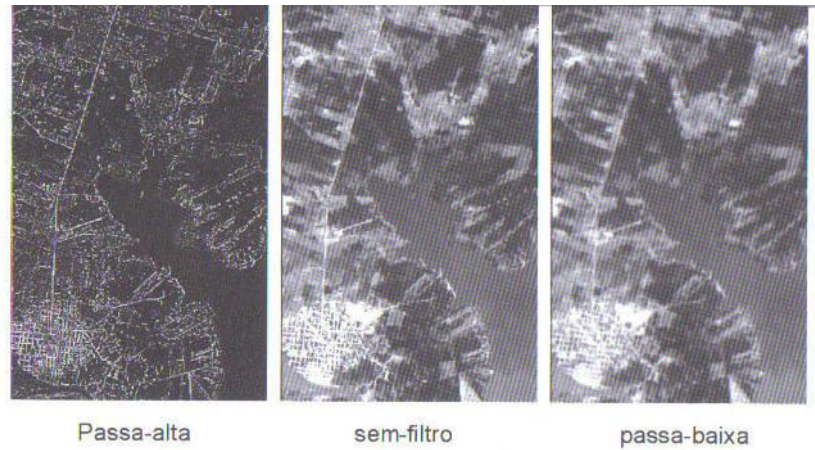


Figura 33: Exemplo de filtro linear. Fonte: Adaptado de Novo, 2008.

Classificar uma imagem espectral significa atribuir a cada pixel determinada classe temática em função de seus atributos espectrais, i. e., é o valor de contador digital que cada pixel recebe em cada uma das bandas utilizadas na classificação. Os dados multi-espectrais podem ser representados num espaço multidimensional, tal que cada pixel da imagem seja representado por coordenadas associadas ao seu brilho, nível digital, em cada uma das bandas, e que seja dependente do comportamento espectral dos alvos de interesse (CRÓSTA, 1992; NOVO, 2008). A figura 34 ilustra bem este conceito.

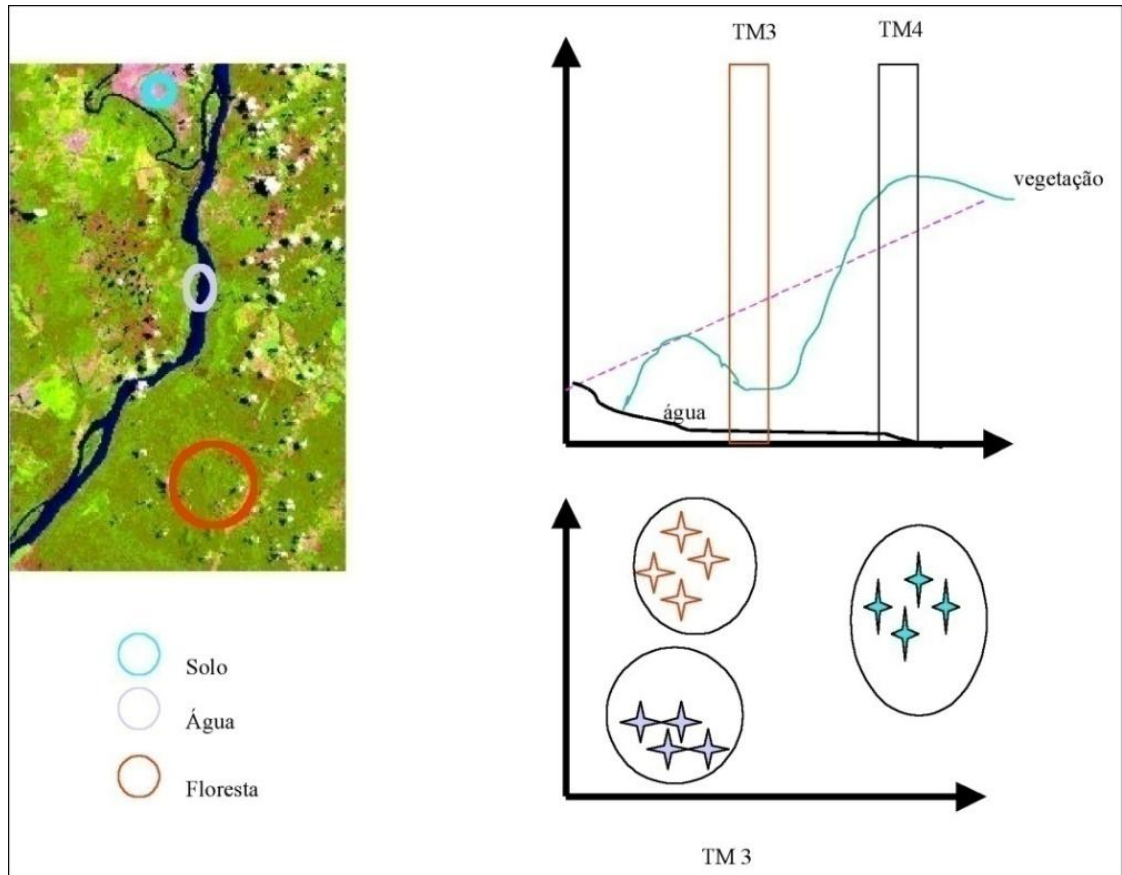


Figura 34: Representação bidimensional dos níveis de brilho de uma imagem e sua relação com o comportamento espectral dos tipos de cobertura do solo. Fonte: Novo, 2008.

As técnicas de classificação podem ser divididas em: não-supervisionada e supervisionada. A primeira é usada quando não se tem conhecimento das possíveis classes existentes na imagem, sendo as classes definidas pelo algoritmo de classificação do sistema, atribuindo a cada pixel da imagem determinadas classe. Estas distribuições são analisadas e comparadas com informações de campo ou mapas ou dados teóricos sobre o comportamento espectral de alvos (NOVO, 2008; SILVA, 2006). Segundo Novo (2008) este tipo de classificação é, portanto, um passo importante a ser executado antes da classificação supervisionada, porque possibilita ao analista conhecer o número de classes espectrais existentes. Este número pode ser bem maior do que o existente no terreno, devendo-se proceder a um reagrupamento das classes espectrais. Quando as características são semelhantes o número de classes pode ser menor. Neste caso, outras abordagens e procedimentos devem ser usados para que sejam discriminadas. Há diversos métodos de

classificação não-supervisionada. A figura 35 apresenta o resultado de uma classificação não supervisionada.

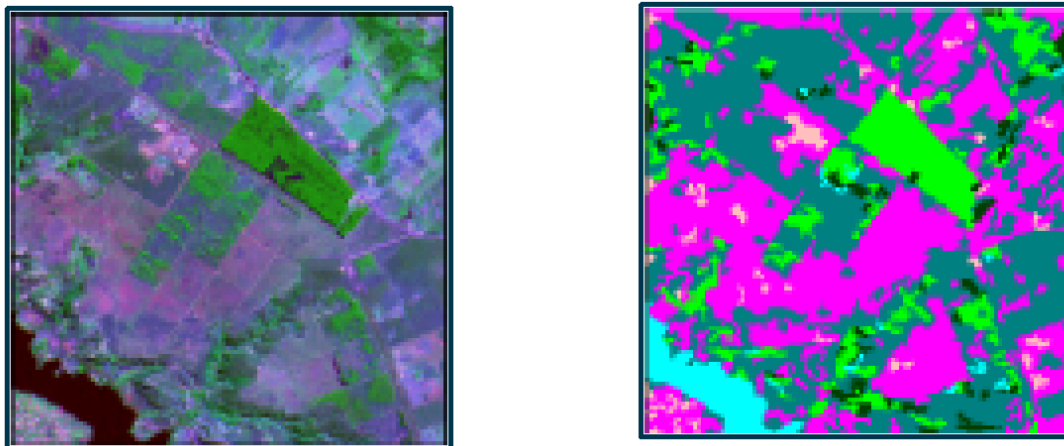


Figura 35: imagem original e imagem classificada, respectivamente. Fonte: Fonseca, 2000.

A classificação supervisionada necessita do conhecimento prévio da localização espacial de algumas amostras de classes de interesse. É um método usado para análises quantitativas de imagens em sensoriamento remoto. Neste tipo de classificação, cada pixel da imagem é atribuído a uma determinada classe. Assim os parâmetros são retirados de um conjunto de amostras, chamados de amostra de treinamento, que deve ser previamente selecionado. A amostra de treinamento é decisiva para a obtenção dos resultados satisfatórios na classificação. Segundo Eastman (1998), o conjunto de treinamento deve ser formado por um número suficiente de pixels representativos, no mínimo dez vezes o número de bandas que estão sendo usadas para a classificação. Richards (1986) sugere, sempre que possível, o uso de mapas topográficos, fotografias aéreas da época de aquisição da imagem e idas a campo, a fim de garantir os resultados da classificação.

Novo (2008) comenta que independentemente do método de classificação supervisionada adotado, há procedimentos importantes a serem seguidos para que se possa garantir um bom resultado. Dentre os aspectos fundamentais a serem avaliados, destacam-se: a escolha do melhor conjunto de bandas espectrais para o objeto de interesse; a localização precisa de áreas de “treinamento”; a determinação do relacionamento entre o tipo de objeto e o nível digital das bandas escolhidas; a extrapolação desse relacionamento para toda a cena e a avaliação da precisão da classificação realizada. A figura 36 mostra o uso da classificação supervisionada.

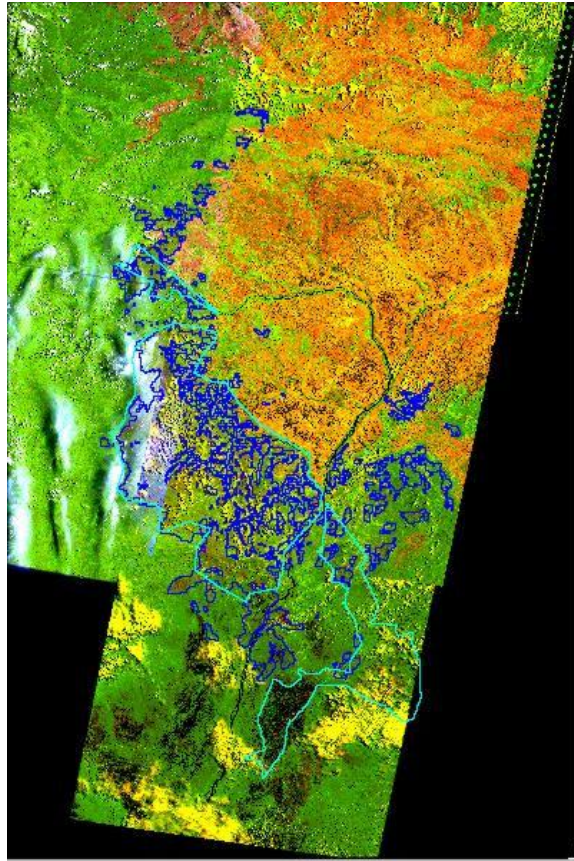


Figura 36: Exemplo de diferença entre os polígonos mapeados em campo e em imagem. Polígonos derivados da imagem (Azul); polígonos derivados de campo (Ciano). Fonte: Shimabukuro *et al*, 1999.

Entre os métodos de classificação supervisionada existentes, os mais empregados são: máxima verossimilhança (MAXVER), o método do paralelepípedo e a distância euclidiana.

### 3 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1 Localização

A Região da Serra Gaúcha é a principal região da vitivinicultura brasileira, destacando-se os municípios de Bento Gonçalves, Garibaldi, e Caxias do Sul pelo volume e qualidade dos vinhos produzidos. A área de estudo localiza-se no Vale dos Vinhedos, em Bento Gonçalves, com coordenadas aproximadas de 29° 15' S e 51° 32' W. A região é o principal pólo produtor de uvas para vinhos finos no Brasil, com cerca de 30.373 ha de vinhedos, figura 37. (LUZ; FONSECA, 2003).



Figura 37: Região vitivinícola da Serra Gaúcha ao Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. Fonte: Adaptado de Faicade; Mandelli, 1999.

Coexistem na região dois modos de condução de parreirais: a espaldeira, onde as fileiras do dossel são verticais, e a latada, quando o dossel é contínuo e horizontal a uma altura aproximada de 1,8 m do solo. O setor vitivinícola na região é caracterizado pela existência de pequenas propriedades em torno de 15 ha em média, que empregam mão-de-obra familiar, onde cultivam vinhedos de 2,5 ha em média, em áreas de relevo acidentado e de difícil mecanização (PROTAS, 2002).

A região do vale dos Vinhedos é um espaço construído pelo processo de imigração, promovido no país no período do Império até o início da República. Diferentemente do que

ocorreu em outros estados brasileiros, no Rio Grande do Sul, a imigração italiana assumiu o modo de colonização (FALCADE; MANDELLI, 1999).

Segundo a Associação dos Produtores de Vinhos Finos do Vale dos Vinhedos (APROVALE) a religiosidade está muito presente entre os imigrantes italianos. Cada comunidade que se formava a primeira construção a ser feita era uma capela ou igreja. No Vale dos Vinhedos isto se constata. Em 1880, ergueu-se a primeira capela do Vale erguida em pedra bruta e coberta por pequenos pedaços de tábua, foi mantida assim até 1928, quando foi substituída pela construção da atual Capela das Almas. Já no início do século XX foi construída a Capela Nossa Senhora das Neves. Outras capelas surgiram, iniciando um processo de colonização do vilarejo. O roteiro do Vale dos Vinhedos preserva até hoje inúmeros capitéis que traduzem a religiosidade do povo que colonizou a região.

O turismo é um grande meio de divulgação da cultura, do trabalho e da história de um povo. O Vale dos Vinhedos oferece um variado roteiro turístico, que vai desde passeios pelas vinícolas, degustação de vinhos até jantares típicos com animação de corais, servido em meio ao ambiente pitoresco e aconchegante das cantinas. Tudo isso é oferecido pelas próprias famílias que vêm resgatando e mantendo a hospitalidade e os costumes de seus antepassados, preservando desta forma a cultura dos imigrantes italianos. A figura 38 apresenta o mapa com os limites do Vale dos Vinhedos (APROVALE, s.d.).



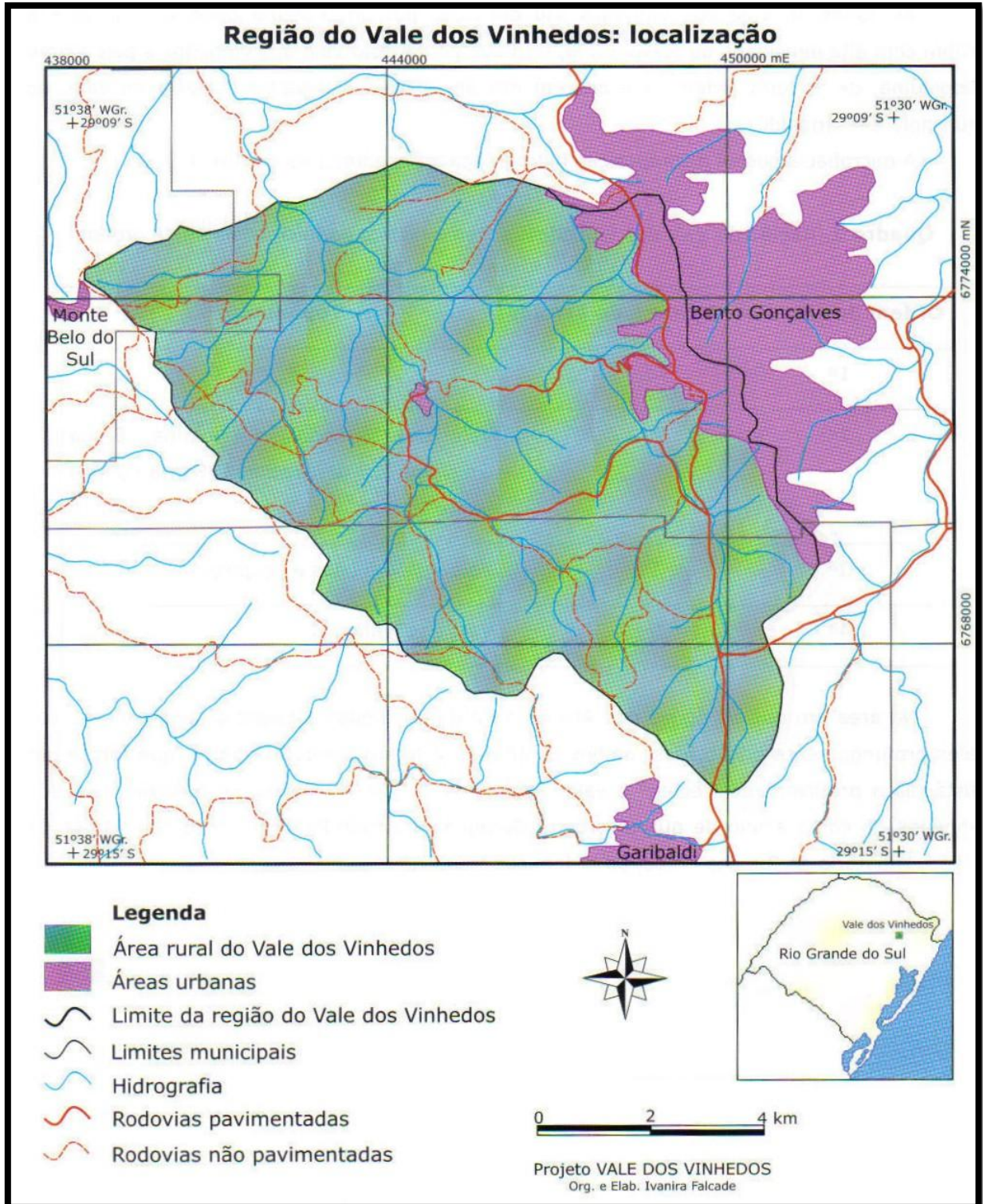


Figura 38: Mapa da Região do Vale dos Vinhedos: esta região se localiza no contexto de uma grande área produtora de uvas entre Bento Gonçalves, Garibaldi e Monte Belo do Sul. Fonte: Falcade; Mandelli, 1999.

### 3.2 Topografia e clima

A origem geológica da Região da Serra Gaúcha integra a Formação da Serra Geral da Série São Bento, na Bacia do Paraná (FALCADE; MANDELLI, 1999), cronologicamente pertencentes aos períodos Triássico e Jurássico, estendendo-se até o Cretáceo Inferior da era Mesozóica.

A formação Serra Geral constitui-se de uma sucessão de derrames de rochas efusivas de composição predominantemente básica, compreendendo derrames de basalto, andesito, além de brechas vulcânicas e sedimentares, diques e soleiras de diabásio e corpos de arenitos inter-derrames. Os basaltos apresentam uma variedade de cores que grada do cinza escuro ao negro, com tonalidades esverdeadas. As colorações escuras devem-se à granulação fina e à abundância de minerais ferromagnesianos opacos e de vidros (FALCADE; MANDELLI, 1999).

Segundo Facalde e Mandelli (1999) a topografia ondulada no topo, com bordas escarpadas e recortadas, resulta do processo de dissecação verificado no Sul do Brasil, a partir de alterações climáticas, quando se desenvolveu uma rede de drenagem com maior capacidade de erosão vertical, o que preservou áreas mais elevadas, testemunhos de uma superfície anterior, que servem de divisores de águas dos pequenos córregos que correm na direção sul e sudeste para os tributários do Rio Caí e, na região norte e noroeste, formando os tributários do Rio das Antas. A figura 39 apresenta o diagrama morfológico da região.

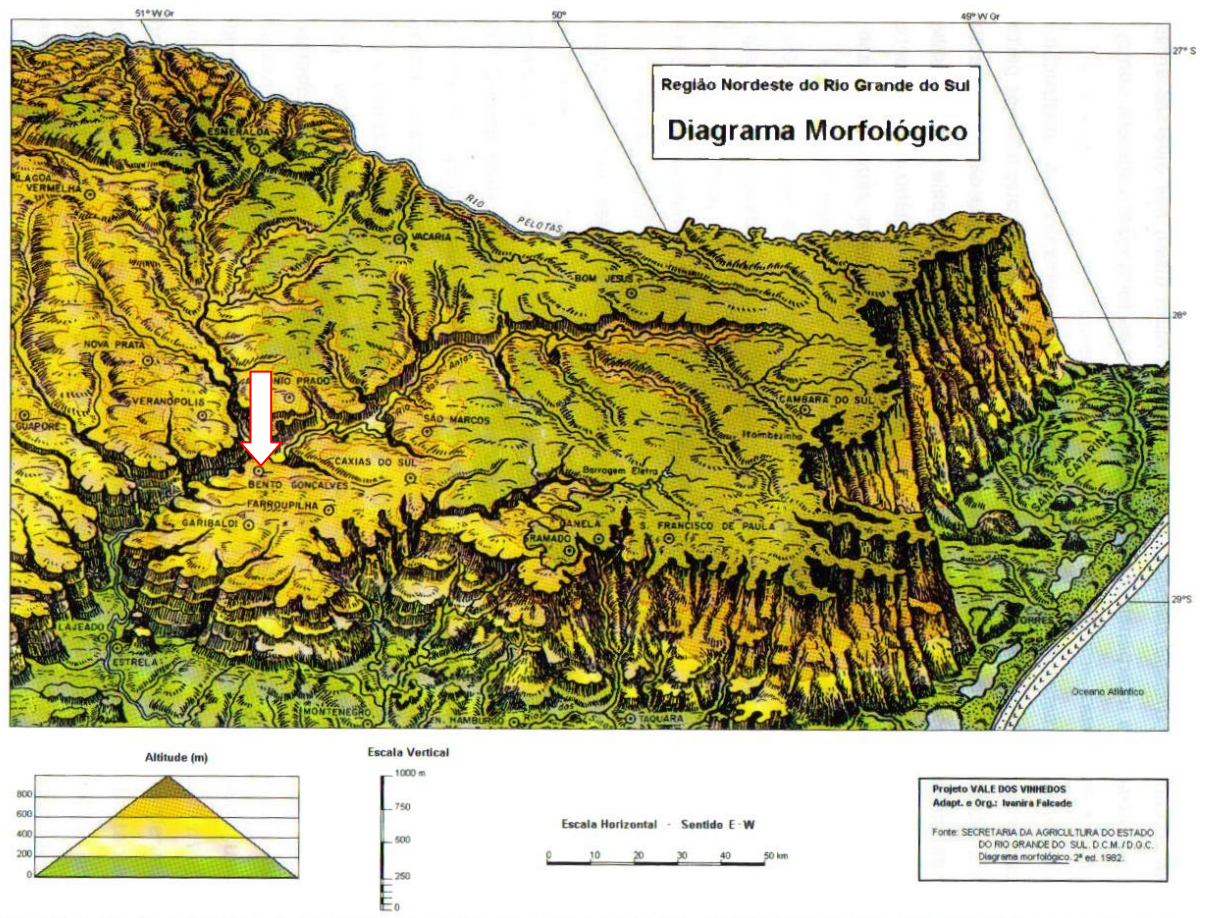


Figura 42: diagrama morfológico da Região Nordeste do Estado do Rio grande do Sul, destacam-se as vertentes abruptas e os sucessivos patamares do Planalto das araucárias. Fonte: Falcade; Mandelli, 1999.

A intensidade da luz e calor disponível varia com a latitude, e a incidência de radiação solar ou insolação atinge diretamente a superfície dependendo da declividade e da orientação das vertentes. Embora diversos fatores ambientais tenham influência direta na produção vitícola, são o clima e a temperatura que define a qualidade da produção. A influência da insolação sobre a qualidade da uva em diferentes exposições eleva a importância da radiação solar não só se refere à necessidade da videira enquanto vegetal, mas à temperatura do ar em torno da planta e às possibilidades que diferentes temperaturas têm que provocar diferenças de pressão entre o fundo dos vales, ao longo das encostas e o topo dos patamares, provocando uma circulação do ar mais intensa e a retirada da umidade presente no ar e nas plantas, que são prejudiciais à qualidade da produção (FALCADE, 1999).

Falcade (1999) comenta que a formação geológica na região do Vale dos Vinhedos é de rochas efusivas, na sua maioria ácidas. Apresenta altitudes que variam de pouco mais de

200 m até 742 m. O eixo do vale apresenta uma elevação geral de noroeste para sudeste, com uma bifurcação, mas que mantém a mesma direção. A figura 40 apresenta a distribuição espacial da topografia do Vale dos Vinhedos.

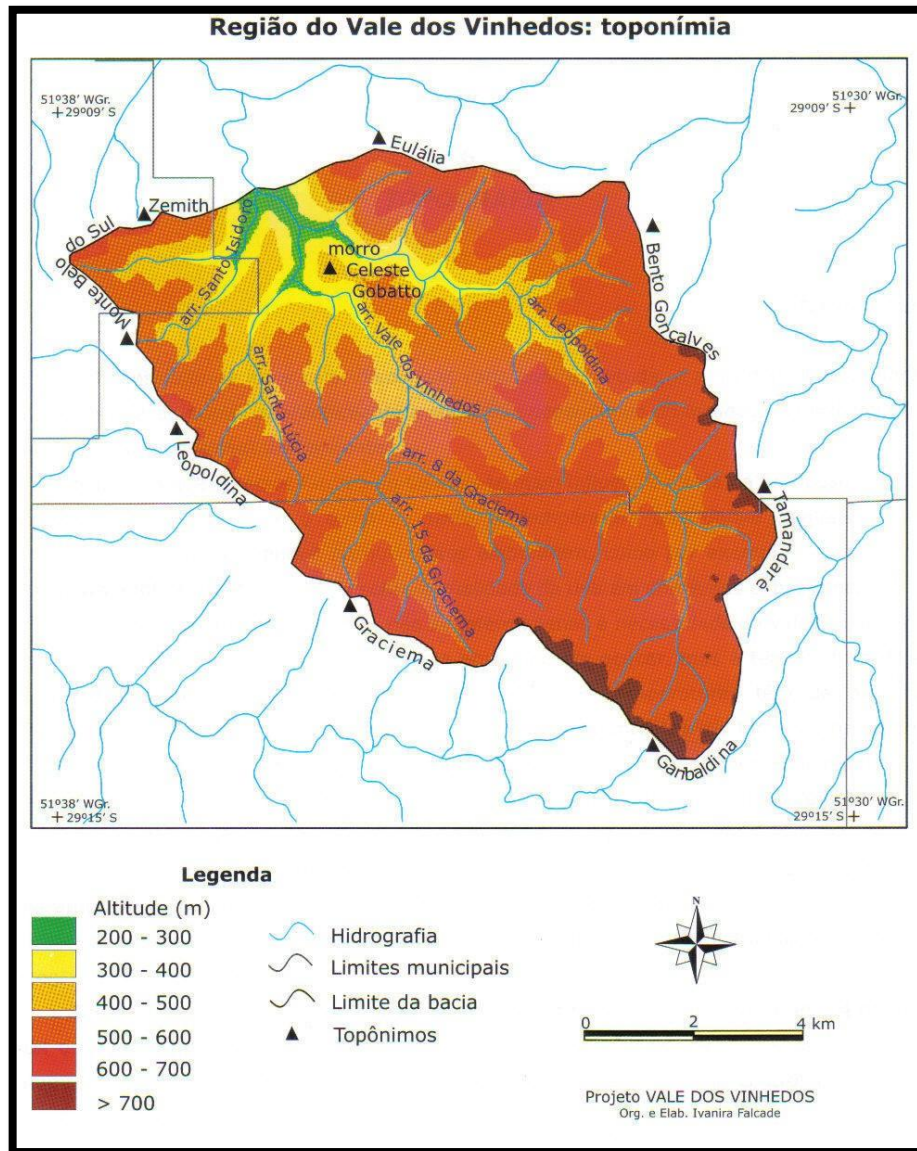


Figura 40: Mapa da Região do Vale dos Vinhedos: toponímia – as denominações usadas para o relevo e a hidrografia relacionam-se ao processo histórico da área e a altimetria situa o vale nos patamares médios no relevo do Rio Grande do Sul. Fonte: Falcade; Mandelli, 1999.

A geomorfologia do Vale dos Vinhedos apresenta-se na forma de patamares intensamente dissecados e fragmentados, sendo os vales dos Arroios Leopoldina e Vale dos Vinhedos, na sua porção inferior, profundamente encaixada (Figura 41).

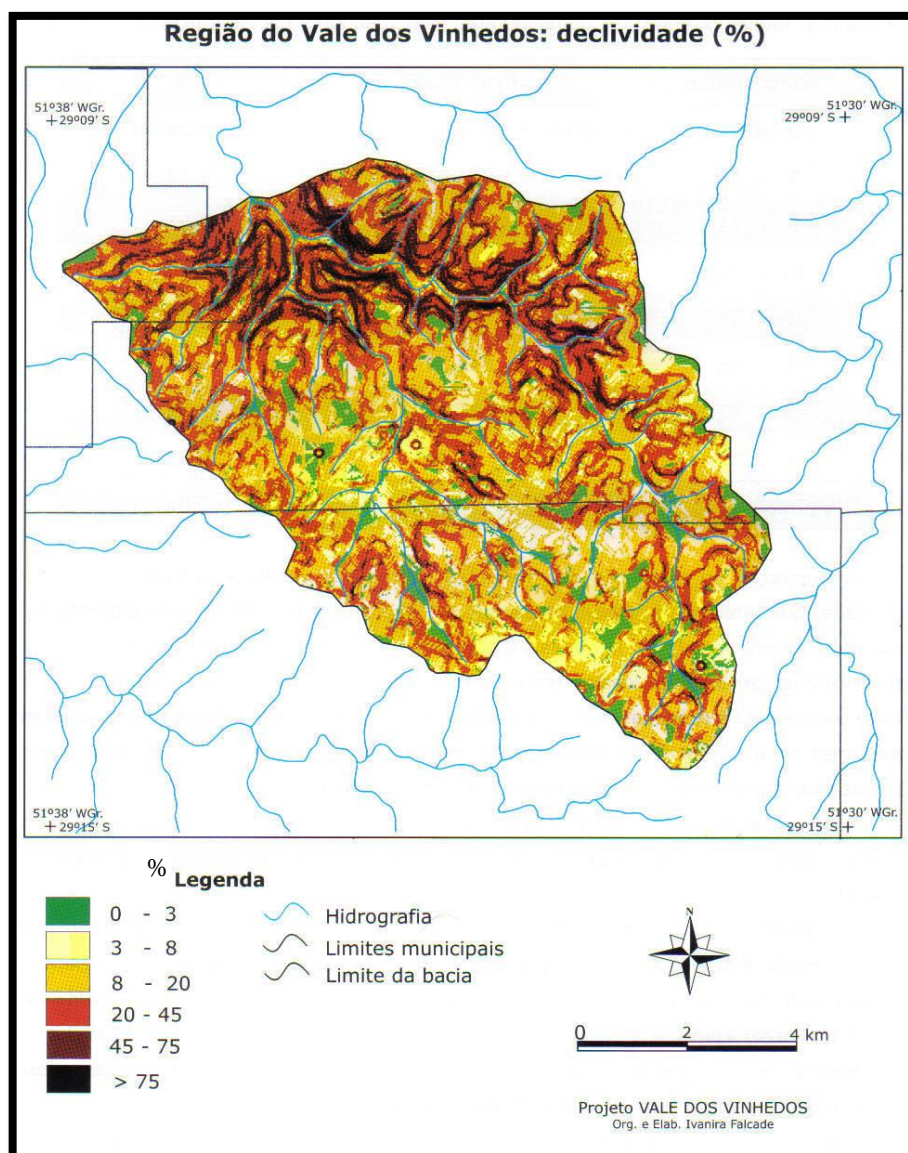


Figura 41: Mapa da Região do Vale dos Vinhedos: declividade. Fonte: Falcade; Mandelli, 1999.

As condições macroclimáticas do Vale dos Vinhedos condicionam o comportamento meteorológico geral no vale: a localização em média latitude define um potencial energético e uma altura solar que nunca atinge o zênite, a circulação geral da atmosfera determina a origem frontal da maioria das precipitações e a altitude modifica as características de temperatura e umidade dessas massas de ar. Para a análise topoclimática do Vale são utilizadas informações coletadas pela Embrapa Uva e Vinho, em Bento Gonçalves/RS, na estação principal e em micro-estações instaladas no município sede, distribuídas conforme o figura 42 (FALCADE; MANDELLI, 1999).

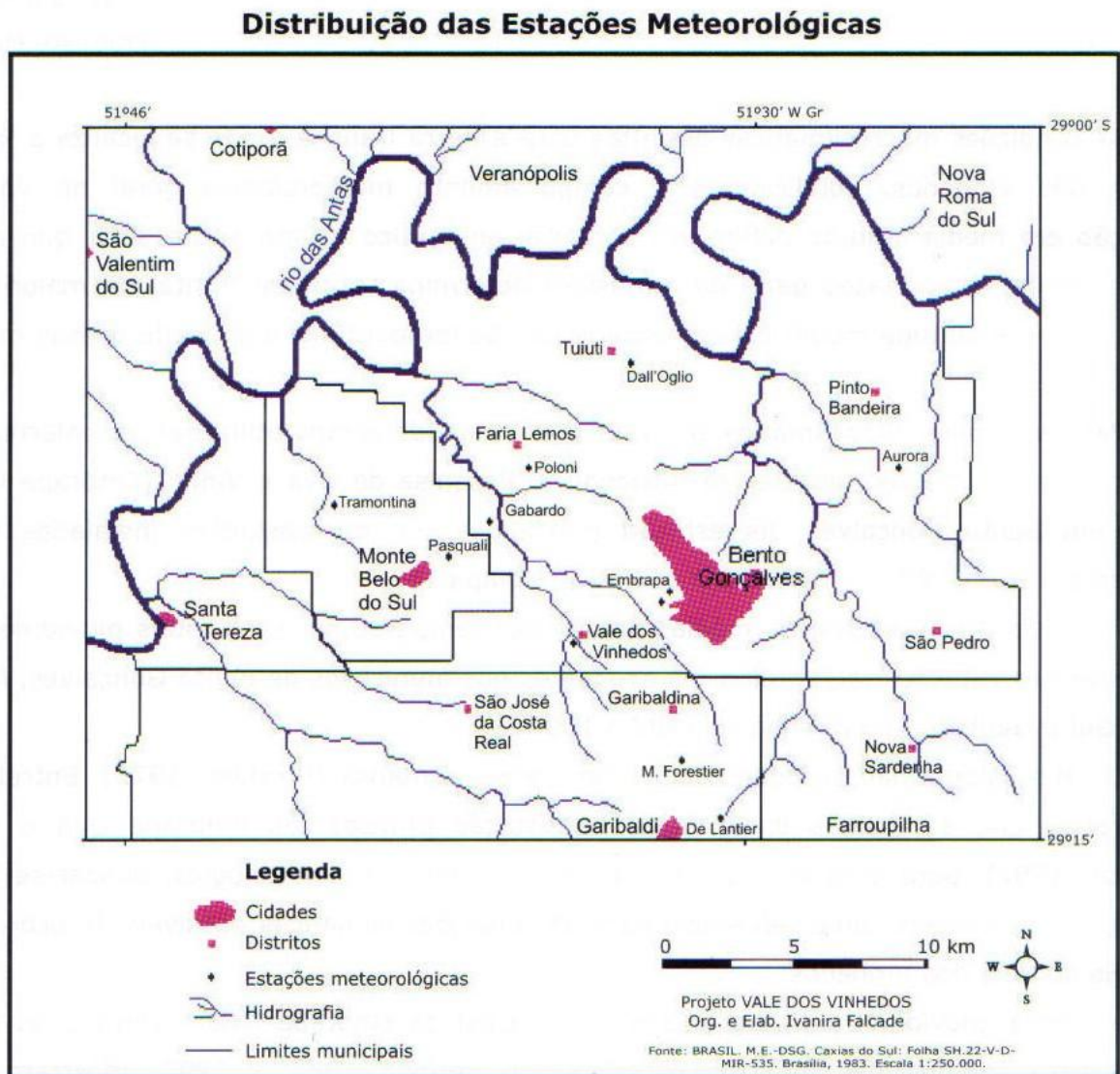


Figura 42: Região do vale dos Vinhedos: distribuição das estações meteorológicas nos municípios de Bento Gonçalves, Garibaldi e Monte Belo do Sul. Fonte: Falcade; Mandelli, 1999.

A figura 43 apresenta a distribuição espacial da temperatura média anual no Vale dos Vinhedos, estia-se que 80% da área tem a temperatura média anual situada entre 16°C e 18°C, em áreas de altitude aproximadamente entre 500 m e 700 m (Planalto).

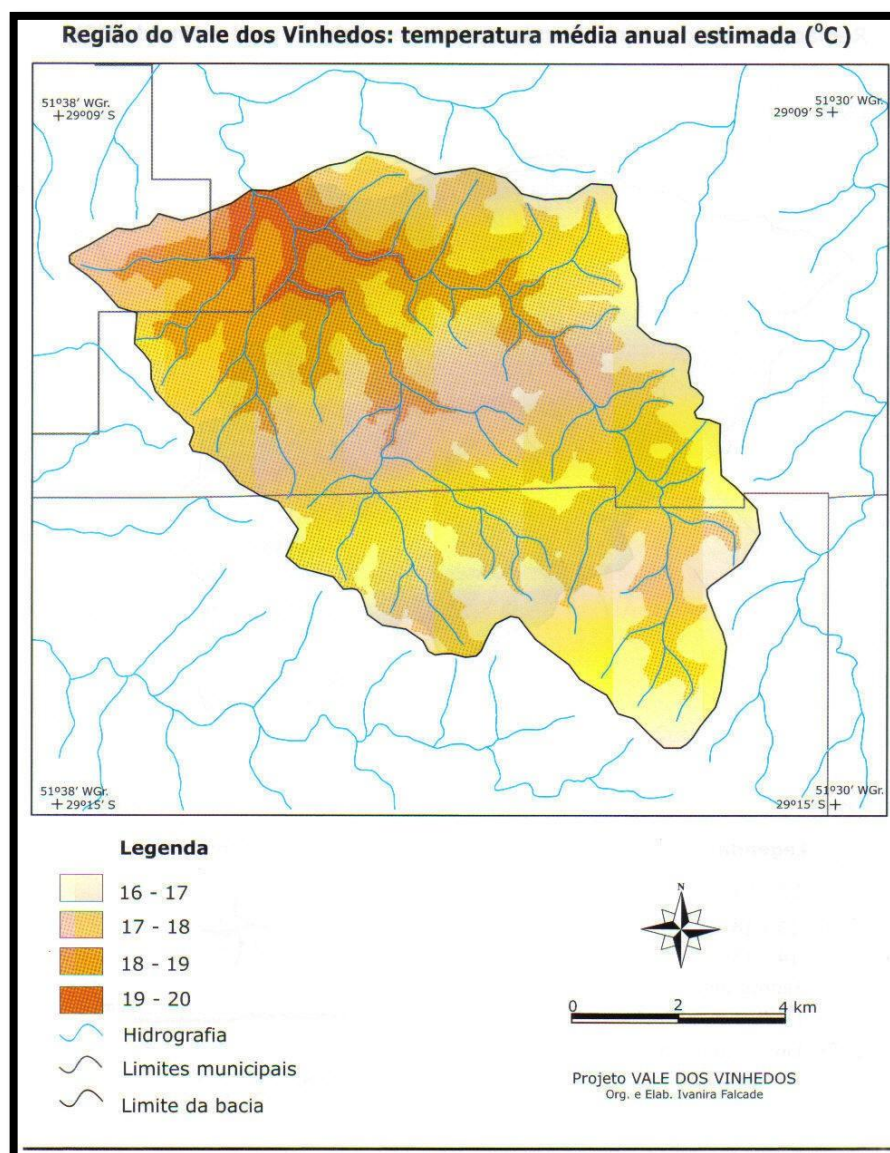


Figura 43: Mapa da Região do Vale dos Vinhedos: distribuição da temperatura média anual estimada. Fonte: Falcade; Mandelli, 1999.

### 3.3 Solos

Solo é a coleção de corpos naturais que ocupam parte da superfície terrestre e constituem o meio natural para desenvolvimento das plantas (FALCADE; MANDELLI, 1999). São dotados de atributos resultantes da diversidade de efeitos da ação integrada do clima e dos organismos, agindo sobre o material de origem, em determinadas condições de relevo durante certo período de tempo. Da ação combinada desses fatores de formação, determinados processos operam no material de origem, obtendo como resultado a formação de seções mais ou menos paralelas a superfície do terreno e que se sucedem verticalmente

compondo os solos. Essas seções (figura 44), chamadas de horizontes, diferenciam-se umas das outras pela organização, pelos constituintes ou pelo comportamento (FASOLO *et al.*, 1999).

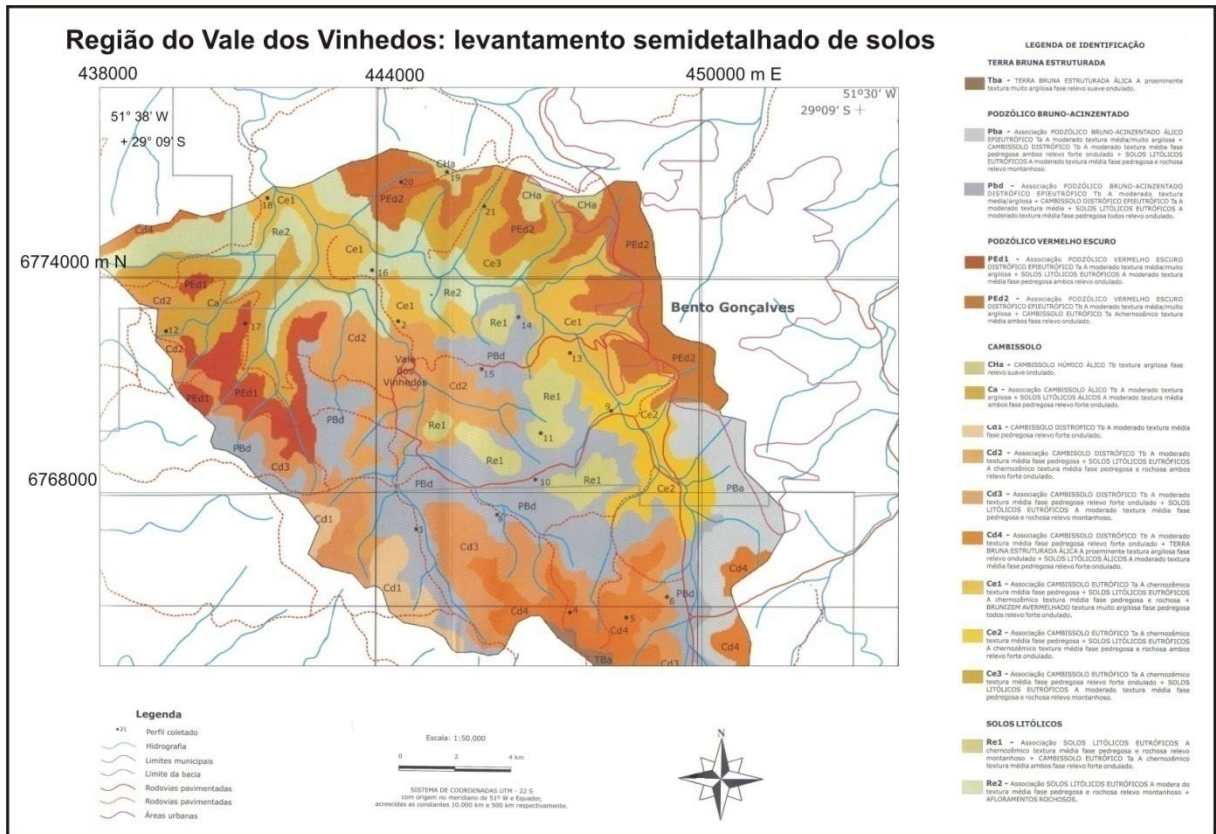


Figura 44: Mapa de solos da Região do Vale dos Vinhedos. Fonte: Adaptado de Falcade; Mandelli, 1999,

### 3.4 Vegetação

A cobertura vegetal original na região da Serra Gaúcha era resultado das condições ambientais atuais e das condições ambientais nos períodos glaciários e interglaciários do quaternário (FALCADE; MANDELLI, 1999). Essa vegetação foi profundamente alterada pela ação antrópica, contudo, ainda restam remanescentes florestais localizados nas superfícies mais acidentadas e isoladas das escarpas do planalto.

A região caracterizava-se por estar revestida de bosques de *Araucária angustifolia* intercalados por campos nos topos mais suaves, a denominada Floresta Ombrófila Mista e, nas áreas mais escarpadas do planalto, por espécies pertencentes à Floresta estacional Decidual (FALCADE; MANDELLI, 1999). Quanto mais planas e extensas as áreas, maiores



eram as manchas de vegetação campestres e quanto mais acidentado o terreno, mais densos e contínuos os bosques de araucária e matas de encosta.

Falcade e Mandelli (1999) comentam que a Floresta Ombrófila Mista, acima dos 500 m de altitude, onde a araucária formava o estrato emergente, tinha como estrato inferior o angico-vermelho e a grápia, mas também canelas, sapopemas, guabiroba, açoita-cavalo, pessegueiro bravo, bracatinga, erva-mate, aroeira, Cambuí, canjerana, entre outras espécies vegetais, além de estratos menores constituindo uma estrutura variada. A floresta estacional Decidual, onde a queda foliar faz parte do processo de dormência, apresenta uma estrutura organizacional complexa, devido à abundância de luminosidade, entretanto, há poucas espécies exclusivas. Os estratos apresentam copagem muito densa, os superiores formados por grápias, angicos-vermelho, cabriúvas, canafístulas, paus-marfim, canelas, entre outras, e nos inferiores, além dos indivíduos jovens dessas espécies, o cincho, o catiguá e as gramíneas. Observa-se nas diversas áreas de contato uma interpenetração das espécies entre as formações vegetais.

Segue os autores dizendo que as extensas florestas possibilitam o surgimento das serranas e a construção das habitações em madeira. O baixo valor comercial da madeira determinou que a maior parte da mata derrubada fosse queimada no próprio local. Somente após a chegada da ferrovia é que a extração da madeira assume a importância como atividade econômica, pela possibilidade de exportação. O uso da madeira nas indústrias da construção civil e do mobiliário e como fonte de geração de energia, na indústria, nas residências e na ferrovia, fomentou um rápido processo de desmatamento na região.

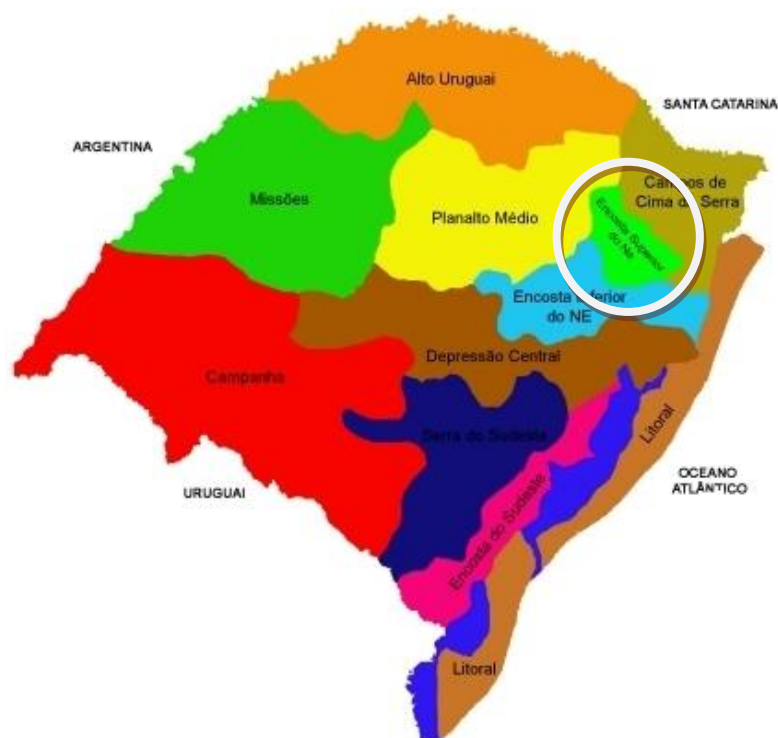


Figura 45: Encosta Superior do Nordeste, onde está localizada a Região da Serra Gaúcha. Fonte: Inventário Florestal Contínuo do Rio Grande do Sul, s. d..

A Encosta Superior do Nordeste (Figura 45) é formada pelos municípios de: Caxias do Sul, Bento Gonçalves, Guaporé, Flores da Cunha, Nova Prata, Farroupilha, Garibaldi. Está encravada entre a Encosta Inferior do Nordeste e os campos do Planalto. Sua área perfaz, aproximadamente, um total de 7.683 km<sup>2</sup>. A formação geológica é o basalto, rocha básica (p. 80). O relevo é muito montanhoso. A região é recortada profundamente por rios que formam vales estreitos. As altitudes variam de 300 a 600 metros nos vales, até 800 metros nos limites com o planalto. A vegetação desta região se mostra transitória entre florestas latifoliadas e pinhais. As latifoliadas ocupam as partes inferiores, sendo bem exuberantes, passando para florestas mistas e com pinhais nas partes mais elevadas, nas encostas mais suaves e em vales largos.

### 3.5 Uso e cobertura do solo

Segundo Falcade (1999), na Região do Vale dos Vinhedos, a análise da imagem Landsat, figura 46, a partir de padrões de interpretação como cor, tonalidade, forma e textura, permitiu identificar e agrupar as seguintes categorias de uso e cobertura do solo:

- Área urbana e sistema viário: estão incluídas nesta classe as áreas intensamente edificadas das cidades e do distrito, a ocupação no meio rural com características urbanas ao longo das rodovias e o sistema viário constituído por estradas pavimentadas ou não, caminhos, entre outros, identificáveis pela cor, textura e forma, especialmente na banda 3;
- Mata: nesta categoria estão incluídas as áreas com cobertura vegetal arbórea, nativa ou cultivada, como hortas, pastagens, milho, etc., cuja distinção das áreas com vinhedos foi possível de se obter pela classificação por MAXVER associada ao levantamento de campo;
- Agricultada com vinhedos: esta classe constitui-se de áreas que estão cultivadas com vinhedos, cuja separação foi possível, tendo por base o conhecimento da área, o levantamento em campo de áreas de treinamento com GPS e a classificação supervisionada da imagem.

A composição R5G4B3 foi a que melhor apresentou resultados para o levantamento do uso e cobertura do solo. Entretanto, a área diminuta dos diferentes usos agrícolas numa região de relevo muito irregular, não permitiu fazer um maior número de discriminações, segundo a autora, dadas as características de uma imagem de satélite.

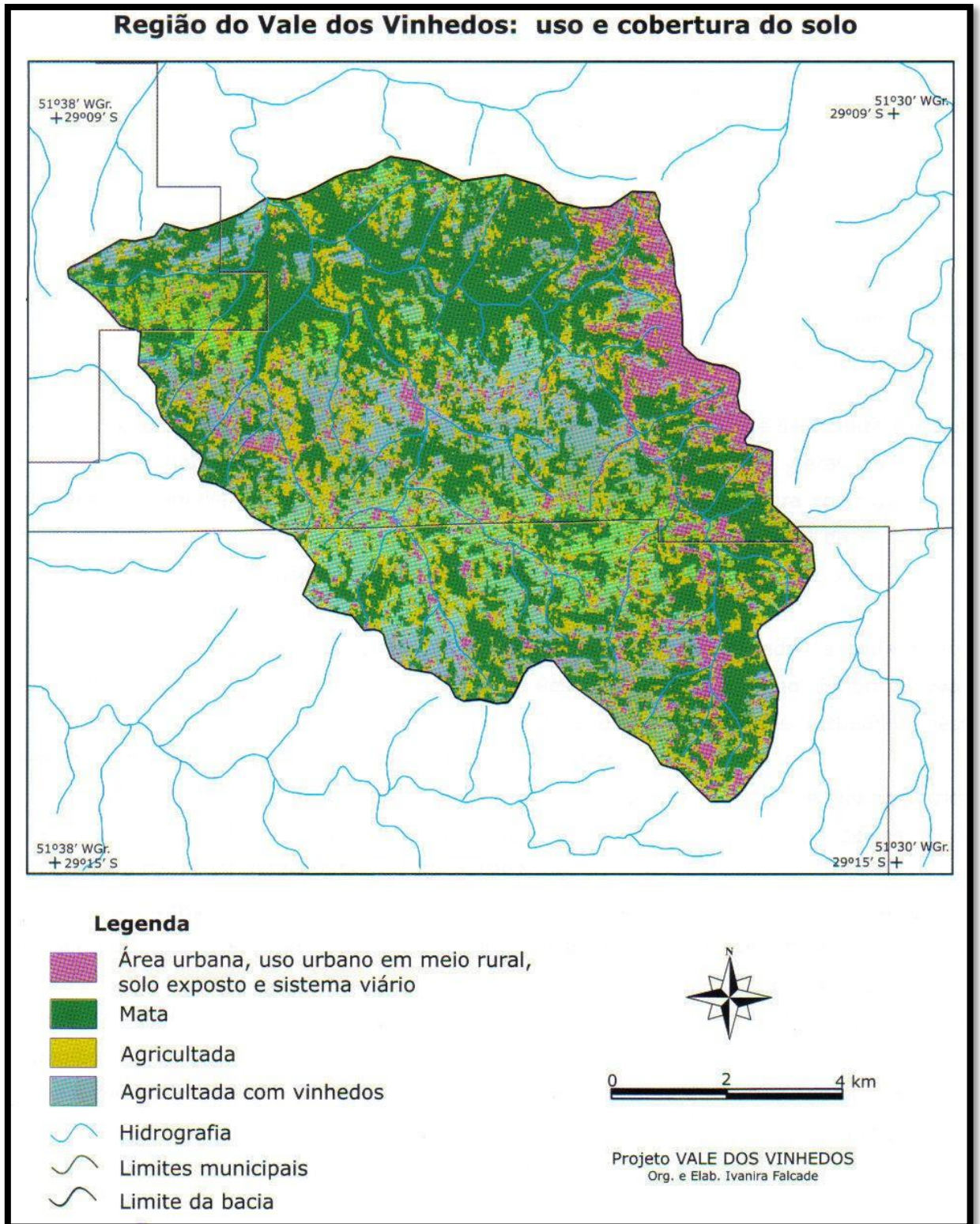


Figura 46: Mapa da Região do Vale dos Vinhedos: imagem Landsat composição R5G4B3 para uso e cobertura do solo. Datum SAD 69. Sistema UTM. Fonte: Falcade; Mandelli, 1999.

## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1 Levantamento de dados**

Os dados para o desenvolvimento do trabalho foram levantados junto à Prefeitura de Bento Gonçalves/RS e à Embrapa Uva e Vinho, das quais se conseguiu imagens da região de interesse, Vale dos Vinhedos. As imagens obtidas foram IKONOS e QUICKBIRD.

A imagem IKONOS possui as seguintes características:

- Resolução espacial: PAN 1 m e MS 2,4 m.
- Resolução temporal: 12/06/2000
- Resolução radiométrica: 11 Bits

A imagem QUICKBIRD possui as seguintes características:

- Resolução espacial: MS 0,60 m.
- Resolução temporal: 03/01/2008
- Resolução radiométrica: 16 Bits

Observa-se que o espaço temporal entre uma e outra é muito longo, fato que refletirá na análise das imagens, haja vista que a imagem IKONOS é do período de dormência das videiras, as quais estão em fase de desenvolvimento. Já a do QUICKBIRD é do período de colheita, momento ideal para a previsão de safra.

Cartas topográficas não foram utilizadas por não serem relevantes para o escopo do trabalho, pois a finalidade foi a de se levantar critérios para a previsão de safras de uva por meio da utilização de técnicas de sensoriamento remoto.

### **4.2 Delimitação da área piloto da Embrapa Uva e Vinho**

Considerando-se que o Vale dos Vinhedos possui uma área de aproximadamente 81,23 Km<sup>2</sup>, e possui muito pouco dado sobre os vinhedos para o uso de sensoriamento remoto, optou-se por uma área onde fosse possível obter dados relevantes para o trabalho e que já fosse um local de pesquisa apropriada para o desenvolvimento do trabalho. Assim, se escolheu a área de pesquisa os vinhedos da Embrapa Uva e Vinho, que está dentro dos limites do Vale dos Vinhedos. A figura 47, indica os vinhedos escolhidos para o trabalho.



Figura 47: Delimitação ilustrativa da área piloto de estudo – Embrapa Uva e Vinho. Fonte: Autor, 2008.

### 4.3 Classificação das imagens

As amostras de treinamento para a classificação supervisionada MAXVER foram coletadas através da identificação de regiões de interesse (*ROI's Tools*) do ENVI 4.2. O conhecimento da área de estudo (figura 48) facilitou a identificação dos alvos para a classificação, além de fotos aéreas da área usadas como apoio.

Foram definidas as seguintes classes para a classificação da área de interesse:

- a) Vegetação: área ocupada por vegetação nativa ou plantada;
- b) Água: lagos e pequenos reservatórios existentes na área de estudo;
- c) Gramado: área coberta por grama ou vegetação rasteira para paisagismo;
- d) Área Construída: designa as construções existentes na área de interesse e limites da própria cidade, onde há muitas residências e empresas;
- e) Solo exposto: área com solo desnudo ou pouco coberto por vegetação/vinhedo;
- f) Plástico: área de vinhedo com cobertura de plástico;
- g) Vinhedos: área onde são cultivadas as variedades de uvas.

Delimitada as classes temáticas, foi realizada a interpretação visual da imagem. A classificação MAXVER foi realizada exclusivamente no aplicativo ENVI 4.2, através do qual

as amostras de treinamento são trabalhadas com facilidade, haja vista que o software possibilita gravação das regiões de interesse (amostras) na própria imagem. As regiões de interesse podem ser aplicadas em diferentes classificadores, e em diferentes conjuntos a serem classificados, possibilitando aos classificadores supervisionados usarem as mesmas regiões de interesse (amostras de treinamento). As figuras 38 e 39 mostram as imagens originais da área de estudo, ambas no sistema RGB.



Figura 48: Área de estudo – Embrapa Uva e Vinho. Imagem IKONOS recortada - ilustração.



Figura 49: Área de estudo – Embrapa Uva e Vinho. Imagem QUICKBIRD recortada - ilustração.

#### **4.4 Equipamento e programas utilizados**

Os equipamentos utilizados para a realização do trabalho foram: computador desktop Core 2 Duo E 4600, 2,41 GHz, 3 GB RAM, HD 250 GB; GPS Garmin ETREX Venture; impressora Deskjet HP 6122; monitor 19”.

O programa usado para o processamento digital das imagens orbitais foi exclusivamente o ENVI 4.2, devido à praticidade e agilidade na obtenção dos resultados requeridos. Ressalta-se que foram testados os Idrisi e o SPRING, que mostraram-se muito trabalhosos para o desenvolvimento do trabalho, necessitando de diversas etapas para se chegar ao resultado desejado.

#### **4.5 Índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI)**

Segundo Ponzoni (2001) e Shimabukuro (2007), são mais difundidos para as aplicações nos estudos da vegetação, os índices de vegetação, principalmente o da diferença normalizada, que são mais empregados por utilizar a informação contida nas reflectâncias de dosséis referentes às regiões do vermelho (visível) e do infravermelho próximo que são combinadas sob a forma de razões, servindo como indicadores do crescimento e do vigor de vegetação verde e podem ser utilizados no diagnóstico de vários parâmetros biofísicos, incluindo o IAF, biomassa, porcentagem de cobertura do solo, atividade fotossintética e produtividade, com os quais têm apresentado elevados graus de correlação.

O NDVI é o índice de vegetação mais amplamente explorado para estudos de culturas agrícolas, florestais e climáticos. É uma ferramenta de análise para o monitoramento da vegetação, construindo-se perfis sazonais e temporais das atividades da vegetação em estudo, possibilitando a comparação inter-anuais. Daí seu uso para a verificação, pela imagem IKONOS, do vigor dos vinhedos. A fórmula para o cálculo é apresentada na equação 02 (p. 44).



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Análise da classificação digital das imagens IKONOS e QUICKBIRD

A classificação dos dados multi-espectrais podem ser, segundo Crosta (1992) e Novo (2008), representados num espaço multidimensional, onde cada pixel da imagem seja representado por coordenadas associadas ao seu brilho, nível digital, em cada banda (cena), e que seja dependente do comportamento espectral dos alvos de interesse (figura 34).

As técnicas de classificação podem ser divididas em: não-supervisionada e supervisionada. Para a realização deste trabalho foi realizada a classificação supervisionada, que necessita do conhecimento prévio da localização espacial de algumas amostras de classes de interesse. Esta técnica é utilizada para análises quantitativas de imagens em sensoriamento remoto. A classificação é através da atribuição de classes a cada pixel da imagem, sendo os parâmetros retirados de um conjunto de amostras, chamados de amostra de treinamento, que devem ser antecipadamente selecionadas.

Para a classificação das imagens foram utilizadas as seguintes bandas:

- IKONOS: vermelho (0,63-0,69  $\mu\text{m}$ ); verde (0,52-0,60  $\mu\text{m}$ ); azul (0,45-0,52  $\mu\text{m}$ ), em composição RGB, respectivamente.

- QUICKBIRD: imagem fusionada com as 03 bandas multi-espectrais e 1 banda pancromática, em cor natural.

A classificação da imagem QUICKBIRD apresentou áreas de vigor vegetal em algumas áreas de vinhedos. Observa-se (Figura 50 [a] e [b]) que a área com cobertura de plástico se confunde com área construída. Grande área de solo exposto em parte de um vinhedo e áreas de gramado. O estágio de crescimento dos vinhedos em determinadas áreas se confunde com a vegetação arbórea encontrada no entorno dos vinhedos. A existência de sombras e regiões escuras em áreas construídas na região de interesse leva a uma classificação das mesmas como classe água, causando confusão na interpretação. Verifica-se que houve muita perda de área plantada, caracterizando diminuição de produtividade. A classe área construída se estende pelas vias de acesso asfaltada da área de estudo.

A classificação da imagem IKONOS apresentou áreas de vigor vegetal em algumas áreas de vinhedos. Observa-se (Figura 50 [c] e [d]) que a área com cobertura vegetal está mais bem definida. Confunde-se com área construída alguns pontos da classe água, o que se repete junto à vegetação no entorno dos vinhedos, ocasionado pela existência de regiões de sombra. Da mesma forma que na imagem QUICKBIRD, há uma grande área de solo exposto em parte de duas áreas de vinhedo, apresentando também áreas de gramado. Em menor grau, em relação à imagem QUICKBIRD, o estágio de crescimento dos vinhedos em determinadas

áreas se confunde com a vegetação arbórea encontrada no entorno dos vinhedos. A existência de sombras e regiões escuras em áreas construídas na região de interesse leva a uma classificação das mesmas como classe água, causando confusão na interpretação. Verifica-se que houve muita perda de área plantada, caracterizando diminuição de produtividade, entretanto apresenta maior volume de produção em algumas áreas plantadas. A classe área construída se estende pelas vias de acesso asfaltada da área.

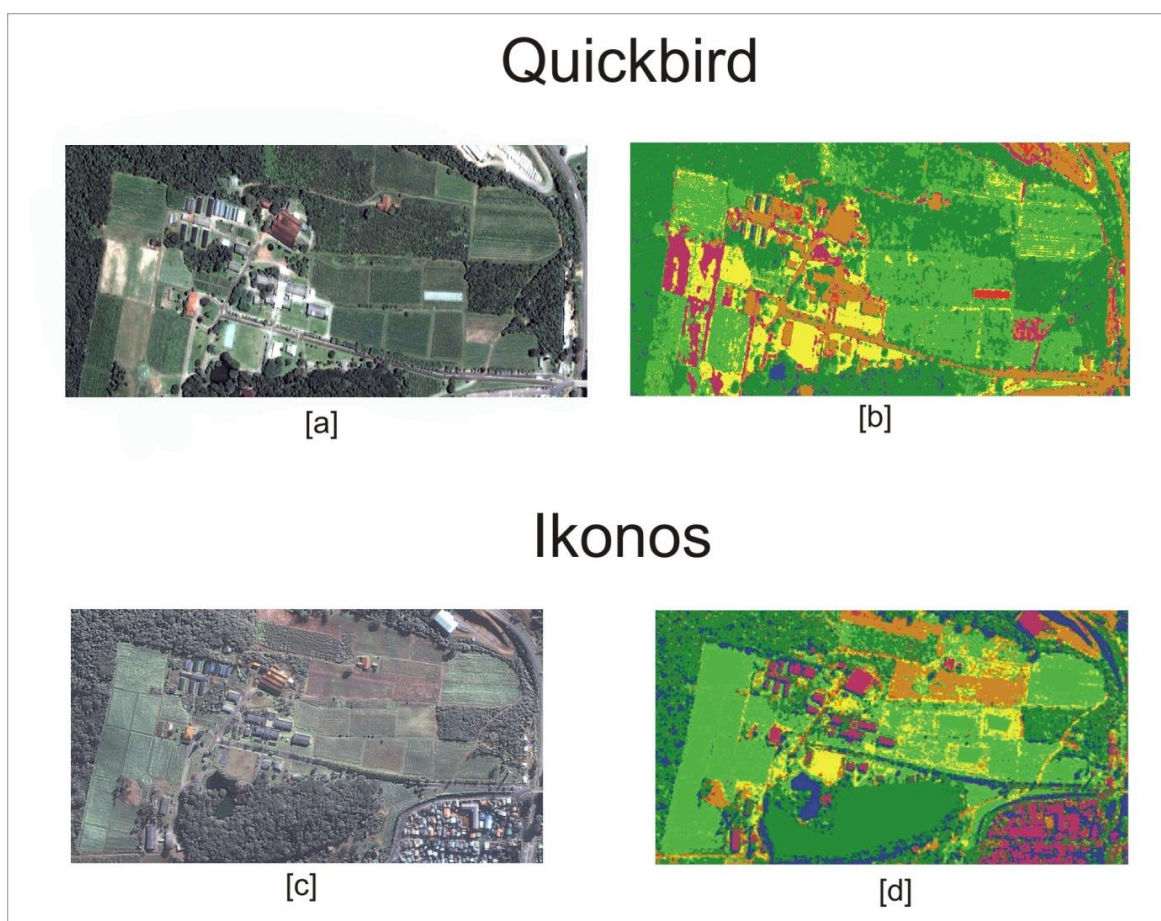


Figura 50: Apresentação ilustrativa das imagens originais [a] e [c] e classificadas [b] e [d] de cada tipo de plataforma.

O método MAXVER foi aplicado tanto na imagem IKONOS, como na QUICKBIRD. As classes foram definidas com a mesma probabilidade de ocorrência. As imagens geradas a partir da classificação são apresentadas nas figuras 51 e 52. A figura 51 mostra a imagem Ikonos classificada, e a figura 52 à imagem Quickbird. Ressalta-se que as estações climáticas são diferentes, imagem Ikonos de 12/06/2000, inverno, onde as parreiras estão em período de dormência; imagem Quickbird de 03/01/2008, verão, período de safra da uva. Este fato, dificultou o grau de precisão do trabalho, já que não foi possível conseguir imagens mais atualizadas.

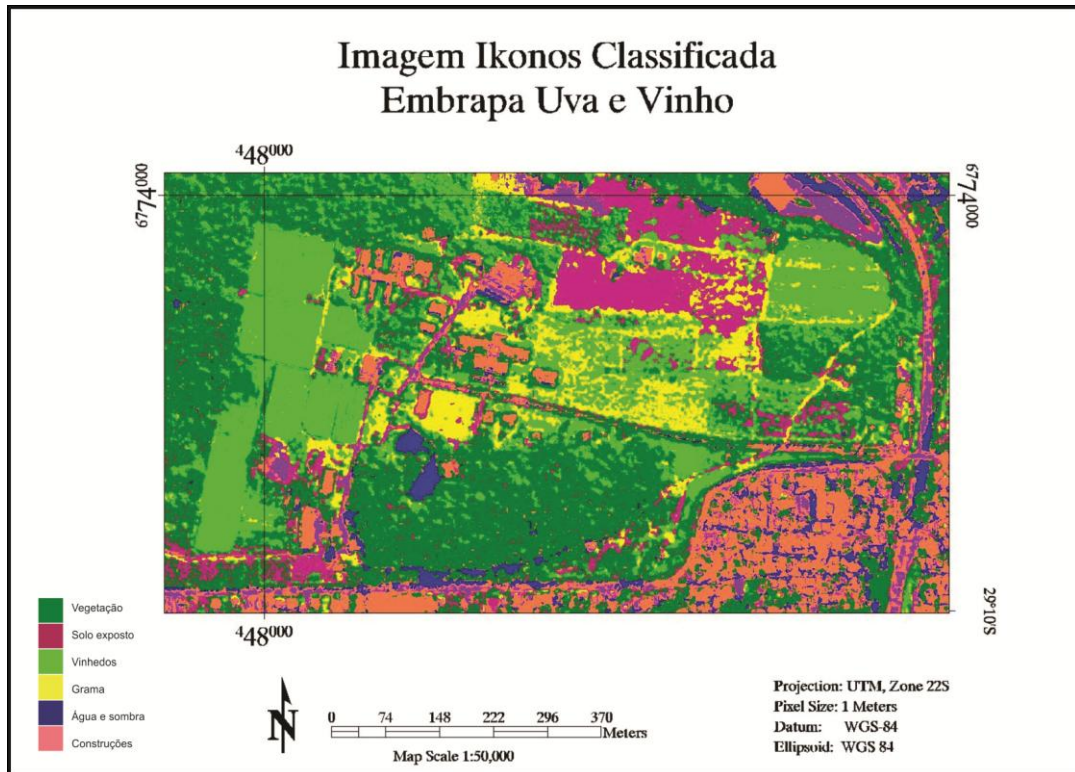


Figura 51: Área de estudo. Imagem IKONOS recortada. Classificação supervisionada MAXVER.

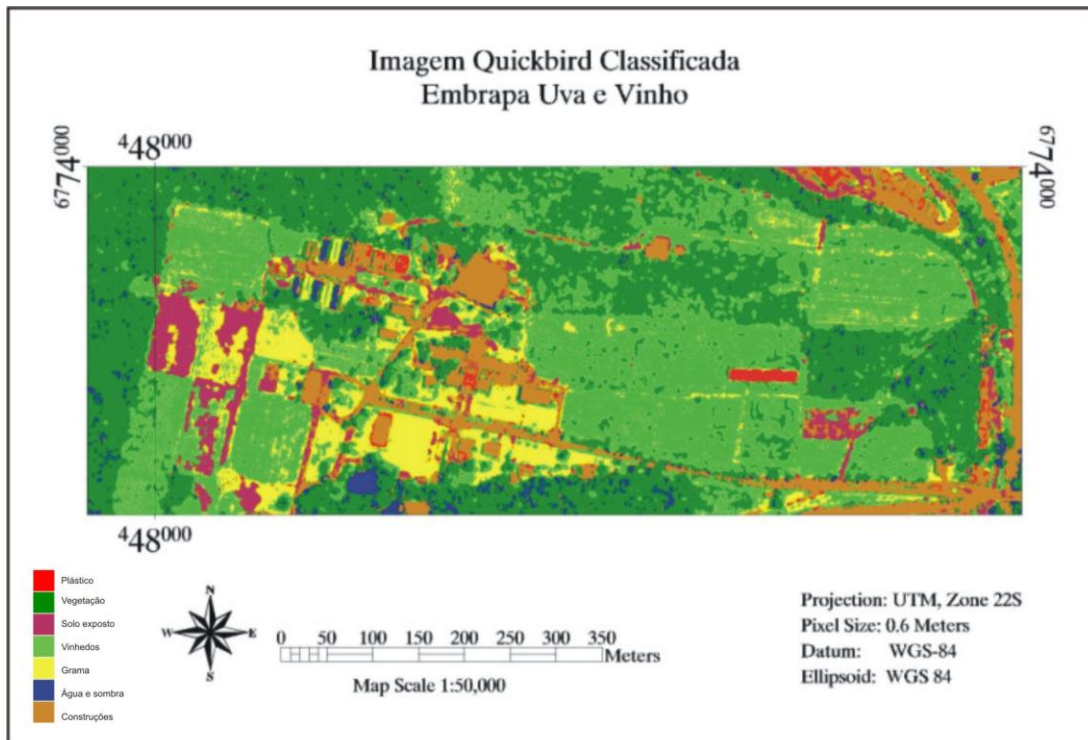


Figura 52: Área de estudo. Imagem QUICKBIRD recortada. Classificação supervisionada MAXVER.

### 5.1.1 Matriz de confusão

A matriz de confusão é utilizada para avaliar o resultado da classificação. Na tabela 09, apresentando a matriz de confusão da imagem QUICKBIRD classificada, apresenta sete classes temáticas (vegetação, água, área\_construída, solo\_exposto, plástico (cobertura sobre parte de vinhedo), vinhedo, gramado). Os componentes da diagonal apresentam as porcentagens corretamente classificadas para cada tipo de classe temática determinada, a qual indica uma porcentagem de 82,74% para a classe vinhedo. A acurácia da matriz é de 84,9587%. O coeficiente Kappa avalia o nível de concordância entre verdade terrestre e o mapa temático, indicando a grau de qualidade da classificação. No caso da classificação da imagem QUICKBIRD o coeficiente Kappa foi de 0,7648, indicando que a classificação foi muito boa (Tabela 11).

Tabela 09: Matriz de confusão originada da classificação da imagem Quickbird (%).

Classes	Verdade de campo (%)						
	<i>Vegetação</i>	<i>Água</i>	<i>Área_constru</i>	<i>Solo_exp</i>	<i>Plástico</i>	<i>Vinhedos</i>	<i>Gramado</i>
<b>Vegetação</b>	<b>84,57</b>	3,21	2,57	0,00	0,00	8,54	0,00
<b>Água</b>	3,34	<b>92,83</b>	6,05	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Área_constru</b>	0,73	3,97	<b>88,17</b>	0,51	0,54	0,23	0,00
<b>Solo_exp</b>	0,00	0,00	1,00	<b>99,43</b>	0,00	0,63	0,76
<b>Plástico</b>	0,00	0,00	2,18	0,00	<b>99,46</b>	0,01	0,00
<b>Vinhedos</b>	10,41	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>82,74</b>	8,21
<b>Gramado</b>	0,95	0,00	0,03	0,00	0,00	7,85	<b>91,03</b>
<b>Total</b>	100	100	100	100	100	100	100

Acurácia = **84,9587%**

Coeficiente Kappa = **0,7648**

Na tabela 10, apresentando a matriz de confusão da imagem IKONOS classificada, apresenta seis classes temáticas (vegetação, água, área\_construída, solo\_exposto, vinhedo, gramado). Os componentes da diagonal apresentam as porcentagens corretamente classificadas para cada tipo de classe temática determinada, a qual indica uma porcentagem de

79,75% para a classe vinhedo. A acurácia da matriz é de 80,4188%. No caso da classificação da imagem IKONOS o coeficiente Kappa foi de 0,7161, indicando que a classificação foi muito boa (Tabela 11).

Tabela 10: Matriz de confusão originada da classificação da imagem Ikonos (%).

Classes	Verdade de campo (%)					
	<i>Vegetação</i>	<i>Água</i>	<i>Área_constru</i>	<i>Solo_exp</i>	<i>Vinhedos</i>	<i>Gramado</i>
<b>Vegetação</b>	<b>80,76</b>	3,71	13,63	1,21	0,74	0,04
<b>Água</b>	12,98	<b>95,81</b>	5,12	0,00	0,44	0,00
<b>Área_constru</b>	3,24	0,41	<b>73,30</b>	8,89	1,61	0,21
<b>Solo_exp</b>	0,54	0,00	7,89	<b>85,58</b>	2,41	4,68
<b>Vinhedos</b>	2,31	0,07	0,06	0,11	<b>79,75</b>	13,79
<b>Gramado</b>	0,17	0,00	0,00	4,21	15,06	<b>81,27</b>
<b>Total</b>	100	100	100	100	100	100

Acurácia = **80.4188%**

Coeficiente Kappa = **0.7161**

Tabela 11: Valores do coeficiente Kappa e grau da qualidade da classificação

Valor Kappa	Qualidade do Mapa Temático
< 0,00	Péssima
0,00 – 0,20	Ruim
0,20 – 0,40	Razoável
0,40 – 0,60	Boa
0,60 – 0,80	Muito boa
0,80 – 1,00	Excelente

Fonte: Silva, 2006.

## 5.2 Análise dos resultados do NDVI

O NDVI foi obtido pelo comando *razão entre bandas (Bands Ratio)* do ENVI, onde se usou as bandas do vermelho e do infravermelho próximo, caracterizado pela equação 02. A figura 53 apresenta da imagem NDVI do IKONOS.

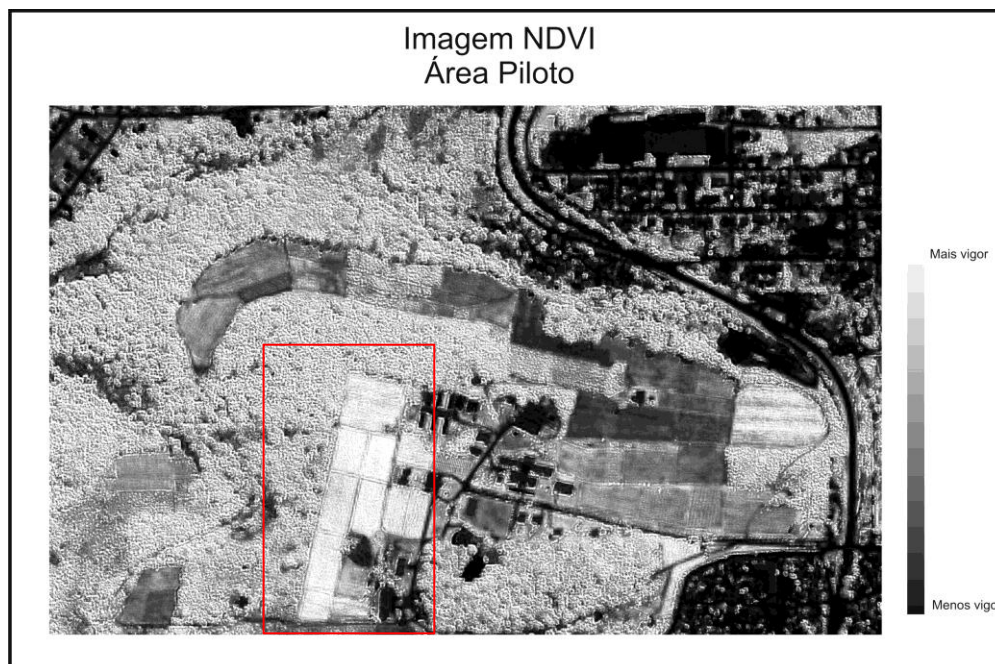


Figura 53: Imagem NDVI obtida pela razão da Banda Red e a Banda NIR do Ikonos.

Observa-se na imagem que a área de vinhedo analisada (destaque) apresenta-se, em grande parte, mais clara que outras, apresentando grande vigor. Esta observação, indica a possibilidade das plantas serem bem produtivas, influenciando no resultado da safra.

O NDVI foi útil na análise da imagem em relação à possibilidade de previsão de safra.

A imagem NDVI do Quickbird não pôde ser obtida pelo fato de as imagens adquiridas serem fusionadas somente nas bandas multi-espectrais.

### 5.3 Análise dos dados obtidos para previsão de safra de uvas

A partir dos dados obtidos pela classificação supervisionada e analisando duas áreas que se destacam na região de interesse (Figura 54) e baseando-se no método de área plantada, pode-se verificar o que se segue:

- a) No espaço temporal analisado, 12/06/2000 – Ikonos e 03/01/2008 – Quickbird, houve diminuição de área plantada;

- b) Na imagem IKONOS o vigor dos vinhedos é mais nítido, indicando maior produtividade, embora o período do ano seja o inverno, onde as parreiras estão em dormência;
- c) Na imagem QUICKBIRD obteve-se uma considerável diminuição de área plantada e grande exposição de solo;
- d) A área caracterizada como gramado foi muito maior na imagem QUICKBIRD do que na imagem IKONOS, diminuindo ainda mais a área com vigor, este fato pode ser devido ao ciclo vegetativo em que a Vittis se encontra, aproximando sua assinatura espectral com a de um gramado;

Verifica-se que no ano de 2000 a quantidade de uvas produzidas foi muito maior que no ano de 2008, pois nesta data houve diminuição de área plantada na área do vinhedo analisado.

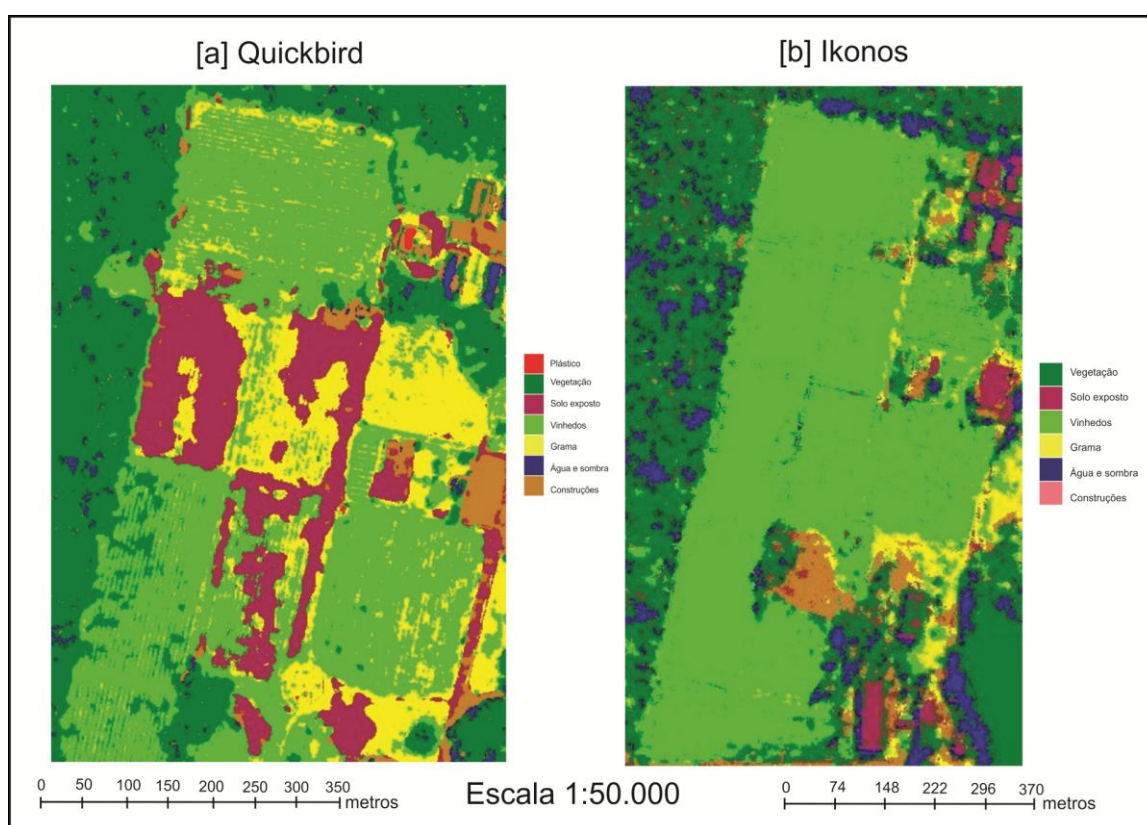


Figura 54: Recorte das imagens QUICKBIRD [a] e IKONOS [b] com os vinhedos de interesse.

## 6 CONCLUSÕES

A metodologia utilizada possibilitou a obtenção de informações a respeito das áreas de plantio utilizadas e as características dos alvos e suas relações espaciais.

A análise da aplicação do sensoriamento remoto na previsão de safras de uvas possibilita subsidiar ações de monitoramento agrícola para a viticultura, de modo a maximizar, por meio do planejamento e zoneamento das áreas de plantio, o uso do solo e de recursos e insumos para a cultura.

Assim, as conclusões deste trabalho são:

- a) A classificação da imagem IKONOS pelo método da Máxima Verossimilhança (MAXVER) apresentou melhores resultados do que a imagem QUICKBIRD;
- b) A interpretação visual da imagem IKONOS e QUICKBIRD resultou em dois mapas temáticos que refletem a forma e as relações espectrais das unidades utilizadas na análise;
- c) O método de área plantada usado não reflete precisamente a quantidade produzida, somente indica uma previsibilidade de produção;
- d) Os dados obtidos foram insuficiente para a determinação de quanto seria produzido;
- e) devido à diversidade de variedades de vitis é necessário trabalhar com o nível de reflectância de cada variedade e correlacionar com a área plantada, dando maiores condições de se prever a safra;
- f) A plasticultura, que se difunde na região da Serra Gaúcha, indicando crescimento pelas possibilidades de diminuição de pragas e melhoria da qualidade das uvas, pode dificultar a aplicação do sensoriamento remoto, porque impede a verificação do nível de reflectância da planta, ressaltando a reflectância do plástico;
- g) As áreas de plantio devem ser melhores delimitadas, evitando-se sobreposição espectral de alvos próximos de características diferentes;



h) Embora seja possível a aplicação do sensoriamento remoto na previsão de safras de uvas, é preciso melhorar a produção de informações a respeito, principalmente a nível espectral, para a facilitação da aplicação das técnicas.

## **7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES**

A metodologia adotada deve ser adaptada previamente a sua aplicação, sobretudo se áreas de maior extensão forem analisadas, já que o vinhedo estudado consiste de uma área piloto de dimensões bastante reduzidas.

A avaliação do mapeamento, realizado através da classificação digital das imagens do satélite IKONOS e QUICKBIRD, demonstra a necessidade de estudos subsequentes para o desenvolvimento de metodologias que possibilitam a obtenção de informações de forma automática e precisa.

A resolução espectral dos sensores permite que a separação de alvos unicamente por informações espectrais pode ser possível, devido à variabilidade de uvas de um mesmo dossel.

Assim, supõe-se que a construção de uma biblioteca espectral facilite os trabalhos de monitoramento dos dosséis em diversos vinhedos da região e que a previsão de safras de uvas pode implementar grande desenvolvimento da cultura no âmbito regional e nacional, melhorando não só a qualidade das uvas produzidas, mas também a otimização dos investimentos na cultura.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMI, M.; MOREIRA, M.A.; RUDORFF, B.F.T.; FREITAS, C. da C.; FARIA, R.T.. Expansão direta na estimativa de culturas agrícolas por meio de segmentos regulares. *Revista Brasileira de Cartografia*, 57:22-27, 2005.

ALMEIDA, T.S. *et al.*. **Índices de vegetação para a cultura de soja em diferentes condições hídricas e de sistema de manejo do solo**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia, Brasil, 16-21 Abril, INPE, p. 17-24.

ARAÚJO, L.S. **Análise da cobertura vegetal e de biomassa em áreas de contato floresta/savana a partir de dados TM/Landsat e JERS-1**; Dissertação de Mestrado (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1999. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/2000/07.19.09.09/doc/homepage.pdf>. Acessado em: 14 de julho de 2009.

ASSAD, E.D. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2ª Ed., ver. e ampl.. Brasília: Embrapa SPI/Embrapa – CPAC, 1998.

BRAMLEY, R. G. V.; HAMILTON, R. P. **Managing variability in viticultural production**. Grapegrower and Winemaker, 1999.

BRAMLEY, R. G. V.; HAMILTON, R. P. **Progress in the development of precision viticulture: variation in yield, quality and soil properties in contrasting, australian vineyards**. In: Currie, I. D. and Loganathan, P. (Eds). Precision tools for improving land management. Occasional report n. 14. Fertilizer and Lime research Centre, Massey University, Palmerston, 2001.

CARVALHO, A.P. *et al.* **Utilização do classificador spectral correlation mapper em imagens TM Landsat**. *Revista Espaço e Geografia*, Vol. 5, nº 1, 2002, p. 219-232.

CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS. **Revista Geomática**, Vol. 1, nº 1, p. xx-xx, UFSM, 2006.

DRUCK, Susana *et al.* **Análise espacial de dados geográficos**. Platina: Embrapa Cerrado, 2004.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: IG-UNICAMP, 1992.

EASTMAN, J. R.. **IDRISI for windows: introdução e exercícios tutoriais**. Porto Alegre: UFRGS/Centro de Recursos Idrisi, 1998.

ESSER C., A.; ORTEGA B., R. **Uso de percepción remota o teledetección para El manejo sitio-específico de viñedos**. In: VIII Congresso de Economistas Agrários, 2003. Centro de Extensión PUC – Chile.

FALCADE, Ivanira; MANDELLI, Francisco. **Vale dos Vinhedos: caracterização geográfica da região**. Caxias do Sul: EDUCS, 1999.

FLORENZANO, T.G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: oficina de texto, 2002.

FURASTÉ, P.A. **Normas técnicas para o trabalho científico: elaboração e formatação. Explicação das normas da ABNT**. 14ª Ed. Porto Alegre: S. n., 2006.

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.

IPOLITI-RAMILO, G.A. **Imagens TM/Landsat-5 da época de pré-plantio para a previsão de área de culturas de verão**. São José dos Campos: INPE, 1989. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

JORDAN; C. F. **Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor**. Ecology, 1969.

JORNAL GAZETA. XII CONGRESSO BRASILEIRO DE VITICULTURA E ENOLOGIA. **Palestra via Internet debate viticultura de precisão.** p. 4. Bento Gonçalves, 2008.

KUMAR, R. **Radiation from plants-reflection and emission: a review.** Lafayette: Purdue Research Foundation, 1974.

LILLESAND, T.M.; KIEFFER, R.W. **Remote sensing and image interpretation.** New York: John Wiley & Sons, 1987.

LOCH, R.E.N. **Cartografia: representação, comunicação e visualização de dados espaciais.** Florianópolis: Editora da UFSC, 2006.

LOPES, E.S.S. **Tutorial 10 aulas: Spring 4.1.** São José dos Campos: INPE, 2004.

LUCHIARI, A. Exposição oral. In: XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 05 a 10 de abril de 2003, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. **Cadastro Vitícola do Rio Grande do Sul – 1995/2000** – Editor Técnico: Loiva Maria Ribeiro de Mello – [CD Rom] versão 1.0 – Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho/Ibravin, 2001.

LUZ, N.B. **Resposta espectral e estimativa remota do vigor de variedades de videira no manejo sítio-específico dos cultivos de uvas para vinhos finos.** Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril, INPE, p. 189-191, 2005.

LUZ, N.B.; FONSECA, D.L. **Viabilidade da identificação de variedades de videira pelas diferenças observadas na resposta espectral das folhas.** In: III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, 2003.

MARTINELLI, Marcelo. **Mapas da Geografia e Cartografia Temática.** São Paulo: Contexto, 2003.

MASCARENHAS, N.D.A.; VELASCO, F.R.D. **Processamento de imagens.** São José dos Campos: INPE, 1984.

MENESES, P.R.; NETTO, J.S. (Orgs.). **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília: UnB; Platina: Embrapa Cerrado, 2001.

MIRANDA, J.I. **Fundamentos de sistema de informações geográficas**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005.

MOREIRA, Maurício Alves. **Atualização do livro Fundamentos de sensoriamento remoto e metodologias de aplicação: sistemas sensores**. São José dos Campos: INPE, 2001.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2 ed.. Viçosa: UFV, 2003.

NETO, M.C. **I-Farm: a empresa agrícola inteligente**. S.D.

NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Blucher, 2008.

PACHECO, A.P.; RIBAS, N.S. **Sensoriamento remoto aplicado ao uso da terra**. Geodésia on-line, vol. 4. 1998.

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: A. Silva Editora, 2007.

PROTAS, J.F.S.; CAMARGO, U.A.; MELO, L.M.R.A. **A viticultura brasileira: realidade e perspectivas**. In: 1º Simpósio Mineiro de Viticultura e Enologia, 16 a 19 abril, Andradas, MG. Viticultura e Enologia – Atualizando Conceitos. Andradas: Epamig, p. 17 – 32, 2002.

RICHARDS, J.A. **Remote sensing digital image analysis – an introduction**. New York:Springer-Verlag, 1986.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. **Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS**. In: Earth Resources Technology Satellite – 1 Symposium, 3, 1973. Proceedings. Washington, 1973, v.1, Sec. A, p. 309-317.

SHIMABUKURO, Y.E.; SANTOS, J.R.; NOVO, E.M.L.M.; KRUG, T.; HESS, L. **Estimativa da área de cobertura florestal afetada pelo incêndio em Roraima, utilizando dados multi-sensores**. São José dos Campos: INPE, 1999.

SILVA, J.X.; ZAIDAN, R.T. (Orgs.). **Geoprocessamento e análise ambiental: aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

SILVA, P.R. **Técnicas de sensoriamento remoto e radiometria aplicadas a vinhedos de duas regiões do Rio Grande do Sul, Brasil**. Dissertação de mestrado (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. 2006.

SLATER, P.N. **Remote sensing: optica and optical system reading**. Addison-Wesley, 1980.

STEFFEN, C.A. **Radiometria óptica espectral**. Tutorial. VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 1996.

SULZBACH, L. **Tecnologias de agricultura de precisão: estudo de caso: integração de modelos digitais de atributos químicos do solo e modelos digitais de culturas agrícolas**. Santa Maria, RS. 2003. Dissertação de mestrado (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

SULSOFT E IESAM. **Quick start ENVI/IDL Belém 2004**. Michael Steinmayer. S. d..

SULSOFT. **Guia do ENVI em português**. S. D.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA. **Estrutura e apresentação de monografias, dissertações e teses**. MDT, 6ª Ed., ver. e ampl.. Santa Maria: Ed. da UFSM, 2006.

WESTPHALEN, S.L.; MALUF, J.R.T. **Caracterização das áreas bioclimáticas para cultivo de *Vitis vinifera* L. nas regiões da Serra do Nordeste e Planalto do Estado do Rio Grande do Sul**. Brasília: Embrapa Comunicação para transferência de Tecnologia; Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2000.

ZORZI, Cícero; HENDGES, E.R.; PEREIRA, R.S. **Curso de geoprocessamento: aplicativo Spring**. Santa Maria: UFSM/NDIGe, 2004.