

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO ESTADUAL DE PESQUISAS EM SENSORIAMENTO
REMOTO E METEOROLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO
REMOTO E METEOROLOGIA**

**CLASSIFICAÇÃO E EFEITOS DE SOMBREAMENTO
EM VIDEIRAS DETERMINADOS A PARTIR DE
IMAGENS ASTER**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Magno Gonzatti Bombassaro

Porto Alegre, RS, Brasil - 2011

CLASSIFICAÇÃO E EFEITOS DE SOMBREAMENTO EM VIDEIRAS DETERMINADOS A PARTIR DE IMAGENS ASTER

por

Magno Gonzatti Bombassaro

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Área de Concentração em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Sensoriamento Remoto.**

Orientador: Professor Dr. Jorge Ricardo Ducati

Porto Alegre, RS, Brasil - 2011

***"Se um dia tiver que escolher entre o amor e o mundo,
lembre-se: se escolher o mundo ficará sem amor,
mas se escolher o amor, com ele conquistará o mundo"***

Albert Einstein.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul, particularmente ao Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, pela oportunidade de realizar o curso de pós-graduação;

Profundo agradecimento ao professor Jorge Ricardo Ducati, pela amizade, ensinamentos, orientação no desenvolvimento da dissertação, e oportunidades de crescimento;

Aos pessoal da secretaria do CEPSRM, juntamente com o Programa Nacional de Cooperação Acadêmica (PROCAD)/CAPES, pela possibilidade de intercâmbio com Programa de Pós-Graduação do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE);

Em especial à minha família, meus pais Nildo Bombassaro e Ondina Gonzatti Bombassaro, por me apoiarem em todos os momentos desta caminhada;

A minha namorada e grande companheira Simone Benovit, por fazer parte da minha vida e dessa conquista, sempre com incentivo, apoio, compreensão e pela paciência, paciência, paciência... em todos os momentos;

Aos meus colegas do PPGSR/UFRGS em 2009 , especialmente ao Vianeí Diedrich, Hugo Mabilana e Carline Trentin pelos momentos de dificuldades passados juntos, lições e ensinamentos assim como também pelas festas e risadas; que tempo bom!

Aos colegas do apartamento 102, Giovani Buffon Orlandini e Vagner Mengue, pela ajuda nas horas difíceis e pela parceira nas rodas de bate papo e discussões futebolísticas, embalados por um bom aperitivo;

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Muito Obrigado!

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

CLASSIFICAÇÃO E EFEITOS DE SOMBREAMENTO EM VIDEIRAS, DETERMINADOS A PARTIR DE IMAGENS ASTER

Magno Gonzatti Bombassaro
Orientador: Jorge Ricardo Ducati

O desenvolvimento de novas tecnologias proporciona meios para novas pesquisas e, no caso dos dados gerados por sensores remotos, seu entendimento e utilização constituem uma ampla fonte para a geração de novos conhecimentos científicos. Imagens de média resolução espacial, a exemplo o sensor ASTER, apresentam fontes de informação de grande valor. O presente trabalho tem o propósito de investigar as potencialidades dessas imagens na discriminação espectral de vinhedos e, adicionalmente, verificar o comportamento espectral de variedades de viníferas frente à influência de efeitos de sombreamento. Para esta análise, a Vinícola Veramonte, no Valle de Casablanca-Chile, foi escolhida por ser adequada em termos de topografia, repartição de parcelas, informações de campo e disponibilidade de imagens. Como imagens ASTER são coletadas com resoluções de 15m e 30m, operações de reamostragem são necessárias para uma maior exploração dos dados. As bandas do subsistema SWIR, com pixels de 30 m, foram reamostradas pelo método do Vizinho mais Próximo para 15 m e processadas junto com as três bandas do subsistema VNIR, possibilitando realizar a investigação espectral utilizando-se 9 bandas. Comparações estatísticas (teste *t*) foram feitas em imagens originais e reamostradas, constatando-se que ambas não diferem significativamente. A influência da sombra entre fileiras de vinhas na resposta espectral também foi investigada. A proporção de sombra entre as fileiras é variável, em função da orientação das filas, da distância zenital e do azimute do Sol na hora da aquisição da imagem. Foram estudadas as variedades Chardonnay, Merlot e Sauvignon Blanc em três imagens de diferentes datas. Determinados os diferentes grupos, esses foram submetidos a análises de similaridade, usando-se ANOVA, seguidos do teste de Tukey. Comparou-se também a separabilidade de diferentes variedades, que apresentavam a mesma quantidade de sombra. As imagens foram classificadas através do classificador de Mínima Distância para verificar a eficácia desse classificador em detectar a variação de sombra. A validação final foi realizada através da comparação da imagem classificada com as informações contidas no mapa de localização das cepas. Como resultados, foi confirmada a validade da reamostragem de pixels pelo método do vizinho mais próximo, sem alteração do valor digital, e constatou-se a influência do substrato (solo iluminado ou sombreado) na caracterização espectral das variedades viníferas, e a sua influência na classificação das imagens ASTER.

ABSTRACT

Master Dissertation
Program of Post Graduation on Remote Sensing
Federal University of Rio Grande do Sul – Brazil

CLASSIFICATION AND SHADOWING EFFECTS IN VINEYARDS, DERIVED FROM ASTER IMAGES

Magno Gonzatti Bombassaro
Adviser: Prof. Jorge Ricardo Ducati

Technological developments lead to new sources of research, and in the case of data from remote sensors, their understanding and use allow the generation of new scientific knowledge. For images of medium spatial resolution, the ASTER sensor is an important information source. This study aims to investigate the potential of ASTER images in the discrimination of vineyards, and to verify the spectral behavior of the vinifera varieties in face of the influence of shadow effects. For this analysis, the property of Viña Veramonte, at Valle Casablanca, Chile, was chosen, since it proved to be adequate for its topography, plot partition, field data, and images availability. Since ASTER images are acquired with spatial resolutions of 15m and 30 m, resampling procedures are necessary to the full use of data from the nine spectral bands of VNIR and SWIR; however, such practices are frequently considered as sources of false information, and this issue was investigated first. The six SWIR bands, with 30m pixels, were resampled to 15m using the Nearest Neighbor method, allowing to perform a spectral investigation with nine bands. Statistical comparisons using the *t* test were applied both to the original and resampled images, being shown that the two images don't differ significantly; this allowed to proceed the study using resampled images with nine spectral bands. The influence of shadow between rows of vines was then investigated. The percentage of shadow between rows is variable, being a function of row orientation, of Sun's zenith distance and azimuth, and of the time of image acquisition. Using maps provided by the vineyard managers, informing vine varieties and their places, it was possible to derive the spectral information and to identify the vine parcels in images, which were separated by groups according to their shadow percentages. The grape cultivars Chardonnay, Sauvignon Blanc and Merlot were studied in images of three dates. After defining the three groups, they were analyzed through the ANOVA and Tukey Test methods. A comparison was also made for those varieties which had the same proportion of shadow. All images were classified through the Minimum Distance algorithm, to verify the performance of this classification technique in detecting the shadow change. The final validation was made by comparing the classified image with information from the vineyard map. As results, the validity of the pixel resampling by the Nearest Neighbor method was demonstrated, as the influence of the inter-rows shadow in the classification of ASTER images.

ÍNDICE

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E METEOROLOGIA	0
1. INTRODUÇÃO	10
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	10
1.2 OBJETIVOS	11
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1. O SENSORIAMENTO REMOTO	13
2.2. A RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA	14
2.2.1. <i>Interação da Radiação Eletromagnética (REM) com um objeto</i>	15
2.2.2. <i>Quantidades Radiométricas</i>	16
2.3. COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE ALVOS	17
2.3.1. <i>Comportamento Espectral da Sombra</i>	18
2.3.2. <i>Comportamento Espectral do Solo</i>	18
2.3.3. <i>Comportamento Espectral da Vegetação</i>	21
2.3.3.1. <i>Dossel vegetal</i>	25
2.3.3.2. <i>Sistema de Condução</i>	27
2.4. O SENSOR ASTER.....	28
2.4.1. <i>Efeito crosstalk no subsistema SWIR</i>	30
2.4.2. <i>Correção Radiométrica</i>	31
2.4.3. <i>Correção atmosférica das imagens VNIR e SWIR</i>	32
2.5. MÉTODOS DE REAMOSTRAGEM DE IMAGEM.....	33
2.6. CLASSIFICADORES	34
2.6.1. <i>Avaliação da Classificação</i>	36
3. METODOLOGIA	37
3.1 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO	38
3.2 PROCESSAMENTO DAS IMAGENS.....	39
3.3 COMPATIBILIZAÇÃO DAS RESOLUÇÕES ESPACIAIS DAS BANDAS VNIR E SWIR	40
3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS PIXELS REAMOSTRADOS	40
3.5 CORREÇÃO ATMOSFÉRICA	43
3.6 ORIENTAÇÃO DAS VERTENTES	44
3.7 CÁLCULO DA QUANTIDADE DE SOMBRA.....	45
3.8 PORCENTAGEM DE SOMBRA ENTRE AS FILEIRAS	47
3.9 CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS	49
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
4.1 ANÁLISE DA REAMOSTRAGEM DA IMAGEM ASTER	51
4.2 COMPARAÇÃO DE DIFERENTES VARIEDADES COM AS MESMAS CONDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO	61
4.3 COMPARAÇÃO DA MESMA VARIEDADE EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO	69
4.3.1 <i>Avaliação do comportamento espectral e classificação da variedade Chardonnay</i>	69
4.3.2 <i>Avaliação do comportamento espectral e classificação da variedade Merlot</i>	77
4.3.3 <i>Avaliação do comportamento espectral e classificação da variedade Sauvignon Blanc</i>	84
5. CONCLUSÕES	91
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
ANEXO I	99

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Onda eletromagnética composta pelos vetores elétrico e magnético (Fonte: Reitz et al.,1982.).....	14
Figura 2: O espectro eletromagnético (FONTE: Adaptada de Steffen, 1995)	15
Figura 3: Curvas representativas do padrão espectral de solos minerais, segundo Stoner e Baumgardner (1981),..	20
Figura 4: Curvas de transmitância, absortância e reflectância de uma folha verde. Fonte: Jensen (2009).	22
Figura 5: Comportamento espectral da vegetação (adaptado de Swain e Davis, 1978).....	22
Figura 6: Reflectância de folhas com diferentes tipos de pigmentação. Fonte: adaptada de Hoffer (1969).	23
Figura 7: Seção de corte de uma folha mostrando as trajetórias da radiação. Fonte: Meneses (1997).	24
Figura 8: Curvas de reflectância de folhas com diferentes percentuais de umidade. Fonte: Jensen (2009).....	25
Figura 9: Reflectância de dosséis incompletos Fonte: Adaptado de Jackson et. al. 1979.....	26
Figura 10: Geometria de reflexão em um plantio (a), com a indicação da variação da radiância espectral para ângulos azimutais diferentes (b). Fonte: Adaptada de Slater (1980, p. 232).....	27
Figura 11: A) Sistema de condução da videira em espaldeira e com poda mista: a) poste externo; b) poste interno; c) fio da produção; d) fios fixos do dossel vegetativo; e) fio móvel do dossel vegetativo. B) foto da propriedade Veramonte.. Fonte: Adaptado de Miele e Mandelli, (2003).....	28
Figura 12: Localização espectral das bandas do sensor ASTER em comparação com o Landsat ETM+. (Fonte: NASA, s/d).....	29
Figura 13: Localização dos detectores das banda do SWIR. Fonte: Adaptado de Iwasaki et al., 2001	31
Figura 14: Imagem reamostrada pelo método vizinho mais próximo, bilinear e convolução cúbica.	34
Figura 15: Método de interpolação vizinho mais próximo. (a) função de interpolação. (b) grade da imagem reamostrada. Fonte: Moik (1980).....	34
Figura 16: Fluxograma ilustrativo das etapas de pesquisa	37
Figura 17: Mapa de localização da área de estudo.....	38
Figura 18: Exemplo de amostra de pixel coletadas.....	41
Figura 19: Localização espacial das imagens estudadas.	42
Figura 20: Parâmetros de entrada do módulo Flaash.	44
Figura 21: Espacialização da orientação das parcelas.....	45
Figura 22: Ilustração das diferentes condições de iluminação em relação aos ângulos Azimutal e Zenital. A) solo sombreado, B) solo iluminado.	46
Figura 23: Identificação das diferentes parcelas. (a) imagem do Google Earth. (b) Imagem ASTER RGB231. (c) Mapa da distribuição das parcelas de vinhas.....	48
Figura 24: Comparação entre amostras da imagem original (pixel 30m) e da imagem reamostrada (pixel 15m) para os alvos Bordas (solo/vegetação) e Lavoura. Os dados estão expressos como média \pm desvio padrão. Para comparação entre as médias foi utilizado o teste estatístico t de Student ($p > 0,05$).....	53
Figura 25: Comparação entre amostras da imagem original (pixel 30m) e da imagem reamostrada (pixel 15m) para os alvos Urbano e Vinhedo Lídio. Os dados estão expressos como média \pm desvio padrão. Para comparação entre as médias foi utilizado o teste estatístico t de Student ($p > 0,05$).....	54
Figura 26: Comparação entre amostras da imagem original (pixel 30m) e da imagem reamostrada (pixel 15m) para os alvos Água, Floresta e Solo. Os dados estão expressos como média \pm desvio padrão. Para comparação entre as médias foi utilizado o teste estatístico t de Student ($p > 0,05$).....	56
Figura 27: Comparação entre amostras da imagem original (pixel 30m) e da imagem reamostrada (pixel 15m) para os alvos solo/Veg., Solo, Urbano e Vinhedo. Os dados estão expressos como média \pm desvio padrão. Para comparação entre as médias foi utilizado o teste estatístico t de Student ($p > 0,05$).....	58

Figura 28: Comparação entre amostras da imagem original (pixel 30m) e da imagem reamostrada (pixel 15m) para os alvos Valparaíso, Vegetação, vinhedo e Matetic. Os dados estão expressos como média \pm desvio padrão. Para comparação entre as médias foi utilizado o teste estatístico <i>t</i> de Student ($p > 0,05$).....	60
Figura 29: Análise estatística da reflectância média das parcelas para a imagem de 24/02/2002, com a respectiva diferença significativa das variedades Chardonnay, Merlot e Sauvignon Blanc.....	62
Figura 30: (A) Imagem de 2002, classificação das variedades Chardonnay, Merlot e Sauvignon Blanc. (B) Distribuição espacial das diferentes variedades utilizadas como máscara na classificação.	63
Figura 31: Análise estatística da reflectância média das parcelas para a imagem de 14/02/2004, com a respectiva diferença significativa das variedades Chardonnay, Merlot e Sauvignon Blanc.....	64
Figura 32: (A) Imagem de 2004, classificação das variedades Chardonnay, Merlot e Sauvignon Blanc. (B) Distribuição espacial das diferentes variedades utilizadas como máscara na classificação.	65
Figura 33: Análise estatística da reflectância média das parcelas para a imagem de 31/01/2005, com a respectiva diferença significativa das variedades Chardonnay, Merlot e Sauvignon Blanc.....	67
Figura 34: (A) Imagem de 2005, classificação das variedades Chardonnay, Merlot e Sauvignon Blanc. (B) Distribuição espacial das diferentes variedades utilizadas como máscara na classificação.	68
Figura 35: Análise estatística do comportamento da reflectância com relação à orientação das parcelas na imagem de 24/02/2002, com a respectiva diferença significativa para a variedade Chardonnay.	70
Figura 36: (A) Imagem de 2002, classificação da variedade Chardonnay. (B) Distribuição espacial das orientações das parcelas utilizadas como máscara na classificação.	71
Figura 37: Análise estatística do comportamento da reflectância com relação à orientação das parcelas na imagem de 14/02/2004, com a respectiva diferença significativa para a variedade Chardonnay.	72
Figura 38: (A) Imagem de 2004, classificação da variedade Chardonnay. (B) Distribuição espacial das orientações das parcelas utilizadas como máscara na classificação.	73
Figura 39: Análise estatística do comportamento da reflectância com relação à orientação das parcelas na imagem de 31/01/2005, com a respectiva diferença significativa para a variedade Chardonnay.	75
Figura 40: (A) Imagem de 2005, classificação da variedade Chardonnay. (B) Distribuição espacial das orientações das parcelas utilizadas como máscara na classificação.	76
Figura 41: Análise estatística do comportamento da reflectância com relação à orientação das parcelas na imagem de 24/02/2002, com a respectiva diferença significativa para a variedade Merlot.....	77
Figura 42 : (A) Imagem de 2002, classificação da variedade Merlot. (B) Distribuição espacial das orientações das parcelas utilizadas como máscara na classificação.	78
Figura 43: Análise estatística do comportamento da reflectância com relação à orientação das parcelas na imagem de 14/02/2004, com a respectiva diferença significativa para a variedade Merlot.....	80
Figura 44: (A) Imagem de 2004, classificação da variedade Merlot. (B) Distribuição espacial das orientações das parcelas utilizadas como máscara na classificação.	81
Figura 45: Análise estatística do comportamento da reflectância com relação à orientação das parcelas na imagem de 14/02/2004, com a respectiva diferença significativa para a variedade Merlot.....	82
Figura 46: (A) Imagem de 2005, classificação da variedade Merlot. (B) Distribuição espacial das orientações das parcelas utilizadas como máscara na classificação.	83
Figura 47: Análise estatística do comportamento da reflectância com relação à orientação das parcelas na imagem de 24/02/2002, com a respectiva diferença significativa para a variedade Sauvignon Blanc.	85
Figura 45: (A) Imagem de 2002, classificação da variedade Sauvignon Blanc. (B) Distribuição espacial das orientações das parcelas utilizadas como máscara na classificação.	86
Figura 49: Análise estatística do comportamento da reflectância com relação à orientação das parcelas na imagem de 14/02/2004, com a respectiva diferença significativa para a variedade Sauvignon Blanc.	87
Figura 50: (A) Imagem de 2004, classificação da variedade Sauvignon Blanc. (B) Distribuição espacial das orientações das parcelas utilizadas como máscara na classificação.	87
Figura 51: Análise estatística do comportamento da reflectância com relação à orientação das parcelas na imagem de 31/01/2005, com a respectiva diferença significativa para a variedade Sauvignon Blanc.	89

Figura 52:(A) Imagem de 2005, classificação da variedade Sauvignon Blanc. (B) Distribuição espacial das orientações das parcelas utilizadas como máscara na classificação. 90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quantidades Radiométricas Fundamentais.....	17
Tabela 2: Especificações dos subsistemas do sensor ASTER (adaptado de Abrams e Hook, 2002).	30
Tabela 3: Conceitos das classificações baseados no coeficiente <i>Kappa</i>	36
Tabela 4: Imagens utilizadas e o respectivo número de pixels de cada amostra analisada	42
Tabela 5: Variedades classificadas.....	50
Tabela 6: Análise estatística comparando banda a banda o mesmo alvo na imagem original e na imagem reamostrada.	52
Tabela 7: Análise estatística comparando banda a banda o mesmo alvo na imagem original e na imagem reamostrada. Imagem referente ao Município de Encruzilhada do Sul-RS.....	54
Tabela 8: Análise estatística comparando banda a banda o mesmo alvo na imagem original e na imagem reamostrada.	55
Tabela 9: Análise estatística comparando banda a banda o mesmo alvo na imagem original e na imagem reamostrada.	57
Tabela 10: Análise estatística comparando banda a banda o mesmo alvo na imagem original e na imagem reamostrada.	59
Tabela 11: Matriz de Confusão da classificação de 24/02/2002.	63
Tabela 12: Matriz de Confusão da classificação de 14/02/2004.	66
Tabela 13: Matriz de Confusão da classificação de 31/01/2005.	68
Tabela 14: Matriz de Confusão da classificação de 24/02/2002, Variedade Chardonnay.....	71
Tabela 15: Matriz de Confusão da classificação de 14/02/2004, Variedade Chardonnay.....	74
Tabela 16: Matriz de Confusão da classificação de 31/01/2005, Variedade Chardonnay.....	77
Tabela 17: Matriz de Confusão da classificação de 24/02/2002, Variedade Merlot.	79
Tabela 18: Matriz de Confusão da classificação de 14/02/2004, Variedade Merlot.	81
Tabela 19: Matriz de Confusão da classificação de 31/01/2005, Variedade Merlot.	84
Tabela 20: Matriz de Confusão da classificação de 24/02/2002, Variedade Sauvignon Blanc.....	86
Tabela 21: Matriz de Confusão da classificação de 14/02/2004, Variedade Sauvignon Blanc.....	88
Tabela 22: Matriz de Confusão da classificação de 31/01/2005, Variedade Sauvignon Blanc.....	90

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

O monitoramento de processos terrestres realizado por meio de sensores remotos tem mostrado uma grande gama de aplicações. Atualmente, técnicas para o monitoramento e diagnóstico de cultivos agrícolas estão em pleno desenvolvimento, estudos mostram que conhecendo as características espectrais das espécies e seu comportamento, é possível realizar o monitoramento do vigor vegetativo e identificar as diferenças entre espécies de plantas.

Com o advento de novos sensores com melhor resolução espacial, temporal e radiométrica, houve um aumento significativo nas possibilidades de utilização de dados gerados por sensores remotos e aerotransportados no estudo e monitoramento de áreas cultivadas. O sensor ASTER (a bordo do satélite Terra), compreende um conjunto de bandas espectrais que abrange os assim chamados subsistemas VNIR (Visible and Near InfraRed – Visível e infravermelho próximo) com três bandas, e SWIR (Short Wave InfraRed – Infravermelho de ondas curtas) com seis bandas, que possuem 15 e 30 metros de resolução espacial, respectivamente (ABRAMS et al., 1999). O número de bandas dos dois subsistemas possibilita a realização de análises quantitativas do comportamento espectral de diversas cultivares, com um custo de aquisição de imagens bastante acessível.

A vegetação verde possui bandas de absorção bem definidas no VNIR e no SWIR, em geral associadas aos pigmentos fotossintetizantes e ao teor de água presente nas folhas; dados de sensoriamento remoto relativos à vegetação só podem ser interpretados se o mecanismo de interação da radiação eletromagnética com a vegetação e o seu substrato for conhecido (GUYOT, 1990). O estudo da vegetação pode ser baseado no reconhecimento e definição de diferentes tipos de plantas e seu posterior mapeamento, assim como na identificação das alterações ocorridas ao longo do ciclo fenológico. Sabe-se, por exemplo, que com a senescência das folhas, as bandas de absorção que caracterizam a presença de água nas folhas, diminuem ou mesmo desaparecem (GOEL, 1988; PONZONI, 2001).

Diversas pesquisas têm sido direcionadas na busca da identificação e do esclarecimento dos aspectos que interferem na correta associação entre reflectância e os parâmetros biofísicos da vegetação. Sabe-se, atualmente, que além das características da vegetação estudada, fatores como a presença de umidade no solo, a cobertura do substrato, entre outros, influenciam no comportamento da vegetação. (HUETE, 1989).

Grande parte das coberturas vegetais são constituídas de uma mistura de diferentes componentes, incluindo folhas, galhos e outras estruturas da planta, além de substrato (solo) e sombra. Como estes componentes encontram-se dispostos em ângulos diferentes em relação à fonte de radiação incidente, a irradiância sobre eles varia. Por essa razão, quando se considera o dossel da vegetação, muitos são os fatores que afetam sua resposta espectral, (COLLWELL, 1974). Segundo Goltz (2005), as curvas espectrais dos alvos podem variar de acordo com a posição do Sol (azimute solar), elevação solar (ângulo de elevação solar), direção de apontamento do sensor (em relação ao nadir), e, no caso da vegetação, de características do substrato (reflectância do solo, camada húmica, parâmetros biofísicos, entre outros).

Variedades de *vitis vinífera*, foco de nosso estudo, são alvos que apresentam estruturas variáveis, que dependem muito de fatores como topografia e estrutura de dossel, sendo que a variação espacial destes fatores influenciam na produtividade, rendimento e qualidade das uvas dentro de um mesmo vinhedo, (HALL et al., 2001).

No trabalho desenvolvido por Bramley e Hamilton (2004) foi possível demonstrar que a variação das características espaciais em um vinhedo permanecem estáveis ao longo do tempo, mostrando a influência do substrato do solo na variabilidade da resposta espectral. Em outros trabalhos, Bramley e Proffitt (1999), Bramley (2001), mostraram através de mapas de variação de produtividade a existência de diferenças de qualidade e produtividade em uma única parcela dentro de um vinhedo.

A influência do solo e a variação da quantidade de sombra são variáveis importantes na caracterização espectral de culturas agrícolas. No trabalho realizado por Huete (1985), o autor mostra as diferentes respostas espectrais de um mesmo dossel sob diferentes coberturas do solo. Nos trabalhos desenvolvidos por Huete (1985), (1987), o autor analisa a resposta espectral do solo em função da variação do desenvolvimento do dossel. Já Kimes (1983), Jackson (1990), avaliando a reflectância bidirecional e a geometria de aquisição de imagens, estudam a variação do comportamento espectral da vegetação.

1.2 Objetivos

Com base nas percepções abordadas na sessão anterior, e na linha de trabalhos já realizados no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto da UFRGS (PPGSR/UFRGS), Silva (2006), Blauth (2008) e Cemin (2009)), o objetivo desta dissertação é avaliar o potencial dos dados espectrais obtidos através de pós-processamentos das imagens

ASTER para a discriminação das variedades de videiras frente a variações de insolação (orientação das fileiras)

Como objetivos específicos do trabalho busca-se investigar o comportamento espectral de alvos com pixels reamostrados quando comparados aos pixels originais; verificar se a variação de insolação (orientação das fileiras) e a variação na quantidade de sombra alteram a resposta espectral de uma mesma variedade vinífera; testar a separabilidade das diferentes variedades estudadas, frente a essas mudanças, através de técnicas estatísticas; e avaliar a utilização dos dados do sensor ASTER para a classificação, analisando a influência da sombra.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A aplicação do sensoriamento remoto no monitoramento da cobertura vegetal tem respaldo na constante necessidade de avaliação e acompanhamento no desenvolvimento de culturas vegetais. A variação do comportamento espectral de uma determinada cultivar auxilia na tomada de decisões e manejos a serem empregados na cultura.

2.1. O Sensoriamento Remoto

Segundo Novo (1989), o Sensoriamento Remoto é um conjunto de sensores e equipamentos para o processamento e a transmissão de dados, 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. Esta definição, de forte cunho operacional, pode ser comparada com aquela da American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, que define Sensoriamento Remoto como sendo a medição ou aquisição de informações de objetos ou fenômenos, por um dispositivo que as registre, sem que o mesmo esteja em contato físico com o objeto ou fenômeno em questão (Collwell, 1983).

Os equipamentos utilizados para obter informações dos alvos através do registro da radiação eletromagnética são genericamente denominados radiômetros. Em Sensoriamento Remoto, as informações são obtidas por sensores, tanto em escala espacial quanto terrestre. Os sensores são dispositivos capazes de detectar e registrar a radiação eletromagnética, em determinada faixa do espectro eletromagnético, e gerar informações que possam ser transformadas num produto passível de interpretação.

Como as propriedades químicas e físicas dos objetos variam, cada alvo específico reflete ou emite um espectro característico de energia eletromagnética, apresentando assim, diferentes características espectrais. Desta forma, um objeto pode ser identificado por seu comportamento espectral, que é o conjunto de valores de reflectância em uma parte específica do espectro eletromagnético (FONSECA, 2000).

2.2. A Radiação Eletromagnética

Toda matéria a uma temperatura absoluta acima de 0°K emite energia. Desta maneira, todo corpo com temperatura superior ao zero absoluto pode ser considerado como uma fonte de radiação eletromagnética.

Existem duas descrições, complementares e não-conflitantes, para a propagação de energia a partir de uma fonte. Uma descrição é conhecida como modelo corpuscular e preconiza que a energia se propaga pela emissão de um fluxo de partículas (fótons) que se movem, no vácuo, à velocidade da luz. A outra descrição é o modelo ondulatório, que presume que a propagação da energia se faz através de um movimento ondulatório (Novo, 1992).

A transferência de energia por meio de radiação é o mecanismo físico mais importante em Sensoriamento Remoto. A energia irradiada comporta-se de acordo com a teoria ondulatória de Maxwell descrita por Reitz et al. (1982), em que uma onda eletromagnética move-se com a velocidade da luz possuindo dois campos de força ortogonais entre si (campo elétrico e campo magnético (Figura 1)). Três grandezas são usadas para descrever as ondas eletromagnéticas: comprimento de onda (λ), frequência (ν) e a velocidade de propagação da onda (c), que é uma constante universal, com valor de aproximadamente $3 \times 10^8 \text{m.s}^{-1}$ para propagação no vácuo

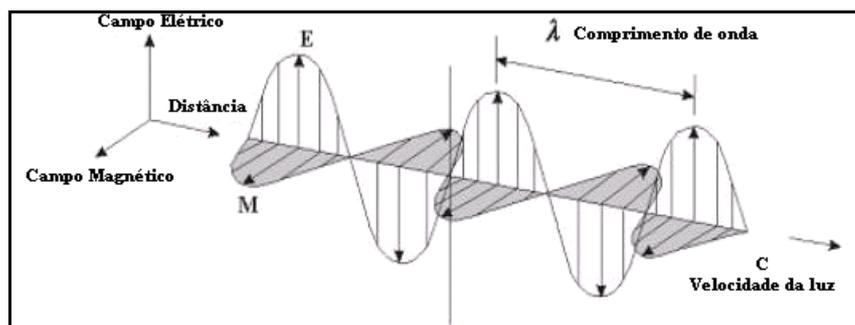


Figura 1: Onda eletromagnética composta pelos vetores elétrico e magnético (Fonte: Reitz et al., 1982.)

O número de ondas que passam por um ponto do espaço em um determinado tempo define a frequência da radiação eletromagnética, que possui relação diretamente proporcional à velocidade de propagação da radiação. Os diferentes tipos de radiação eletromagnética conhecidos (radiação gama, raios X, visível, infravermelho, microondas e ondas de rádio) podem ser caracterizados pelo comprimento de onda e pela frequência, e são representados de forma contínua no espectro eletromagnético.

As regiões de maior interesse para o sensoriamento remoto terrestre são as do visível ($\lambda = 400 - 700 \text{ nm}$), do infravermelho próximo ($\lambda = 700 - 1100 \text{ nm}$), aquelas de maior transmitância atmosférica no infravermelho médio ($\lambda = 3000 - 5000 \text{ nm}$), e no infravermelho termal ($\lambda = 8000 - 15000 \text{ nm}$), (Figura 2). Nos últimos anos, estudos usando as faixas de microondas e radar ($\lambda = 1 \text{ mm} - 1 \text{ m}$) têm se tornado mais frequentes.

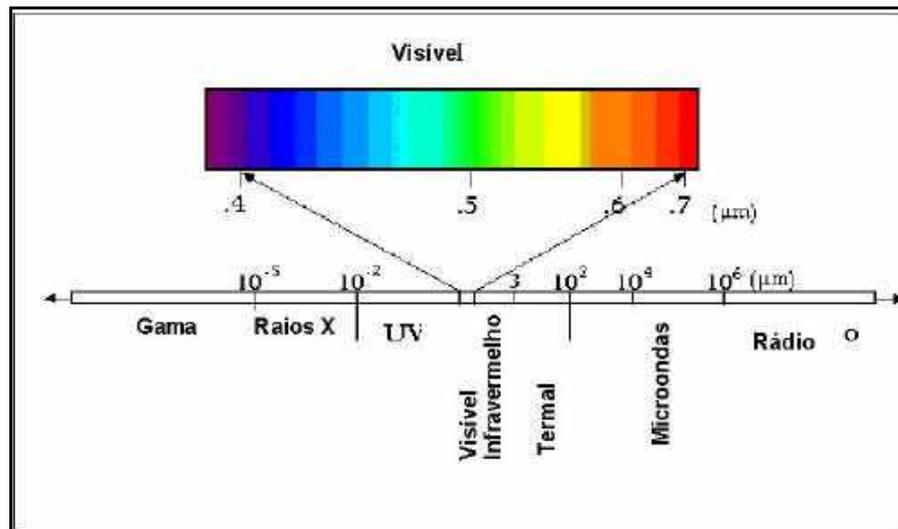


Figura 2: O espectro eletromagnético (FONTE: Adaptada de Steffen, 1995)

2.2.1. Interação da Radiação Eletromagnética (REM) com um objeto

Ao incidir sobre um meio, o fluxo de energia radiante sofre interações com o material que o compõe, podendo ser refletido, absorvido e transmitido pelo meio. A amplitude dos fluxos resultantes depende das propriedades físicas e químicas do material que constitui o meio. Segundo Jensen (2009), a absorção, reflexão e transmissão do fluxo incidente podem ser totais ou parciais, guardando sempre o princípio da conservação de energia, que é expresso pela Equação:

$$\phi_i = \phi_a + \phi_r + \phi_t$$

Onde: ϕ_i é o fluxo incidente,

ϕ_a é o fluxo incidente absorvido,

ϕ_r é o fluxo incidente refletido e

ϕ_t é o fluxo incidente que foi transmitido (sem sofrer atenuação) pelo meio.

A Equação 2 representa a normalização da Equação 1 em relação ao fluxo radiante incidente.

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

Onde: α é a absorptância (razão entre o fluxo absorvido e o fluxo incidente total),
 ρ é a reflectância (razão entre o fluxo refletido e o fluxo incidente total) e
 τ é a transmitância (razão entre o fluxo transmitido e o fluxo incidente total).

Essas grandezas são adimensionais e seus valores oscilam de 0 a 1. Ainda que o fluxo absorvido não possa ser medido diretamente, a Equação 2 permite determinar a absorptância do objeto a partir dos demais fluxos envolvidos.

As medidas de reflectância espectral dos alvos têm sido quantificadas pela razão entre o fluxo radiante espectral refletido pela superfície do alvo e o fluxo radiante espectral refletido por um material de referência iluminado e visado sob as mesmas condições. Deste modo, se o material de referência utilizado for uma superfície perfeitamente difusora (lambertiana), esta razão é denominada fator de reflectância. Este parâmetro radiométrico é o mais empregado em estudos de comportamento espectral de alvos, sendo de grande utilidade para a comparação de dados provenientes de várias fontes. De acordo com Meneses (2001), a espectroradiometria é definida como a medida de distribuição da energia radiante proveniente de um objeto.

2.2.2. Quantidades Radiométricas

A radiometria é definida como um conjunto de técnicas com a finalidade de quantificar a energia radiante recebida pelo sensor em função da sua distribuição espectral, espacial e temporal. As quantidades radiométricas podem ser medidas em campo ou em laboratórios por meio de um espectroradiômetro, que é um sensor não-imageador, e por sensores orbitais. Este instrumento mede os fluxos incidentes e refletidos da radiância e da irradiância de todos os pontos de uma superfície que estiver situado no seu campo de visada (determinado pelo FOV-*Field of View*) e numa determinada faixa de comprimento de onda. Um sistema óptico converge o fluxo radiante sobre um sistema de dispersão, que decompõe a radiação em vários comprimentos de onda e os transforma num sinal elétrico através de um detector. Numa etapa seguinte, o sinal é processado e transformado em valor digital, dado que será analisado para a obtenção de informações sobre o alvo. As principais grandezas radiométricas utilizadas no Sensoriamento Remoto são descritas na Tabela 1.

Diz-se que uma superfície é perfeitamente difusa ou lambertiana quando o fluxo radiante que deixa a superfície é constante para qualquer ângulo de reflectância, (Jensen, 2009).

Tabela 1: Quantidades Radiométricas Fundamentais

Fluxos	Definição	Unidades
Energia Radiante (Q)	Energia eletromagnética propagando-se no espaço na forma de ondas.	Joules (J)
Fluxo Radiante (ϕ)	Taxa de variação da energia de um ponto ou de uma superfície para a outra. Fórmula: $\phi = \partial Q / \partial t$	Watts (J/s)
Irradiância (E)	Razão entre o fluxo radiante incidente numa amostra de superfície e a área da amostra. Fórmula: $E = \partial \phi / \partial A$	Watts m ⁻²
Exitância (M)	Razão entre o fluxo radiante refletido ou emitido por uma amostra de superfície e a área da amostra. Fórmula: $M = \partial \phi / \partial A$	Watts m ⁻²
Intensidade Radiante (I)	Fluxo radiante por unidade de ângulo sólido. Fórmula: $I = \partial \phi / \partial \Omega$	Watts sr ⁻¹
Radiância (L)	Densidade de fluxo radiante emergente de um elemento de área que envolve um ponto e propaga-se num cone elementar tendo como eixo a direção dada, dividido pelo produto do elemento de área projetada na direção de propagação pelo ângulo sólido do cone. Fórmula: $L = \partial \phi / \partial A \cos \theta \partial \Omega$	Watts m ⁻² sr ⁻¹

Fonte: Adaptada de Liou (1980).

2.3. Comportamento Espectral de Alvos

Uma grandeza de extrema importância para o sensoriamento remoto é o comportamento espectral dos objetos terrestres. Na natureza, as diferentes cores dos materiais são a comprovação de que cada substância interage espectralmente de forma distinta em relação à energia incidente. Alguns materiais absorvem e/ou refletem maiores ou menores quantidades de radiação eletromagnética do que outros, nas diferentes faixas do espectro. Quando isto ocorre na região do visível, têm-se diferentes cores apresentadas pelos materiais. Este fenômeno é válido também para os comprimentos de onda que se situam fora do espectro visível.

A obtenção da reflectância ou absorptância da luz em função do comprimento da onda permite inferir algumas propriedades intrínsecas dos materiais, como suas propriedades físico-química. As medidas podem ser expressas na forma de imagem ou representações gráficas através de uma curva de reflectância espectral. Segundo Slater (1980), as medidas de radiância de um alvo feitas para condições conhecidas definem o seu comportamento espectral, onde cada medida corresponde ao valor médio para diferentes intervalos de comprimento de onda.

2.3.1. Comportamento Espectral da Sombra

Em imagens, as sombras causam interferências na resposta espectral das feições situadas nas áreas sombreadas, alterando sua resposta radiométrica ou provocando a completa oclusão de feições. Regiões afetadas por sombras têm um comportamento espectral muito próximo daquele apresentado por corpos d'água, tornando muito difícil discriminar entre esses dois elementos.

Sombras são caracterizadas por regiões de baixa intensidade luminosa, causada pelo bloqueio da incidência de luz direta e, com alta saturação causada pelo espalhamento atmosférico (HULST, 1957). Polidório et al. (2003) mostraram que regiões afetadas por sombras realçam o efeito do espalhamento atmosférico de Rayleigh, no qual pequenas partículas em suspensão na atmosfera desviam, mais intensamente, ondas eletromagnéticas de comprimento de onda mais curto, correspondente ao azul e violeta, saturando a região sombreada com essas cores. Nesse entendimento, deve-se esperar que o comportamento espectral da sombra se apresente com uma baixa reflectância em todas as bandas, e por isto, o comportamento espectral de pixels correspondentes a sombras é associado ao de pixels negros. Quando o sensor capta a energia da cena sua resposta espectral depende das propriedades e proporções das partes iluminadas e sombreadas dentro do campo de visada (IFOV), bem como dos comprimentos de onda (BARNESLEY, 1984).

2.3.2. Comportamento Espectral do Solo

Os solos que compõem a superfície terrestre podem ser enquadrados nas mais distintas classes, sendo que a ocorrência de um determinado tipo de solo é dependente das diferentes características do ambiente que contribuíram para a formação do mesmo. O solo é uma mistura complexa de materiais com várias propriedades físicas e químicas que podem afetar as características de reflectância, transmitância e absorvância. Em geral, diferentes tipos de solos apresentam curvas com formato semelhante, mas com diferenças na amplitude, (HOFFER, 1978, LILLESAND e KIEFER, 1987).

O conteúdo de umidade, a textura (proporção de areia, silte e argila), a rugosidade da superfície, a concentração de óxidos de ferro e o conteúdo de matéria orgânica (decomposta ou não) são alguns dos fatores que alteram a reflectância do solo (LILLESAND e KIEFER, 1994). Pode-se acrescentar ainda, a mineralogia e a estrutura do solo, a presença de grandes fragmentos, as sombras e as práticas culturais (HUETE, 1989). A textura, a mineralogia, a

presença de óxidos de ferro e o conteúdo de matéria orgânica são considerados como propriedades intrínsecas, enquanto os demais fatores são tratados como condições da superfície. Estes fatores são variáveis e inter-relacionados, influenciam significativamente na reflectância dos solos, o que torna sua interpretação bastante complexa.

Um dos elementos que tem grande relevância no comportamento do solo é a presença de umidade. Geralmente um solo seco apresenta um aumento na reflectância com o aumento do comprimento de onda, especialmente no visível e no infravermelho próximo. Entretanto, à medida que se aumenta o teor de umidade do solo, seu comportamento se modifica, ocorrendo uma maior absorção da radiação eletromagnética pelas moléculas de água presentes no solo.

Quanto maior a umidade do solo, maior será a absorção de energia radiante e, portanto, menor será a quantidade de luz refletida, (JENSEN, 2009). Assim, solos da mesma classe podem apresentar reflectâncias espectrais diferentes. O arranjo físico e a agregação das partículas proporcionam ao solo uma textura e estrutura que são responsáveis pela quantidade e tamanho dos espaços porosos no solo, que são ocupados pela água e pelo ar.

Os minerais como o ferro e os óxidos de ferro são freqüentemente encontrados nos solos e influenciam na resposta espectral. Os óxidos de ferro atuam no ultravioleta e no azul, gerando feições espectrais caracterizadas por uma depressão presente na maioria dos espectros dos tipos de solo. Além disso, o espectro de reflectância do solo apresenta feições de absorção no intervalo de comprimento de onda de 2000 a 2200 nm, podendo indicar a presença de minerais como a montmorilonita, a caulinita e a gibbsita (PIZARRO, 2001).

A matéria orgânica presente nos solos, assim como os óxidos de ferro, também é reconhecida como um fator de influência sobre a reflectância dos mesmos. A matéria orgânica influencia na forma da curva espectral ao longo do espectro eletromagnético; ou seja, com o decréscimo da matéria orgânica no solo há um aumento na resposta espectral (Figura 3). Coleman e Montgomery (1987), usando um radiômetro portátil de campo, constataram que com o aumento da umidade e dos teores de matéria orgânica no solo, ocorre um decréscimo na reflectância espectral em todos os comprimentos de onda estudados, sendo a região de 760 a 900nm a mais importante para predizer o conteúdo de matéria orgânica.

Além dos fatores naturais, os fatores antrópicos, como manejo, também influenciam para determinar as características dos solos. No estudo de alvos agrícolas, o solo tem forte influência na resposta espectral de dosséis, atuando como um pano de fundo; sendo assim, a reflectância de uma cultura agrícola é uma combinação da resposta das plantas e do solo subjacente a elas, variando conforme o estágio de desenvolvimento da cultura.

Conforme Jackson et al. (1990), os solos apresentam uma característica não-lambertiana; este comportamento ocorre em função de sua rugosidade, provocando sombreamento na cena e fazendo com que a reflectância seja máxima na direção do retroespalhamento (backscattering), pois nesta direção o sensor imageia as superfícies, as quais, estão diretamente iluminadas (KIMES, 1983).

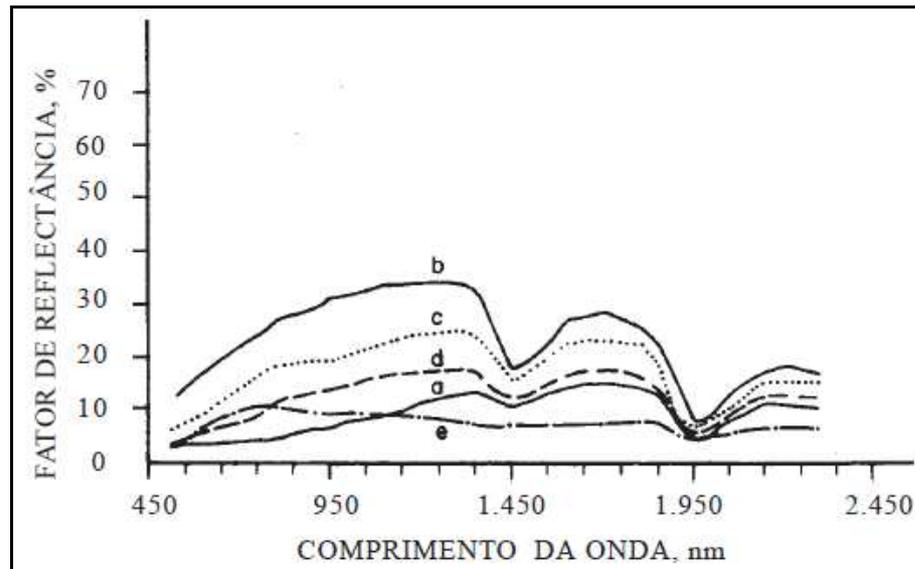


Figura 3: Curvas representativas do padrão espectral de solos minerais, segundo Stoner e Baumgardner (1981), e o respectivo comportamento espectral: (a) dominado pela matéria orgânica (representado por um solo com elevado conteúdo de matéria orgânica(1), textura moderadamente fina); (b) minimamente alterado (baixo teor de matéria orgânica, médio teor de óxido de ferro(2)); (c) afetado por óxidos de ferro (baixo teor de matéria orgânica e médio teor de óxido de ferro); (d) afetado por matéria orgânica (elevado teor de matéria orgânica, textura moderadamente grosseira) e (e) dominado por óxidos de ferro (elevado teor de óxidos de ferro, textura fina).

(1) Baixo teor de matéria orgânica: 0 - 2%; alto teor: > 2%.

(2) Baixo teor de óxido de ferro: 0 - 1%; médio teor: 1 - 4%; alto teor: > 4%.

Quando o sensor move-se para a direção do espalhamento frontal (forward scattering), dois mecanismos causam decréscimo na reflectância: o sensor capta uma maior resposta espectral das superfícies sombreadas, e no FOV do sensor aumenta a proporção de facetas de partículas que se desviam da normal à direção solar, causando decréscimo da irradiância solar nestas facetas (KIMES, 1983).

Em dosséis completos, variações azimutais extremas não ocorrem, pois a transmitância e reflectância das folhas são aproximadamente iguais, (KIMES, 1983); assim, a não lambertianidade do solo não é importante para dosséis completos uma vez que o fluxo que chega ao solo é bastante próximo do isotrópico, (ANTUNES, 1992).

Para o caso dos dosséis de videiras que, para este estudo, são estruturados na forma de espaldeira, a cobertura vegetal mesmo em seu pleno desenvolvimento apresenta parcelas de solo exposto, fato que torna a influência do solo sempre presente na imagem.

A resposta máxima no fator de reflectância do solo na região do visível ocorre por volta do meio dia solar ou para azimutes relativos próximos de zero grau, quando as entrelinhas estão completamente iluminadas (JACKSON et al. 1979b; KOLLENKARK et al. 1982).

Já baixos valores no fator de reflectância do solo ocorrem para ângulos azimutais relativos de 90° e 270° e baixos ângulos de elevação solar. Nesses ângulos ocorre um maior sombreamento entre as fileiras e uma melhor interação da radiação com o dossel (JACKSON et al. 1979). No estudo realizado por Huete (1987), mostrou-se que a diferença de reflectância provocada pela variação no ângulo zenital de iluminação é maior no visível para solos mais claros, e no infravermelho próximo, para solos mais escuros.

2.3.3. Comportamento Espectral da Vegetação

A grande maioria da superfície terrestre é coberta por algum tipo de vegetação. Em termos de comportamento espectral, a interação da radiação eletromagnética com a cobertura vegetal é bastante variável, estando diretamente relacionada com o tipo de cobertura, as variações da estrutura do dossel e sua composição interna. Da interação da radiação solar com as plantas, resultam três componentes do fracionamento dessa radiação: reflexão, absorção e transmissão; este fracionamento varia de acordo com a quantidade de radiação incidente, dos pigmentos das células, estrutura celular e quantidade de água presente no interior da folha. A componente mais usada nos sistemas de sensoriamento remoto é a energia refletida pela planta.

A Figura 4 apresenta uma curva típica da reflectância, transmitância e absorptância espectral de uma folha sadia, identificando as regiões onde a resposta espectral da vegetação é de maior interesse para fins de Sensoriamento Remoto.

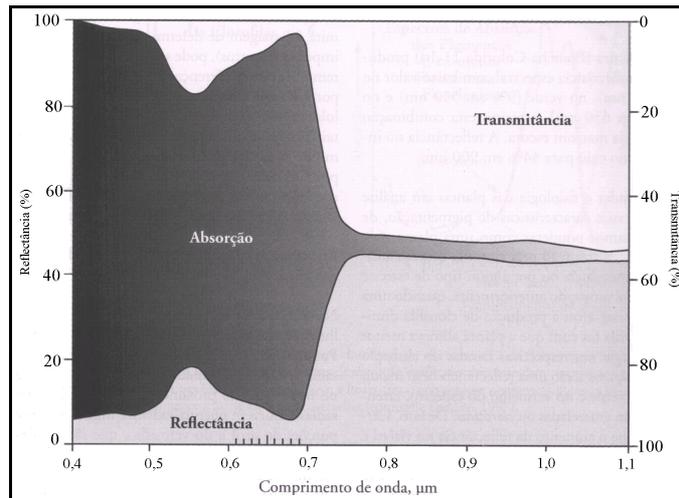


Figura 4: Curvas de transmitância, absorção e reflectância de uma folha verde. Fonte: Jensen (2009).

Segundo Goel (1988), a radiação detectada pelos sensores é proveniente da fonte de radiação, da atmosfera, do dossel, do solo e parâmetros do próprio sensor. Assim, o que é realmente medido por um sensor remoto em uma cena proveniente de um dossel vegetal não pode ser explicado somente pelas características intrínsecas desse dossel.

A determinação e a diferenciação da vegetação pelos métodos de sensoriamento remoto são possíveis no intervalo de 0,4 até 2,5 μm , pois neste intervalo as folhas são caracterizadas por comportamentos específicos de reflexão, absorção e transmissão. A Figura 5 apresenta os fatores que afetam a reflectância da vegetação.

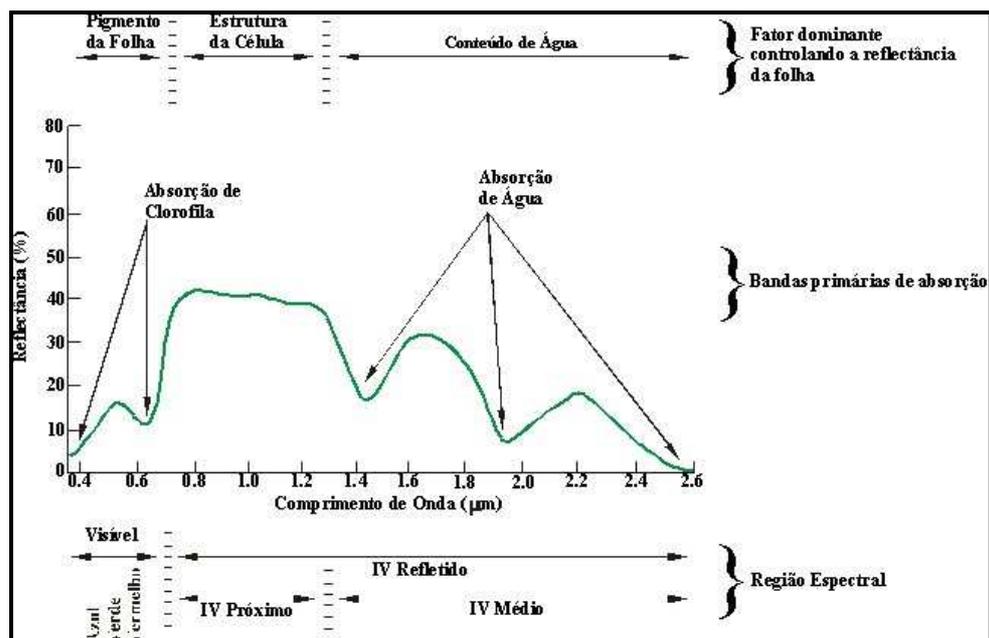


Figura 5: Comportamento espectral da vegetação (adaptado de Swain e Davis, 1978).

No visível, o comportamento da reflexão é determinado por pigmentos como as clorofilas e os carotenóides, entre outros, cujas absorções mais significativas encontram-se no intervalo da luz azul (0,4 - 0,5 μm) e da luz vermelha (0,6 - 0,7 μm), com reflexões mais intensas no intervalo da luz verde (0,5 - 0,6 μm). Embora todos os pigmentos apresentem forte absorção no azul, a clorofila tende a dominar a resposta espectral nessa região do espectro por ser o pigmento mais abundante (BELWARD, 1991).

A Figura 6 mostra as curvas de reflectância de algumas folhas contendo diferenças na quantidade e no tipo de pigmentos. Nela, pode-se observar que na região do visível estas diferenças são bem discriminadas, não acontecendo o mesmo para os comprimentos de onda do infravermelho próximo.

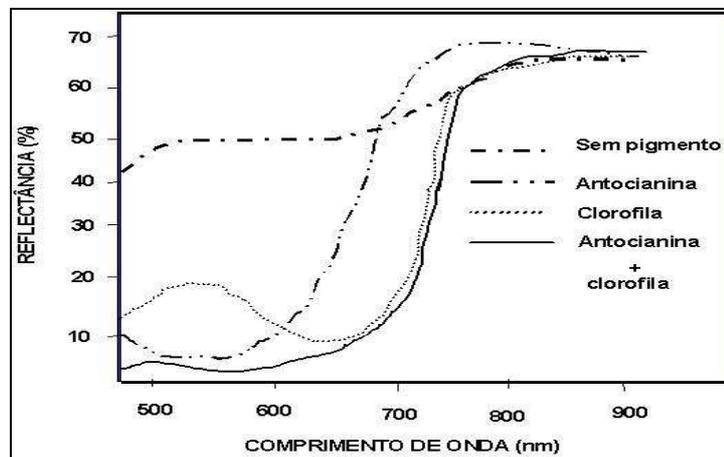


Figura 6: Reflectância de folhas com diferentes tipos de pigmentação. Fonte: adaptada de Hoffer (1969).

No infravermelho próximo (0,72 - 1,10 μm), ocorre pouca absorção e considerável espalhamento da radiação no interior da folha. A absorção da energia eletromagnética pela água nesta região é geralmente baixa, causando um aumento da refletância. A reflectância espectral de folhas nessa região do espectro eletromagnético é o resultado da interação da energia incidente com a estrutura do mesófilo. Folhas com mesófilo compacto irão apresentar maior transmissão e menor espalhamento da radiação do que folhas com mesófilo mais lacunoso (GATES et al., 1965).

Na Figura 7 são ilustradas as possíveis trajetórias internas dos raios de luz ao incidirem sobre a superfície de uma folha. De um modo geral, a transmitância é maior que a reflectância para plantas que possuem folhas finas, mas com o aumento da espessura da folha a transmitância é substancialmente menor que a reflectância. Ao se verificar a reflectância de uma cobertura vegetal, deve-se considerar a espessura das folhas, se as folhas forem finas, por

exemplo, ter-se-á uma medida da reflectância de várias camadas da folha (reflectância aditiva), (JENSEN, 2009).

Quanto maior a quantidade de folhas presentes no dossel, maior a reflectância da vegetação, devido ao efeito de espalhamento múltiplo entre as camadas de folhas que compõem o dossel (BELWARD, 1991). À medida que ocorre o aumento da camada de folhas em um dossel, há um maior espalhamento do fluxo, ocasionando a diminuição da reflectância no visível e no infravermelho médio e um aumento no infravermelho próximo (PONZONI e SHIMABUKURO, 2007); a reflectância espectral de folhas isoladas é ligeiramente superior daquela dos dosséis ao qual pertencem; isso ocorre uma vez que no dossel a reflectância é formada pela combinação de folhas e sombra, (SILVA e PONZONI 1995).

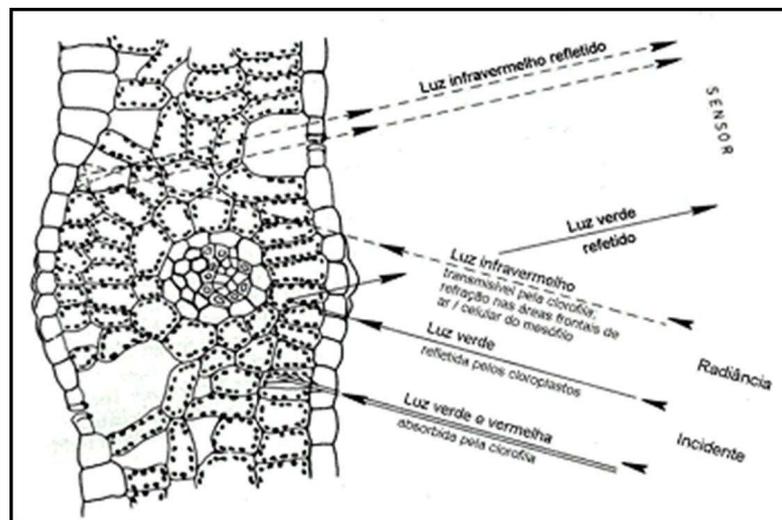


Figura 7: Seção de corte de uma folha mostrando as trajetórias da radiação. Fonte: Meneses (1997).

Nos comprimentos de ondas acima de $1,3 \mu\text{m}$, o conteúdo de água das folhas influencia a interação com a radiação, pois a água dentro da folha absorve especialmente nas bandas em torno de $1,45 \mu\text{m}$ e $1,96 \mu\text{m}$. Por isso, a variação no comportamento espectral indica o conteúdo hídrico das folhas, sendo que folhas com conteúdo hídrico reduzido são caracterizadas por uma maior reflexão. Este efeito é ilustrado na Figura 8, para curvas espectrais de folhas de magnólia com cinco diferentes proporções de umidade.

Quando a radiação eletromagnética incide sobre um dossel, seja de forma direta ou difusa, está sujeita aos processos de espalhamento e absorção da energia incidente. Esses dois processos estão associados com as características do fluxo incidente (comprimento de onda e ângulo de incidência) e com a estrutura do dossel, que está diretamente relacionada com o tipo, grau e desenvolvimento da vegetação (KIMES e KICHNER, 1983).

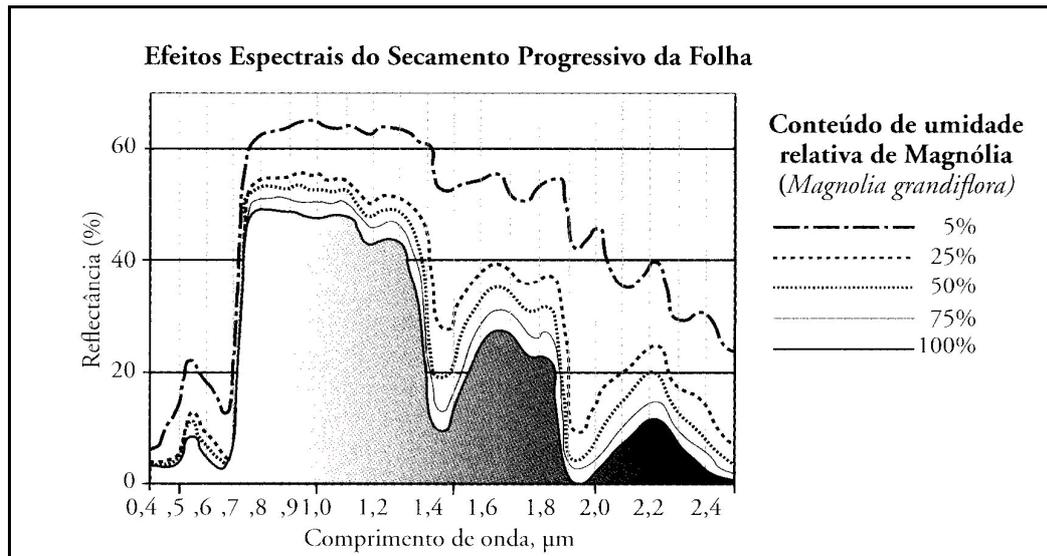


Figura 8: Curvas de reflectância de folhas com diferentes percentuais de umidade. Fonte: Jensen (2009).

2.3.3.1. Dossel vegetal

O estudo de áreas agrícolas através de imagens de satélite e o desenvolvimento de novas metodologias proporcionam resultados promissores no desenvolvimento da agricultura mundial. Estimativas de safras, o controle e monitoramento das culturas, a identificação de áreas menos produtivas e sua possível correção, são benefícios obtidos com o entendimento do comportamento espectral dos alvos agrícolas.

No entanto, a resposta espectral de dosséis agrícolas é complexa. Em uma superfície lambertiana, a radiação é refletida uniformemente em todas as direções; já em superfícies compostas por vegetação, a energia refletida não é lambertiana. Essa complexidade é devida a fatores naturais como as características do solo, da vegetação e também a fatores como a reflectância bidirecional, que está relacionada com a orientação e altura de fileiras, o azimute do Sol e seu ângulo zenital (o qual varia de acordo com a época do ano e a hora do dia), e a hora da obtenção da imagem (HUETE, 1985). Quando se analisa a reflectância de um dossel, fatores como solo, sombras e a morfologia do dossel determinam a reflectância das folhas. Em bases percentuais, a reflectância de um dossel é consideravelmente menor do que o de uma folha isolada (KNIPLING, 1970).

Quando a visada do sensor está posicionada na mesma direção do alinhamento das fileiras, e estas possuem uma estrutura bem definida, o efeito do solo sobre a reflectância da cena é maximizado. Por outro lado, quando a visada do sensor está posicionada perpendicularmente ao alinhamento, o efeito do solo é minimizado (SLATER, 1980). Portanto, na análise de dosséis incompletos, o solo torna-se um fator relevante a ser

considerado na resposta espectral do dossel. Grande parte da complexidade deriva do fato dessas culturas serem plantadas em fileiras. Nesse caso o campo de visada dos sensores pode incluir quatro superfícies com propriedades de reflectância diferentes: solo iluminado, solo sombreado, vegetação iluminada e vegetação sombreada (Figura 9). As porções relativas dessas superfícies podem variar de acordo com o espaçamento da cultura, a estatura e largura da planta, a orientação das linhas, as posições angulares do Sol e a arquitetura da cultura, (JACKSON et. al. 1979).

A modificação dos ângulos zenital e azimutal provoca diferenças na proporção de solo, sombra e vegetação imageados pelo sensor. Jackson et. al. (1979), expõem que em dosséis esparsos ocorre uma maior dependência em relação ao ângulo de iluminação, da orientação do plantio e da altura das plantas, fatores que influenciam o sombreamento do solo e das próprias plantas do dossel.

Em geral, com a diminuição do ângulo zenital de iluminação, uma porcentagem maior de solo será iluminada, aumentando sua reflectância, este aumento faz com que a reflectância do dossel aumente no visível, principalmente nos comprimentos de ondas do vermelho, onde o solo apresenta maior reflectância do que a vegetação, e diminua no infravermelho próximo, onde a reflectância do solo é menor que a da vegetação. Um sensor remoto imageando perpendicularmente as linhas de cultivo, poderá ver mais vegetação e cada vez menos solo, à medida que o ângulo de visada aumenta em relação à vertical. Este fato está associado à variação das quantidades de solo e vegetação sombreada e iluminada (JACKSON et al.1979).

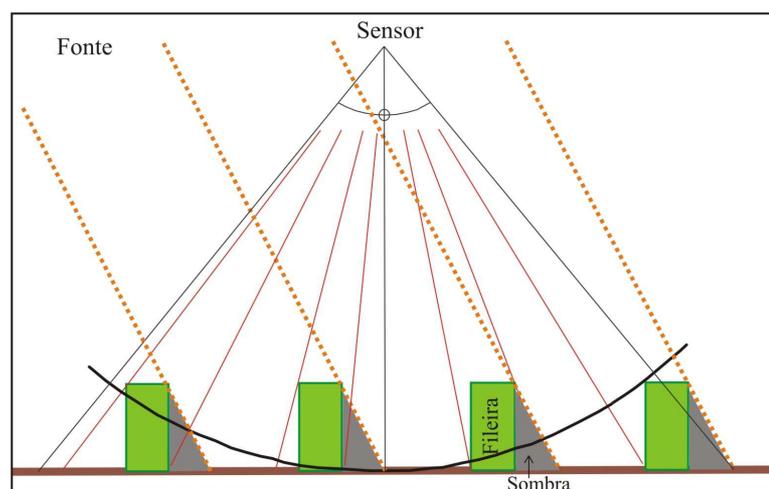


Figura 9: Reflectância de dosséis incompletos Fonte: Adaptado de Jackson et. al. 1979.

No caso de vinhedos conduzidos em espaldeira, os componentes solo sombreado, solo iluminado, vegetação sombreada e vegetação iluminada estão sempre presentes. Isso acontece em virtude desse tipo de cultivo apresentar dossel de natureza descontínua, mesmo em

condições de máximo desenvolvimento. Em consequência disso, a reflectância que chega ao sensor apresentará interferência do fundo e de sombras, em menor ou maior quantidade, dependendo principalmente da orientação e distância das fileiras, e ângulo zenital do sol. As fileiras orientadas no sentido Norte-Sul apresentam menor influência do fundo, quando comparadas com fileiras orientadas Leste-Oeste no momento da passagem de satélites, (Figura 10).

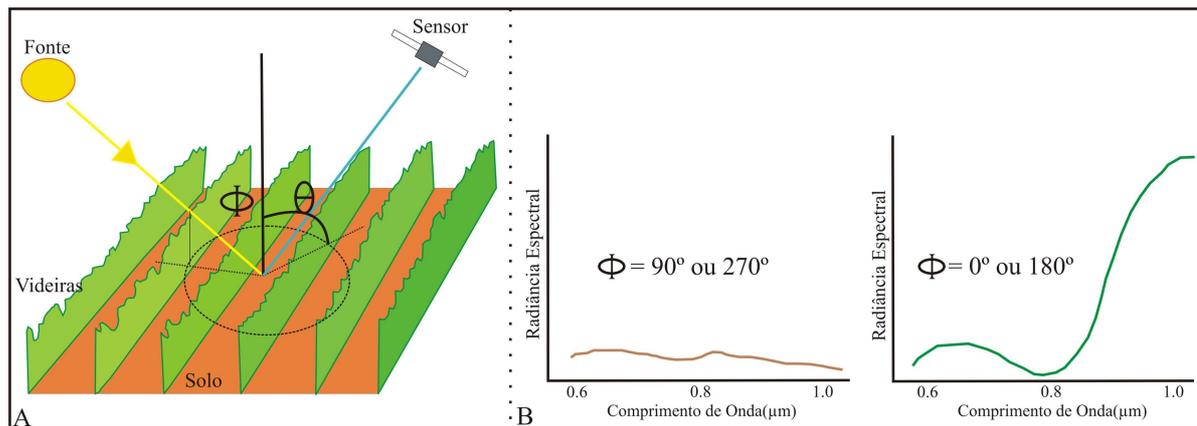


Figura 10: Geometria de reflexão em um plantio (a), com a indicação da variação da radiância espectral para ângulos azimutais diferentes (b). Fonte: Adaptada de Slater (1980, p. 232).

2.3.3.2. Sistema de Condução

A videira é uma planta arbustiva com sarmento e hábito trepador que se fixa a tutores naturais ou artificiais. Como planta perene, seu tempo de vida é uma sucessão de ciclos anuais interdependentes, pois o desenvolvimento de cada ciclo depende não só do meio, mas também da intervenção do homem (REYNIER, 1995).

A fenologia varia em função do genótipo e das condições climáticas de cada região produtora; em uma mesma região pode variar devido às condições do clima ao longo do ano. Assim, o clima, insolação e temperatura, fazem parte de uma série de fatores que influenciam o desenvolvimento e o ciclo da videira, (NAGATA et al. 2000)

A videira é uma planta que pode apresentar uma grande diversidade de arquiteturas de seu dossel; a distribuição espacial do dossel vegetativo, do tronco e dos braços, juntamente com o sistema de sustentação, constituem o sistema de condução da videira. As variáveis consideradas são a densidade e a geometria de plantio, a orientação da fileira, a forma e o sistema de sustentação do dossel vegetativo. Na estruturação de um vinhedo, há vários fatores que influenciam a tomada de decisão para a escolha de um sistema de condução, dependendo

do tipo de cultivar, pois este pode requerer altura e/ou largura maiores para uma melhor exposição ao sol, além da influência da topografia do terreno (MIELE e MANDELLI 2003)..

Em vinhedos com estrutura em espaldeira, o dossel vegetativo é vertical, e os ramos são atados horizontalmente aos fios do sistema de sustentação do vinhedo. A distância entre as fileiras varia de 2,0 a 2,5 metros e a distância entre plantas é de 1,5 a 2,0 metros, conforme a cultivar e a fertilidade do solo. A zona de produção situa-se geralmente entre 1,0 e 1,2 metros do solo. A altura do sistema de sustentação do solo até a parte superior é de aproximadamente 2,0 metros (Figura 11).

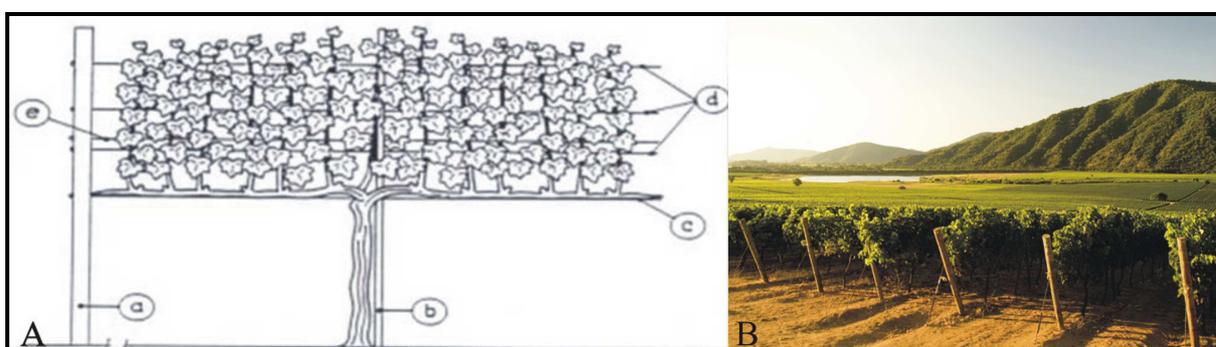


Figura 11: A) Sistema de condução da videira em espaldeira e com poda mista: a) poste externo; b) poste interno; c) fio da produção; d) fios fixos do dossel vegetativo; e) fio móvel do dossel vegetativo. B) foto da propriedade Veramonte.. Fonte: Adaptado de Miele e Mandelli, (2003).

O uso do sistema de condução adequado pode contribuir para o aumento da produção e melhoria da qualidade dos vinhos (NOGUEIRA, 1984). O sistema de condução da videira é uma das técnicas aplicadas que contribuem para definir a forma da planta, modificando, assim, as condições microclimáticas (temperatura do ar, umidade e intensidade de radiação) no interior da copa da videira (CASTRO, 1989; CARBONNEAU, 1991). Segundo Regina et al. (1998), o sistema de condução das videiras influencia na distribuição e orientação da folhagem dentro do dossel, modificando a penetração de radiação solar e a maturação.

2.4. O sensor ASTER

O sensor ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal and Reflection Radiometer*) é um sensor multiespectral a bordo do satélite TERRA, também denominado EOS AM-1, lançado pela NASA em dezembro de 1999, sendo seus dados disponibilizados ao público a partir de novembro de 2000.

O sensor ASTER cobre uma larga região espectral com 14 bandas que vai do visível ao infravermelho termal, com alta resolução espacial, espectral e radiométrica. O satélite tem

órbita circular, quase polar, síncrono-solar, a uma altitude de 705 km, posicionando-se 30 minutos atrás do satélite Landsat ETM⁺. Cruza o Equador às 10h30min da manhã, hora solar local, em órbita descendente, voltando à mesma órbita a cada 16 dias. Os parâmetros de órbita são os mesmos do satélite Landsat, mudando apenas o horário de passagem pelo Equador (ABRAMS e HOOK, 2002). A Figura 12 mostra a comparação do tamanho e localização das bandas do sensor ASTER em relação ao Landsat ETM⁺.

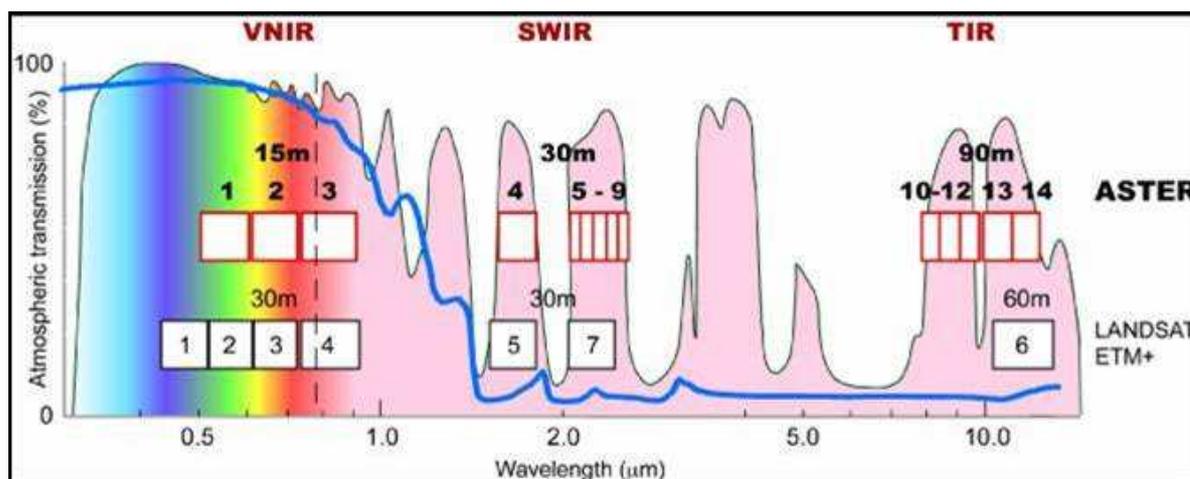


Figura 12: Localização espectral das bandas do sensor ASTER em comparação com o Landsat ETM⁺. (Fonte: NASA, s/d)

O conjunto ASTER consiste de três subsistemas independentes, que possuem telescópios próprios. O subsistema VNIR que compreende o visível e infravermelho próximo, possui três bandas com 15m de resolução espacial e um telescópio extra imageando para trás, que possibilita a visão estereoscópica da banda do infravermelho próximo; o subsistema SWIR é constituído por seis bandas e 30m de resolução espacial que cobrem o infravermelho médio; e o termal, subsistema TIR, com 5 canais e 90m de resolução espacial. Cada cena do ASTER cobre uma área de 60 x 60 km (ABRAMS e HOOK, 2002). As características básicas destes subsistemas são apresentadas na Tabela 2.

Os dados ASTER podem ser fornecidos em três níveis diferentes, e cada nível possui mais de um tipo de produto. O nível 0 (zero) é considerado dado bruto. A imagem obtida pelo sensor, os dados de posicionamento e outros dados complementares são enviados ao ASTER GDS, no Japão, para que os arquivos dos demais níveis sejam produzidos. Todos os dados são armazenados juntos, como metadados, em um arquivo HDF. Os produtos ASTER podem ser obtidos com diferentes níveis de processamento.

Os produtos L1A não apresentam a calibração dos coeficientes de correção geométrica, radiométrica e os coeficientes para correção do erro de paralaxe do SWIR. Este

erro ocorre devido a um deslocamento no alinhamento do detector (*offset*), na direção do deslocamento da plataforma, o qual depende da distância entre a plataforma e a superfície observada na Terra. Os coeficientes de calibração radiométrica consistem em informações de *offset* e sensibilidade, e são gerados a partir de uma base de dados para todos os detectores e atualizados periodicamente (ABRAMS e HOOK, 2002). A correção geométrica é uma transformação de coordenadas realizadas em cada uma das bandas.

Tabela 2: Especificações dos subsistemas do sensor ASTER (adaptado de Abrams e Hook, 2002).

Subsistema	Bandas	Faixa Espectral (μm)	Comprimento de onda médio (μm)	Resolução espacial (m)	Resolução radiométrica (bits)
VNIR	1	0,52 - 0,60	0,556	15	8
	2	0,63 - 0,69	0,661		
	3N	0,78 - 0,86	0,807		
	3B	0,78 - 0,86	0,807		
SWIR	4	1,60 - 1,70	1,656	30	8
	5	2,145 - 2,185	2,167		
	6	2,185 - 2,225	2,209		
	7	2,235 - 2,285	2,262		
	8	2,295 - 2,365	2,336		
TIR	9	2,360 - 2,430	2,4	90	12
	10	8,125 - 8,475	8,291		
	11	8,475 - 8,825	8,634		
	12	8,925 - 9,275	9,075		
	13	10,25 - 10,95	10,657		
	14	10,95 - 11,65	11,318		

Os produtos do Nível-1B são obtidos pela aplicação dos coeficientes de calibração geométrica (as bandas SWIR e TIR são registradas em relação às bandas do VNIR) e radiométrica.

O sensor ASTER opera por um período limitado em cada órbita adquirindo em média 650 cenas por dia. Esse período reduzido de imageamento se deve a limitação de memória para armazenamento e capacidade de transmissão de dados. Estas 650 cenas adquiridas por dia a nível 0 são processadas a nível 1A, e um máximo de 310 cenas por dia são processadas a nível 1B, a partir de critério de cobertura de nuvens. Estes produtos são armazenados em arquivos no formato HDF (*Hierarchical Data Format*) (ABRAMS e HOOK, 2002).

2.4.1. Efeito *crosstalk* no subsistema SWIR

A aquisição de dados ASTER apresenta um problema nas bandas do subsistema SWIR, devido a ruídos instrumentais. Algumas bandas do sensor ASTER são invariavelmente afetadas pelo efeito de *crosstalk* causado pelo erro aditivo de reflectância devido ao

redirecionamento de radiação incidente (IWASAKI *et al.* 2001). Existe um “vazamento” de energia refletida originária na banda 4 que está contaminando as bandas do SWIR, em especial as bandas 9 e 5, que estão localizadas próximas ao detector da banda 4 (Figura 13), apresentando resposta maior do que a esperada nestes canais.

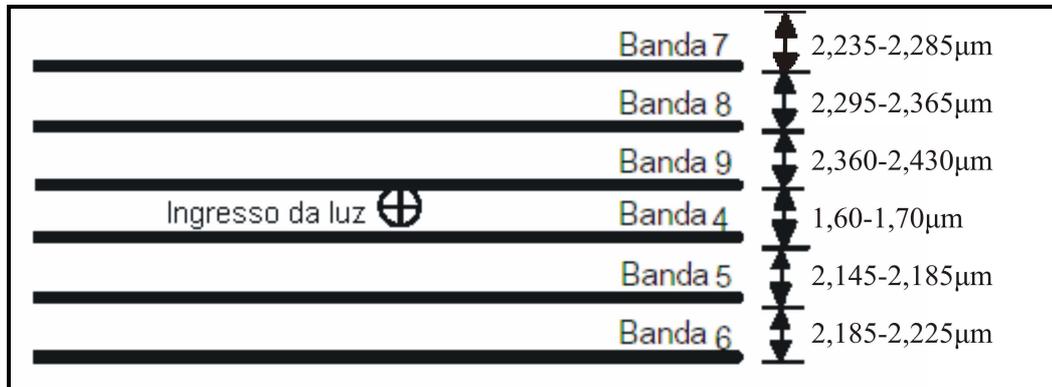


Figura 13: Localização dos detectores das banda do SWIR. Fonte: Adaptado de Iwasaki et al., 2001

Para resolver este problema um tratamento nas bandas do SWIR é feito através de uma correção, que constitui o aplicativo *Crosstalk Correction* (ERSDAC, 2003).

2.4.2. Correção Radiométrica

As interferências em imagens de satélites provocadas pelo espalhamento das ondas eletromagnéticas, principalmente do espectro visível, bem como pela absorção por gases, constitui um dos problemas de Sensoriamento Remoto. As imagens adquiridas por sensores remotos contem erros radiométricos inerentes as processo de aquisição; os fatores que afetam os valores digitais dos pixels de uma imagem podem gerar dois tipos de erros (NOVO, 2008). O primeiro refere-se à distribuição de níveis digitais dentro de uma imagem, não correspondentes à distribuição de radiância da cena imageada; o segundo é atribuído à variação relativa do nível digital num dado pixel, nas diferentes bandas, não correspondendo ao comportamento espectral dos objetos.

Um dos fatores que mais influencia nos erros de valores nos pixels, obtido a partir de imagens orbitais, é a atenuação atmosférica da radiação refletida pelos alvos, causando grandes diferenças entre a refletância aparente, medida pelo sensor do satélite, e a refletância real da superfície.

Na ausência de atmosfera, o sinal medido pelo sensor será, na verdade, simplesmente em função do nível da energia do sol, incidente sobre o pixel, e as propriedades de refletância do pixel em si. No entanto, a presença da atmosfera pode modificar a situação

significativamente, (RICHARDS, 2006). O espalhamento atmosférico contribui principalmente, com um efeito aditivo na radiância captada e transformada em sinal elétrico e depois em número digital (ND) pelo sensor.

A correção dos efeitos atmosféricos, de acordo com Novo (2008), é importante nos casos em que o usuário deseja conhecer as grandezas radiométricas dos diferentes alvos, para efeito de comparação e quando se pretende realizar comparações de imagens de diferentes datas, tendo como objetivo verificar o comportamento espectral de um objeto nos diferentes períodos. Todas as transformações realizadas sobre os dados de uma imagem, com a finalidade de corrigi-la radiométrica e atmosféricamente, são lineares e uniformes para todos os pixels, não alterando a posição relativa dos mesmos no espaço de atributos, quer eles estejam representados em número digital, radiância ou reflectância, (RICHARDS, 2006).

2.4.3. Correção atmosférica das imagens VNIR e SWIR

A correção atmosférica das imagens VNIR e SWIR possibilita a obtenção das imagens de reflectância de superfície, que trazem informações sobre os alvos. A correção é baseada num modelo matemático de transferência radiativa (THOME et al., 1999). O algoritmo “*Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes*” (FLAASH) utiliza o modelo de transferência radiativa do MODTRAN-4 (*Moderate resolution Transmittance code*) para interpolar os dados atmosféricos (RSI, 2006). A correção atmosférica é uma etapa crítica durante o pré-processamento. Para corrigir os efeitos atmosféricos, dados como vapor da água, aerossóis e visibilidade precisam ser estimados (visto que dificilmente há dados empíricos disponíveis). Em geral, os atuais modelos de correção atmosférica assumem uma superfície horizontal e reflectância lambertiana. Isto em geral é atribuído à falta de informações sobre a topografia (KRUSE, 2004).

O modelo de correção atmosférica FLAASH opera na faixa espectral entre $0,4 \mu\text{m}$ e $2,5 \mu\text{m}$ e os processamentos são feitos pixel a pixel. O modelo parte da imagem de radiância que chega ao sensor, e permite obter a reflectância de superfície a partir da derivação de parâmetros atmosféricos como albedo, altitude da superfície, coluna de vapor e água, profundidade óptica de aerossóis e nuvens, além da temperatura da superfície e atmosfera (KRUSE, 2004).

2.5. Métodos de Reamostragem de Imagem

Ao definir o método de reamostragem é importante que o método possa preservar as características radiométricas da imagem. Dentre diversos métodos de reamostragem, destacam-se: interpolação pelo vizinho mais próximo, interpolação bilinear e convolução cúbica.

O interpolação bilinear faz com que o nível de cinza a ser atribuído ao pixel da imagem corrigida seja determinado a partir do valor dos 4 pixels vizinhos. Como resultado, há alteração do valor do nível de cinza, considerando a sua vizinhança.

Com relação à interpolação por convolução cúbica, este utiliza dezesseis pixels vizinhos para o cálculo do valor de nível de cinza e, geralmente, produz uma imagem final com aparência esmaecida (RICHARDS, 1993).

Para o desenvolvimento do referido trabalho será utilizado o interpolador conhecido como vizinho mais próximo (Nearest Neighbor). A vantagem significativa do vizinho mais próximo sobre outros algoritmos é que não é necessário nenhum cálculo para obter o valor do pixel de saída, preservando o número do valor digital (valor espectral).

A natureza contínua da reamostragem bilinear, produz uma superfície mais lisa, sendo seu processamento considerado mais lento que reamostragem pelo vizinho mais próximo. A função de interpolação cúbica também é de natureza contínua, pois é um polinômio cúbico por partes que se aproxima da função de interpolação teoricamente ideal para imagens, (SCHOWENGERDT, 2007)

Segundo Schowengerdt (2007), a reamostragem pelo vizinho mais próximo não introduz novos vetores com pixels de níveis digitais na distribuição da imagem estatística. Este interpolador seleciona o valor real do pixel que tem seu centro mais próximo do pixel reamostrado. Este método simplesmente calcula a distância euclidiana entre um pixel e cada um dos vetores dos pixels vizinhos, não alterando os valores originais, mas podendo resultar em alguns valores de pixel repetidos enquanto outros são perdidos (Figura 14).

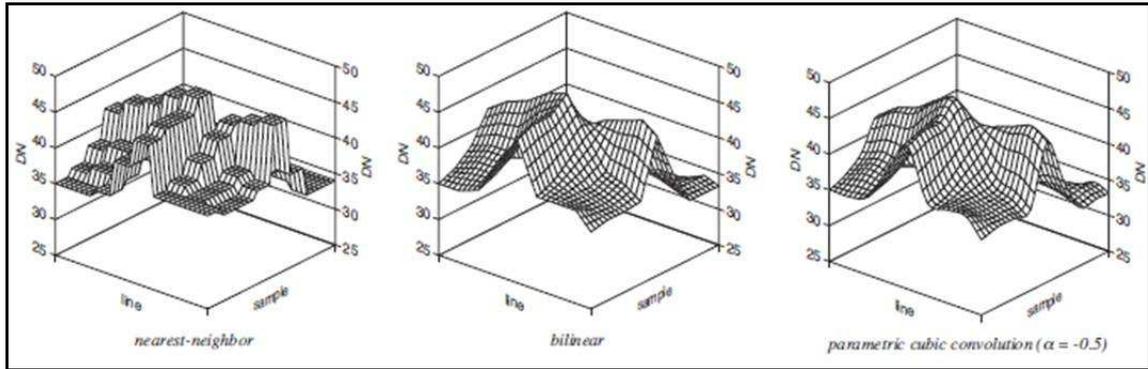


Figura 14: Imagem reamostrada pelo método vizinho mais próximo, bilinear e convolução cúbica.
Fonte: Schowengerdt (2007)

De acordo com Moik (1980), Os valores de intensidade resultante correspondem a valores de pixel de entrada verdadeira, mas a localização geométrica de um pixel pode ser imprecisa em até $\pm 1/2$ pixel de espaçamento (Figura 15). A repentina mudança de valores de pixels verdadeiros faz uma aparição em blocos das características lineares.

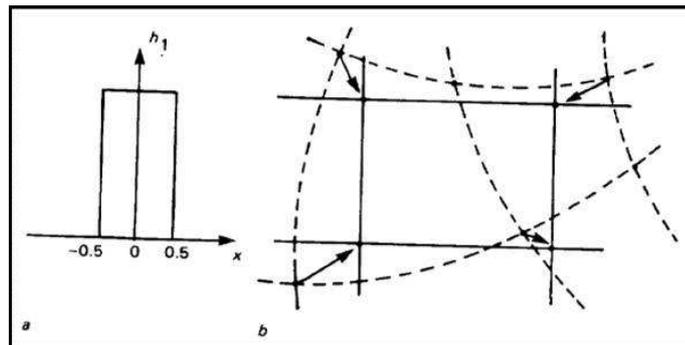


Figura 15: Método de interpolação vizinho mais próximo. (a) função de interpolação. (b) grade da imagem reamostrada. Fonte: Moik (1980)

2.6. Classificadores

A identificação e diferenciação de materiais da superfície da Terra é um dos objetivos do sensoriamento remoto. O reconhecimento destes objetos é possível porque estes materiais têm comportamentos específicos ao longo do espectro eletromagnético, que permitem sua identificação (CENTENO, 2004).

De acordo com Mather (1999), a classificação é o processo de extração de informação de imagens para identificar regiões que apresentam as mesmas características espectrais. O processo de classificação digital transforma os níveis de cinza, nas diferentes bandas espectrais, em um pequeno número de classes em uma única imagem. O resultado final da classificação é uma imagem temática, onde os pixels classificados são representados por cores associadas a uma classe.

Conforme o processo de classificação empregado, os classificadores podem ser divididos em classificadores "pixel a pixel" e classificadores por regiões.

Classificadores "pixel a pixel" utilizam apenas a informação espectral, isoladamente, de cada pixel para achar regiões homogêneas. Estes classificadores podem ser ainda separados em métodos estatísticos (que utilizam regras da teoria de probabilidade) e determinísticos (que não o fazem), (ANDERSON, 2004).

Classificadores por regiões utilizam, além de informação espectral de cada "pixel", a informação espacial que envolve a relação entre os "pixels" e seus vizinhos, reconhecendo áreas homogêneas de imagens, baseados nas propriedades espectrais e espaciais de imagens. A informação de borda é utilizada inicialmente para separar as regiões e as propriedades espaciais e espectrais que irão unir áreas com mesma textura.

Dentre os classificadores pixel a pixel, estão os métodos MaxVer e Distância Mínima (distância Euclidiana). Neste tipo de classificação, o intérprete atua identificando algumas áreas da imagem como representativas de cada classe, gerando as áreas de treinamento. Cada classe tem o seu conjunto de treinamento, e é a partir destes conjuntos que o classificador decidirá a qual classe pertence cada pixel da imagem, comparando os níveis de cinza de cada pixel com os níveis de cinza médio dos conjuntos de treinamento (CRÓSTA, 2002).

O método da Máxima Verossimilhança (MaxVer) considera a ponderação das distâncias médias dos níveis digitais das classes utilizando parâmetros estatísticos. Para que esta classificação seja acurada é necessário que o número de pixels do conjunto de treinamento seja elevado, preferencialmente acima de uma centena (CRÓSTA, 2002).

Para o presente trabalho usou-se o classificador por Distância Euclidiana. Segundo Richards (2006), quando o número de amostras de treinamento por classe é limitada, pode ser mais eficaz recorrer a um classificador que não faz uso de informações de covariância, dependendo apenas da média espectral das classes.

O método de classificação por Distância Euclidiana é um procedimento de classificação supervisionada, que utiliza esta distância para associar um "pixel" a uma determinada classe. No treinamento supervisionado, definem-se os agrupamentos que representam as classes. Na classificação, cada "pixel" será incorporado a um agrupamento, através da análise da medida de similaridade de Distância Euclidiana.

De acordo com Brower e Zar (1977), quanto menor o valor da Distância Euclidiana entre duas comunidades, mais próximas elas se apresentam em termos de parâmetros quantitativos por classe, logo, quanto menor a Distância Euclidiana, maior a eficiência do procedimento.

2.6.1. Avaliação da Classificação

A credibilidade de um mapa está vinculada à sua exatidão, que indica a proximidade de uma medida ao seu valor real. Para a análise da exatidão dos dados gerados em um mapeamento temático, algumas medidas e coeficientes podem ser extraídos a partir de matrizes de confusão com os quais é possível verificar os erros provenientes do processo de classificação, como a exatidão global, os erros de omissão, os erros de inclusão e o índice *Kappa* (FIGUEIREDO e VIEIRA, 2007).

Segundo Congalton (1991), uma Matriz de Confusão é uma tabela de linhas e colunas, que expressam o número de células classificadas segundo um tipo de cobertura particular relacionada com a cobertura verdadeira. Nessa tabela, as colunas representam o dado de referência, enquanto que as linhas representam a cobertura obtida pela classificação. As classificações corretas são indicadas na diagonal principal da matriz, sendo que os elementos fora desta diagonal indicam erros de classificação, que é uma combinação de erros de inclusão e exclusão.

O coeficiente *Kappa* é uma medida de quanto a classificação está de acordo com os dados de referência, pois compara o mapa temático produzido com um mapa temático resultante de uma classificação completamente aleatória (CONGALTON, 1991). Figueiredo e Vieira (2007) afirmam que embora a exatidão global geralmente apresente um valor mais alto, o coeficiente *Kappa* é mais consistente por envolver todas as células da Matriz de Confusão, ao contrário do primeiro avaliador que considera apenas os valores da diagonal da matriz. O coeficiente *Kappa* situa-se tipicamente entre 0 e 1, onde 1 indica o completo acordo, e quando multiplicado por 100, dá a porcentagem da medida de exatidão da classificação.

Landis e Koch (1977) sugeriram uma conceituação para o resultado da classificação em função do valor de *Kappa* obtido (Tabela 3).

Tabela 3: Conceitos das classificações baseados no coeficiente *Kappa*.

<i>Kappa</i>	Conceito
$K < 0$	Péssimo
$0 < K < 0,2$	Ruim
$0,2 < K < 0,4$	Razoável
$0,4 < K < 0,6$	Bom
$0,6 < K < 0,8$	Muito Bom
$0,8 < K < 1$	Exelente

Fonte: Landis e Koch (1977).

3. METODOLOGIA

As etapas seguidas para a realização deste trabalho podem ser visualizadas no fluxograma apresentado na Figura 16, e serão abordadas em maior detalhamento nas seções seguintes

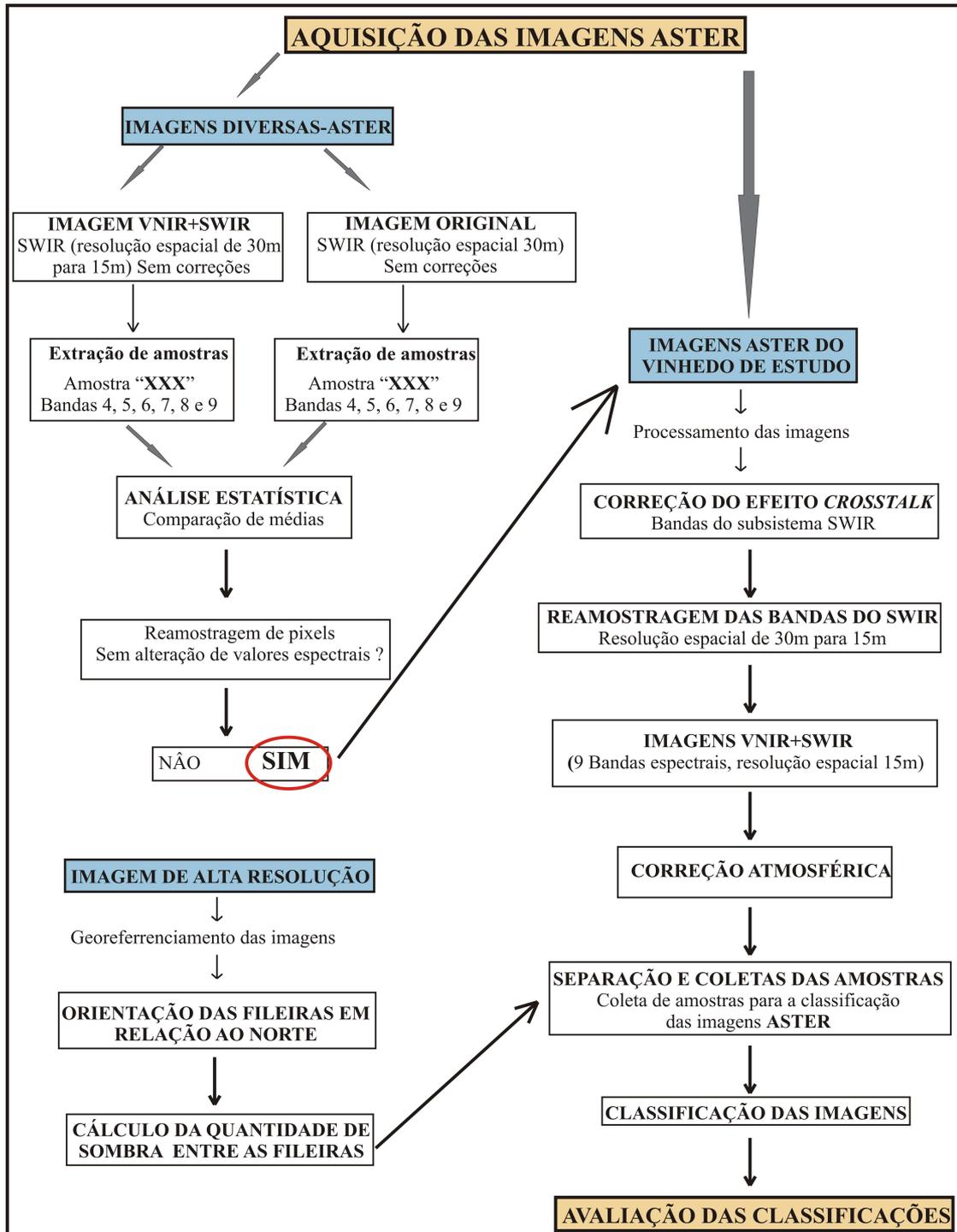


Figura 16: Fluxograma ilustrativo das etapas de pesquisa

3.1 Características da área de estudo

A área de estudo compreende vinhedos na propriedade da vinícola Veramonte, localizada no Valle de Casablanca, na região de Valparaíso, Chile, com coordenadas 33°22'14" latitude Sul e 71°17'33" de longitude Oeste (Figura 17). Esta propriedade foi uma das vinícolas visitadas em expedição a campo efetuada pelo orientador deste trabalho, em julho de 2009, ocasião em que diversos mapas de vinhedos foram gentilmente cedidos pelos respectivos administradores. Para a escolha da área de estudo levou-se em consideração a possibilidade de, dentro de uma mesma propriedade, onde fatores como solo, clima e manejo são pouco variáveis, poder avaliar o comportamento de uma mesma variedade disposta em parcelas que apresentam diferentes orientações de suas fileiras em relação ao norte. Tendo conhecimento da potencialidade da propriedade Veramonte e a distribuição espacial das parcelas, a escolha foi considerada adequada.

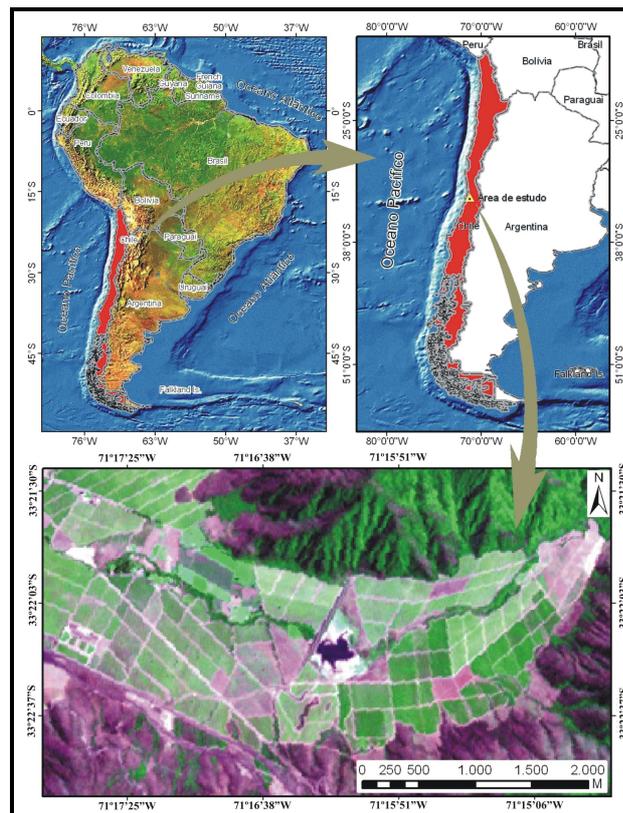


Figura 17: Mapa de localização da área de estudo

Nestas latitudes subtropicais atua preponderantemente o Anticiclone Semi-fixo do Pacífico Sul, associado à presença tanto da Célula de Hadley como das águas frias subantárticas da Corrente de Humboldt. Nas águas do mar registra-se uma temperatura média de 14° C, oscilando entre 11° C no inverno e 17° C no verão. Conseqüentemente, existe uma

importante advecção do ar marinho até o interior do sistema de terraços, quando este está mais frio, gerando-se um sistema regular de brisas do mar ao continente que se deslocam através dos canais fluviais e ladeiras dos morros e que se aceleram quando alcançam as áreas planas. Durante os invernos o mar tende a ser um pouco mais quente que o continente e por isso se deslocam brisas do continente ao mar.

As chuvas são causadas exclusivamente pela passagem da Frente Polar, que se desloca de latitudes temperadas austrais e que nunca ultrapassa os 30° S. Sob um clima mediterrâneo temperado seco, registra-se precipitação média anual de 450 mm, em um número de dias que não supera cerca de 30 por ano.

Devido aos baixos índices pluviométricos na maioria das regiões vinícolas chilenas, a irrigação é permitida, sendo realizada com água dos rios e canais provenientes do degelo dos Andes na primavera e no verão (AMARANTE, 2005)

Nas partes mais elevadas, os solos derivam diretamente do intemperismo físico e químico das rochas graníticas presentes na área, originando solos com escassa matéria orgânica e propensos à erosão (PORTAL e CALDERÓN, 1995), enquanto que os solos na região dos vales apresentam textura franco-argilosa. Estas características do solo permitem a obtenção de vinhos mais concentrados e estruturados.

3.2 Processamento das imagens

Para o trabalho em questão foram coletadas, junto ao serviço WIST (Warehouse Inventory Search Tool) mantido pela agência espacial norte-americana NASA (National Aeronautical and Space Administration), com endereço na Web <http://wist.echo.nasa.gov>, imagens ASTER, nível 1B, formato no qual as imagens já são corrigidas geométrica e radiometricamente. As imagens são disponibilizadas no sistema de referencia WGS84. Para trabalhar com imagens (nível 1B) deve-se convertê-las para radiância espectral (em $W.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$) através dos coeficientes de conversão de unidade – UCC (*Unit Conversion Coefficient*).

Usando o programa *ENVI 4.5*, não é necessária a aplicação desta transformação radiométrica, pois as informações de calibração são extraídas automaticamente do cabeçalho dos arquivos "*hdf*" das imagens ASTER. Para os dados ASTER nível 1A, uma calibração completa para radiância é executada. Para os dados ASTER no nível 1B, caso dos dados utilizados neste trabalho, o programa converte os dados escalonados em unidades de radiância espectral no formato numérico de ponto flutuante.

3.3 Compatibilização das resoluções espaciais das bandas VNIR e SWIR

Com a finalidade de trabalhar com um número maior de bandas, aumentando assim a quantidade de informações extraída da imagem, uniu-se em um mesmo arquivo as 3 bandas do subsistema VNIR e as 6 bandas do subsistema SWIR.

Para este fim, as bandas que compõem o subsistema SWIR, apresentam como característica pixels com resolução espacial de 30 metros, ou seja, o valor de refletância registrado em um pixel é referente a resposta espectral de uma área que representa 900m² no terreno. Estes pixels foram reamostrados, sendo que para cada pixel de 30 metros gerou-se 4 pixels de 15 metros, onde cada um representa 225m² do pixel original. Ressalta-se que a técnica de interpolação pelo Vizinho mais Próximo, utilizada na reamostragem, não alterou os valores da imagem, apenas quadruplicou o número de pixels.

O vizinho mais próximo é o mais simples dos interpoladores, pois apenas usa o valor do ponto mais próximo do nó da grade para estimar o valor interpolado. Os valores observados não são alterados, havendo apenas uma redistribuição dos mesmos.

Realizada a reamostragem das 6 bandas do subsistema SWIR, as mesmas foram unidas em um mesmo arquivo com as 3 bandas do subsistema VNIR, originando assim um arquivo com 9 bandas. Para esta análise não realizou-se correções na imagem.

3.4 Análise estatística dos pixels reamostrados

Procedimentos de reamostragem têm sido objeto de freqüentes discussões, havendo argumentos de que, ao serem feitos no sentido da menor para a maior resolução, está-se criando informação.

Trabalhos realizados com as imagens do sensor ASTER são comumente encontrados na literatura. O trabalho realizado por Teixeira (2005) teve como objetivo melhorar o resultado do modelo de mistura espectral aplicado em imagens ASTER (média resolução espacial), a partir da utilização de dados da imagem IKONOS (alta resolução espacial). Parte do trabalho consistiu em reamostrar as bandas do sensor ASTER. As 6 bandas do SWIR com resolução espacial de 30 metros foram reamostradas pelo método do Vizinho mais Próximo para 15 metros, compatíveis com o subsistema VNIR, criando um arquivo com 9 bandas.

Estes resultados acima reportados podem ser muito relevantes para o presente trabalho, para verificar sua aplicabilidade, foram realizadas análises de diferentes alvos, e para isto, utilizaram-se quatro imagens ASTER, e um total de 16 amostras. As análises estatísticas

foram realizadas com o objetivo de confirmar se a reamostragem de uma imagem digital pelo método de interpolação pelo Vizinheiro mais Próximo, no caso em particular, imagens de satélite do sensor ASTER/TERRA, altera o valor dos pixels e consequentemente cria informações.

Para verificar se, ao reamostrar as bandas do subsistema SWIR, não se está criando informação, fez-se necessário um estudo estatístico, no qual se compararam os pixels de um mesmo alvo em duas situações: uma amostra com pixels extraído da imagem original (pixel 30 metros) e outra com pixels já reamostrados (pixel de 15 metros), (Figura 18).

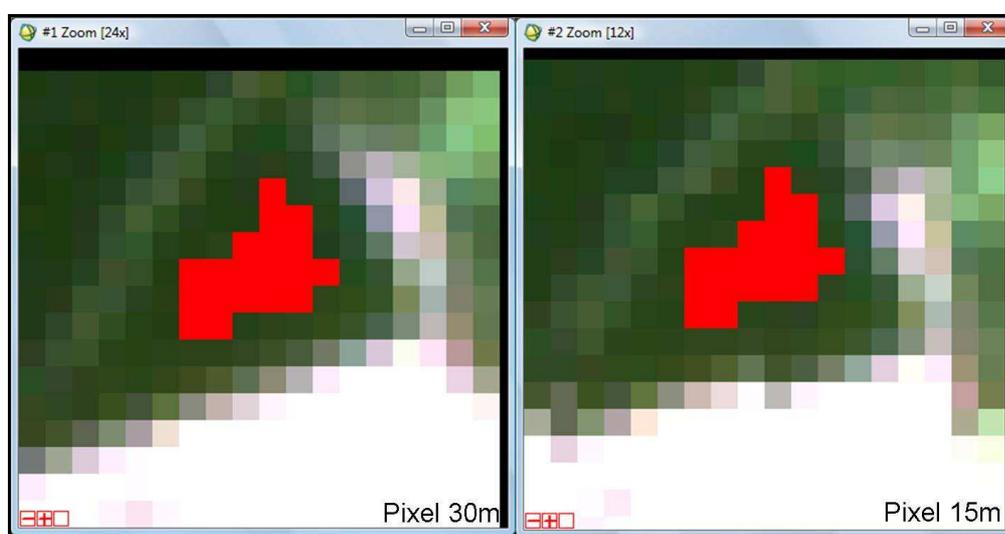


Figura 18: Exemplo de amostra de pixel coletadas.

Com o objetivo de não alterar os valores de radiância dos pixels, mas de apenas quadruplicar o tamanho da imagem, ou seja, cada pixel de 30 metros gera 4 pixels de 15 metros, usou-se o método de interpolação por Vizinheiro mais Próximo. Para esta parte do estudo foram utilizadas quatro imagens ASTER de diferentes regiões e um total de 16 alvos distintos, como mostra a Tabela 4. Para uma maior cobertura e diversidade de classes, foram utilizadas imagens de outras regiões, situadas no Brasil, além da região de estudo no Chile. Foram escolhidas imagens das regiões do Estado do Rio Grande do Sul, a saber, de Horizontina e Encruzilhada do Sul. Também foi utilizada uma imagem de outra região do Chile, situada no Valle de Colchagua, onde está situada a Vinícola Montes, Figura 19.

Com respeito às imagens ASTER, cabe informar que sua identificação não segue exatamente a sistemática de “órbita/ponto” (path/row), que é, por exemplo, o padrão seguido para as imagens Landsat, referenciadas a partir do WRS (World Reference System). As imagens ASTER são, geralmente, identificadas pelas coordenadas de centro de imagem.

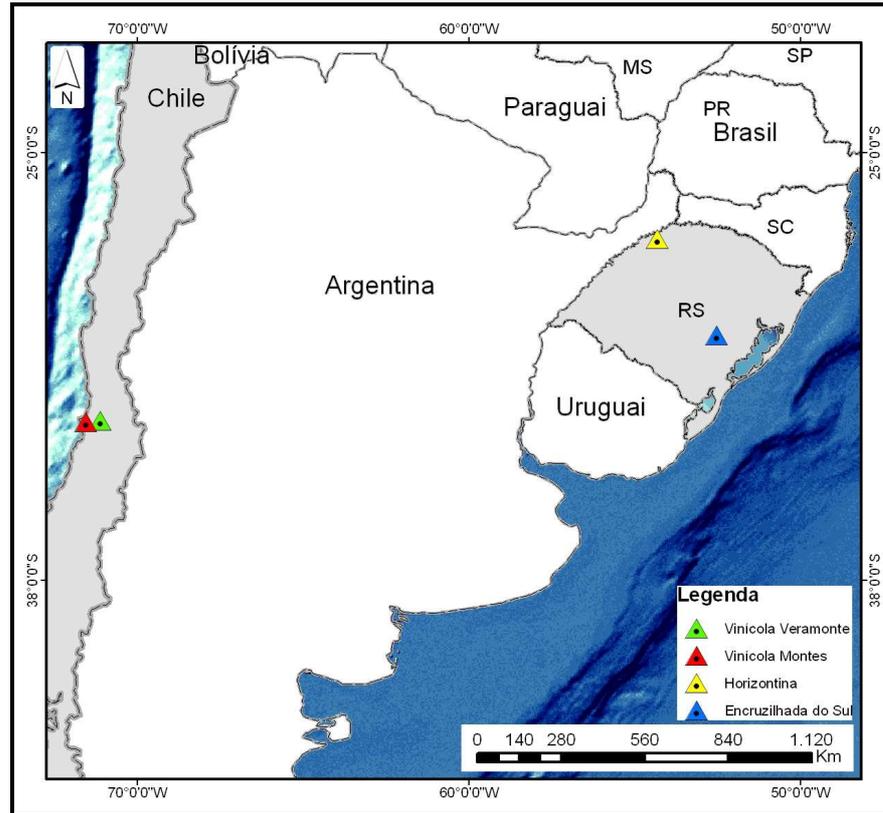


Figura 19: Localização espacial das imagens estudadas.

Para esta análise as imagens utilizadas não foram submetidas a nenhum tipo de processamento referente a correção atmosférica e efeito de *cross-talk*. Os alvos de interesse foram obtidos através da digitalização de polígonos sobre as imagens ASTER. Os polígonos (ROI's) foram gerados primeiramente na imagem original e salvos no formato ".shp". Dessa forma os polígonos gerados na imagem original podem ser sobrepostos sobre a imagem reamostrada, facilitando a identificação dos pixels de interesse.

Tabela 4: Imagens utilizadas e o respectivo número de pixels de cada amostra analisada

IMAGEM	ALVO	Nº PIXEL (30m)	Nº PIXEL (15m)
Município de Encruzilhada do Sul-RS 06/03/2004	Água	17 pixels	68 pixels
	Solo	18 pixels	72 pixels
	Floresta	20 pixels	80 pixels
	Área Urbana	25 pixels	100 pixels
	Vinhedo	16 pixels	64 pixel
Município de Horizontina-RS 12/03/2001	Bordas	19 pixels	76 pixels
	Lavoura	9 pixels	36 pixels
	Pixel único	5 pixels	20 pixels
Vinícola Montes-Chile 31/01/2005	Bordas	37 pixels	148 pixels
	Solo	15 pixels	60 pixels
	Vinhedo	15 pixels	60 pixels
	Área Urbana	17 pixels	68 pixels
Vinícola Veramonte-Chile 31/01/2005	Vinhedo	16 pixels	64 pixels
	Vegetação	19 pixels	76 pixels
	Vinhedo 2	11 pixels	44 pixels
	Vinhedo 3	19 pixels	76 pixels

Definidas as regiões de interesse, foi possível gerar as estatísticas de cada banda, para cada um dos alvos analisados. Estas estatísticas foram exportadas em ".txt", e editadas no software Excel, onde foi possível visualizar detalhadamente o valor de radiância em cada um dos pixels pertencentes à amostra. No Excel os dados foram organizados de forma compatível a estrutura do aplicativo de análise estatística, SPSS.

No “software” SPSS foram feitas as análises estatísticas, utilizando-se para tal a comparação de médias entre dois grupos, a média dos pixels do "alvo" representado na imagem original (pixel de 30 metros) e da imagem reamostrada (pixel de 15 metros). A análise dos dados foi realizada usando o *teste t de Student*, com nível de significância de 5%. Para representar o resultado graficamente os dados de média e desvio padrão foram trabalhados no “software” SigmaPlot.

3.5 Correção atmosférica

Antes de transformar as imagens ASTER para reflectância, as mesmas foram corrigidas para o efeito de *crosstalk*, que atua nas bandas do SWIR e é causado pela dispersão da radiação eletromagnética incidente sobre os detectores da banda 4 do sensor (ERSDAC, 2003). Depois de corrigidas, é adicionado um sufixo “_chg” às imagens de saída.

A transformação das imagens de radiância para reflectância de superfície foi efetuada empregando-se um modelo de correção dos efeitos da atmosfera. Segundo Slater (1980) a reflectância de superfície é estimada eliminando-se a contribuição da atmosfera em cada pixel através da modelagem da interação da radiação eletromagnética com os gases atmosféricos radiativamente ativos. Para tanto, utilizou-se o modelo de transferência radiativa *Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes* (FLAASH), baseado em códigos do MODTRAN 4.0 (ACHARYA et al., 1999).

Antes de aplicar o modelo de correção do FLAASH, os dados precisam ser convertidos para o modelo *Band Interleaved by Line* (BIL). O módulo FLAASH exige que o arquivo de entrada esteja no formato numérico de ponto flutuante e que a calibração em radiância apresente-se na unidade $\mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\text{nm}^{-1}$. Portanto, é necessária a aplicação de um fator de escala 10 para o ajuste da unidade em radiância do arquivo de entrada da imagem ASTER no momento do processamento pelo módulo FLAASH.

Os dados de entrada são relativos às características da imagem e do sensor, como a data e hora de aquisição, a altitude do sensor, a altitude média da cena, coordenadas geográficas do centro da cena e tamanho do pixel. Deve-se ainda selecionar os respectivos

modelos atmosféricos e de aerossóis mais adequados à área de interesse, e atribuir o valor multiplicador da coluna de água e a visibilidade (Figura 20).

Figura 20: Parâmetros de entrada do módulo Flaash.

3.6 Orientação das Vertentes

Para obter os ângulos de incidência do Sol nas parcelas do vinhedo, utilizou-se uma imagem de alta resolução da região de estudo. A imagem utilizada para este fim foi do Google Earth/GeoEye no formato ".jpeg". A imagem foi georeferenciada utilizando o sistema de referencia no datum WGS84. Para saber a posição do Sol na hora da passagem do satélite foram utilizadas as informações contidas nos Metadados das imagens ASTER, de onde foram extraídos o ângulo azimutal do sol e a elevação solar de cada uma das três imagens da região de estudo. Com essas informações foi possível estimar a posição do Sol em relação ao Norte, traçar as interseções entre as linhas formadas pelas fileiras e pela direção dos raios solares, e calcular o ângulo entre o Sol e a direção das fileiras. Este procedimento foi feito no "software" ArcGis 9.3 (Figura 21).

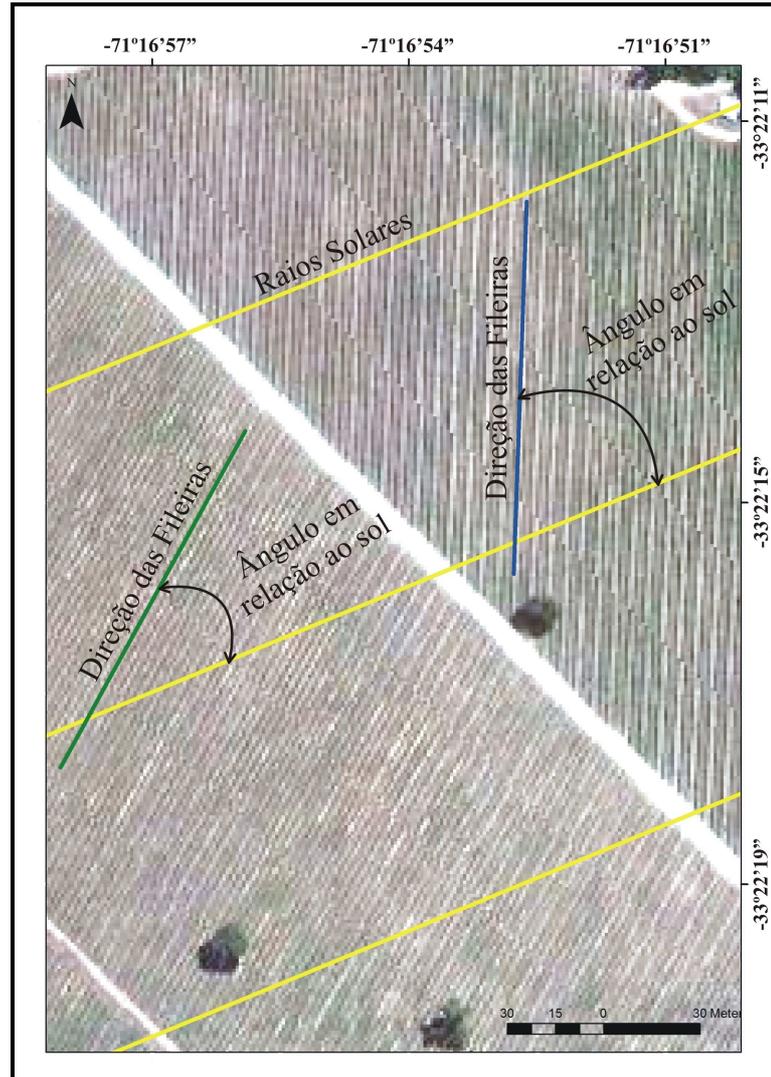


Figura 21: Espacialização da orientação das parcelas.

Este procedimento foi feito para as imagens nas diferentes datas, pois a posição do Sol varia de acordo com a época do ano e a hora do dia, alterando assim o ângulo de incidência do Sol em uma mesma parcela no decorrer do ano. Calculado todos os ângulos, foi possível separar as variedades, e para cada variedade, separar as parcelas de acordo com o ângulo de incidência solar.

3.7 Cálculo da quantidade de Sombra

Dado um parreiral plantado em espaldeira, pode-se considerar que cada fileira tem a altura h , e que há sombra projetada sobre o solo, devida à interceptação da luz solar pelas fileiras de vinhas. O Sol está situado a uma distância z do zênite, ou seja, se o Sol está no zênite, o ângulo z é nulo; com o Sol no horizonte, $z = 90^\circ$. Pode-se considerar que z é o ângulo de iluminação vertical (figura 22).

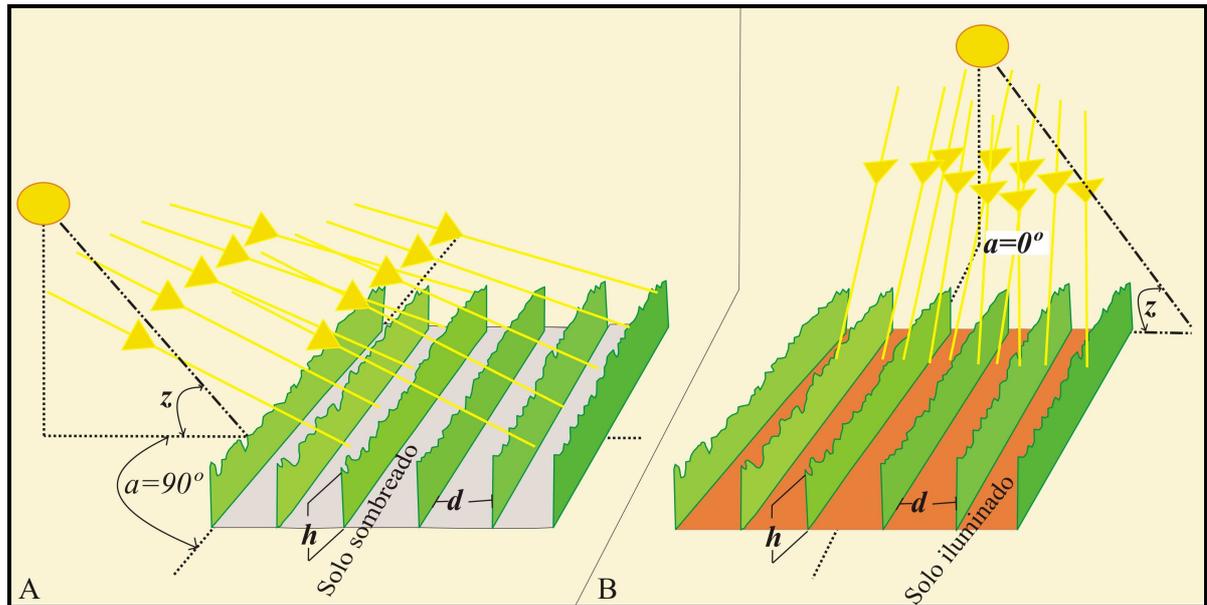


Figura 22: Ilustração das diferentes condições de iluminação em relação aos ângulos Azimutal e Zenital. A) solo sombreado, B) solo iluminado.

Dada a altura h das fileiras, o comprimento s da sombra é

$$S = (h) * (\text{tg } z)$$

No entanto, as fileiras podem ter qualquer orientação, e se houver uma orientação diretamente apontada para o Sol, a sombra estará projetada sobre as fileiras, e não sobre o espaço entre as fileiras; se, ao contrário, as fileiras estiverem com uma orientação perpendicular ao sentido de chegada dos raios solares, a sombra estará integralmente projetada sobre o espaço entre as fileiras. Ou seja, dependendo do valor de um ângulo de iluminação lateral, entre 0° e 90° , o comprimento da sombra irá variar. Chamando-se este ângulo de “ a ”, tem-se que o comprimento da sombra é máximo para $a = 90^\circ$, e mínimo (ou seja, a sombra de cada fileira está projetada sobre a própria fileira) para $a = 0^\circ$. Tal oscilação do comprimento da sombra é adequadamente descrita pela função seno, sendo o ângulo, neste caso, o ângulo entre a direção de chegada dos raios solares, e a direção de orientação das fileiras.

Tomando-se também em consideração a , o ângulo de iluminação lateral, o comprimento s da sombra será

$$S = (h) * (\text{tg } z) * |\text{sen } a|$$

Ainda há que considerar que o ângulo lateral a pode variar entre 0° e 360° , o que pode gerar valores negativos para a sombra. Tal inconveniência é resolvida considerando-se o

módulo de $\sin a$. Na linguagem de programação Fortran utilizada para o cálculo da porcentagem, foi usado o valor da raiz quadrada (função sqrt) ao invés do módulo somente por uma questão de praticidade, pois os mesmos se equivalem, ou seja:

$$S=(h)*(\operatorname{tg} z)*(\sqrt{(\sin a)^2})$$

Considerando-se o espaço entre fileiras, estas são separadas por uma distância d . Esta distância d é o espaço livre de solo, sem cobertura, entre as fileiras; a espessura da fileira, que é a espessura do dossel de folhas, não é considerada. A proporção p (em porcentagem) deste espaço que é coberto por sombra será:

$$P = \frac{S}{d} \cdot 100$$

Para os casos em que o ângulo vertical z for grande, S poderá ser maior que d , implicando em $p > 1$, o que significa que uma fileira projeta sombra sobre a fileira seguinte, estando sombreado todo o espaço entre fileiras. Nestes casos, considera-se $P = 1$ ou 100%.

O ângulo a de iluminação lateral é calculado para cada parcela de vinhas, a partir da observação da parcela em uma imagem de alta resolução, como por exemplo, no serviço Google Earth; o ângulo a será a diferença entre a direção de orientação das fileiras da parcela, medido a partir do Norte, em direção ao Leste, e o azimute solar, informado no cabeçalho do arquivo da imagem ASTER. O ângulo z , de iluminação vertical, é a distância zenital, também informada na imagem ASTER.

A linguagem de programação Fortran desenvolvida para o cálculo esta demonstrada no Anexo 1

3.8 Porcentagem de sombra entre as fileiras

Conhecida a orientação das parcelas do vinhedo, e com apoio dos mapas disponíveis (mapa da propriedade com a localização de cada variedade, imagem do Google Earth e imagem ASTER; Figura 23), foi possível separar amostras das diferentes orientações de fileiras que ocorrem dentro de cada variedade. As amostras foram coletadas na forma de ROIs (“regions of interest”) e, posteriormente, exportadas para o “software” Excel onde foram organizadas de acordo com o ângulo de orientação e a variedade das cepas. Pixels de borda foram desconsiderados. As cepas estudadas foram Chardonnay, Merlot e Sauvignon Blanc, por estarem bem representadas na propriedade Veramonte.

Os dados obtidos foram primeiramente submetidos ao teste de *Levene* a fim de verificar a homogeneidade de variâncias. A comparação estatística entre as orientações de

cada variedade foi realizada por análise de variância (ANOVA) de um fator, seguido do *teste de Tukey* empregando o programa SPSS, com nível mínimo de significância de 95% ($p < 0,05$).

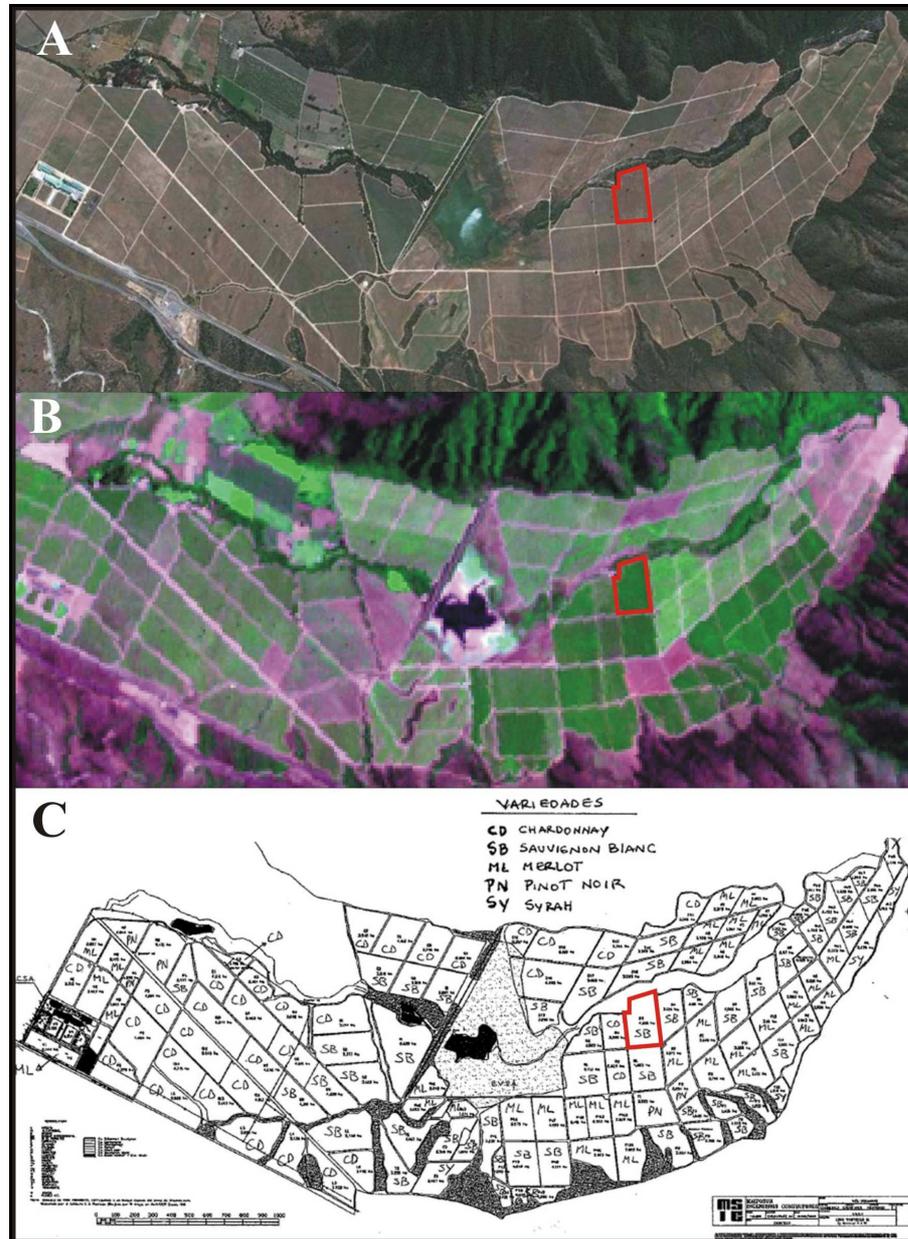


Figura 23: Identificação das diferentes parcelas. (a) imagem do Google Earth. (b) Imagem ASTER RGB231. (c) Mapa da distribuição das parcelas de vinhas.

De acordo com Hair et al. (2005), o *teste t* é utilizado para analisar a significância estatística da diferença entre duas médias amostrais para uma única variável dependente. Verificando que havia diferença significativa entre as médias dos grupos, utilizou-se o teste *Post Hoc* de *Tukey* ao nível de significância de 5% para identificar quais grupos diferenciavam-se. A análise de variância é um método estatístico utilizado para testar hipóteses de que três ou mais populações tenham médias diferentes. Sua estrutura gráfica

apresenta-se do tipo uni-caudal, portanto não há uma simetria com relação ao nível de significância (MAGALHÃES, 2005). Os dados foram expressos como “média \pm desvio padrão”.

Os gráficos de representação dos resultados foram elaborados empregando o programa Sigma Plot.

3.9 Classificação das imagens

A classificação foi feita para imagens do mesmo vinhedo em três diferentes datas (Tabela 5), sendo assim, as orientações dos vinhedos em relação a posição do sol na hora da obtenção da imagem varia e conseqüentemente altera a quantidade de sombra entre as fileiras do vinhedo. A escolha das imagens teve como objetivo analisar o comportamento espectral das variedades levando-se em consideração anos diferentes e épocas fenológicas semelhantes.

Para a classificação das imagens levou-se em consideração cada variedade vinífera e suas diferentes porcentagens de sombra.

A delimitação das parcelas de interesse foi feita com base no mapa fornecido pelo proprietário do vinhedo. Sabendo-se a localização das parcelas, foi feita uma máscara para cada variedade, Como as imagens estão georreferenciadas, foi necessário fazer apenas uma máscara para cada variedade e orientação, e com base na máscara, extrair as áreas de interesse. Isto possibilitou classificar sempre a mesma área.

A classificação foi realizada utilizando-se o algoritmo Distância Euclidiana. Este algoritmo realiza a classificação de forma supervisionada, necessitando um conhecimento *a priori* do número de classes e a discriminação das diferentes classes contidas em uma cena. Portanto, para prover amostras de treinamento ao classificador, foram utilizadas as informações das diferentes orientações e respectivas porcentagens de sombra de cada parcela.

Gerados os mapas temáticos foram calculadas as estatísticas para avaliar a qualidade da classificação; esta avaliação foi feita com base na Matriz de Confusão e o Índice Kappa. A classificação das imagens e os resultados estatísticos foram processados no “software” ENVI 4.5.

Tabela 5: Variedades classificadas.

Imagem	Variedade	Orientação	% Sombra
24/02/2002	Chardonnay	26°	50,37%
		46°	82,66%
		61°	100%
	Merlot	06°	12,01%
		27°	52,17%
		77°	100%
	Sauvignon Blanc	25°	48,56%
		61°	100%
		81°	100%
24/02/2004	Chardonnay	31°	67,78%
		40°	80,86%
		67°	100%
	Merlot	12°	26,15%
		33°	68,50%
		83°	100%
	Sauvignon Blanc	31°	64,78%
		67°	100%
	31/01/2005	Chardonnay	34°
38°			84,88%
73°			100%
Merlot		18°	42,60%
		39°	86,77%
		89°	100%
Sauvignon Blanc		37°	82,97%
		73°	100%

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Num primeiro momento será discutido e analisado os resultados obtidos na comparação na similaridade entre pixels reamostrados e pixels originais, nas sessões seguintes será analisada a qualidade da classificação das variedades de videiras, comparou-se as diferentes variedades sob as mesmas condições de iluminação e posteriormente as mesma variedade dispostas no terreno com diferentes condições de iluminação.

4.1 Análise da reamostragem da imagem ASTER

Na comparação dos resultados trabalhou-se com quatro imagens de áreas distintas, as regiões estudadas compreendem o Município de Encruzilhada do Sul no sudeste do Rio Grande do Sul, o município de Horizontina no noroeste do Rio grande do sul e áreas da Vinícola Montes e Vinícola Veramonte, ambas da região central do Chile.

A Tabela 6 mostra os resultados obtidos com a análise dos dados coletados na imagem que compreende o município de Horizontina-RS. Nesta cena foram analisados os alvos "bordas" e "lavoura", com o objetivo de observar o comportamento dos pixels que estão localizados em áreas de transição quando submetidos ao método de interpolação; o alvo "bordas" corresponde a uma região de transição entre solo exposto e vegetação.

Observando os valores de significância (Sig) obtidos para a amostra "borda" percebe-se que a igualdade entre a amostra de 15 metros e de 30 metros é alta, maior que os valores de significância encontrados para o alvo "lavoura", contrariando os resultados esperados.

A priori esperavam-se valores de significância maiores para o alvo "lavoura", pois se trata de um alvo que apresenta pixel com pouca variação nos valores de radiância, caracterizado por apresentar uma superfície mais homogênea e pouca variação espectral. A Figura 24 mostra a comparação banda a banda para os alvos "bordas" e "lavoura".

Cabe aqui ressaltar que os valores inseridos nos gráficos foram dispostos de forma que fosse possível comparar a igualdade das amostras banda a banda. A análise de similaridade entre as amostras foi realizada comparando-se os pixels referentes ao mesmo alvo, na imagem original (pixel de 30 metros) em relação aos pixels da imagem reamostrada (pixel de 15 metros), sendo que em nenhum momento foi feita a comparação de similaridade/igualdade entre valores de pixels que representassem alvos distintos.

Tabela 6: Análise estatística comparando banda a banda o mesmo alvo na imagem original e na imagem reamostrada.

IMAGEM	ALVOS	BANDA	PIXEL	MÉDIA	Des Pad	Sig		
Município de Horizontina-RS 12/03/2001	Bordas (Solo/vegetação)	banda 4	30m	13,2684	0,8251	0,8459		
			15m	13,3081	0,7882			
		banda 5	30m	2,9552	0,2508	0,9952		
			15m	2,9556	0,2590			
		banda 6	30m	2,8279	0,2556	0,8936		
			15m	2,8370	0,2664			
		Banda 7	30m	2,5252	0,2624	0,8727		
			15m	2,5141	0,2702			
		banda 8	30m	1,5539	0,2439	0,9384		
			15m	1,5489	0,2495			
		banda 9	30m	1,0369	0,1488	0,9324		
			15m	1,0337	0,1497			
		Município de Horizontina_RS 12/03/2001	Lavoura	banda 4	30m	15,4837	0,0959	0,2066
					15m	15,4347	0,1039	
banda 5	30m			2,6371	0,0232	0,2488		
	15m			2,6747	0,0950			
banda 6	30m			2,5069	0,0659	0,6493		
	15m			2,5208	0,0845			
Banda 7	30m			2,1227	0,0315	0,4596		
	15m			2,1426	0,0779			
banda 8	30m			1,1908	0,0220	0,3932		
	15m			1,2093	0,0630			
banda 9	30m			0,7985	0,0191	0,5652		
	15m			0,8053	0,0341			

Na Tabela 6 pode ser observado que os alvos "bordas", em ambas as resoluções espaciais, apresentaram altos desvios padrões, sendo mais pronunciados na banda 4. Estes resultados são atribuídos à baixa homogeneidade dos pixels pertencentes à amostra. Para o alvo "borda" foram coletados 19 pixels de 30 m, e conseqüentemente, 76 pixels de 15 m; os valores de radiância foram bem variáveis. Esse fato aconteceu nesse alvo justamente por esses pixels serem de transição e apresentarem distinção nos valores digitais.

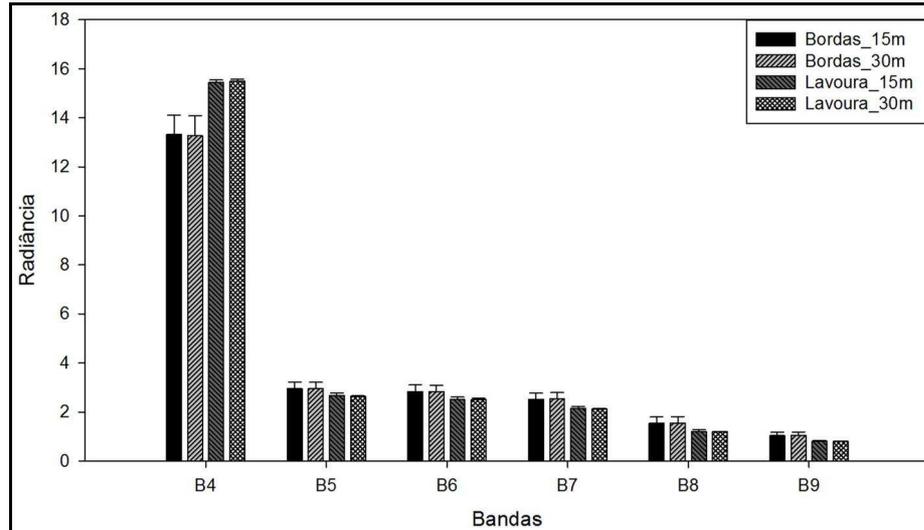


Figura 24: Comparação entre amostras da imagem original (pixel 30m) e da imagem reamostrada (pixel 15m) para os alvos Bordas (solo/vegetação) e Lavoura. Os dados estão expressos como média \pm desvio padrão. Para comparação entre as médias foi utilizado o teste estatístico t de Student ($p > 0,05$).

Já para as demais bandas esta variação não foi tão pronunciada. É possível perceber que em todas as bandas do SWIR não houve diferença significativa entre os pixels originais e reamostrados. Esta igualdade nos valores das médias das amostras é observada também para o alvo "lavoura", nas 6 bandas do subsistema SWIR.

Na imagem ASTER referente a região de Encruzilhada do Sul-RS foram analisados 5 alvos. A Tabela 7 refere-se aos alvos "Urbano" e "Vinhedo Lídio".

Os alvos estudados nessa imagem também não apresentaram diferença estatística entre as médias da imagem original e da imagem reamostrada. O alvo "Urbano" representando as áreas urbanas, com a resposta espectral dos pixels constituindo-se em uma mistura de vários alvos, apresentou valores de similaridade não tão altos quando comparado com os demais alvos estudados

Tabela 7: Análise estatística comparando banda a banda o mesmo alvo na imagem original e na imagem reamostrada. Imagem referente ao Município de Encruzilhada do Sul-RS.

IMAGEM	ALVOS	BANDA	PIXEL	MÉDIA	DES PAD	Sig		
Município de Encruzilhada do Sul-RS 06/03/2004	Urbano	banda 4	30m	15,1970	0,4981	0,7531		
			15m	15,1620	0,4959			
		banda 5	30m	3,8247	0,1811	0,4781		
			15m	3,7968	0,1734			
		banda 6	30m	3,7109	0,1986	0,2772		
			15m	3,6635	0,1936			
		Banda 7	30m	3,2989	0,1553	0,2805		
			15m	3,2607	0,1577			
		banda 8	30m	2,1422	0,1434	0,4181		
			15m	2,1172	0,1362			
		banda 9	30m	1,2243	0,0617	0,4447		
			15m	1,2141	0,0586			
		Município de Encruzilhada do Sul-RS 06/03/2004	Vinhedo	banda 4	30m	13,3557	0,3636	0,8914
					15m	13,3413	0,3787	
banda 5	30m			2,7618	0,0750	0,8207		
	15m			2,7567	0,0818			
banda 6	30m			2,5586	0,0806	0,8697		
	15m			2,5547	0,0859			
Banda 7	30m			2,2126	0,0510	1,0000		
	15m			2,2126	0,0498			
banda 8	30m			1,3318	0,0322	0,7418		
	15m			1,3343	0,0257			
banda 9	30m			0,8625	0,0197	0,7350		
	15m			0,8605	0,0211			

. Observando-se a Figura 25, é possível identificar um alto desvio padrão na banda 4, nos dois alvos aqui apresentados. Também pode ser observado que na banda 7, para o alvo "Vinhedo Lídio", o valor de significância encontrado foi 1, ou seja, a média dos pixels de 15 metros e 30 metros são iguais e os desvios padrões bem próximos.

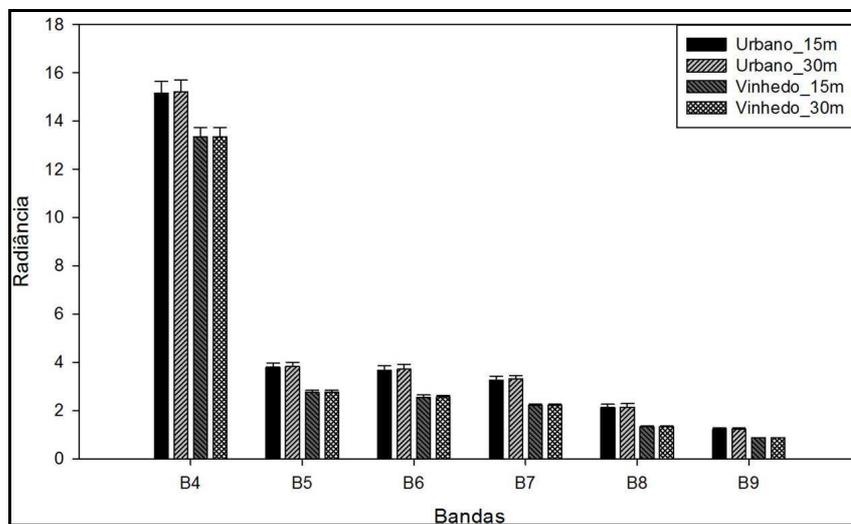


Figura 25: Comparação entre amostras da imagem original (pixel 30m) e da imagem reamostrada (pixel 15m) para os alvos Urbano e Vinhedo Lídio. Os dados estão expressos como média \pm desvio padrão. Para comparação entre as médias foi utilizado o teste estatístico *t* de Student ($p > 0,05$).

O comportamento dos demais alvos analisados na imagem correspondente o Município de Encruzilhada do Sul-RS são mostrados na Tabela 8.

Os valores de significância do alvo "Solo", como pode ser observado na Tabela 8, foram iguais a 1 em todas as 6 bandas do SWIR, apresentando mesmos valores de médias na imagem original e na imagem reamostrada.

Tabela 8: Análise estatística comparando banda a banda o mesmo alvo na imagem original e na imagem reamostrada.

IMAGEM	ALVOS	BANDA	PIXEL	MÉDIA	DES PAD	Sig		
Município de Encruzilhada do Sul-RS 06/03/2004	Água	banda 4	30m	4,7184	0,1275	0,2979		
			15m	4,8321	0,4415			
		banda 5	30m	1,4248	0,0358	0,4858		
			15m	1,4366	0,0674			
		banda 6	30m	1,0220	0,0378	0,3460		
			15m	1,0404	0,0777			
		Banda 7	30m	0,9023	0,0290	0,2330		
			15m	0,9200	0,0585			
		banda 8	30m	0,5617	0,0215	0,7224		
			15m	0,5641	0,0254			
		banda 9	30m	0,6491	0,0253	0,6084		
			15m	0,6528	0,0272			
		Município de Encruzilhada do Sul-RS 06/03/2004	Floresta	banda 4	30m	8,6946	0,2227	0,9976
					15m	8,6948	0,2290	
banda 5	30m			1,9591	0,0517	0,5803		
	15m			1,9522	0,0493			
banda 6	30m			1,5906	0,0474	0,4451		
	15m			1,6016	0,0591			
Banda 7	30m			1,3282	0,0428	0,2592		
	15m			1,3403	0,0424			
banda 8	30m			0,7922	0,0191	0,5945		
	15m			0,7954	0,0255			
banda 9	30m			0,6392	0,0098	0,4183		
	15m			0,6416	0,0122			
Município de Encruzilhada do Sul-RS 06/03/2004	Solo			banda 4	30m	15,6154	0,5985	1,0000
					15m	15,6154	0,5858	
		banda 5	30m	3,3911	0,0623	1,0000		
			15m	3,3911	0,0609			
		banda 6	30m	3,2566	0,0799	1,0000		
			15m	3,2566	0,0782			
		Banda 7	30m	3,0673	0,1390	1,0000		
			15m	3,0673	0,1360			
		banda 8	30m	1,9384	0,1079	1,0000		
			15m	1,9384	0,1056			
		banda 9	30m	1,1199	0,0482	1,0000		
			15m	1,1199	0,0472			

Observando a Figura 26, que representa a comparação das médias com seus respectivos desvios padrões para os alvos Água, Floresta e Solo, percebe-se que novamente a banda 4 foi a que apresentou maiores valores de desvio padrão para os três alvos. Pode-se verificar também que para as demais bandas a variabilidade dos dados foi baixa.

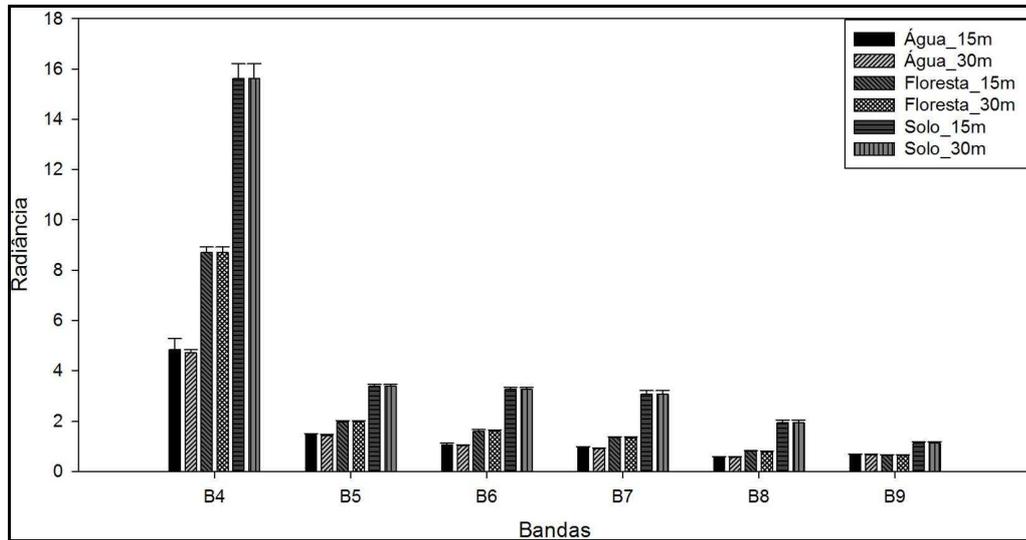


Figura 26: Comparação entre amostras da imagem original (pixel 30m) e da imagem reamostrada (pixel 15m) para os alvos Água, Floresta e Solo. Os dados estão expressos como média \pm desvio padrão. Para comparação entre as médias foi utilizado o teste estatístico *t* de Student ($p > 0,05$).

Na imagem correspondente à região chilena onde está situada a Vinícola Montes-Chile, foram estudados quatro alvos, que são mostrados na Tabela 9.

Prosseguindo na investigação sobre a reamostragem, ou seja, se o método de reamostragem pelo Vizinheiro mais Próximo não altera a média de um grupamento de pixels, foi realizada a análise de similaridade em outras imagens procurando coletar grupamentos de pixels que representassem os mesmos tipos de alvos da imagem já trabalhada, verificando o comportamento de uma determinada classe em diferentes imagens.

A interpolação pode ser feita com uma reamostragem do vizinho mais próximo, quando há a necessidade das vantagens da não alteração dos números digitais (ND) ou níveis de cinza (CRÓSTA, 1993).

Na imagem em questão todos os alvos analisados apresentaram valores que confirmam a igualdade de médias entre a imagem original e a imagem interpolada. Cabe aqui destacar que os valores de significância encontrados para o alvo "bordas" e "urbano" são maiores do que para o mesmo tipo de alvo analisado na imagem referente ao Município de Horizontina-RS. O contrário acontece para o alvo "solo" estudado na região de Encruzilhada do Sul-RS,

que apresentou valores de significância igual a um em todas as bandas, fato que não ocorreu na imagem da região chilena.

Com relação às análises feitas para os alvos referentes às parcelas de vinhedos, tanto na imagem de Encruzilhada do Sul-Rs quanto na imagem chilena os valores de significância foram parecidos.

Tabela 9: Análise estatística comparando banda a banda o mesmo alvo na imagem original e na imagem reamostrada.

IMAGEM	ALVOS	BANDA	PIXEL	MÉDIA	DES PAD	Sig		
Vinícola Montes 31/01/2005	Solo/veg (Borda)	banda 4	30m	20,7427	4,7043	0,9670		
			15m	20,7074	4,6266			
		banda 5	30m	4,4674	0,8439	0,9327		
			15m	4,4545	0,8261			
		banda 6	30m	4,5512	1,0612	0,9770		
			15m	4,5456	1,0419			
		Banda 7	30m	3,6537	0,7803	0,9641		
			15m	3,6473	0,7680			
		banda 8	30m	2,5255	0,6011	0,9830		
			15m	2,5232	0,5932			
		banda 9	30m	1,8246	0,3800	0,9697		
			15m	1,8220	0,3740			
		Vinícola Montes 31/01/2005	Solo	banda 4	30m	18,4921	0,2665	0,3091
					15m	18,3755	0,4187	
banda 5	30m			3,9205	0,1103	0,7725		
	15m			3,9110	0,1145			
banda 6	30m			3,9747	0,0778	0,8882		
	15m			3,9716	0,0769			
Banda 7	30m			3,1638	0,0842	0,8049		
	15m			3,1579	0,0825			
banda 8	30m			2,2294	0,0666	0,6505		
	15m			2,2202	0,0711			
banda 9	30m			1,5559	0,0425	0,8621		
	15m			1,5538	0,0416			
Vinícola Montes 31/01/2005	Urbano			banda 4	30m	14,3594	2,3866	0,96724
					15m	14,3855	2,3222	
		banda 5	30m	4,5877	0,7312	0,95138		
			15m	4,5995	0,7105			
		banda 6	30m	4,5250	0,8655	0,97709		
			15m	4,5316	0,8451			
		Banda 7	30m	3,9635	0,6883	0,98471		
			15m	3,9671	0,6801			
		banda 8	30m	2,9406	0,5755	0,89706		
			15m	2,9603	0,5567			
		banda 9	30m	2,0588	0,3531	0,93960		
			15m	2,0516	0,3496			
		Vinícola Montes 31/01/2005	Vinhedo	banda 4	30m	13,33245	0,33559346	0,777068
					15m	13,36143	0,35740554	
banda 5	30m			3,122174	0,05162484	0,196897		
	15m			3,150178	0,07894706			
banda 6	30m			2,833333	0,06954358	0,882087		
	15m			2,8375	0,10240746			
Banda 7	30m			2,359625	0,05925735	0,845057		
	15m			2,35616	0,06165789			

Vinícola Montes 31/01/2005	Vinhedo	banda 8	30m	1,53456	0,03924487	0,852699
			15m	1,53178	0,05421634	
		banda 9	30m	1,227231	0,03137005	0,998519
			15m	1,227214	0,03059878	

Observando a figura 27, percebe-se que os alvos "Borda solo/veg" e "urbano" apresentaram altos valores de desvio padrão. Este fato pode ser explicado pela heterogeneidade dos valores dos pixels encontrados, ou seja, a amplitude dos valores dos pixels que compõem a amostra é grande. Na amostra "bordas" os pixels representam a transição entre dois elementos distintos, já no alvo "urbano", este apresenta uma mescla de várias respostas espectrais, característico de regiões urbanas. Pode-se constatar que, novamente a banda 4 foi a que apresentou maior desvio padrão entre os alvos. Já o alvo "vinhedo" apresentou baixos desvios padrões em todas as bandas do SWIR, constatando-se assim, que os valores digitais das parcelas de vinhedo têm pouca variabilidade.

A última imagem analisada com o objetivo de comparar a igualdade das médias entre as imagens originais e reamostradas, foi a da região chilena, que será objeto de aplicações posteriores no desenvolvimento do trabalho. Além da propriedade Verameonte, também foi estudada a Vinícola Matetic, situada mais para Oeste, em região mais ondulada. Esta imagem é de 31 de janeiro de 2005.

Como o foco principal do trabalho é referente ao comportamento e classificação de vinhedos, e a imagem em questão foi usada para a classificação, os alvos escolhidos para análise condizem com parcelas de vinhedos em diferentes áreas da imagem.

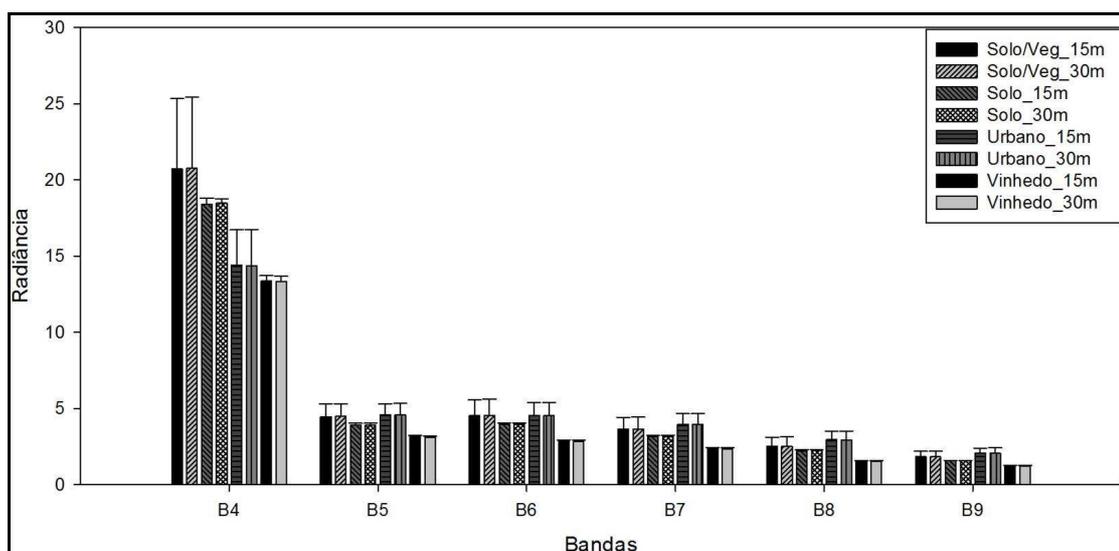


Figura 27: Comparação entre amostras da imagem original (pixel 30m) e da imagem reamostrada (pixel 15m) para os alvos solo/Veg., Solo, Urbano e Vinhedo. Os dados estão expressos como média \pm desvio padrão. Para comparação entre as médias foi utilizado o teste estatístico *t* de Student ($p > 0,05$).

Todos os alvos submetidos à análise estatística não demonstraram diferença significativa, e estes resultados indicam que há igualdade entre as médias das parcelas na imagem original e na imagem reamostrada. Na Tabela 10 estão representados os resultados encontrados para a imagem da região chilena. Observa-se que os valores de significância foram relativamente altos para todos os alvos analisados, ressaltando aqui os valores encontrados para o alvo "Matetic" que apresentou significância igual a um em todas as bandas. Fato que contribui para mostrar que o interpolador Vizinho mais Próximo é uma ferramenta útil para gerar a reamostragem de pixels.

Tabela 10: Análise estatística comparando banda a banda o mesmo alvo na imagem original e na imagem reamostrada.

IMAGEM	ALVOS	BANDA	PIXEL	MÉDIA	DES PAD	Sig		
Veramonte 31/01/2005	Valparaíso (vinhedo)	banda 4	30m	10,9941	0,3637	0,9066		
			15m	11,0057	0,3902			
		banda 5	30m	2,9851	0,0833	0,5945		
			15m	2,9742	0,0784			
		banda 6	30m	2,5228	0,0890	0,8979		
			15m	2,5260	0,1007			
		Banda 7	30m	2,2717	0,0832	0,8740		
			15m	2,2686	0,0755			
		banda 8	30m	1,5076	0,0657	0,4653		
			15m	1,5207	0,0712			
		banda 9	30m	1,1965	0,0453	0,4611		
			15m	1,1899	0,0317			
		Veramonte 31/01/2005	Vegetação	banda 4	30m	9,5307	0,1308	1,0000
					15m	9,5307	0,1281	
banda 5	30m			2,2602	0,0485	0,3521		
	15m			2,2490	0,0458			
banda 6	30m			1,9671	0,0435	0,1427		
	15m			1,9505	0,0437			
Banda 7	30m			1,6396	0,0460	0,2996		
	15m			1,6271	0,0470			
banda 8	30m			1,0070	0,0318	0,7901		
	15m			1,0092	0,0321			
banda 9	30m			0,8168	0,0213	0,5459		
	15m			0,8134	0,0216			
Veramonte 31/01/2005	Veramonte (vinhedo)			banda 4	30m	10,3932	0,1810	0,7818
					15m	10,4066	0,1708	
		banda 5	30m	2,4791	0,0614	0,8003		
			15m	2,4748	0,0604			
		banda 6	30m	2,2263	0,0718	0,6665		
			15m	2,2184	0,0631			
		Banda 7	30m	1,8582	0,0528	0,8018		
			15m	1,8619	0,0531			
		banda 8	30m	1,2328	0,0339	0,7785		
			15m	1,2354	0,0328			
		banda 9	30m	0,9996	0,0402	0,7062		
			15m	0,9956	0,0371			

Veramonte 31/01/2005	Vinhedo Matetic	banda 4	30m	13,4589	0,2052	1,0000
			15m	13,4589	0,1979	
		banda 5	30m	3,4668	0,0814	1,0000
			15m	3,4668	0,0785	
		banda 6	30m	3,1705	0,0565	1,0000
			15m	3,1705	0,0545	
		Banda 7	30m	2,8001	0,0564	1,0000
			15m	2,8001	0,0544	
		banda 8	30m	1,8955	0,0342	1,0000
			15m	1,8955	0,0330	
		banda 9	30m	1,4338	0,0223	1,0000
			15m	1,4338	0,0215	

Observando a Figura 28, novamente percebemos que para a grande maioria dos alvos analisados, a banda 4 foi a que apresentou elevados valores de desvio padrão, quando comparadas com as bandas 5 a 9.

As legendas adotadas na Figura 25 são uma forma de distinguir e separar as diferentes amostras referentes a parcelas de vinhedos, sendo as legendas Valparaiso e Matetic referentes as regiões de onde foram coletadas as amostras de pixels que representam parcelas de vinhedos no terreno.

A reamostragem dos pixels pode ocasionar a modificação da qualidade radiométrica dos dados, de forma que a técnica do vizinho mais próximo não modifica a radiometria dos dados, enquanto a técnica da convolução cúbica é aquela que impõe a alteração mais acentuada (SHOWENGERDT, 1997).

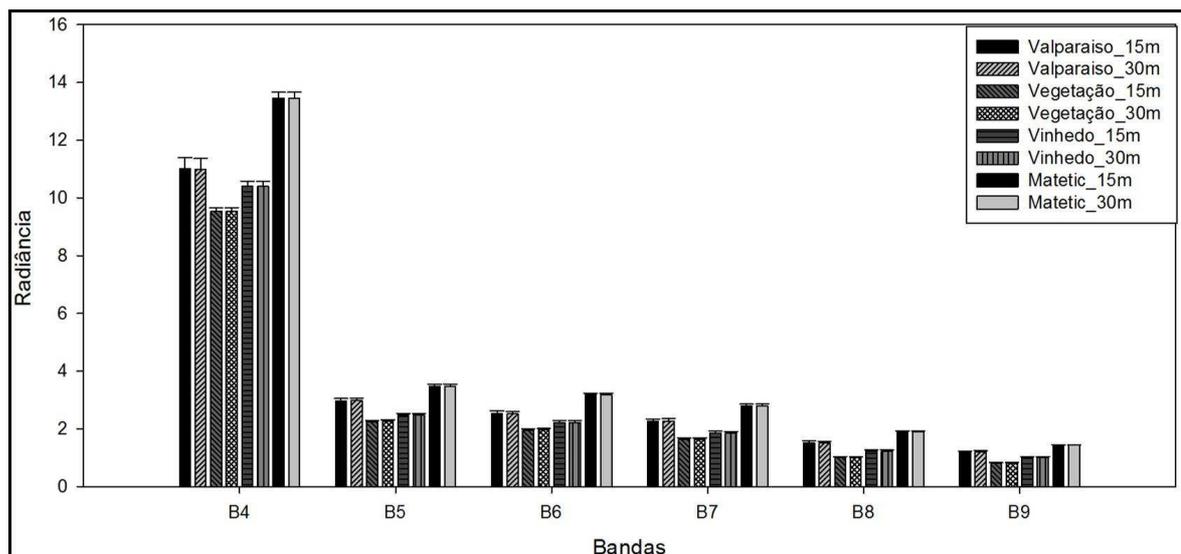


Figura 28: Comparação entre amostras da imagem original (pixel 30m) e da imagem reamostrada (pixel 15m) para os alvos Valparaiso, Vegetação, vinhedo e Matetic. Os dados estão expressos como média \pm desvio padrão. Para comparação entre as médias foi utilizado o teste estatístico t de Student ($p > 0,05$).

Outros trabalhos que utilizaram a técnica de reamostragem das bandas do subsistema SWIR das imagens ASTER podem ser citados. Por exemplo, tem-se o trabalho de Campos (2008), que estudou um modelo de transferência radiativa para dosséis descontínuos regulares (GRART); o trabalho foi desenvolvido para aplicações em dosséis de café utilizando imagens do sensor ASTER. Para este estudo o autor utilizou as bandas do subsistema VNIR e SWIR, realizando a reamostragem das bandas de 30 metros para 15 metros, pelo método do vizinho mais próximo.

No trabalho desenvolvido por Rojas (2005), é realizada a classificação de imagens ASTER para o mapeamento de uso e cobertura da terra em área de floresta tropical, utilizando uma síntese genética de rede neural artificial não supervisionada *Adaptive Resonance Theory* (ATR2). No processamento das imagens ASTER o autor realizou a compatibilização das resoluções espaciais entre as bandas VNIR (15 metros) e bandas SWIR (30 metros). O processamento consiste na duplicação das linhas e colunas das bandas do SWIR utilizando o método de reamostragem do Vizinho mais Próximo.

Fuckner (2008) utilizou imagens ASTER no estudo do ambiente urbano das cidades de São Paulo e Rio de Janeiro, na manipulação das imagens, uma das técnicas adotadas para reamostrar as bandas do SWIR foi a interpolação pelo Vizinho mais Próximo, preservando assim a informação espectral dos pixels.

4.2 Comparação de diferentes variedades com as mesmas condições de iluminação

Realizando o cálculo da orientação das parcelas em relação ao Sol, foi possível identificar as parcela de interesse para o estudo. Primeiramente identificaram-se as parcelas que apresentavam a mesma orientação e comparou-se a possibilidade de existir diferença entre as mesmas.

Foram analisadas as variedades Chardonnay, Merlot e Sauvignon Blanc, com base em três imagens ASTER datadas de 24/02/2002, 14/02/2004 e 31/01/2005, escolhidas com o intuito do ciclo fenológico das videiras nas três imagens se encontrar em estágios de desenvolvimento semelhantes.

Na Figura 29 pode-se observar o comportamento espectral das diferentes variedades que apresentavam suas parcelas com orientação de 61° em relação ao Sol. Comparando as variedades que apresentam as fileiras ordenadas na mesma direção elimina-se a influência da variável sombra, que para este caso é de 100% em todas as parcelas. Sendo assim, a diferença

nas respostas espectrais pode ser atribuída a diferentes variáveis, a exemplo, a estrutura foliar das diferentes variedade, que não foram avaliadas neste estudo.

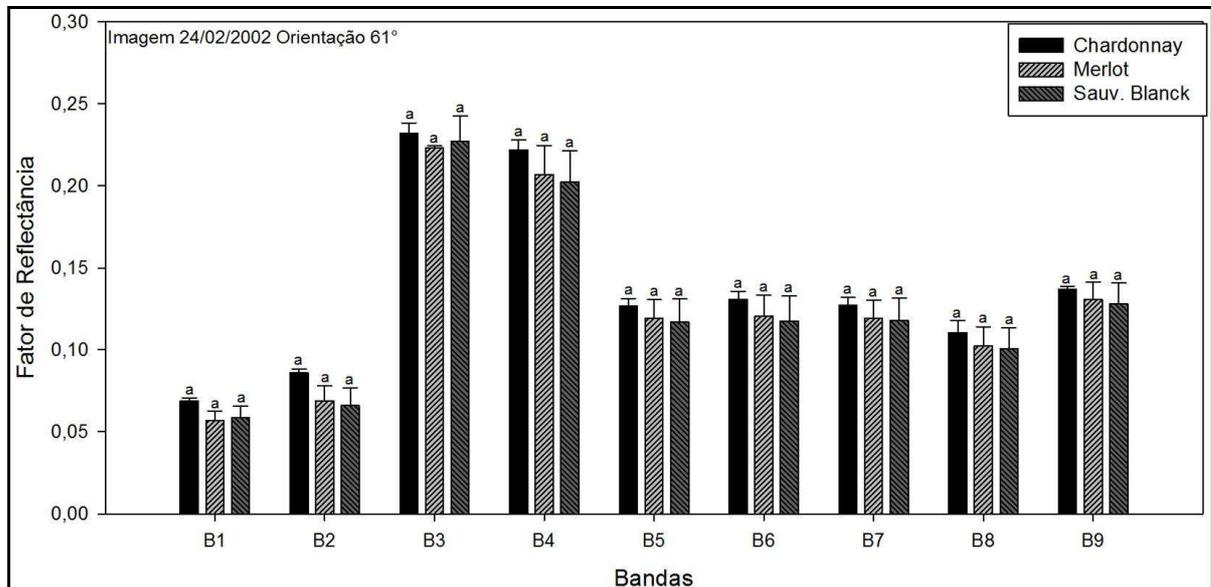


Figura 29: Análise estatística da reflectância média das parcelas para a imagem de 24/02/2002, com **a** respectiva diferença significativa das variedades Chardonnay, Merlot e Sauvignon Blanc. Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5%.

Observando a Figura 29, percebe-se que a variedade Chardonnay apresentou os maiores valores de reflectância em todas as bandas; no entanto, a análise estatística mostra que não existe diferença significativa desta variedade em relação às demais. Esta igualdade pode ser explicada pelo fato das variedades Merlot e Sauvignon Blanc apresentarem elevados valores de desvio padrão nas amostras analisadas, comportamento que fica mais saliente nas bandas do SWIR.

A fim de verificar como se portava a separabilidade das diferentes variedades quando submetidas a processos de classificação das imagens, as mesmas foram classificadas usando-se como algoritmo de classificação o método de Mínima Distância (Figura 30).

Observando-se a imagem classificada verifica-se que houve uma grande mistura de classes, sendo que na parcela localizada mais a esquerda da imagem que é da variedade Sauvignon Blanc, nenhum pixel foi rotulado como pertencente a esta classe. Fato semelhante aconteceu com algumas parcelas de Merlot, que tiveram a grande maioria de seus pixels classificados erroneamente.

De acordo com as porcentagens obtidas na Matriz de Confusão (Tabela 11), constatase que a variedade Merlot foi a que apresentou pior desempenho na classificação, com apenas 18% de seus pixels classificados corretamente. Esta classe teve grande confusão com a variedade Sauvignon Blanc (46,18%), fato que já era esperado, visto que na análise estatística

as médias das duas variedades eram bem próximas. A variedade Chardonnay, que apresentou os maiores valores de reflectância, foi a classe que apresentou melhor desempenho, com 75,86% dos pixels classificados corretamente, tendo em torno de 10% de confusão com a classe Merlot e 13% com a classe Sauvignon Blanc

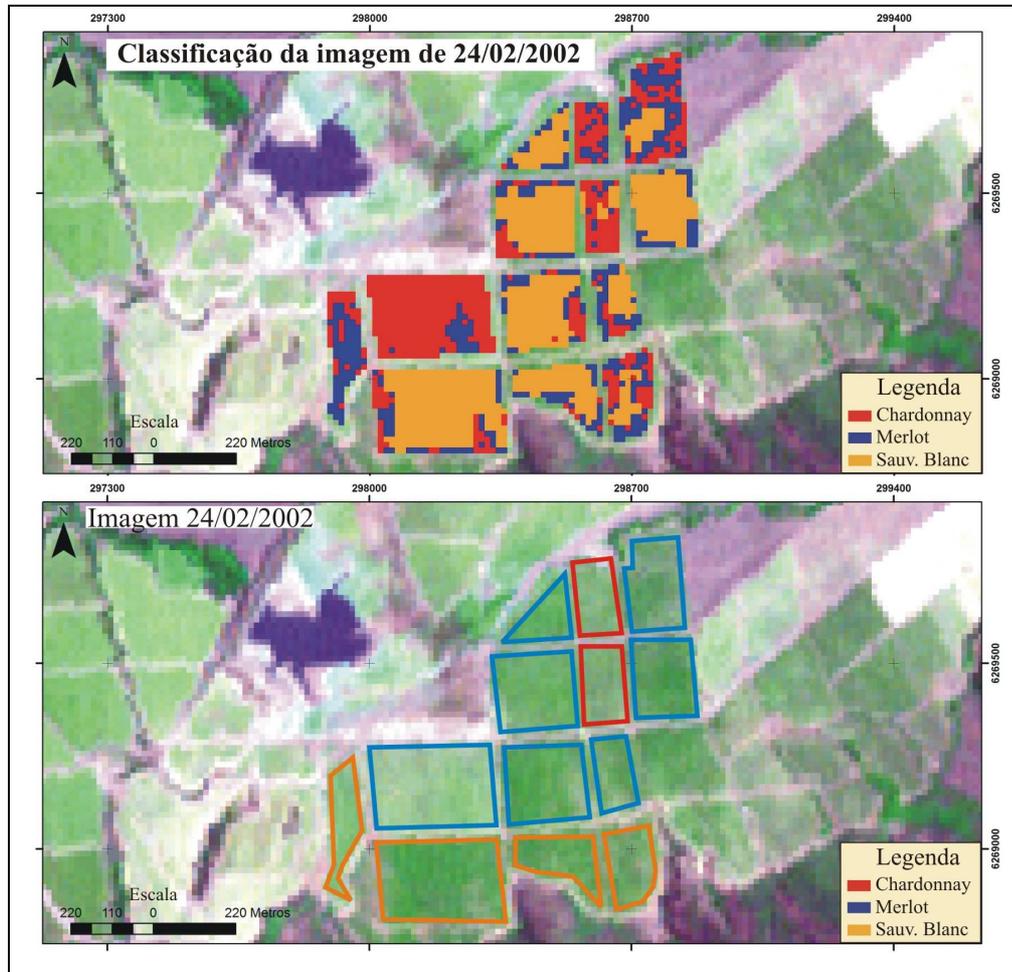


Figura 30:(A) Imagem de 2002, classificação das variedades Chardonnay, Merlot e Sauvignon Blanc. (B) Distribuição espacial das diferentes variedades utilizadas como máscara na classificação.

A variedade Sauvignon Blanc apesar de ter apresentado médias de reflectância semelhante as da variedade Merlot, obteve 69,14% de seus pixels rotulados corretamente tendo 20,77% de seus pixels confundidos com a variedade Merlot.

Tabela 11: Matriz de Confusão da classificação de 24/02/2002.

Classe	Chardonnay (%)	Merlot (%)	Sauv. Blanc (%)	Total (%)
Chardonnay	75,86	35,07	10,09	26,21
Merlot	10,34	18,75	20,77	19,03
Sauv. Blanc	13,79	46,18	69,14	54,76
Total	100,00	100,00	100,00	100,00

Segundo a conceituação sugerida por Landis e Koch (1977), para o resultado da classificação, a mesma enquadra-se no conceito bom, com valor de *Kappa* igual a 0,58.

Na imagem de 14/02/2004 realizou-se a classificação das parcelas que estavam orientadas a 31° em relação ao Sol no momento da aquisição da imagem. Para esta data e orientação a quantidade de sombra calculada entre as fileiras foi de 64,78%. As parcelas identificadas com esta orientação foram comparadas estatisticamente a fim de identificar a separabilidade das variedades (Figura 31).

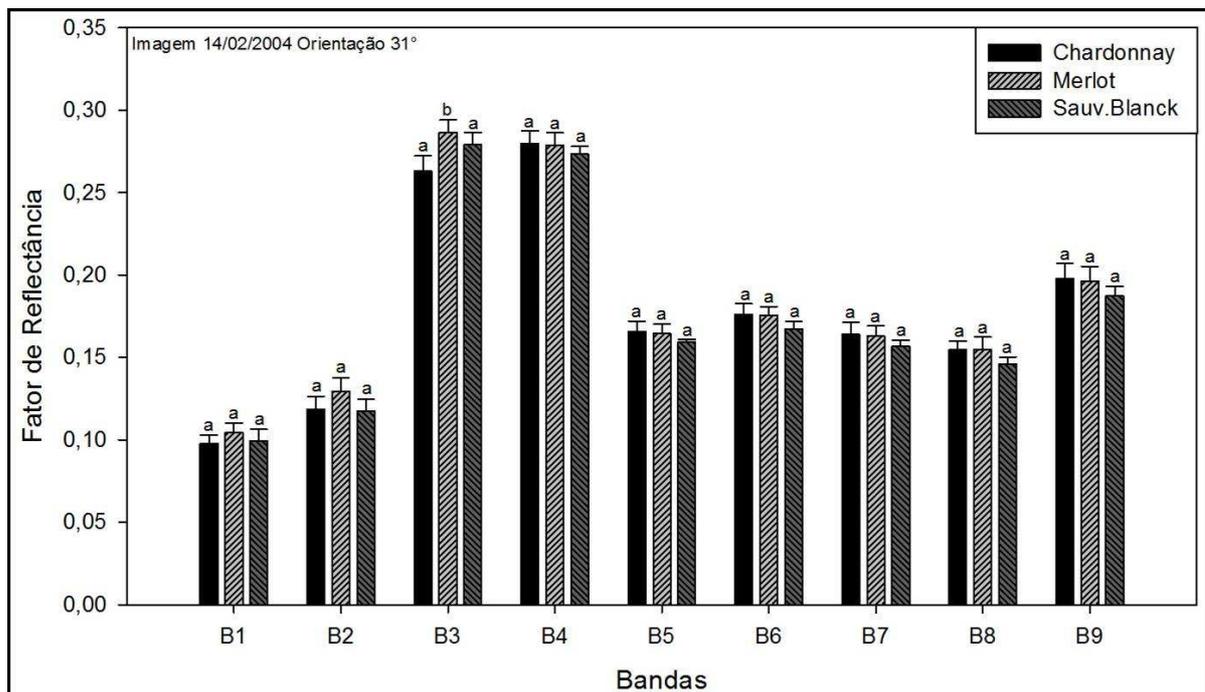


Figura 31: Análise estatística da reflectância média das parcelas para a imagem de 14/02/2004, com a respectiva diferença significativa das variedades Chardonnay, Merlot e Sauvignon Blanc. Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5%.

Observando-se a figura constata-se que não houve diferença significativa das três variedades para as bandas do SWIR, sendo que as variedades Chardonnay e Merlot apresentaram valores médios de reflectância bem próximos; já a variedade Sauvignon Blanc apresentou reflectância inferior as demais variedades em todas as bandas. Analisando as bandas do VNIR é possível perceber que a variedade Merlot apresenta reflectância mais elevada que as demais, sendo que apenas na banda 3, a variedade Merlot apresenta diferença significativa em relação às outras variedades.

O resultado da classificação realizado para as parcelas com orientação 31° para a imagem do ano de 2004 mostra um melhor desempenho (Figura 32).

O número de parcelas identificadas com a orientação de 31° foi maior do que a orientação 61° , fato que possibilitou a obtenção de um maior número de amostras para a classificação.

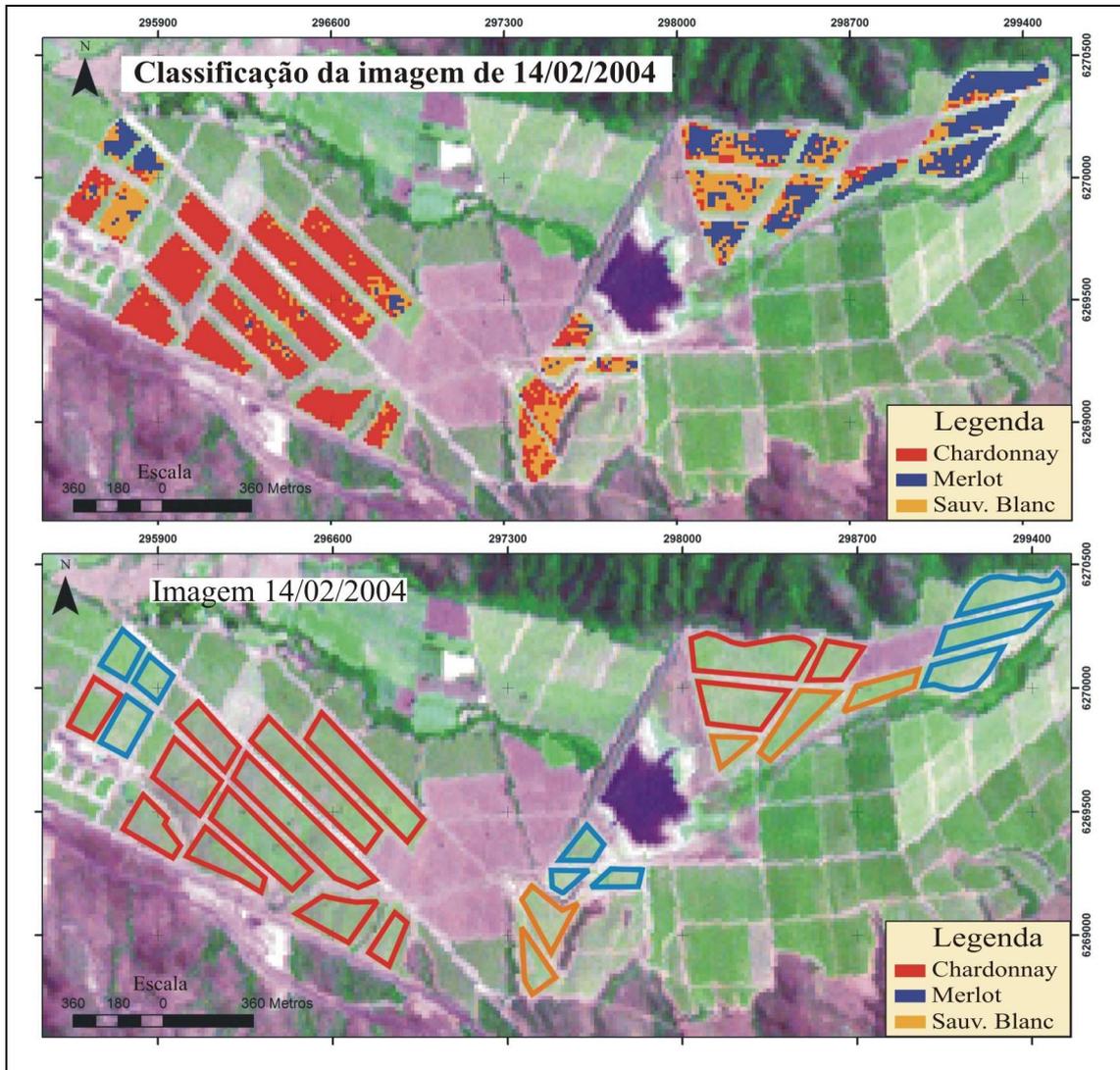


Figura 32:(A) Imagem de 2004, classificação das variedades Chardonnay, Merlot e Sauvignon Blanc. (B) Distribuição espacial das diferentes variedades utilizadas como máscara na classificação.

Observando a imagem classificada é possível visualizar que as parcelas da variedade Chardonnay localizadas na parte esquerda da imagem foram bem classificadas; no entanto, as três parcelas da mesma variedade localizadas na parte superior da imagem tiveram grande confusão, sendo uma minoria de pixels rotulados corretamente. Apesar disso, das três variedades em questão, a Chardonnay foi a que teve a maior quantidade de acertos com 73,36%, os pixels que foram classificados de forma errada representem 13,32%, mostrando problemas na diferenciação das classes, tanto para Merlot quanto para Sauvignon Blanc, tabela 12.

Para a variedade Merlot obteve-se 64,71% de acerto na classificação, sendo que a maior confusão deu-se com a variedade Sauvignon Blanc, 27,21%. Observando-se a imagem percebe-se que as três parcelas localizadas no vinhedo foram quase que completamente rotuladas de forma errônea; o mesmo aconteceu para a parcela do canto esquerdo da imagem.

Tabela 12: Matriz de Confusão da classificação de 14/02/2004.

Classes	Chardonnay (%)	Merlot (%)	Sauv. Blanc (%)	Total (%)
Chardonnay	73,36	8,09	17,14	50,54
Merlot	13,32	64,71	44,29	28,75
Sauv. Blanc	13,32	27,21	38,57	20,71
Total	100,00	100,00	100,00	100,00

A variedade Sauvignon Blanc foi a classe que apresentou a pior classificação, com apenas 38,57% dos pixels classificados de forma correta, tendo mais pixels classificados na classe Merlot (44,29), do que na sua própria classe. Na avaliação geral o índice *Kappa* obtido foi 0,77, podendo consideram a classificação como muito boa.

As mesmas parcelas estudadas na imagem de 2004 foram analisadas na imagem de 31/01/2005, em virtude do ângulo zenital e azimutal ser diferente para esta data, pois, o ângulo formado entre o Sol e a orientação das fileiras foi de 38°; conseqüentemente, a quantidade de sombra entre as fileiras passou a ser de 84,88%. Observando a Figura 33, consta-se que nas bandas do SWIR (5 a 9), a variedade Chardonnay apresentou maiores valores de reflectância e, ao nível de 5% de significância, apresentou diferença significativa com relação a classe Sauvignon Blanc nas cinco bandas do SWIR, apresentando também os menores valores de reflectância quando comparada com as demais variedades.

Nas três primeiras bandas (VNIR), não é possível descrever um padrão de comportamento das variedades. Na banda 1 não foi detectada diferença entre as variedades; na banda 2, a variedade Merlot diferencia-se da Sauvignon Blanc, mas ambas são iguais a variedade Chardonnay; já na banda 3, as classes Merlot e Sauvignon Blanc são iguais e diferenciam-se da classe Chardonnay. A única constância identificada são os valores de reflectância maiores para a classe Merlot, nas três bandas

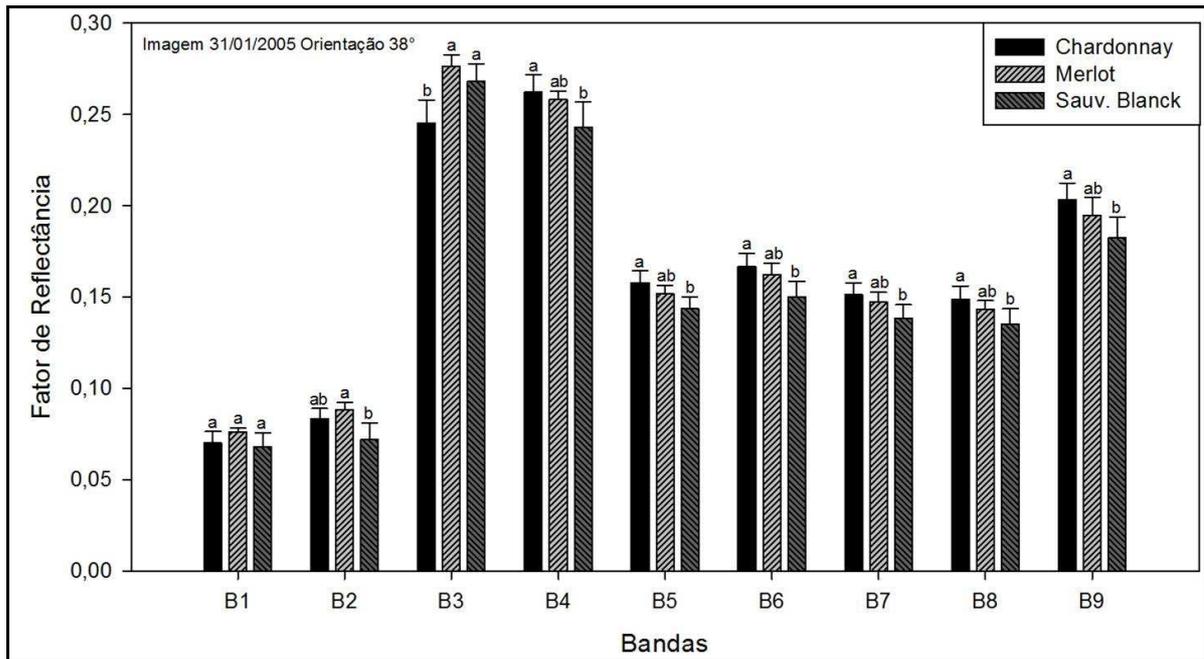


Figura 33: Análise estatística da reflectância média das parcelas para a imagem de 31/01/2005, com a respectiva diferença significativa das variedades Chardonnay, Merlot e Sauvignon Blanc. Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5%.

Observando a Figura 34, referente à classificação da imagem de 2005, percebe-se que nesta data também houve bastante confusão. As parcelas da variedade Merlot e Sauvignon Blanc, localizadas no centro da imagem, foram quase que na sua totalidade rotuladas como pertencentes à classe Chardonnay. Cabe aqui destacar que nas duas imagens analisadas (2004 e 2005) as parcelas localizadas na porção central da imagem tiveram grandes problemas na classificação. Esta parte do vinhedo é a área mais baixa da propriedade, onde se concentram os solos mais úmidos, fato que contribui na alteração da resposta espectral do alvo, mudando suas características; no entanto, esta questão merece estudos mais aprofundados.

As três parcelas da variedade Merlot localizadas na porção esquerda da imagem também tiveram a minoria dos pixels classificados de forma incorreta, apresentando bastante confusão com a variedade Chardonnay.

A variedade Chardonnay foi a que apresentou a melhor classificação, com 76,42 % dos pixels rotulados de forma certa, apresentando quase a mesma proporção de pixels classificados equivocadamente para as variedades Merlot (11,35%) e Sauvignon Blanc (12,23%) (Tabela 13). De acordo com a matriz de confusão, a classe Merlot foi a que apresentou piores resultados na classificação com apenas 41,91% dos pixels classificados corretamente.

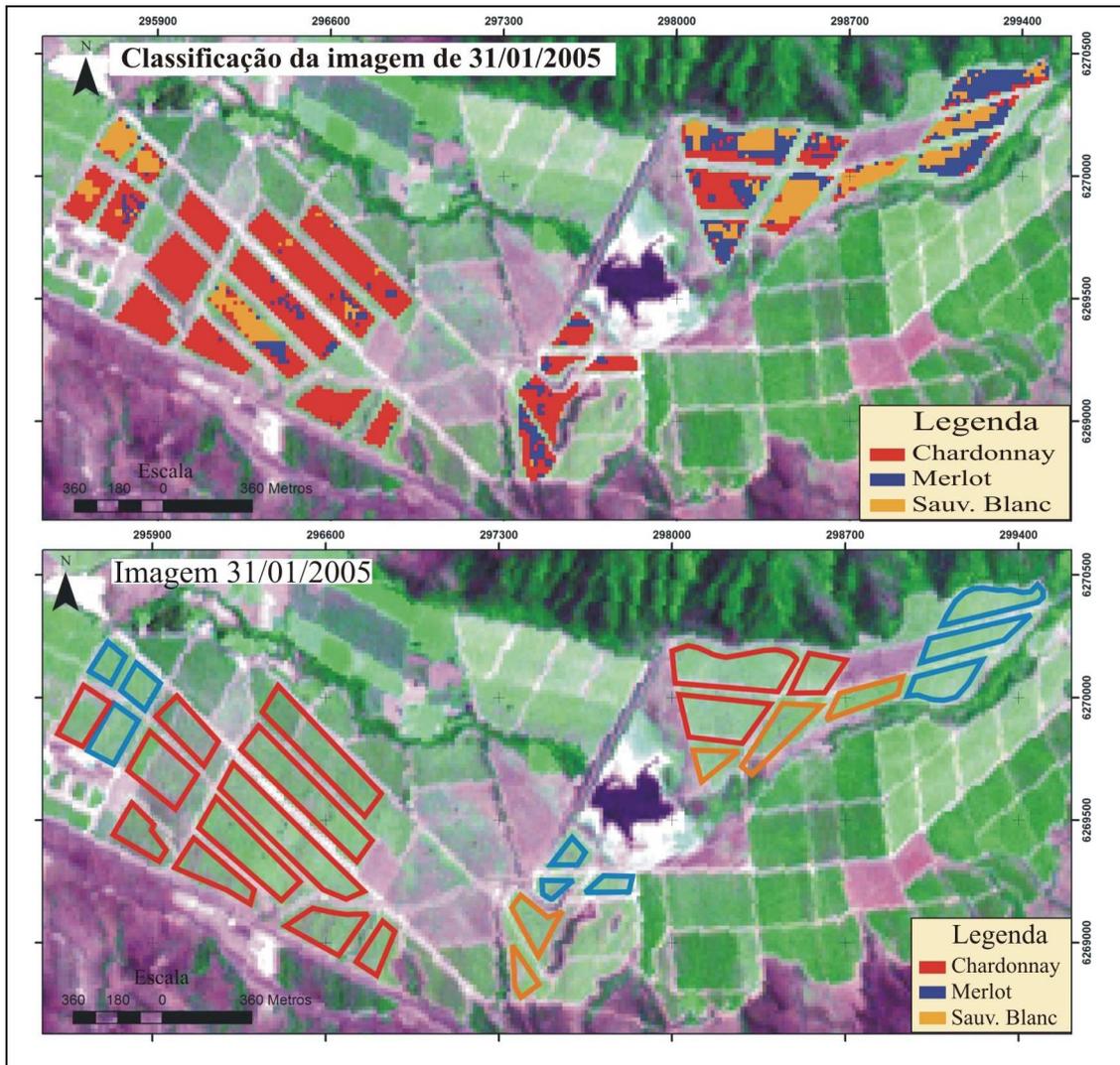


Figura 34:(A) Imagem de 2005, classificação das variedades Chardonnay, Merlot e Sauvignon Blanc. (B) Distribuição espacial das diferentes variedades utilizadas como máscara na classificação.

O desempenho do classificador de Mínima Distância, na tentativa de separar as diferentes variedades viníferas, para a imagem de 2005 obteve coeficiente *Kappa* (0,76) que de acordo com Landis e Koch (1977), está conceituada como muito boa.

Tabela 13: Matriz de Confusão da classificação de 31/01/2005.

Classes	Chardonnay (%)	Merlot (%)	Sauv. Blanc (%)	Total (%)
Chardonnay	76,42	25,74	27,86	57,77
Merlot	11,35	41,91	25,00	19,62
Sauv. Blanc	12,23	32,35	47,14	22,61
Total	100,00	100,00	100,00	100,00

Na tentativa de verificar o desempenho do classificador de Mínima Distância, que é um dos algoritmos de classificação mais simples, para averiguar a possibilidade de separar as

diferentes variedades viníferas, tendo como condicionante as variedades possuírem as mesma condição de iluminação entre as fileiras, o classificar mostrou ser limitado.

Outros classificadores podem produzir resultados mais promissores. No trabalho desenvolvido por Cemim e Ducati (2011), os autores realizaram a caracterização e discriminação espectral de diferentes variedades viníferas em diferentes *terroirs*, com o objetivo de avaliar a similaridade das regiões e das variedades. Para a classificação das imagens ASTER, os autores utilizaram funções discriminantes geradas a partir de amostras de pixels das diferentes variedades, onde foi possível atribuir pesos as bandas e consequentemente determinar as bandas que possuíam maior relevância na discriminação das cepas. Através do cálculo da Distância Mínima entre o centróide, para os valores discriminantes calculados para cada pixel, as imagens foram classificadas. Portanto, com o desenvolvimento de métodos de classificação mais sofisticados, os autores obtiveram resultados satisfatórios na classificação das imagens.

4.3 Comparação da mesma variedade em diferentes condições de iluminação

Na tentativa de avaliar se a orientação das fileiras e conseqüentemente se a quantidade de sombra altera o comportamento espectral dos alvos, foi feita uma análise na qual se comparou a mesma variedade, mas com diferentes condições de insolação nas parcelas.

4.3.1 Avaliação do comportamento espectral e classificação da variedade Chardonnay

Na Figura 35, é possível observar os resultados obtidos para a variedade Chardonnay na imagem de 24/02/2002. Para esta data foram identificadas cinco orientações diferentes. As parcelas orientadas em 61° e 81° apresentaram 100% de solo sombreado entre as fileiras. A parcela que menos apresenta solo sombreado tem orientação de 26° com 50,37% de sombra, seguida pelas parcelas com orientação 46° e 53° com 82,66% e 91,77% de sombra entre as fileiras, respectivamente.

Observando a figura é possível perceber que as parcelas com menos solo sombreado (orientação 26° e 46°), são as que apresentam maiores valores de reflectância em todas as bandas. Segundo Kimes, (1983) quando se altera a quantidade de solo sombreado, aumentando a proporção de sombra ocorre um decréscimo na irradiância solar.

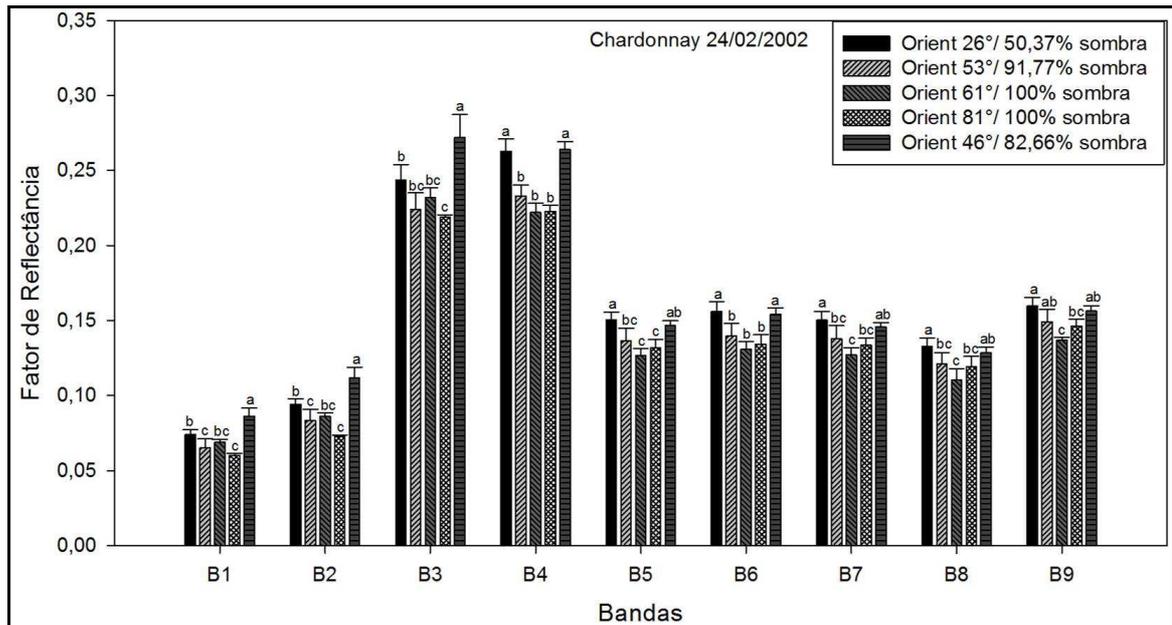


Figura 35: Análise estatística do comportamento da reflectância com relação à orientação das parcelas na imagem de 24/02/2002, com a respectiva diferença significativa para a variedade Chardonnay. Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5%.

Para verificar a similaridade entre as parcelas com diferentes orientações foi feita análise estatística por ANOVA seguido do teste de Tukey. Como pode ser observado na Figura 35, as parcelas podem ser separadas em dois grandes grupos, um referente as orientações com maior refletância (parcelas com orientação de 26° e 46°) e outro grupo com as orientações de 53°, 61° e 81°, tendo estas duas últimas 100% de sombra entre as fileiras.

Analisando as bandas do VNIR (bandas 1, 2 e 3), observa-se que existe uma diferença significativa entre as parcelas com orientação 26° e 46°, destacando assim, nas três primeiras bandas a separação das parcelas em três orientações principais, sendo as parcelas com orientação de 26°, 46° e 61°.

Definidas as orientações que apresentaram diferença na análise estatística, as mesmas foram submetidas a classificação supervisionada (Figura 36). O propósito foi avaliar o desempenho de classificadores usuais na classificação de parcelas que apresentam as mesmas cepas com diferentes orientações; neste estudo usou-se o classificador de Mínima Distância.

Observado a imagem classificada percebe-se que as parcelas que tiveram melhor classificação foram as com orientação de 61°, que apresentam 100% do solo sombreado entre as fileiras; estas possuem uma resposta espectral menor do que as demais orientações. As orientações de 26° e 46° que tem 50,37% e 82,66% do solo sombreado foram as que apresentaram uma confusão maior na classificação. Essa afirmação se sustenta com base na Matriz de Confusão mostrada na Tabela 14.

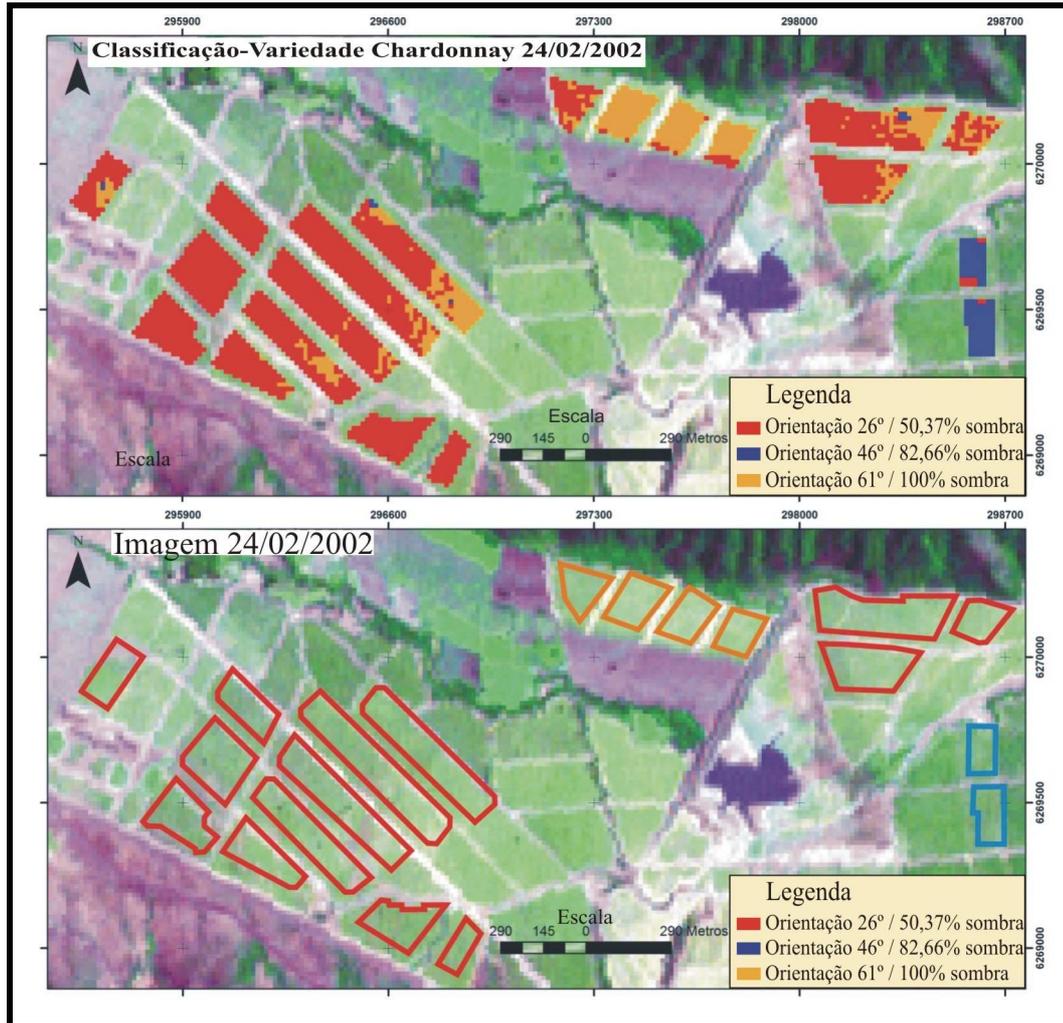


Figura 36:(A) Imagem de 2002, classificação da variedade Chardonnay. (B) Distribuição espacial das orientações das parcelas utilizadas como máscara na classificação.

Tabela 14: Matriz de Confusão da classificação de 24/02/2002, Variedade Chardonnay.

Classes	Orient 26° (%)	Orient 46° (%)	Orient 61° (%)	Total (%)
Orient 26°	85,50	17,91	4,35	71,66
Orient 46°	14,17	82,09	0,00	22,29
Orient 61°	0,33	0,00	95,65	6,05
Total	100,00	100,00	100,00	100

Na matriz podemos perceber que 85,50% dos pixels pertencentes às parcelas com menos sombra (orientação 26°) foram classificados corretamente, sendo que 14,17% foram classificados como pertencentes a orientação 46° e 0,33% a orientação de 61°. Já a orientação 46° teve 82,09% dos pixels classificados corretamente e 17,91% classificados como pertencentes a orientação 26°. As parcelas que apresentaram 100% de solo sombreado (orientação 61°) tiveram 95,65% dos pixels classificados corretamente, sendo que para esta classificação o Índice *Kappa* foi de 0,88. Segundo a categorização de Landis e Koch (1977), a classificação obteve excelente concordância.

As mesmas parcelas da variedade Chardonnay analisadas para a imagem do dia 24/02/2002 foram analisadas na imagem de 14/02/2004. Os resultados podem ser observados na Figura 37. Para esta data, três das orientações apresentavam 100% do solo sombreado entre as fileiras (orientação 59°, 67° e 75°).

As parcelas analisadas na imagem de 2004 apresentaram comportamento semelhante com o observado na imagem de 2002. Cabe ressaltar que as parcelas analisadas nesta imagem são as mesmas analisadas na imagem de 2002; no entanto, a orientação das parcelas em relação ao Sol e as porcentagens de sombra mudaram. Este fato ocorre em decorrência da mudança da época do ano (azimute) e da hora do dia (zênite) no momento da passagem do satélite, que são as bases para determinar a orientação das fileiras dentro das parcelas e estimar a quantidade de sombra.

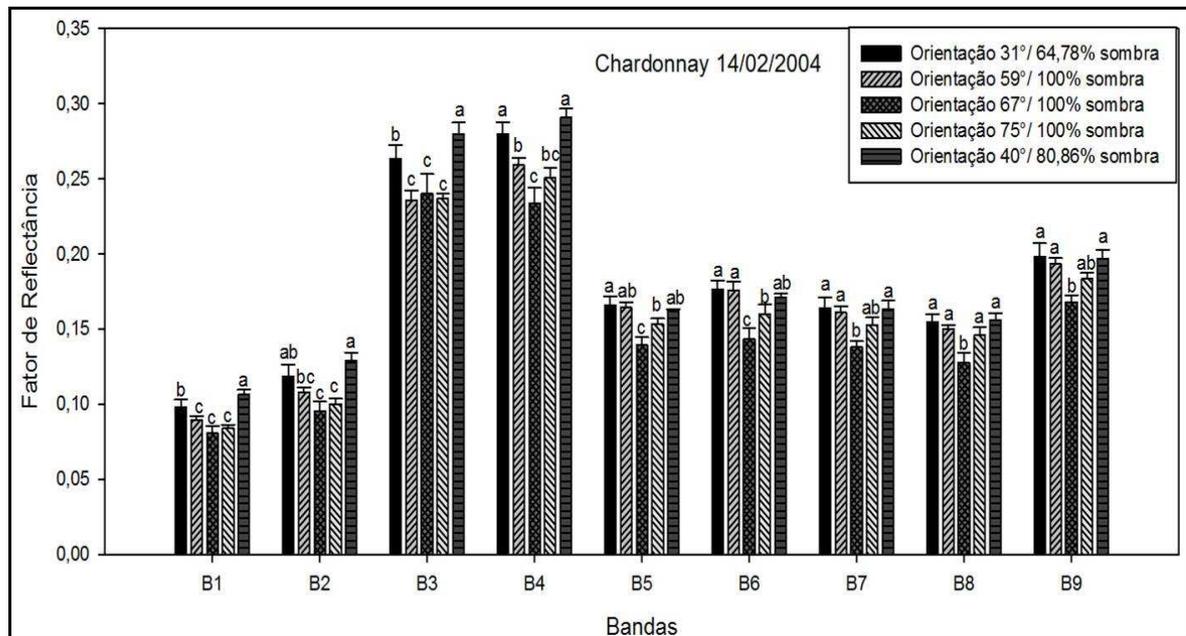


Figura 37: Análise estatística do comportamento da reflectância com relação à orientação das parcelas na imagem de 14/02/2004, com a respectiva diferença significativa para a variedade Chardonnay. Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5%.

As parcelas com orientação de 67° apresentam a menor reflectância em todas as bandas, somada as orientações de 59° e 75°, são as que apresentam a maior quantidade de solo sombreado e, conseqüentemente, as menores proporções de reflectância. Estas orientações com 100% de sombra não apresentam diferença significativa a 5% de significância nas bandas do VNIR, fato que não ocorre nas bandas do SWIR.

Observando a figura 37 é possível perceber que as parcelas com orientação de 67°/100% de sombra apresentaram a menor reflectância em todas as bandas, resultado já

esperado. Observando as bandas 1 e 3 pode-se separar três grupos que apresentaram diferenças significativas, (orientação $31^\circ/64,78\%$ sombra, orientação $40^\circ/80,86\%$ sombra e o terceiro grupo formado pelas orientações 59° , 67° e 75° todos com 100% de sombra).

Identificada as parcelas com potencial de separação, a imagem foi submetida ao processo de classificação discriminando as orientações de $31^\circ/64,78\%$ sombra, $40^\circ/80,86\%$ sombra e $67^\circ/100\%$ sombra, Figura 38.

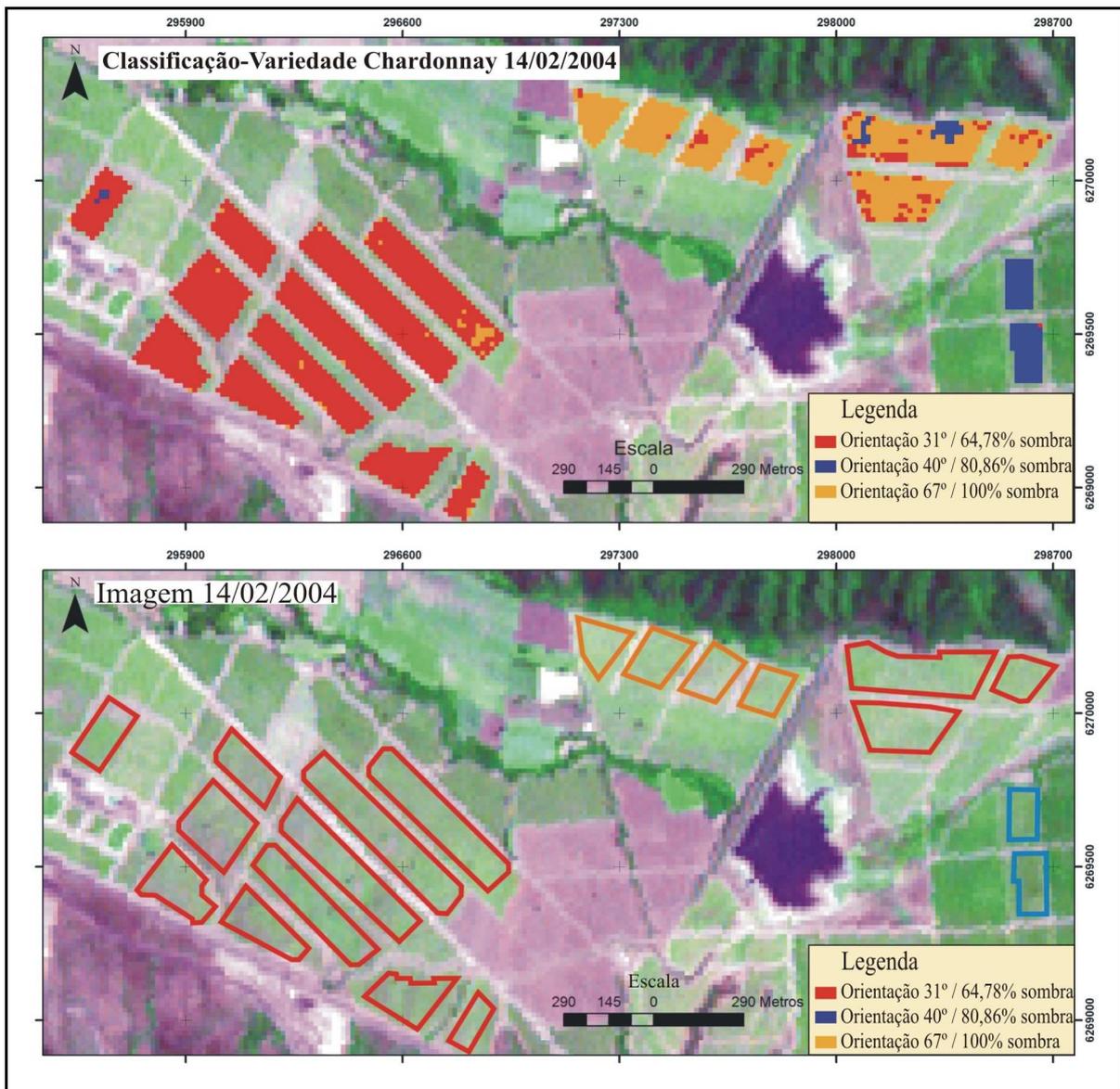


Figura 38:(A) Imagem de 2004, classificação da variedade Chardonnay. (B) Distribuição espacial das orientações das parcelas utilizadas como máscara na classificação.

Observando as parcelas classificadas percebe-se que houve uma grande confusão entre as orientações 31° e 40° , pois as parcelas localizadas no canto superior direito da imagem que pertencem a orientação 31° tiveram a maioria de seus pixels classificadas como sendo da orientação 40° e alguns da orientação 67° .

As parcelas com orientação 67° tiveram quase que a totalidade e seus pixels classificados corretamente, fato que também é observado para as parcelas com orientação de 40°; no entanto, estas apresentaram alguns pixels classificados como pertencentes às parcelas com menos sombra (orientação 31°). De modo geral, a separação das orientações pela classificação de Mínima Distância pode ser considerada satisfatória, afirmação consolidada pela análise da Matriz de Confusão, Tabela 15.

O coeficiente *Kappa* (0,88) obtido na classificação sugere segundo a proposta de Landis e Koch (1977) uma classificação excelente, sendo o mesmo valor de *Kappa* encontrado para a classificação do dia 24/02/2002. Nesta classificação em particular, pode-se inferir que o índice *Kappa* mascara, em parte, o resultado da classificação, pois é visível que as parcelas com menor quantidade de sombra entre as fileiras apresentaram confusão espectral, em especial nas três parcelas já mencionadas.

A classificação das parcelas com orientações de 67° obtiveram 99% de seus pixels classificados corretamente, reforçando a influência da sombra na resposta espectral da imagem

De acordo com Landis e Koch (1977), o *Kappa* assume valores menores ou iguais a 1, podendo inclusive assumir valores negativos. Quando todas as amostras são corretamente classificadas, ou seja, todos os elementos da matriz de confusão fora da diagonal possuem valor nulo, o coeficiente *Kappa* possui valor 1.

Tabela 15: Matriz de Confusão da classificação de 14/02/2004, Variedade Chardonnay.

Classes	Orient 31° (%)	Orient 40° (%)	Orient 67° (%)	Total (%)
Orient 31°	82,74	6,97	1,00	67,72
Orient 40°	15,72	93,03	0,00	24,98
Orient 67°	1,55	0,00	99,00	7,30
Total	100,00	100,00	100,00	100

A Figura 39 é referente à análise estatística da imagem do dia 31/01/2005 para a variedade Chardonnay. Para esta data foram estudadas as mesmas parcelas identificadas na imagem do ano de 2002 e 2004, no entanto, a orientação das parcelas em relação ao sol e a quantidade de sombra entre as fileiras teve que ser calculada, visto que o ângulo azimutal e zenital mudaram.

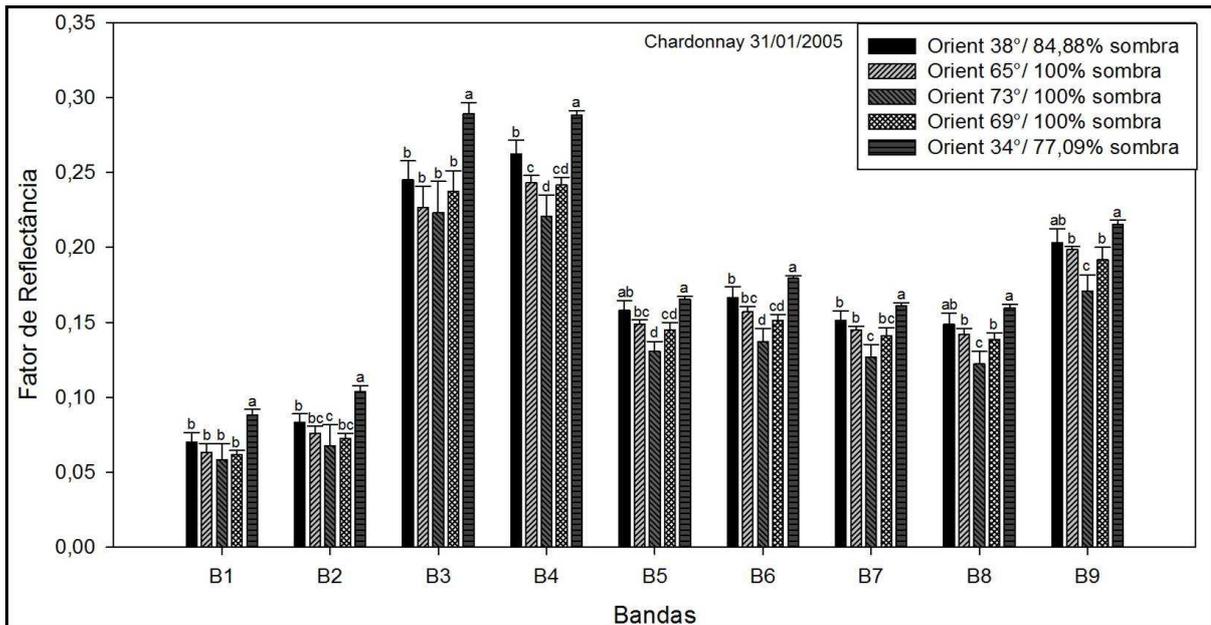


Figura 39: Análise estatística do comportamento da reflectância com relação à orientação das parcelas na imagem de 31/01/2005, com a respectiva diferença significativa para a variedade Chardonnay. Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5%.

Observando o gráfico podemos perceber que as parcelas orientadas a 34° são as que apresentam a menor quantidade de sombra entre as fileiras (77,09%); nota-se que esta orientação é a que apresenta os maiores valores de reflectância, e a 5% de significância se diferencia das demais orientações na maioria das bandas, apresentando uma pequena confusão nas bandas 5, 8 e 9.

A orientação que apresenta menor quantidade de reflectância é referentes as parcelas com 100% de sombra e orientação 73°, o comportamento destas parcelas é similar nas três imagens estudadas.

Nas bandas do VNIR a alta variância nos valores de reflectância prejudicou a separabilidade das diferentes orientações, sendo possível distinguir dois grupamentos. O primeiro é referente as parcelas orientadas a 34°/77,09% sombra e o segundo engloba as demais orientações. Observando o comportamento das parcelas nas bandas do SWIR pode-se inferir a separação das parcelas em três grupos; o primeiro referente a orientação 34°, o segundo a orientação de 73° e o terceiro englobando as demais orientações.

A fim de verificar o desempenho da classificação para a imagem de 31/01/2005 foram usadas como referencia as parcelas com orientação 34°, 38° e 73°, Figura 40, condizentes com as parcelas classificadas as imagens de 2002 e 2004.

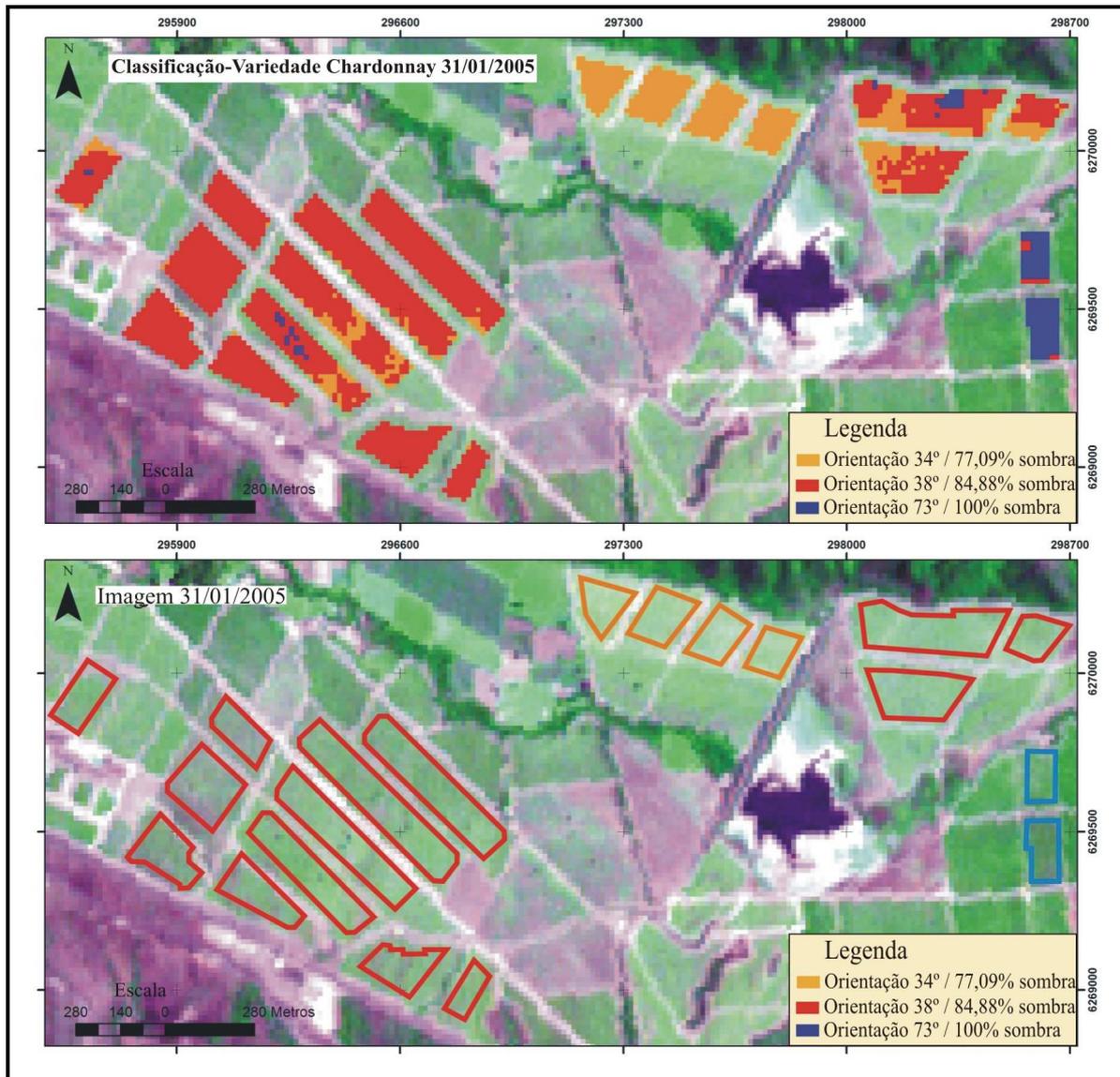


Figura 40:(A) Imagem de 2005, classificação da variedade Chardonnay. (B) Distribuição espacial das orientações das parcelas utilizadas como máscara na classificação.

Observando a imagem classificada observa-se que, a exemplo do constatado nas imagens de 2002 e 2004, as parcelas com orientação 73°, ou seja, 100% de sombra, apresentaram uma boa classificação, com 85% dos pixels classificados corretamente, e 15% dos pixels classificados como pertencentes a orientação 38° (Tabela 16). As parcelas com maior exposição solar (orientação 34°/77,09% sombra) tiveram 100% de seus pixels classificados corretamente, fato que evidencia a influência da maior ou menor quantidade de sombra na resposta espectral dos alvos e sua influencia na classificação de imagens.

As parcelas com orientação 38°/84,88% sombra, como o ocorrido nas imagens anteriores, foi a que mais apresentou confusão na classificação, tendo pixels classificados como pertencentes às outras duas orientações em questão.

Das imagens classificadas para a variedade Chardonnay a imagem de 2005 foi a que apresentou pior desempenho, com coeficiente *Kappa* de 0,85. No entanto este índice ainda atribui a classificação um excelente conceito de desempenho no resultado obtido, (Landis e Koch, 1977).

Tabela 16: Matriz de Confusão da classificação de 31/01/2005, Variedade Chardonnay.

Classes	Orient 34° (%)	Orient 38° (%)	Orient 73° (%)	Total (%)
Orient 34°	100,00	14,07	0,00	26,01
Orient 38°	0,00	82,66	15,00	65,47
Orient 73°	0,00	1,16	85,00	8,52
Total	100,00	100,00	100,00	100,00

4.3.2 Avaliação do comportamento espectral e classificação da variedade Merlot

A fim de identificar o comportamento espectral para a variedade Merlot, a mesma foi estudada em três momentos distintos. A primeira imagem analisada refere-se ao dia 24/02/2002, onde foram identificadas cinco orientações distintas para esta cepa, Figura 41.

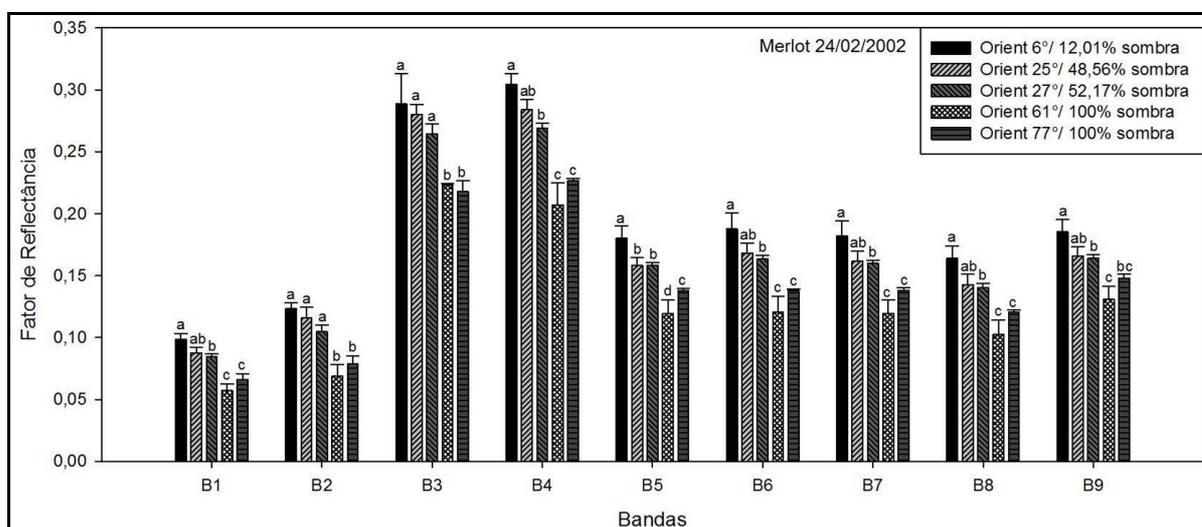


Figura 41: Análise estatística do comportamento da reflectância com relação à orientação das parcelas na imagem de 24/02/2002, com a respectiva diferença significativa para a variedade Merlot. Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5%.

Observando os resultados obtidos para as parcelas com a cultivar Merlot, é identificável maior valor de reflectância para as parcelas que apresentam a menor quantidade de sombra entre as fileiras (orientação 06°/12% sombra), seguida pelas orientações de 25° (48,56% sombra) e a orientação 27° (52,17% de sombra), evidenciando mais uma vez a influencia da sombra na reflectância dos alvos.

Cabe aqui destacar que as orientações de 25° e 27°, por apresentarem pouca diferença na orientação das fileiras em relação ao sol e conseqüentemente pouca diferença na quantidade de sombra dentro das parcelas não apresentaram diferença significativa a 5%, em nenhuma das 9 bandas, (Figura 41). Observa-se também que as orientações que apresentaram 100% de solo sombreado (orientação 61° e 77°), não apresentaram diferença significativa.

As orientações que foram consideradas relevantes e com possível separabilidade foram identificadas e submetidas ao processo de classificação, Figura 42.

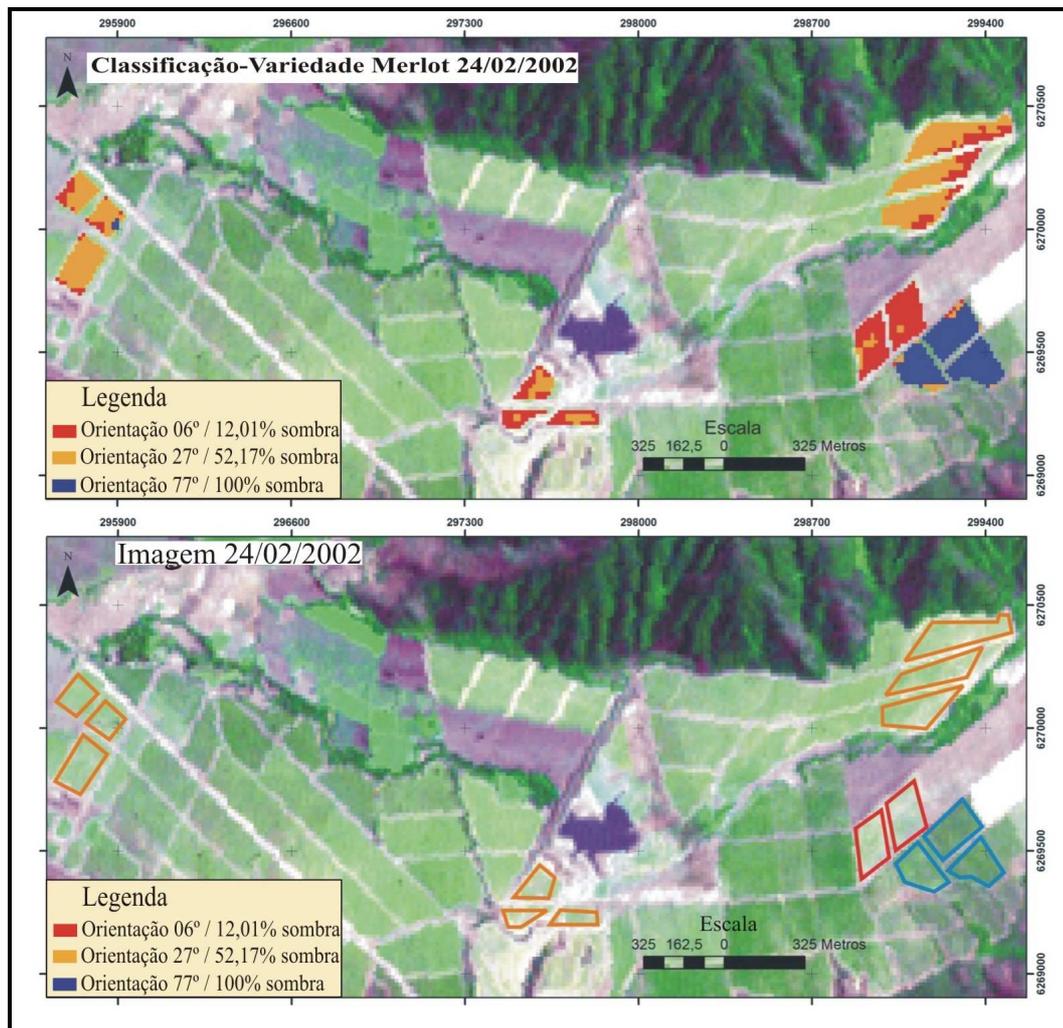


Figura 42 : (A) Imagem de 2002, classificação da variedade Merlot. (B) Distribuição espacial das orientações das parcelas utilizadas como máscara na classificação.

As parcelas que apresentaram mais confusão na classificação foram as parcelas localizadas no centro da imagem, condizentes com a orientação de 27°, estas tiveram a maioria de seus pixels classificados erroneamente como pertencentes as parcelas com menor quantidade de sombra (orientação 06°)

Observando os resultados da classificação, percebe-se que as parcelas que apresentaram 100% do solo com presença de sombra (orientação 77°) foram as que tiveram o maior número de pixels classificados corretamente, com 97,69% (Tabela 17), seguidas pelas orientações de 06° e 27° com 89,80% e 86,72%, respectivamente.

Tabela 17: Matriz de Confusão da classificação de 24/02/2002, Variedade Merlot.

Classes	Orient 06° (%)	Orient 27° (%)	Orient 77° (%)	Total (%)
Orient 06°	89,80	12,99	0,00	24,82
Orient 27°	10,20	86,72	2,31	45,61
Orient 77°	0,00	0,28	97,69	29,57
Total	100,00	100,00	100,00	100,00

Com base nos conceitos de classificação baseados no coeficiente *Kappa*, proposto por Landis e Koch (1977) a imagem classificada enquadra-se como uma excelente classificação, com *Kappa* igual a 0,94.

A variedade Merlot também foi avaliada na imagem 14/02/2004. Para esta data cinco novas parcelas, que na imagem de 2002 eram solo exposto, passaram a ser cultivadas pela cepa Merlot. Estas cepas foram plantadas com um azimute de 336°, sabendo-se o azimute da orientação das fileiras foi possível calcular o ângulo da parcela em relação ao Sol, sendo que para a imagem de 2004 a orientação calculada foi de 83°. Estas parcelas localizam-se na parte leste do mapa (Figura 41b).

Na análise estatística demonstrada na Figura 43, percebe-se que a orientação com o menor ângulo em relação ao Sol, e conseqüentemente a que apresenta menor quantidade de solo sombreado, foi a que obteve maiores valores de reflectância. Este fato resultou na possibilidade de diferenciar, ao nível de 5% de significância, esta parcela das demais.

Observando o gráfico é possível ver que as parcelas com orientação de 31° e 33° apresentam porcentagens de sombra parecidas e estatisticamente não apresentam diferença significativa, no entanto estas parcelas quando comparas com as demais, apresentam diferença. Este comportamento também acontece com as duas parcelas que apresentaram 100% do solo sombreado entre as fileiras.

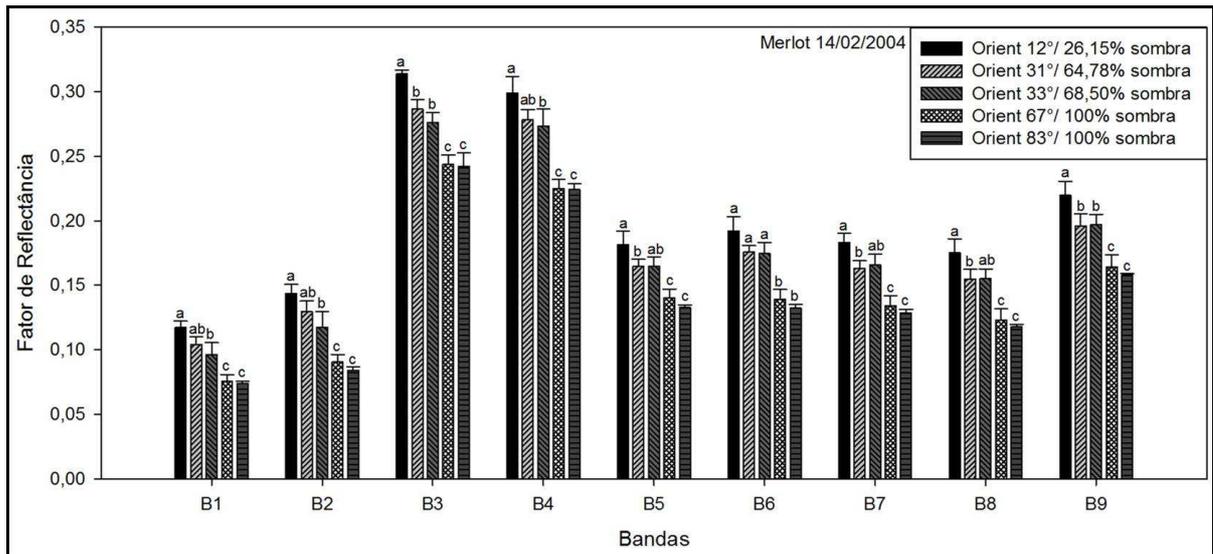


Figura 43: Análise estatística do comportamento da reflectância com relação à orientação das parcelas na imagem de 14/02/2004, com a respectiva diferença significativa para a variedade Merlot. Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5%.

Observando-se o resultado da análise estatística é possível separar as diferentes orientações em três grupos, representados pelas orientações de 12° (26,15% de sombra), 33° (68,50% de sombra) e 83° (100% de sombra). Identificou-se estas orientações na imagem, e as mesmas foram submetidas a classificação supervisionada a fim de verificar a capacidade do classificador em separar os grupos. Observando a imagem classificada é possível ver que a grande maioria das parcelas obteve seus pixels rotulados certo. As parcelas que apresentaram pior desempenho foram justamente as cinco novas parcelas com orientação de 83°, tendo parte de seus pixels classificados como pertencentes às orientações com menor porcentagem de sombra. Este comportamento pode ser justificado pelo fato das cepas serem jovens e não apresentarem um dossel plenamente desenvolvido, Figura 44.

As demais parcelas foram bem classificadas, por exemplo, as parcelas com orientação 12° tiveram a maior porcentagens de pixels classificados corretamente, com 95,83% de acerto (Tabela 18), tendo apenas 4,17% de seus pixels originais classificados como pertencentes a orientação 33°. Esta orientação, por sua vez, teve 90,63% de acerto na classificação, seguida pela orientação 83° com 81,25%.

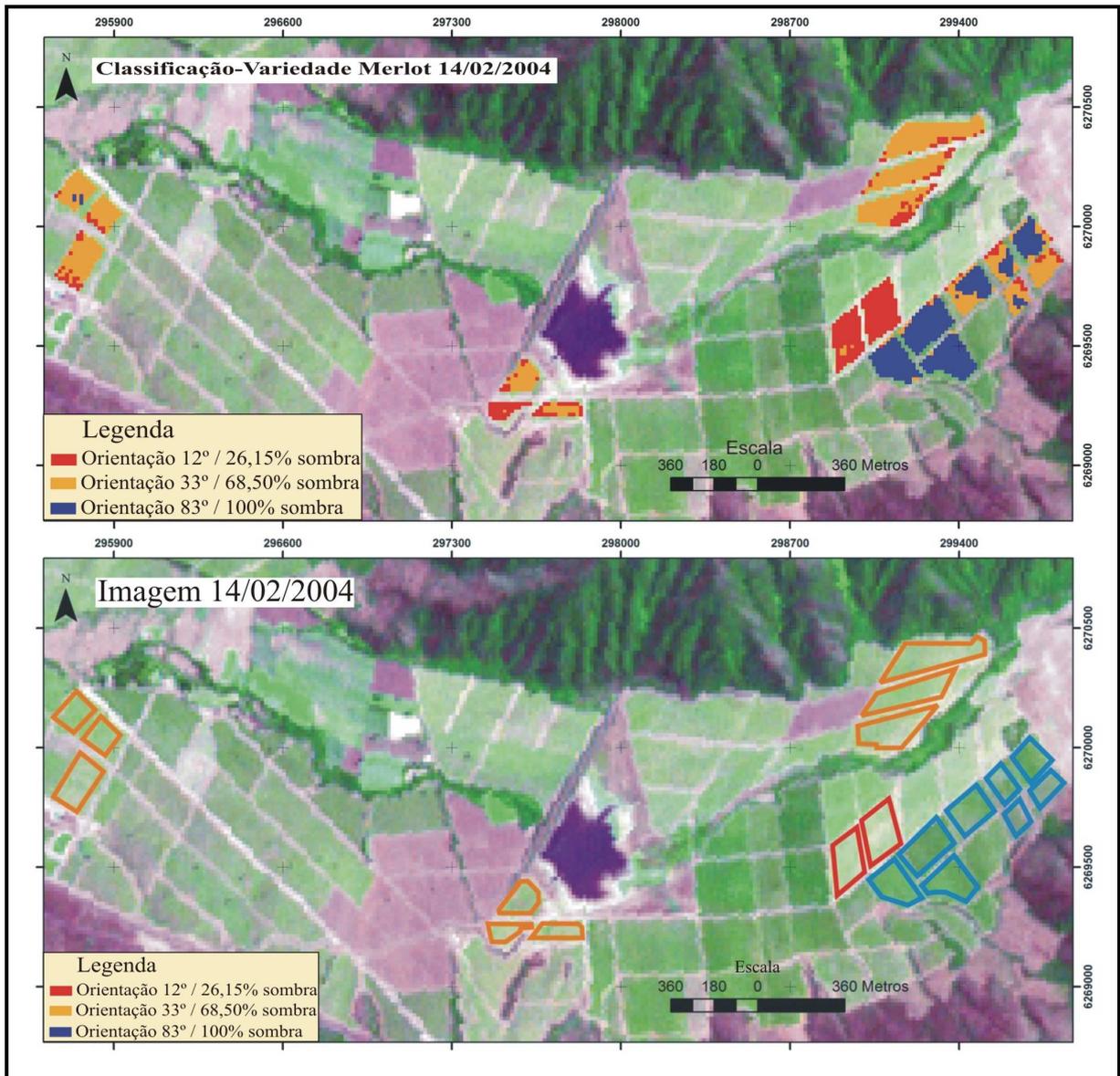


Figura 44:(A) Imagem de 2004, classificação da variedade Merlot. (B) Distribuição espacial das orientações das parcelas utilizadas como máscara na classificação.

De maneira geral pode-se dizer que a classificação apresentou resultados consideráveis, obtendo um coeficiente *Kappa* de 0,93.

Tabela 18: Matriz de Confusão da classificação de 14/02/2004, Variedade Merlot.

Classes	Orient 12° (%)	Orient 33° (%)	Orient 83° (%)	Total (%)
Orient 12°	95,83	8,33	0,30	17,62
Orient 33°	4,17	90,63	18,45	49,40
Orient 83°	0,00	1,04	81,25	32,98
Total	100,00	100,00	100,00	100,00

A terceira imagem analisada para a variedade Merlot é referente à data de 31/01/2005. Para esta imagem foram avaliadas as mesmas parcelas de Merlot da imagem de 2004; no

entanto, como o ângulo zenital e azimutal mudaram, os ângulos das fileiras em relação ao Sol também se alteraram, mudando as condições de iluminação. Para a imagem de 2005 os ângulos e respectivas quantidades de sombra encontradas foram: orientação 18° (42,60% de sombra), orientação 37° (82,97% de sombra), orientação 39° (86,77% de sombra), orientação 74° e 89° ambas com 100% de sombra entre as fileiras.

Observando a Figura 45, podemos constatar que, exceto na banda 3, as demais parcelas que apresentaram parte do solo iluminado, não tiveram diferença estatística significativa ao nível de 5%.

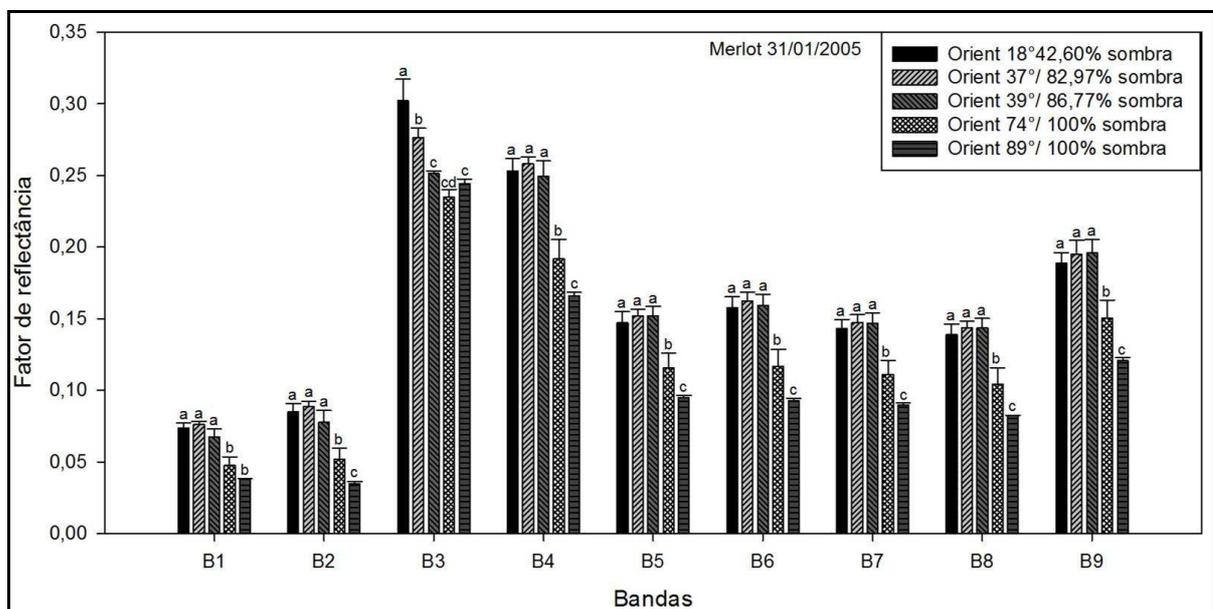


Figura 45: Análise estatística do comportamento da reflectância com relação à orientação das parcelas na imagem de 14/02/2004, com a respectiva diferença significativa para a variedade Merlot. Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5%.

Analisando as bandas do SWIR, identifica-se a separação de três grupos, um composto pelas parcelas que apresentam parte do solo iluminado, e os outros dois grupos referem-se as parcelas com orientação de 74° e 89°. Estes dois últimos grupos apesar de apresentarem 100% de sombra entre as fileiras apresentaram diferenças significativas nas médias das parcelas, resultado este, que contradiz o esperado.

Apesar dos resultados estatísticos não apontarem separabilidade das parcelas com orientação 18° e 39°, as mesmas foram usadas juntamente com a orientação de 89° para classificar a imagem de 2005. Na escolha destas orientação levou-se em consideração as parcelas que apresentavam maiores diferenças na porcentagem de solo sombreado e a possível comparação do comportamento destas parcelas com as mesmas parcelas classificadas na imagem de 2004.

Observando a imagem classificada (Figura 46), percebe-se que a grande maioria das parcelas com 100% de sombra foram bem classificadas, e até mesmo as cinco parcelas que na imagem de 2004 apresentaram problemas na classificação pelo fato de não possuir o dossel totalmente desenvolvido. Na classificação da imagem de 2005, onde as cepas possuíam um ano a mais de desenvolvimento, nota-se uma sensível melhora, resultado que fortalece a ideia de que a má classificação de 2004 pode ter sido influenciada pelo dossel incompleto. De acordo com a Matriz de Confusão, esta orientação obteve 97,321% de acerto na classificação (Tabela 19).

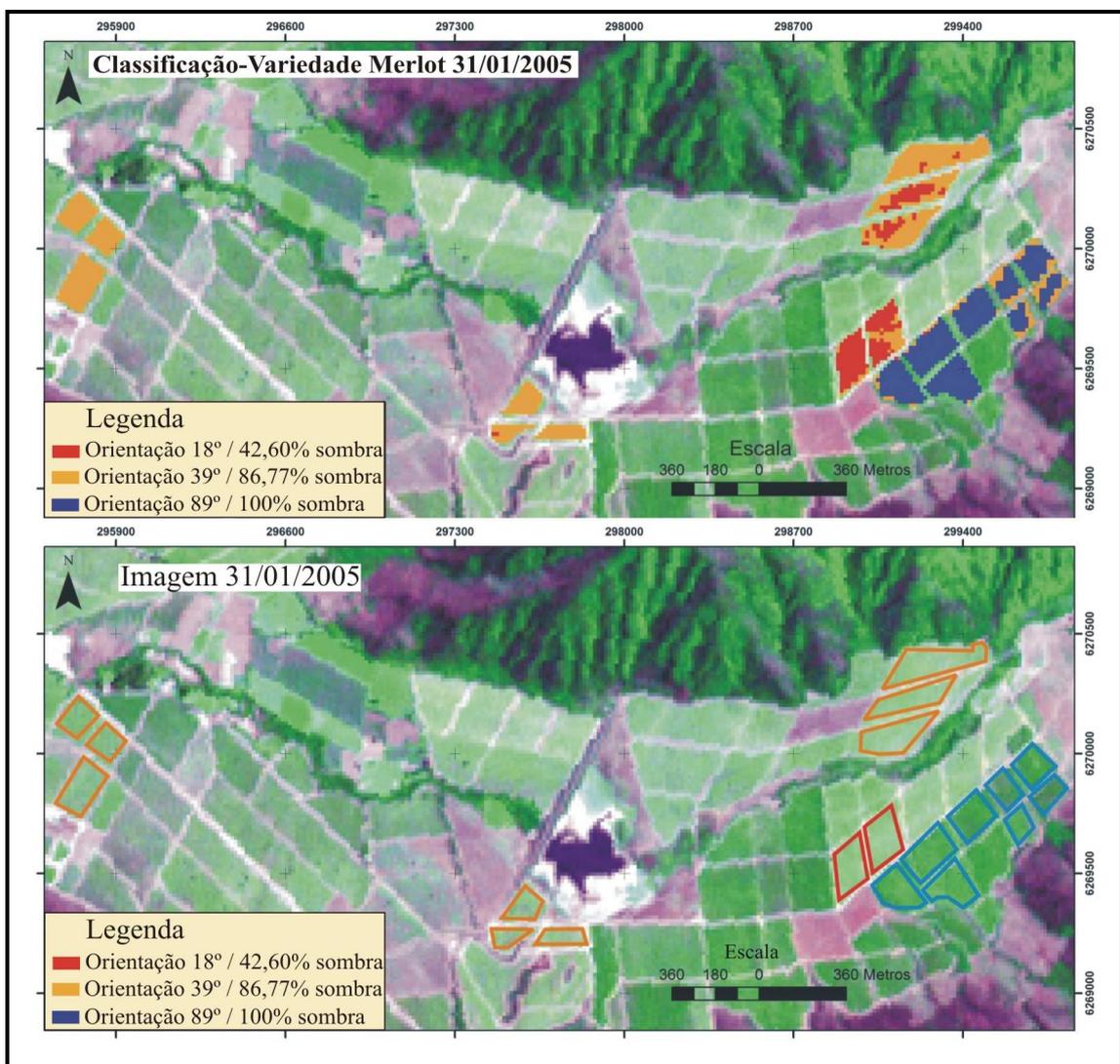


Figura 46:(A) Imagem de 2005, classificação da variedade Merlot. (B) Distribuição espacial das orientações das parcelas utilizadas como máscara na classificação.

Os outros dois grupos tiveram porcentagem de acerto semelhante, sendo que justamente os pixels classificados erroneamente na orientação 18° foram classificados como sendo da orientação 39° e vice-versa. Esta dificuldade que o classificador encontrou em

discriminar estes dois grupos também foi evidenciada pela análise estatística, onde estas orientações não apresentaram diferenças estatísticas significativas.

Tabela 19: Matriz de Confusão da classificação de 31/01/2005, Variedade Merlot.

Classes	Orient 18° (%)	Orient 39° (%)	Orient 89° (%)	Total (%)
Orient 18°	82,50	16,67	0,00	19,40
Orient 39°	17,50	83,33	2,68	41,67
Orient 89°	0,00	0,00	97,32	38,93
Total	100,00	100,00	100,00	100,00

De maneira geral a classificação da imagem de 2005 obteve o mesmo desempenho da imagem classificada para 2004, com índice *Kappa* 0,93, resultado que segundo Landis e Koch (1977), pode ser considerado excelente.

4.3.3 Avaliação do comportamento espectral e classificação da variedade Sauvignon Blanc

As parcelas que continuam cepas da variedade Sauvignon Blanc também foram avaliadas neste estudo, a exemplo das duas variedades estudadas anteriormente, esta variedade também foi estudada usando-se as imagens de 24/02/2002, 14/02/2004 e 31/01/2005.

Na imagem de 2002 foi possível identificar a ocorrência de três diferentes orientações no vinhedo, parcelas com orientação 25°, que para esta data apresentavam 48,56% de sombra entre as fileiras e as orientações e 61° e 81°, ambas com 100% de sombra. De acordo com a Figura 47 pode-se observar um comportamento constante da quantidade de reflectância nas diferentes orientações. A orientação de 61°/100% de sombra foi a que apresentou as menores reflectâncias nas nove bandas. Esta orientação, apesar de ter a mesma quantidade de sombra que a orientação 81°, não apresenta as mesmas médias de reflectâncias, sendo que estatisticamente não podem ser consideradas iguais.

As parcelas com orientação 81°/100% foram consideradas como sendo estatisticamente iguais as parcelas com orientação de 25° que possuem apenas 48,56% de área sombreada entre as fileiras, resultado que não era esperado. Observando os desvios padrões das amostras da orientação 81° percebe-se que em todas as bandas os valores de reflectância apresentaram altos desvios padrões, fato que pode ter contribuído nos resultados da análise estatística.

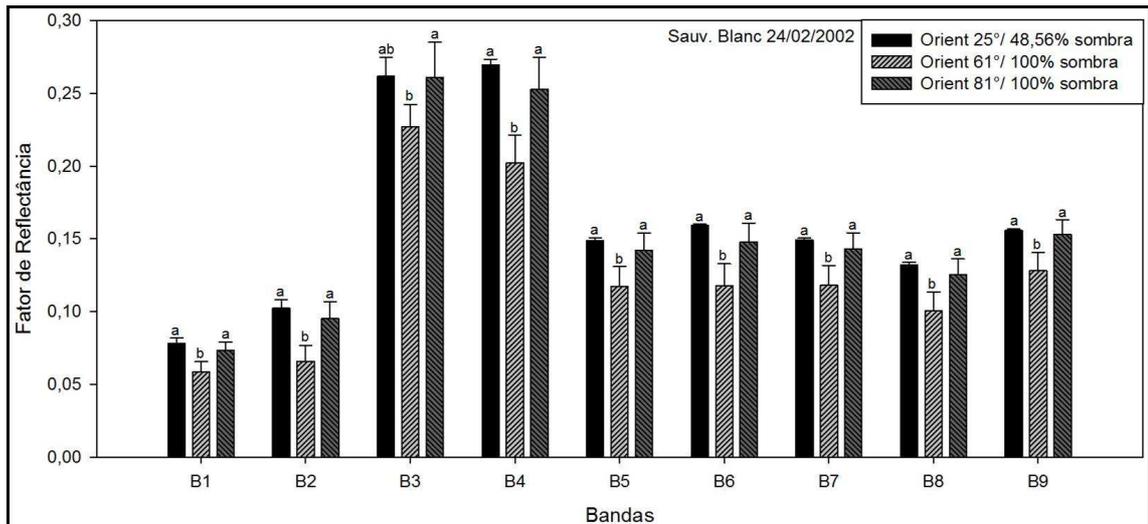


Figura 47: Análise estatística do comportamento da reflectância com relação à orientação das parcelas na imagem de 24/02/2002, com a respectiva diferença significativa para a variedade Sauvignon Blanc. Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5%.

Estas três orientações foram usadas na classificação da imagem a fim de verificar como eram discriminadas pelo classificador de Mínima Distância, (Figura 48). Observando a imagem classificada constata-se que a orientação de 61° foi a que teve as parcelas melhores classificadas, afirmação comprovada pela análise da Matriz de Confusão que apresenta 83,48% dos pixels classificados corretamente, e 14,34% classificados como pertencentes à orientação 81°, que igualmente as parcelas com orientação de 61° tem 100% de área sombreada entre suas fileiras (Tabela 20).

As parcelas que apresentam parte do solo iluminado obtiveram 65,78% de acerto, sendo que 33,89% dos pixels que foram rotulados errados pertencem à orientação 81°. Esta confusão espectral foi detectada também pela análise estatística, conforme relatado anteriormente. As parcelas que apresentaram mais problemas na classificação se referem às orientadas a 81°; estas parcelas obtiveram apenas 59,59% de acerto na classificação, tendo confusão com as outras duas orientações

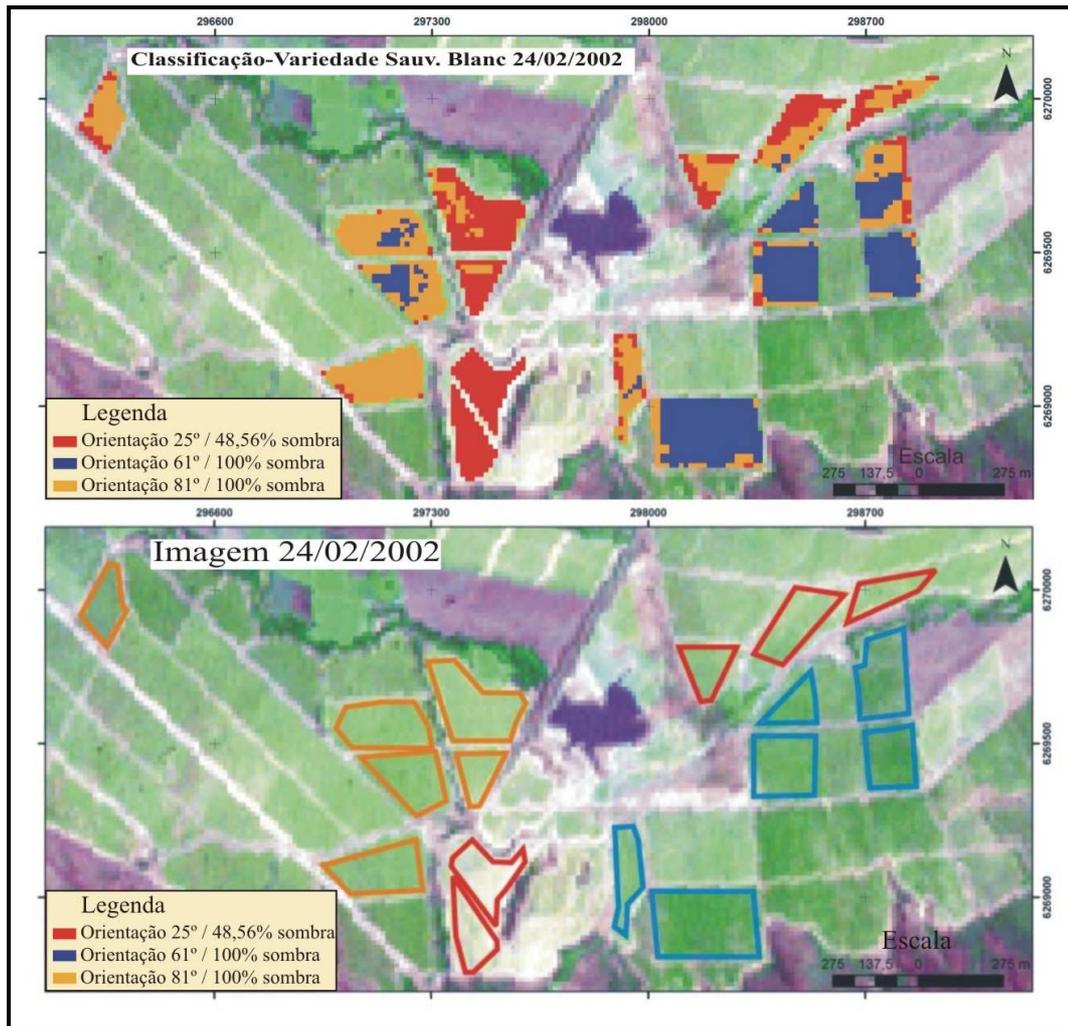


Figura 45:(A) Imagem de 2002, classificação da variedade Sauvignon Blanc. (B) Distribuição espacial das orientações das parcelas utilizadas como máscara na classificação.

Observando a classificação numa perspectiva geral percebe-se que houve uma confusão espectral considerável, fato que é mostrado pelo coeficiente Kappa (0,77), este valor conceitua a classificação como muito boa, (LANDIS E KOCH, 1977).

Tabela 20: Matriz de Confusão da classificação de 24/02/2002, Variedade Sauvignon Blanc.

Classes	Orient 25° (%)	Orient 61° (%)	Orient 81° (%)	Total (%)
Orient 25°	65,78	2,18	27,63	25,73
Orient 61°	0,33	83,48	12,78	39,12
Orient 81°	33,89	14,34	59,59	35,15
Total	100,00	100,00	100,00	100,00

Para a imagem de 2004 foram identificadas apenas duas orientações distintas para as parcelas de Sauvignon Blanc. Foram coletadas amostras dessas parcelas e submetidas a análise estatística para ver a similaridade dos grupos. Observando a Figura 49, é perfeitamente distinguível a separabilidade das parcelas com orientação de 31° e 64,78% de sombra das

parcelas orientadas a 67° e 100% de sombra entre as fileiras. Este comportamento pode ser constatado nas nove bandas.

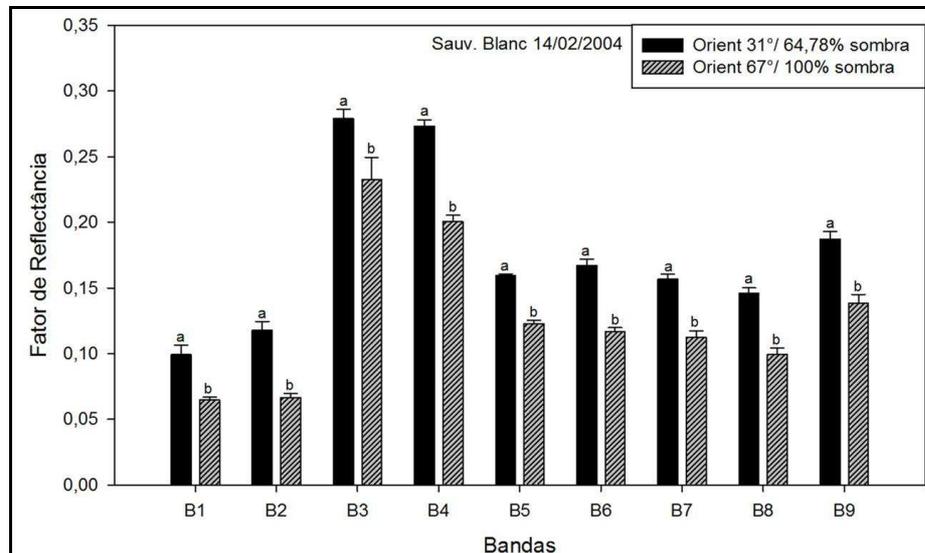


Figura 49: Análise estatística do comportamento da reflectância com relação à orientação das parcelas na imagem de 14/02/2004, com a respectiva diferença significativa para a variedade Sauvignon Blanc. Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5%.

Como estatisticamente os grupos apresentaram boa separabilidade, as mesmas orientações foram usadas para classificar a imagem de 2004 (Figura 50).

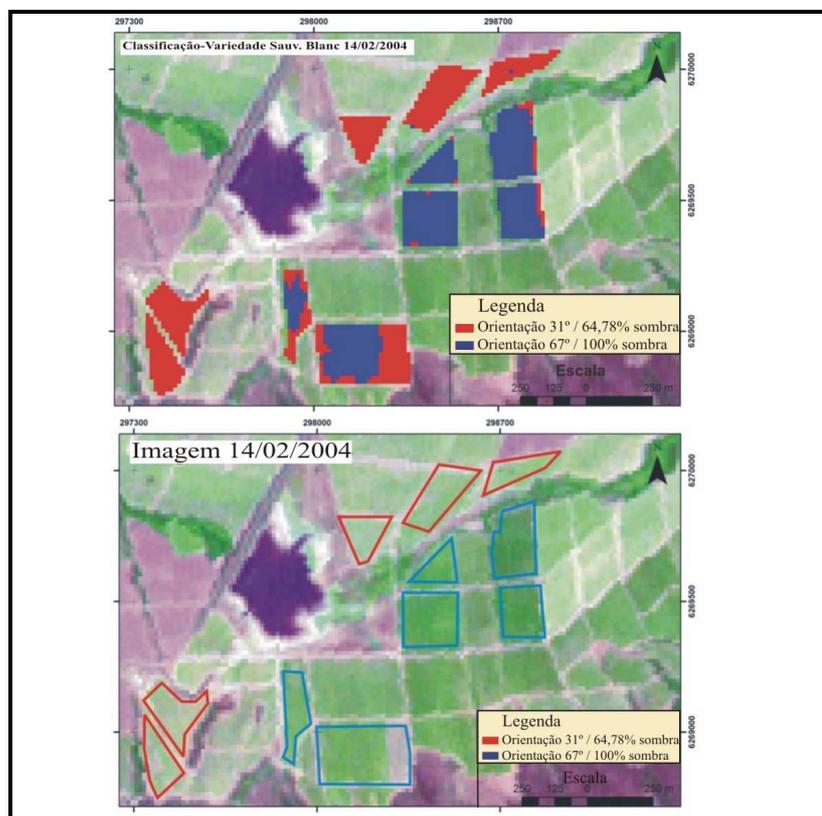


Figura 50:(A) Imagem de 2004, classificação da variedade Sauvignon Blanc. (B) Distribuição espacial das orientações das parcelas utilizadas como máscara na classificação.

Observando o resultado da classificação, pode-se considerar que a classificação foi satisfatória, pois as parcelas que apresentavam parte do solo iluminado tiveram quase que a totalidade dos pixels classificados corretamente; conforme a Matriz de Confusão, 99,65% dos pixels foi rotulado certo (Tabela 21).

Já as parcelas com orientação 67°, que referem-se às parcelas que possuem 100% de solo sombreado, tiveram um desempenho um pouco inferior com 87,39% dos pixels classificados corretamente. Na avaliação geral da classificação a mesma enquadra-se como excelente, com índice Kappa (0,94); este resultado, já esperado, mostra mais uma vez a influência da sombra na reflectância de uma mesma cepas quando comparadas em parcelas que possuem diferentes condições de iluminação .

Tabela 21: Matriz de Confusão da classificação de 14/02/2004, Variedade Sauvignon Blanc.

Classes	Orient 31° (%)	Orient 67° (%)	Total (%)
Orient 31°	99,65	12,61	41,73
Orient 67°	0,35	87,39	58,27
Total	100,00	100,00	100,00

Para a imagem de 31/01/2005 as parcelas analisadas na imagem de 2004 se mantiveram, no entanto, a orientação das fileiras em relação ao norte e a porcentagem de sombra se alteraram. Para a imagem de 2005 os ângulos de orientação encontrados foram 37° com parcelas tendo 82,97% de solo sombreado e parcelas orientadas a 73° com 100% de sombra entre as fileiras. Observando a análise estatística representada na Figura 51, nota-se um comportamento espectral muito parecido com a Figura 49, referente à imagem de 2004. Em ambos os casos as duas orientações apresentam separabilidade entre os grupos, em todas as bandas, sendo sempre as parcelas com parte do solo iluminado as que possuem maiores valores de reflectância.

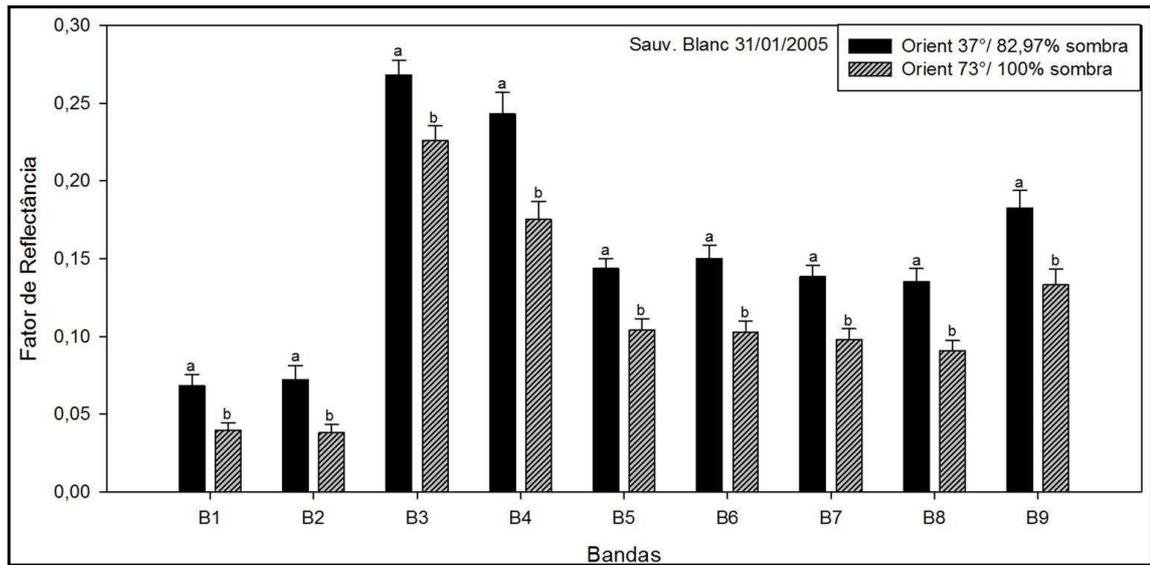


Figura 51: Análise estatística do comportamento da reflectância com relação à orientação das parcelas na imagem de 31/01/2005, com a respectiva diferença significativa para a variedade Sauvignon Blanc. Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5%.

Estas parcelas também foram submetidas à classificação, a fim de verificar se o resultado da classificação para a imagem de 2005 assemelha-se com o obtido para a imagem de 2004. Observando o resultado da classificação (Figura 52), nota-se que o classificador teve um desempenho muito parecido do obtido para a imagem de 2004. Interessantemente as parcelas que apresentavam parte do solo iluminado obtiveram a mesma porcentagem de pixels classificados corretamente do que as correspondentes parcelas da imagem de 2004, com 99,65% de acerto, Tabela 22. Comparando-se as parcelas classificadas na imagem de 2004 com relação a imagem de 2005, nota-se uma pequena diferença nos pixels que foram classificados erroneamente, por exemplo, na imagem de 2005 três parcelas pertencentes a orientação 37° tiveram todos os pixels classificados certo, diferente da imagem de 2004 que teve somente duas.

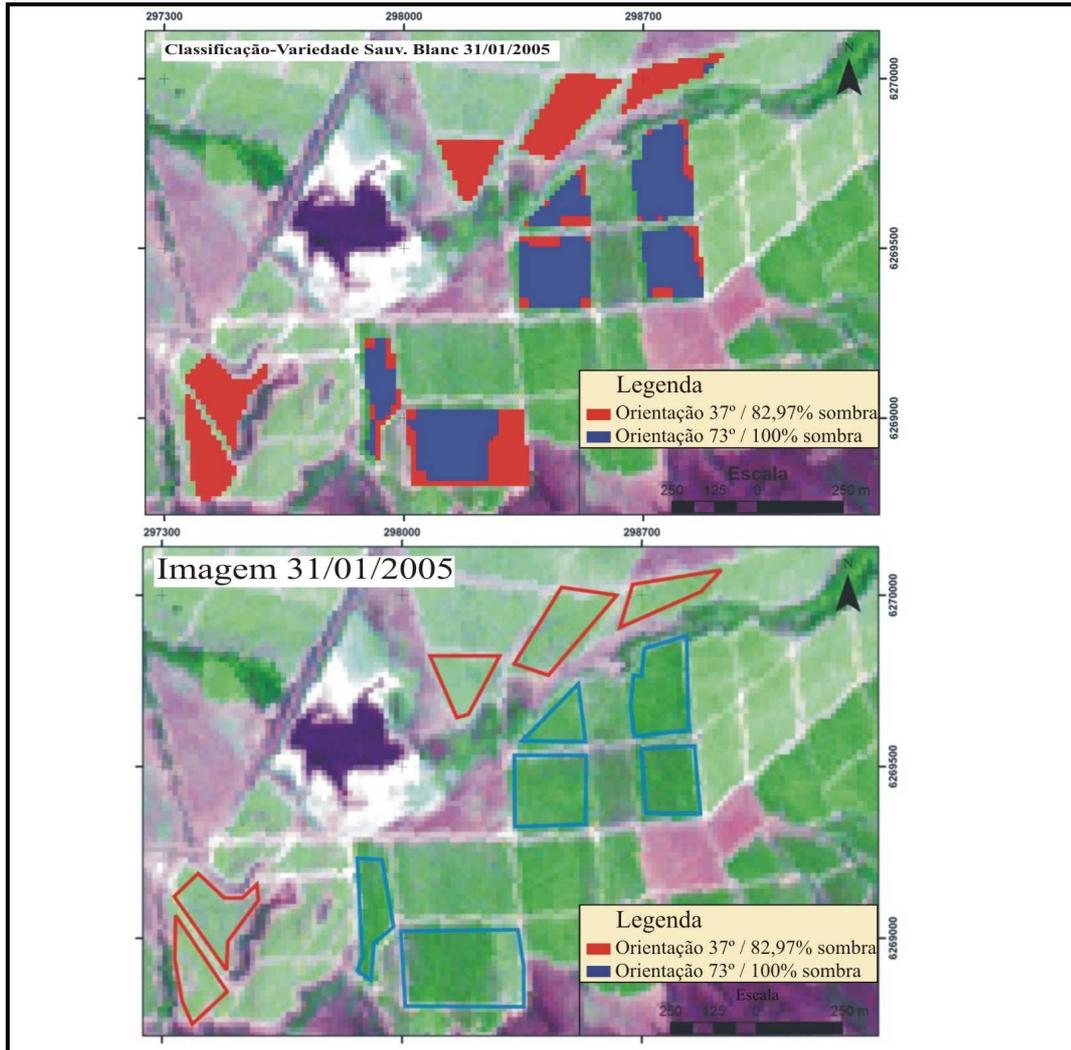


Figura 52:(A) Imagem de 2005, classificação da variedade Sauvignon Blanc. (B) Distribuição espacial das orientações das parcelas utilizadas como máscara na classificação.

Com relação as parcelas com 100% de solo sombreado, estas tiveram uma pequena melhora na classificação, quando comparadas com a imagem de 2004, resultado que pode ser avaliado pela quantidade de pixels corretamente classificados, a imagem de 2005 teve um acréscimo de aproximadamente 4,5% nos pixels classificados corretamente, aumentando também o coeficiente *Kappa* que passou para (0,96), mostrando um excelente desempenho do classificador. Estes resultados contribuem para solidificar a ideia de que a proporção de sombra é um fator a ser considerado na resposta espectral dos alvos.

Tabela 22: Matriz de Confusão da classificação de 31/01/2005, Variedade Sauvignon Blanc.

Classes	Orient 37° (%)	Orient 73° (%)	Total (%)
Orient 37°	99,65	8,16	47,37
Orient 73°	0,35	91,84	52,63
Total	100,00	100,00	100,00

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados gerados e analisados pode-se confirmar o potencial das imagens ASTER no estudo de fenômenos naturais, principalmente quando se referem à análise e monitoramento de culturas vegetais. Com relação ao uso combinado das bandas do subsistema VNIR+SWIR, foram obtidos fortes indicativos que a reamostragem das bandas do subsistema SWIR, quando submetidas a processamentos digitais de reamostragem de pixels (quadruplicação do número de pixels), não altera de forma significativa as características espectrais dos alvos, mesmo de classes diversas. Este processo de reamostragem deve ser realizado necessariamente aplicando-se o método de interpolação por Vizinho mais Próximo.

O método desenvolvido e criado nesse trabalho para calcular a porcentagem de sombra presente nas parcelas do vinhedo foi fundamental para identificar as diferentes condições de iluminação da cultura. A utilização desta metodologia pode ser aplicada na estimação da quantidade de sombra de culturas plantadas em fileiras, contribuindo para o entendimento do comportamento espectral ao longo do ciclo fenológico, ou mesmo em culturas perenes, como é o caso dos vinhedos abordados no presente trabalho.

A classificação espectral de diferentes variedades, quando analisadas nas mesmas condições de insolação, mostrou que o classificador por Distância Euclidiana não apresentou bom poder discriminatório das diferentes cepas. Para a identificação dessas sutis variações espectrais é necessário o desenvolvimento de métodos mais sofisticados, a exemplo de Cemim e Ducati (2011), que desenvolveu uma metodologia utilizando funções discriminantes para este tipo de análise.

Na comparação espectral entre as parcelas de vinhedos que representavam a mesma cultivar, mas apresentavam condições de insolação distintas, foi possível identificar variações na quantidade de reflectância, sendo estas diferenças comprovadas estatisticamente. Estes resultados mostram a importância e necessidade de conhecer a variação e a influência da sombra no comportamento espectral de cultivares e provavelmente da vegetação em geral.

A avaliação da classificação das parcelas viníferas com diferentes condições de insolação pode ser considerada satisfatória. Estes resultados credenciam a utilização das imagens ASTER para esta finalidade, mesmo a resolução espacial não permitindo a discriminação dos diferentes componentes que alteram a resposta espectral das videiras avaliadas, como por exemplo, solo, umidade do solo, sombra, tamanho das folhas, entre

outros, merecendo estudos mais aprofundados. A possibilidade da utilização de pixel mistura não deve ser descartada: como visto neste trabalho os dosséis de vinhedos tendem a ser descontínuos ou incompletos, sendo o comportamento do fundo (mistura espectral do solo, sombra, gramíneas, entre outros) um contribuinte na resposta espectral do vinhedo.

Este trabalho abre pressupostos para estudos mais aprofundados no intuito de refinar a discriminação e monitoramento de culturas viníferas com suporte de imagens de satélite e processamento de imagens, campo ainda pouco explorado, mas que aponta para uma evolução promissora.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMS, M.; HOOK, S.; RAMACHANDRAN, B. **ASTER users handbook**. Pasadena: JPL, 1999. 93p. Disponível em: <asterweb.jpl.nasa.gov/content/03_data/04_Documents/aster_user_guide_v2.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2011.

ABRAMS, M.; HOOK, S. **ASTER User Handbook**: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer. USA: NASA/Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology, v.2, 2002, 135p. Disponível em: <http://asterweb.jpl.nasa.gov/content/03_data/04_Documents/aster_user_guide_v2.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2011.

ACHARYA, P. K.; BERK, A.; ANDERSON, G. P.; LARSEN, N. F.; TSAY, S.; STAMNES, K. H. MODTRAN4: multiple scattering and bi-directional reflectance distribution function (BRDF) upgrades to MODTRAN. **SPIE Proceeding, Optical Spectroscopic Techniques and Instrumentation for Atmospheric and Space Research III**, v. 3756, 1999. Disponível em: <www.spectral.com/sr115.pdf>. Acesso em: 15 set. 2009

AMARANTE, J.O.A. **Os segredos do vinho**: para iniciantes e iniciados. 2. ed. São Paulo: Mescla Editorial, 2005. 568p.

ANDERSON, L. O. **Classificação e monitoramento da cobertura vegetal de Mato Grosso utilizando dados multitemporais do sensor MODIS**. 2004. 247p. (INPE- 12290-TDI/986). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2004.

ANTUNES, M.A.M. **Aplicação dos modelos de reflectância SUITS e SAIL, no estudo do comportamento espectral de soja (Glycine max (L) Merrill)** (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1992.

BARNESLEY, M. I. **Effects of Off-Nadir View Angles on the Detected Spectral Response of Vegetation Canopies**, IJRS 5:714-728, 1984

BRAMLEY, R.G.V.; PROFFITT, A.P.B. Managing variability in viticultural production. **The Australian Grapegrower and Winemaker**, Australia, v. 427, p. 11-16. 1999.

BRAMLEY, R.G.V. Progress in the development of precision viticulture - variation in yield, quality and soil properties in contrasting Australian vineyards. In: CURRIE, L.D.; LOGANATHAN, P. **Precision tools for improving land management**. Palmerston North, n.14, p.25-43. 2001.

BRAMLEY, R.G.V.; HAMILTON, R.P. Understanding variability in winegrape production systems. 1. Within vineyard variation in yield over several vintages. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, Australia, v. 10, 3 p. 2-45. 2004.

BELWARD, A.S. Spectral characteristics of vegetation, soil and water in the visible, near-infrared and middle-infrared wavelengths. In: Belward. A.S.; Valenzuela, C.R. (Ed). **Remote sensing and geographical information systems for resource management in developing countries**. Netherlands: Kluwer, p.31-54, 1991.

BROWER, J.E.; ZAR, J.H. **Field & laboratory methods for general ecology**. 2.ed. Dubuque: Wm. C. Brown Publishers, 1977. 226p.

CAMPOS, R. C. **Modelo de transferência radiativa para dosséis descontínuos regulares (GRART): aplicação para dosséis de café**. Tese (Sensoriamento Remoto) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 2008

CARBONNEAU, A. Etude écophysiological des principaux systèmes de conduite intérêt qualitatif et économique des vignes en Lyre: premières indications de leur comportement en situation de vigueur élevée. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE VITICULTURA E ENOLOGIA, 6., 1990, Bento Gonçalves. **Anais...**Bento Gonçalves: Embrapa/CNPV/ABTE/OIV, 1991. p. 21- 34.

CASTRO, R. Sistemas de condução da vinha: evolução, tendências atuais e estudos a decorrer em Portugal. In: SIMPÓSIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM VITICULTURA, 1., 1989, Dois Portos. **Anais...** Dois Portos : [s.n.], 1989.

CEMIM, G.; DUCATI, J.R. Spectral Discrimination of Grape Varieties and a Search for Terroir Effects Using Remote Sensing. **Journal of Wine Research**, v. 22, p. 57-78, 2011.

CENTENO, J.A.S. **Sensoriamento remoto e processamento de imagens digitais**. Curitiba, PR: Editora do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR, 2003. 219 p. ISBN 85-88783-05-03.

COLEMAN, T.L.; MONTGOMERY, O.L. **Soil moisture, organic matter and iron content effect on the spectral characteristics of selected vertisols and alfisols in Alabama**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Falls Church, v.53, p.1659- 1663, 1987.

COLWELL, J. E. Vegetation canopy reflectance. **Remote Sensing of Environment**, v. 3, n. 3, p. 175-183, Março, 1974.

COLLWELL, R. N. (ed.), 1983, **Manual of Remote Sensing**. 2 Ed. Edition, American Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS), pp. 344-363, and pp. 1196

CONGALTON, R.G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing Of Environment**, v.44, n.37, p.35-46, 1991.

CRÓSTA, A.P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas, SP: IG/UNICAMP, 1993. 170p.

CRÓSTA, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. 4.ed. Campinas, SP: Editora IG/UNICAMP, 2002. 154 p. ISBN 85-85369-02-7.

EARTH REMOTE SENSING DATA ANALYSIS CENTER (ERSDAC). **Cross-Talk correction software user's guide**. Tokyo: ERSDAC, 2003. 21p. Disponível em: <http://www.gds.aster.ersdac.or.jp/gds_www2002/service_e/u.tools_e/cross/GUIDEED.PDF> Acesso em: 19 nov. 2009

FIGUEIREDO, G.C. e VIEIRA, C.A.O. Estudo do comportamento dos índices de Exatidão Global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, n. 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, SC: INPE, 1997. CD, p. 5755-5762.

FONSECA, L.M.G. **Processamento Digital de Imagens**. Apostila do curso da disciplina de Processamento digital de imagens dada no curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Divisão de Processamento de Imagens. 2000. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/~leila/ser437/PDI_7_seg_clas.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2011.

FUCKNER, M. A. **Aplicação de imagens ASTER no estudo do ambiente urbano de São Paulo e Rio de Janeiro**. (Dissertação de Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2007.

GATES, D.M.; KEEGAN, H.J.; SCHLETER, V.R.; WEIDNER, V.R. Spectral properties of plants. **Applied Optics**, v. 4, n.1, p. 11-20, 1965.

GOEL, N.S. Models of vegetation canopy reflectance and their use in estimation of biophysical parameters from reflectance data. **Remote Sensing Reviews**, v.4, p. 1-24, 1988.

GOLTZ, E. **Avaliação do produto MOD09 (reflectância da superfície) fornecido pelo sensor MODIS/Terra através de radiometria de campo em uma área de soja**. (Dissertação de Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005.

GUYOT, G. Optical properties of vegetation canopies. In: Steven, M. D.; Clark, J. A. **Applications of remote sensing in agriculture**. London: Butterworths, 1990. cap. 2, p. 19-43.

HAIR, J.F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 600p.

HALL, A.; LOUIS, J.P.; LAMB, D.W. A method for extracting detailed information from high resolution multispectral images of vineyards. In: 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOCOMPUTATION. **Proceedings...**Brisbane: D.V. Pullar, 2001.

HOFFER, R.M. Biological and Physical Considerations in Applying Computer-Aided Analysis Techniques to Remote Sensor Data. In: SWAIN, P. H; DAVIS, S.M. **Remote Sensing: The Quantitative Approach**. New York: McGRAW-HILL, 1978. p. 227-289.

HUETE, A.R. Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds. **Remote Sensing of Environment.**, v.17, p.37-53, 1985

HUETE, A. R. Soil dependent spectral response in a developing plant canopy. **Agronomy Journal**, v. 79, n. 1, p. 61-68, 1987.

HUETE, A.R. Soil influences in remotely sensed vegetation canopy spectra. In: Asrar, G.(ed.). **Theory and applications of optical remote sensing**. New York: John Wiley & Sons, 1989. cap. 4, p.107-141.

HULST, V. **Light Scattering by Small Particles**. John Wiley and Sons, New York, 1957.

IWASAKI, A.; FUJISADA, H.; AKAO, H.; SHINDOU, O.; AKAGI, S. Enhancement of Spectral Separation Performance for ASTER/SWIR. In: ANNUAL MEETING SPIE, 47, San Diego, **Proceedings...** San Diego: SPIE, 2001, p. 42-50.

JACKSON, R.D.; Pinter Jr, P.J.; Idso, S.B.; Reginato, R.J. Wheat spectral reflectance: interactions between crop configuration, sun elevation, and azimuth angle. **Applied Optics**, 18 (22): 3730-3731, 1979

JACKSON, R.D.; Teillet, P.M.; Slater, P.N.; Fedosejevs, G; Jasinski, M.F; Aase, J.K; Moran, M.S. Bidirectional measurements of surface reflectance for view angle corrections of oblique imagery. **Remote Sensing of Environment**, 32(1): 189-202, 1990.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução: Epiphany et al. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

LIU, K.N. **An introduction to atmospheric radiation**. New York: Academic Press, 1980. 392p.

KIMES, D.S.; KIRCHNER, J.A. Diurnal variations of vegetation canopy structure. **International Journal of Remote Sensing**, v. 4, n. 2, p. 257-271, 1983.

KIMES, D.S. Dynamics of directional reflectance factor distributions for vegetation canopies. **Applied Optics**, v. 22, n. 9, p. 1364-1372, 1983.

KNIPLING, E. B. Physical and physiological basis for the reflection of visible and near infrared radiation from vegetation. **Remote Sensing of Environment**, v. 1, p. 155-159, 1970.

KOLLENKARK, J.C.; VANDERBILT, V.C.; DAUGHTRY, C.S.T.; BAUER, M.E. Influence of solar illumination angle on soybean canopy reflectance. **Applied Optics**, 21(7): 1179-1184, 1982.

KRUSE, F. A. Predictive subpixel spatial/spectral modeling using fused HSI and MSI data. In: SPIE SYMPOSIUM ON DEFENSE & SECURITY, 2004, Orlando, FL. **Proceedings...** 5425. Orlando, FL: SPIE, 2004. p. 414 – 424.

LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. **The measurement of observer agreement for categorical data**. *Biometrics*, v.33, n.1, p.159-174, 1977.

LILLESAND, T. M.; KIEFFER, R. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 2 ed. New York, John Wiley & Sons, 1987. 721p.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. New York: John Wiley e Sons Inc., 1994

MAGALHÃES, M.N.; LIMA, A.C.P. **Noções de Probabilidade e Estatística**. 6º ed. São Paulo: EDUSP, 2005.

MATHER, P.M. **Computer processing of remotely-sensed images: an introduction**. 2 ed., Great Britain: John Wiley & Sons, 1999. 210p.

MIELE, A.; MANDELLI, F. **Uvas Viníferas para Processamento em Regiões de Clima Temperado: sistemas de condução. Sistema de Produção**, Bento Gonçalves, n. 4, 2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Uva/UvasViniferasRegioesClimaTemperado/index.htm>>. Acesso em: 15 out. 2008.

MENESES, P. R.; NETTO, J. S. M. **Sensoriamento Remoto: Reflectância dos alvos naturais**. Brasília, DF: UnB; Planaltina: Embrapa Cerrados. 2001.

MOIK, J. G. **Digital processing of remotely sensed images**. Scientific and Technical Information Branch, National Aeronautics and Space Administration (NASA). 1980, Vol. VII.

NAGATA, K.R.; SCARPARE FILHO, J.A.; KLUGE, R.A.; VILLA NOVA, N.A. Temperatura-base e soma térmica (graus-dia) para videiras 'Brasil' e 'Benitaka'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, V.22, n.3, p.329-333, 2000.

NOGUEIRA, D. J. P. **Porta-enxertos de videira**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 10, n. 117, p. 22-24, set. 1984.

NOVO, E.M.L.M de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo. Edgard Blucher. 1989. 308p.

NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 1992. 308p.

Novo, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Blucher, 2008. 363p.

POLIDORIO, A.M., FLORES, F.C., IMAI, N.N., TOMMASELLI, A.M.G. and FRANCO, C. Automatic shadow segmentation in aerial color images. Proceedings of the IEEE XVI Brazilian Symposium on computer graphics and image processing, 12 – 15 October, São Carlos, Brazil, 2003. **Proceedings...** p. 270 – 277.

PONZONI, F.J. Comportamento espectral da vegetação. In: MENESES, P.R.; NETTO, J.S.M. (ed). **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília: UNB, 2001. p.157-202.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação**. 1. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2007. 135 p.

PORTAL, M. e M. CALDERÓN. 1995. Palmar Las 7 Hermanas El Salto. CONAF, Región de Valparaíso, 23 p

REGINA, M.A.; PEREIRA, A.F.; ALVARENGA, A.A.; ANTUNES, L.E.C.; ABRAHÃO, E.; Rodrigues, D.J. Sistemas de condução para a videira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 194, p.28-33. 1998.

REITZ, J.R.; MILFORD, F.J.; CHRISTY, R.W. **Fundamentos da teoria eletromagnética**. Editora Campus: Rio de Janeiro, 1982.

REYNIER, A. **Manual de viticultura**. 5ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1995. 407p.

RICHARDS, J. A. . **Remote sensing digital image analysis : an introduction**. 2nd, rev. and enl. ed Berlin: Springer-Verlag, 1993.

RICHARDS, J.A. **Remote sensing digital image analysis: an introduction**. 4º.ed. Berlin; Springer-Verlag, 2006

ROJAS, E. H. M.; **Síntese Genética de Redes Neurais Artificiais ART2 na classificação de imagens ASTER para mapeamento de uso e cobertura da terra na região Norte de Mato Grosso**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005.

RSI. **FLAASH User's Guide - ENVI FLAASH Version 4.3**. Research Systems, Inc, 80 p., 2006. Disponível em: <<http://www.rsinc.com/envi/docs/pdf/flaash.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2010.

SCHOWENGERDT, R. A. **Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing**. 3ª ed. San Diego: Academic, 2007. 515p.

SILVA, E.L.S.; PONZONI, F.J. Comparação entre a reflectância hemisférica de folhas e a reflectância bidirecional de um dossel. **Revista Árvore**, v.19, n.4. p.466-478, 1995

SLATER, P.N. **Remote Sensing: optics and optical systems**. New York, Addison-Wesley, 1980. 515p.

STEFFEN, C. A. **Reflectância**. São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, 1995. (INPE 5638. PUD/070).

TEIXEIRA, C. G. **Validação do modelo linear de mistura espectral em imagens ASTER/TERRA a partir de dados IKONOS**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005.

THOME, K.; BIGGAR, S.; TAKASHIMA, T. **Algorithm theoretical basis document for ASTER level 2B1 - surface radiance and ASTER level 2B5 - surface reflectance**. Tucson, Arizona 85721: Remote Sensing Group of the Optical Sciences Center - University of Arizona. Mar., 30, 1999, p.45. Disponível em: <http://eospsso.gsfc.nasa.gov/eos_homepage/for_scientists/atbd/docs/ASTER/atbd-ast-07-09.pdf>. 1999. (Contract Number: NAS5-31717). Acesso em: 15 fev. 2011

ANEXO I

Programação em Linguagem Fortran

```
Program Percentual_Sombra
```

```
  Implicit None
```

```
  Real :: pi
```

```
  Real :: graus, minutos, segundos
```

```
  Real :: azimute, zenite
```

```
  Real :: altura, distancia
```

```
  Real :: sombra, psombra
```

```
  Character :: sair
```

```
  pi=4.0*atan(1.0)
```

```
  Write(*,*)"Entre o angulo com o sol, em graus-minutos-segundos"
```

```
  Write(*,*)"Exemplo: 35 12 07"
```

```
  Read(*,*)graus, minutos, segundos
```

```
  Write(*,*)
```

```
  If(graus .gt. 90)Then
```

```
    graus = 180 - graus
```

```
  End If
```

```
  minutos = minutos + segundos/60.0
```

```
  graus = graus + minutos/60
```

```
  azimute = graus*pi/180.0 !Esta em RAD< nesta linha
```

```
  Write(*,*)"Entre o angulo zenital, em graus-minutos-segundos"
```

```
  Write(*,*)"Exemplo: 27 32 41"
```

```
  Read(*,*)graus, minutos, segundos
```

```
  Write(*,*)
```

```
  If(graus .gt. 90)Then
```

```
    graus = graus - 90
```

```
  End If
```

```
  minutos = minutos + segundos/60.0
```

```
  graus = graus + minutos/60
```

```
  zenite = graus*pi/180.0 !Esta em RAD< nesta linha
```

```
  Write(*,*)"Entre com a altura da cepas, em metros"
```

```
  Write(*,*)"Exemplo: 1.4"
```

```
  Read(*,*)altura
```

```
  Write(*,*)
```

```
  Write(*,*)"Entre com a area livre entre as cepas, em metros"
```

```
Write(*,*)"Exemplo: 2.1"  
Read(*,*)distancia  
sombra = altura*tan(zenite)*sqrt((sin(azimute)*sin(azimute)))  
  
psombra = sombra/distancia  
  
Write(*,*)  
Write(*,*)"O percentual de sombra eh: ",psombra  
If(psombra .gt. 1.0)Then  
  Write(*,*)"Para estes dados, todo o solo esta sombreado."  
End If  
Write(*,*)  
Write(*,*)"Fim do Programa"  
Write(*,*)  
Write(*,*)"Feche a janela..."  
Read(*,*)sair  
  
End Program Percentual_Sombra
```