

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

MAGNO GONZATTI BOMBASSARO

**ANÁLISE ESPECTRAL DE VARIEDADES DE *Vitis vinifera* A PARTIR
DE DADOS RADIOMÉTRICOS DE DOSSEL EM VINHEDOS DE
PINTO BANDEIRA, RS**

**Porto Alegre
2016**

MAGNO GONZATTI BOMBASSARO

**ANÁLISE ESPECTRAL DE VARIEDADES DE *Vitis vinifera* A PARTIR
DE DADOS RADIOMÉTRICOS DE DOSSEL EM VINHEDOS DE
PINTO BANDEIRA, RS**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), área de Concentração em Sensoriamento Remoto de Recursos Naturais, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Sensoriamento Remoto.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Ricardo Ducati

**Porto Alegre
2016**

*"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 Dr. Jorge Ricardo Ducati, orientador desta tese. Obrigado pela sua compreensão, amizade, orientação na busca do caminho certo no desenvolvimento da Tese, e oportunidades de crescimento pessoal e intelectual;

À Professora Dra. Jandyra Fachel pelas consultorias e ensinamentos na área de estatística, fundamentais para o desenvolvimento do trabalho;

À Vinícola Geisse por possibilitar a pesquisa em seus vinhedos, em especial à Mariana Dullius pelo apoio nos trabalhos de campo;

Aos professores, coordenação e colegas do curso de pós-graduação em Sensoriamento Remoto;

Às secretárias do Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Magdalena Assaf e Mônica Tagliari Kreling, pela sua disposição e presteza em me ajudar;

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

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

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

Muito Obrigado!

RESUMO

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

Análise espectral de variedades de *vitis vinifera* a partir de dados radiométricos de dossel em vinhedos de Pinto Bandeira, RS

Autor: Magno Gonzatti Bombassaro
Orientador: Jorge Ricardo Ducati

A crescente demanda do mercado mundial em aumentar a produção agrícola e minimizar danos ambientais confere crescente relevância à agricultura de precisão, para a qual a Geoinformação é uma importante ferramenta. Diferentes dados provenientes de imagem de sensores orbitais e terrestres têm sido utilizados para o monitoramento agrícola em escalas local, regional e global. Neste contexto, e focalizando esta percepção à viticultura, o objetivo deste estudo é avaliar o comportamento espectral de diferentes cultivares de videiras ao longo do ciclo fenológico, dando suporte para realização da discriminação espectral das variedades e o mapeamento da variação espacial do vigor vegetativo dentro da parcela. Para o desenvolvimento da pesquisa proposta o trabalho foi dividido em duas etapas. A primeira investigação consistiu em um estudo realizado em vinhedos da região de Borgonha na França, onde foram estudadas as variedades de uva Chardonnay e Pinot Noir. O trabalho teve como pressuposto verificar se as categorias de qualidade que definem os vinhedos e são transmitidas a partir do solo ao vinho são igualmente transmitidas às folhas das videiras, e se estas podem ser detectadas na informação espectral de imagens de satélites ASTER. Os resultados obtidos mostraram ser possível esta discriminação e instigaram novos estudos mais detalhados que foram conduzidos em vinhedos da Vinícola Geisse, localizada na Serra Gaúcha, realizados a partir de dados de radiometria de campo e imagens orbitais. Novamente foram investigadas as variedades viníferas Chardonnay e Pinot Noir, monitoradas ao longo de duas safras. As medições de campo foram realizadas com um radiômetro FieldSpec Pro. Também foram usados dados orbitais provenientes do sensor WorldView-2. Dados de campo e orbitais apresentaram relações consistentes, e mostraram ser possível discriminar as variedades através de suas características espectrais. A alta relação sinal/ruído dos dados de campo permitiu detectar diferenças consistentes e sistemáticas nos comprimentos de onda do verde e vermelho, atribuídas à presença de pigmentos como as antocianinas. O monitoramento da dinâmica espectral do ciclo fenológico revelou feições espectrais consistentes nos comprimentos de onda do infravermelho atribuídas ao período de senescência da videira. A espacialização dos dados de vigor vegetativo, obtidos através de índices de vegetação (NDVI) permitiu a setorização de áreas com diferentes potenciais enológicos.

Palavras-chave: Classificação espectral, espectrorradiometria, espacialização do vigor vegetativo.

ABSTRACT

Program of Post-Graduation on Remote Sensing
Federal University of Rio Grande do Sul - Brazil

Spectral analysis of varieties of *Vitis vinifera* from canopy radiometric data vineyards of Pinto Bandeira, RS

Author: Magno Gonzatti Bombassaro

Advisor: Jorge Ricardo Ducati

The growing demand of world markets to increase agricultural production and to minimize environmental impacts puts the Geoinformation as an important tool of precision agriculture. Several sets of data of images from orbital and ground sensors have been used for agricultural monitoring at local, regional and global scales. In this context, focusing this perception to viticulture, the aim of this study was to evaluate the spectral comportment of different grapevine cultivars along of phenological cycle, giving support to realization of spectral discrimination of varieties and the mapping of the spatial variation of vegetative vigor within the plot. For the development of this project, our research was divided into two stages. The first research consisted in a study of vineyards of the Burgundy region in France, where the studied grape varieties were Chardonnay and Pinot Noir. The work was to verify the assumption that the quality categories that define the vineyards and are transmitted from the soil to wine are also transmitted to the leaves of the vines, and these can be detected in the spectral information contained in ASTER satellite images. Results showed that this discrimination is indeed possible, and lead to the second part of the project, with new and more detailed studies, which were performed in the vineyards of Geisse Winery, located in the Serra Gaúcha region, Brazil, based on field radiometry and orbital images. The same grape varieties Chardonnay and Pinot Noir grapes were again investigated. Field measurements were performed with a radiometer FieldSpec Pro. The investigation was made on two vine plots, based on a selection of plants of the Chardonnay and Pinot Noir, which were monitored over two growing seasons. Orbital data were from the WorldView-2 sensor. Field and orbital data showed consistent relations and showed that it is possible to distinguish the varieties by their spectral characteristics. The high relation signal/noise of field data allowed detecting consistent and systematic spectral features at red and green wavelengths, thought to be linked to the presence of pigments such as anthocyanins. The monitoring of spectral dynamics during the phenological cycle revealed consistent spectral features in infrared wavelengths assigned to the vine senescence period. The spatial distribution of vegetative vigor data obtained from the vegetation index (NDVI) allowed the sectorization of areas with different enological potentials.

Keywords: Spectral classification, spectroradiometry, spatialization of vegetative vigor.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	12
1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 OBJETIVO GERAL.....	14
1.1.1 Objetivos Específicos	14
1.2 ÁREA DE ESTUDO	15
1.2.1 Caracterização das variedades estudadas	16
CAPÍTULO 2	18
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1 AGRICULTURA DE PRECISÃO.....	18
2.2 VITICULTURA DE PRECISÃO.....	19
2.3 COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO.....	20
2.4 DOSSEL VEGETAL.....	22
2.5 SISTEMAS DE CONDUÇÃO.....	24
2.6 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO.....	25
2.7 SENSOR ASTER	27
2.7.1 Efeito <i>crossstalk</i> no subsistema SWIR	29
2.8 SENSOR WORDVIEW-2.....	30
2.9. CORREÇÕES RADIOMÉTRICAS.....	32
2.10 RADIÔMETROS	33
CAPÍTULO 3	36
Paper: "Classifying Vineyards from Satellite Images: A case Study on Burgundy's Côte d'Or"	Erro! Indicador não definido.
CAPÍTULO 4	37
4. METODOLOGIA.....	37
4.2 DADOS DE TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO	39
4.3 DADOS RADIOMÉTRICOS DE CAMPO	40
4.3.1 Coleta dos dados de campo	40
4.3.2 Processamento dos dados de Campo.....	43
4.4 COMPARAÇÃO DAS RESPOSTAS ESPECTRAIS	43
4.4.1 Normalização dos Espectros Eletromagnéticos.....	44
4.5 REDUÇÃO DA DIMENSIONALIDADE DOS DADOS	44
4.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	45
4.7 DADOS ORBITAIS	46
4.7.1 Processamento da imagem WorldView-2	46
4.8 OBTENÇÃO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO	47
4.8.1 Índice de NDVI calculado com base em dados radiométricos.....	48

4.8.2 Índice de NDVI calculado com base em dados orbitais.....	48
4.9 COMPARAÇÃO E SOBREPOSIÇÃO DE MAPAS	48
CAPÍTULO 5	50
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
5.1 ESTRUTURA DOS ESPECTROS E SUA DINÂMICA TEMPORAL.....	51
5.2 COMPARAÇÃO DOS ESPECTROS-DIFERENÇA.....	56
5.3 DIFERENCIAÇÃO ESPECTRAL POR ANÁLISE DISCRIMINANTE.....	57
5.4 ANÁLISE DE <i>CLUSTER</i>	74
5.5 ANÁLISE DISCRIMINANTE ENTRE DADOS ORBITAIS E RADIOMETRIA DE CAMPO.....	76
5.6 ESPACIALIZAÇÃO DO VIGOR VEGETATIVO (NDVI)	82
5.6.1 Parcela Chardonnay	82
5.6.2 Parcela Pinot Noir.....	84
CAPÍTULO 6	88
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	88
REFERÊNCIAS	91
APÊNDICE I.....	100

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de Localização da área de estudo.....	15
Figura 2: Reflectância de folhas com diferentes tipos de pigmentação.	21
Figura 3: Reflectância de dosséis incompletos.....	23
Figura 4: A) Geometria de reflexão em um plantio; B) Indicação da variação da radiância espectral para ângulos azimutais diferentes.....	24
Figura 5:A) Sistema de condução da videira em espaldeira: a) poste externo; b) poste interno; c) fio da produção; d) fios fixos do dossel vegetativo; e) fio móvel do dossel vegetativo; B) Sistema de condução Vinícola Geisse, Pinto Bandeira-RS.....	25
Figura 6: Localização espectral das bandas do sensor ASTER em comparação com o Landsat ETM+.....	28
Figura 7: Localização dos detectores das banda do SWIR.....	30
Figura 8: Características do Sensor WorldView-2.....	31
Figura 9: Resposta espectral das bandas do sensor WorldView-2.....	31
Figura 10: Fluxograma da metodologia utilizada.....	38
Figura 11: A) Localização da estação meteorológica Don Giovanni (vinícola Don Giovanni, Pinto Bandeira-RS);.....	39
Figura 12: Coleta de dados de campo, vinhedos da Vinícola Geisse, Pinto Bandeira-RS.....	41
Figura 13: Localização dos pontos de coleta de dados das variedades Pinot Noir e Chardonnay.....	42
Figura 14: Lacre de identificação para as plantas medidas ao longo da pesquisa, Pinto Bandeira-RS.	43
Figura 15: Bandas espectrais e respectivos intervalos. Exemplo de generalização do espectro contínuo.	45
Figura 16: Climogramas dos anos/safra analisados.....	50
Figura 17: Evolução do comportamento espectral das variedades Chardonnay e Pinot Noir na safra 2013/2014.	52
Figura 18: Evolução do comportamento espectral das variedades Chardonnay e Pinot Noir na safra 2014/2015.	53
Figura 19: Diferenças dos espectros Chardonnay <i>versus</i> Pinot Noir, no ano/safra 2013/2014.	56

Figura 20: Dispersão da classificação com base nas funções discriminantes. Variedade Chardonnay 2013/2014.	59
Figura 21: Dispersão da classificação com base nas funções discriminantes. Variedade Pinot Noir, safra 2013/2014.	61
Figura 22: Dispersão da classificação com base nas funções discriminantes. Variedades Chardonnay e Pinot Noir, safra 2013/2014.	63
Figura 23: Dispersão da classificação com base nas funções discriminantes. Variedade Chardonnay nas safras 2013/2014 e 2014/2015.	65
Figura 24: Dispersão da classificação com base nas funções discriminantes. Variedade Pinot Noir nas safras 2013/2014 e 2014/2015.	67
Figura 25: Dispersão da classificação com base nas funções discriminantes. Variedade Chardonnay e Pinot Noir para safra de 2014/2015.	70
Figura 26: Dispersão da classificação com base nas funções discriminantes. Variedade Chardonnay e Pinot Noir para safra de 2013/2014 e 2014/2015.	74
Figura 27: Dendograma da comparação das variedades Chardonnay e Pinot Noir ao longo do ciclo fenológico.	76
Figura 28: Variação da temperatura nos dias de coleta dos dados de campo e orbitais.	77
Figura 29: Dispersão das variedades Chardonnay e Pinot Noir com base nos escores das funções discriminantes.	81
Figura 30: Mapas de vigor vegetativo para a parcela da variedade Chardonnay, Pinto Bandeira-RS.	84
Figura 31: Mapas de vigor vegetativo para a parcela da variedade Pinot Noir.	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Especificações dos subsistemas do sensor ASTER (adaptado de Abrams e Hook, 2002).....	29
Tabela 2: Datas das coletas de campo e dia da passagem dos satélites.....	37
Tabela 3: Datas das coletas de campo e a precipitação acumulada.....	51
Tabela 4: Matriz de correlação entre diferentes meses para a variedade Chardonnay na safra 2013/2014.....	58
Tabela 5: Funções discriminantes canônicas para os dados da variedade Chardonnay, safra 2013/2014.....	59
Tabela 6: Matriz de correlação entre diferentes meses para a variedade Pinot Noir na safra 2013/2014.....	60
Tabela 7: Funções discriminantes canônicas para os dados da variedade Pinot Noir, safra 2013/2014.....	60
Tabela 8: Matriz de correlação para as variedades Chardonnay e Pinot Noir na safra 2013/2014.....	62
Tabela 9: Funções discriminantes canônicas para as variedades Chardonnay e Pinot Noir na safra 2013/2014.....	63
Tabela 10: Matriz de correlação entre diferentes meses para a variedade Chardonnay nas duas safras.....	64
Tabela 11: Funções discriminantes canônicas para os dados da variedade Chardonnay nas duas safras.....	65
Tabela 12: Matriz de correlação entre diferentes meses para a variedade Pinot Noir nas duas safras.....	66
Tabela 13: Funções discriminantes canônicas para os dados da variedade Pinot Noir nas duas safras.....	66
Tabela 14: Matriz de correlação das variedades Chardonnay e Pinot Noir para a safra 2014/2015.....	69
Tabela 15: Funções discriminantes canônicas para os dados de reflectância da safra 2014/2015.....	69
Tabela 16: Matriz de correlação das variedades Chardonnay e Pinot Noir para as duas safras.....	72
Tabela 17: Funções discriminantes canônicas para os dados de reflectância das duas safras..	73
Tabela 18: Matriz de correlação para os dados radiométricos.....	77

Tabela 19: Matriz de correlação para os dados orbitais.	78
Tabela 20: Matriz estrutural para os dados radiométricos e orbitais.	78
Tabela 21: Funções discriminantes canônicas para os dados de reflectância (radiométricos e orbitais).	80
Tabela 22: Resultado da correlação de Pearson.	82
Tabela 23: Área (%) de NDVI de cada mapa para a variedade Chardonnay.	84
Tabela 24: Área (%) de NDVI de cada mapa para a variedade Pinot Noir.	86

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

A observação da superfície da Terra a partir do espaço levou a novas possibilidades de pesquisa em diversas áreas, e diferentes dados provenientes de imagem de satélite têm sido utilizados para o monitoramento agrícola em escalas local, regional e global. Assim, é possível monitorar o desenvolvimento de culturas para determinar o rendimento da colheita, detectar doenças e delinear medidas mitigadoras de possíveis problemas.

Técnicas para o monitoramento e diagnóstico de cultivos agrícolas estão em pleno desenvolvimento, possibilitando determinar o vigor vegetativo e as diferenças entre espécies de plantas através do estudo de suas características espectrais. Com o advento de novos sensores de melhor resolução espacial, temporal e radiométrica, houve um aumento significativo nas possibilidades de utilização de dados gerados por sensores remotos orbitais, aerotransportados e terrestres no estudo e monitoramento de áreas cultivadas.

Nesse viés, vem ganhando espaço a agricultura de precisão, que surge como resposta às exigências do aumento da eficiência produtiva no campo. Para Manzatto *et al.* (1999), esta técnica busca aplicar os insumos no local correto, no momento adequado e em quantidades necessárias à produção agrícola, em áreas cada vez menores e mais homogêneas. Miranda (1999) menciona que a agricultura de precisão envolve um complexo processo cujo fundamento é o conhecimento espacial preciso da atividade agrícola.

A agricultura de precisão engloba tecnologias para avaliação de produtividade, determinação das condições do solo e monitoramento do desenvolvimento vegetativo da planta, entre outras informações, associadas a uma localização específica no campo. Uma vez georreferenciadas, estas informações podem ser espacializadas na forma de mapas digitais.

Em viticultura, o mapeamento e identificação de áreas vitícolas assim como a identificação das variedades presentes no vinhedo são importantes para o manejo e monitoramento das cultivares. Trabalhos de investigação recentemente publicados mostraram ser factível a discriminação de variedades viníferas através de informações espectrais contidas em imagens orbitais e dados radiométricos (JOHNSON *et al.*, 2003; HALL *et al.*, 2002; SILVA e DUCATI, 2009; BOMBASSARO, 2011; CEMIN e DUCATI, 2011; DUCATI *et al.*, 2014, KARAKIZI *et al.*, 2016).

O desenvolvimento da viticultura de precisão inclui o uso do sensoriamento remoto, por meio do qual índices de vegetação são construídos a partir de informações obtidas com

base em imagens multiespectrais. Os índices mais utilizados na viticultura de precisão incluem o PCD (*Plant Cell Density*), citado por Bramley *et al.* (2003), e o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) (ARKUN *et al.*, 2000; HALL *et al.*, 2002).

A variação espacial do vigor vegetativo influencia o rendimento e a qualidade das uvas dentro de um mesmo vinhedo, alterando a produtividade e qualidade do vinho (HALL *et al.*, 2001). Segundo Bramley e Proffitt (1999), com base em mapas da variação de produtividade é possível perceber diferenças entre parcelas dentro de um vinhedo. No entanto, quando essas distinções são investigadas entre classes vegetais semelhantes ou da mesma espécie, o processo discriminatório necessita de informações espectrais mais detalhadas. Nesse contexto, pesquisadores têm realizado estudos demonstrando a aplicabilidade da espectrorradiometria na diferenciação de espécies vegetais, assim como do uso de índices de vegetação como parâmetro para avaliação do estado nutricional das plantas. Ferraz *et al.* (2011) utilizaram dados espectrais na discriminação de diferentes espécies forrageiras; Abrahão *et al.* (2009) buscaram identificar os melhores índices de vegetação que discriminassem as doses de nitrogênio.

A utilização de dados provenientes de sensores hiperespectrais é cada vez mais presente, pois cada espécie possui uma característica espectral única, determinada por sua composição química (pigmentos), morfologia e estrutura celular (ZWIGGELAAR, 1998). Em função desse fato, há a necessidade de delimitar as bandas específicas do espectro eletromagnético sensíveis a diferenciações vegetais, sejam elas relacionadas às espécies ou mesmo ao estado nutricional de plantas de mesma espécie.

Dentre as técnicas de obtenção de dados hiperespectrais, a espectrorradiometria permite detectar a resposta espectral a pequenas distâncias do alvo, o que minimiza as interferências dos fatores ambientais. Segundo Ferri *et al.* (2001), com o desenvolvimento do sensoriamento hiperespectral abre-se a possibilidade de identificar e quantificar pigmentos fotossintéticos individuais contidos na vegetação.

Nesse viés, a proposta desta Tese é buscar um maior entendimento da dinâmica temporal e caracterização espectral de duas variedades viníferas com relevante importância econômica. Desta forma, esta Tese propõe um estudo a ser desenvolvido em duas etapas e regiões. A primeira, de caráter exploratório, focalizada em vinhedos da região de Borgonha na França, tradicional região produtora, e a segunda, mais detalhada, desenvolvida em vinhedos do município de Pinto Bandeira na Serra Gaúcha, região que faz parte do maior polo vitivinícola brasileiro, a mais tradicional região produtora de vinhos do Brasil.

No ano de 2010, o INPI (Instituto Nacional de Propriedade Intelectual), órgão do Governo Federal, deu parecer favorável à concessão da Indicação de Procedência aos vinhos finos e espumantes da região de Pinto Bandeira, sendo a segunda região com Indicação de Procedência de vinhos do Brasil. Os vinhos finos e espumantes de Pinto Bandeira agregam características da geografia e do “saber-fazer” local, sendo elaborados exclusivamente com cultivares autorizadas e procedentes da área geográfica delimitada, a partir de padrões de identidade e qualidade controlados pelo Conselho Regulador.

A primeira etapa da pesquisa utilizou imagens orbitais do sensor ASTER, enquanto que a segunda teve como base dados orbitais do sensor WorldView-2 e radiometria de campo.

1.1 OBJETIVO GERAL

A Tese tem como objetivo o acompanhamento e análise do comportamento espectral de variedades selecionadas de videiras ao longo de seu ciclo vegetativo e a identificação de áreas que apresentam diferentes características de vigor vegetativo.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Verificar o potencial discriminatório de imagens de média resolução espacial de duas variedades de uvas viníferas (Chardonnay e Pinot Noir), (Capítulo 3);
- Avaliar o comportamento espectral dos vinhedos ao longo dos estádios fenológicos;
- Avaliar as diferenças e similaridades entre dados espectrais coletados em campo com os dados provenientes de sensores orbitais;
- Mapear o vigor vegetativo das variedades viníferas tendo como base dados espectrais de sensores terrestres e orbitais;

1.2 ÁREA DE ESTUDO

O projeto foi desenvolvido nos vinhedos da Vinícola Geisse, na Serra Gaúcha, mais exatamente no município de Pinto Bandeira, Estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas 29° 08' 48" de latitude sul e 51° 25' 33" de longitude oeste (Figura 1). Essa região cultiva atualmente cerca de 1200 ha de videiras, sendo 450 ha explorados com cultivares viníferas destinadas à elaboração de vinhos finos brancos, tintos e espumantes (FLORES *et al.*, 2005). A economia do município é baseada no setor primário, que está alicerçada na produção de frutas como uvas e seus derivados, que por sua vez tem na produção de espumantes um destaque em escala nacional e internacional.

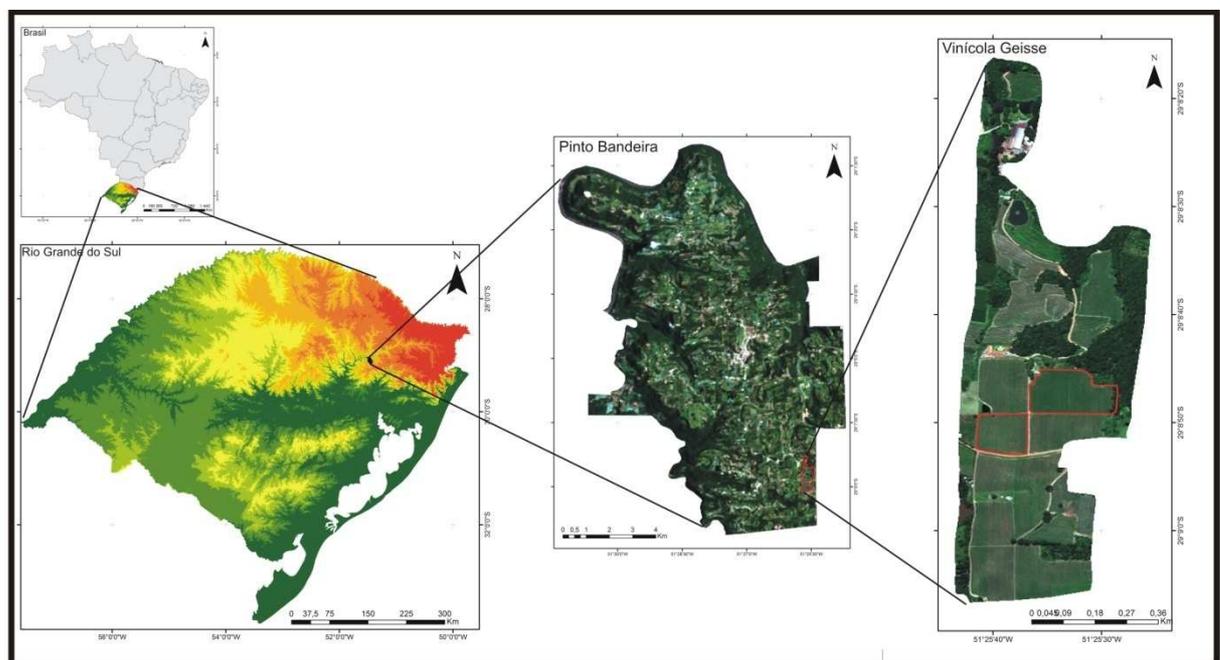


Figura 1: Mapa de Localização da área de estudo.

A região de Pinto Bandeira e da Serra Gaúcha em geral apresenta um clima subtropical úmido com invernos frios e verões frescos. É uma área com reduzida influência dos sistemas polares, e que em contrapartida tem maior atuação dos sistemas tropicais marítimos relacionados com o efeito do relevo/altitude. Apresenta chuvas abundantes e bem distribuídas que oscilam entre 1700-2000mm anuais, com a temperatura média anual que varia entre 14 e 17°C. Os meses mais frios têm temperatura média entre 8 e 14°C e os meses mais quentes variam em torno de 17 e 23°C. A altitude faz com que a região tenha o conjunto de médias de temperatura mais baixos do Rio Grande do Sul, com invernos frios e verões

amenos (ROSSATO, 2011). O clima da região, segundo a classificação climática de Köppen, é do tipo Cfb, temperado úmido (MORENO, 1961).

Conforme Tonietto e Carbonneau (1999), a Serra Gaúcha tem um clima particular na viticultura mundial, pois apresenta características de clima úmido, temperado quente e de noites temperadas. Estas condições possibilitam a obtenção de vinhos com uma tipicidade própria, distinta daquelas obtidas na grande maioria das regiões no plano mundial.

A região de Pinto Bandeira apresenta topografia e relevo acidentados, encostas íngremes e topos relativamente planos. Os solos da região tiveram sua formação condicionada a fatores como clima, relacionados a altitudes próximas ou superiores a 700 metros e temperaturas amenas. Com rochas de origem vulcânica, os solos gerados apresentam horizontes rasos a pouco profundos, resultantes de um relevo condicionado pela declividade, ora suave, em patamares e topo de morros, ora acentuados, em bordas do planalto. No passado a região era recoberta pela Floresta Ombrófila Mista (IBGE, 2003).

Do ponto de vista pedológico, os vinhedos estudados encontram-se nos patamares mais altos, localizados próximo ou superiores à altitudes de 700 metros, formando paisagens onduladas e mais abertas no topo das encostas. Os solos são de baixa fertilidade natural com médios a altos teores de matéria orgânica e representados por argissolos, cambissolos e neossolos, todos formados a partir de rochas eruptivas ácidas (FALCADE e MANDELLI, 1999).

Do ponto de vista do sensoriamento remoto e da viticultura, o comportamento geomorfológico e a variação do relevo onde estão localizadas as parcelas em estudo não apresenta variações significativas que possam alterar os padrões produtivos do vinhedo, não alterando as análises e resultados abordados neste trabalho.

1.2.1 Caracterização das variedades estudadas

As duas variedades estudadas neste trabalho (Chardonnay e Pinot Noir) estão entre as chamadas "variedades globais" de uvas viníferas, uma vez que são largamente cultivadas em muitos lugares do mundo. Ambas variedades são precoces, o que é uma característica associada ao clima da região (relativamente frio) onde estas variedades surgiram. Ambas tem sua origem na França, mais especificamente na região da Borgonha e vizinhanças.

Estas variedades, além de produzirem vinhos convencionais, são largamente usadas para a produção de espumantes, tanto varietais quanto com o corte das duas castas. Tomando

como exemplo a região de estudo, o foco de muitas vinícolas e, especialmente, da Cave Geisse, é a produção de espumantes.

Do ponto de vista da viticultura, ambas variedades tem rendimento relativamente baixo e com uma certa sensibilidade a doenças e fatores ambientais, o que torna seu manejo difícil e desafiador. Sua sensibilidade a variações climáticas como temperatura e oferta de água influenciam na caracterização de diferentes vinhos de uma safra para outra.

A variedade Chardonnay, uva branca, é a fonte de alguns dos mais clássicos vinhos brancos do mundo. Do ponto de vista dos vinhos derivados desta uva, pode-se dizer que a Chardonnay não pertence à classe das uvas aromáticas nem a classe das uvas de tons florais, tendendo a produzir vinhos frutados, em função do solo, com notas maiores ou menores de mineralidade. Como uma casta global, a Chardonnay mantém em muitas regiões estas características, as quais são eventualmente combinadas com características derivadas da tradição de produzir vinhos em associação à madeira, derivada de barricas ou assemelhados.

A variedade Pinot Noir, uva tinta, também é originária da Borgonha, mas mais antiga que a Chardonnay (primeiras menções por volta do século XIII e XIV), produz vinhos mais associados ao *terroir*, o que significa que a variação de aroma e sabor desse vinho é grande com relação às características originais da Borgonha. Havendo, portanto, vinhos de Pinot Noir com características distintas em outras regiões de produção (Estados Unidos, Nova Zelândia, América do Sul).

Referências bibliográficas relativas a cultivares de videiras são muito abundantes, as informações referentes a caracterização das variedades Chardonnay e Pinot Noir foram extraídas de Cobbold e Durand-Viel (2013) e Robinson *et al.* (2012).

CAPÍTULO 2

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nas últimas décadas, a agricultura vem passando por uma histórica transformação tecnológica, que se caracteriza pela mecanização de processos, utilização otimizada de insumos químicos, sistema de semeadura direta, biotecnologia e, por fim, pela agricultura de precisão (SANTI, 2007).

A aplicação do sensoriamento remoto no monitoramento e análise da vegetação está fundamentada na constante necessidade de avaliação e acompanhamento do desenvolvimento de culturas agrícolas. A possibilidade de detectar a variação espacial do comportamento espectral de uma determinada cultivar auxilia na tomada de decisões para um manejo adequado, levando à otimização da quantidade e qualidade da produção.

2.1 AGRICULTURA DE PRECISÃO

Os avanços das geotecnologias, dos sistemas de posicionamento global (GPS), das máquinas e implementos agrícolas, assim como a crescente demanda pela otimização do espaço e aumento da produtividade, têm direcionado o setor agrícola a buscar novas formas de manejo, priorizando maior eficiência e melhor controle da produção. Neste viés, Lamparelli *et al.* (2001) afirmam que a pressão pela maior conservação de recursos naturais e menor poluição do solo são fatores que influenciam na busca de novas técnicas e na operacionalização dos processos produtivos da agricultura.

Neste contexto, a agricultura de precisão surge como um conjunto de tecnologias avançadas que possibilita o gerenciamento localizado das culturas com o objetivo de monitorar a variabilidade espacial, visando à otimização da produção agrícola, à minimização do impacto ambiental provocado pela utilização de insumos agrícolas, à preservação ambiental e à redução dos custos de produção (BALASTREIRE, 2000).

Segundo Molin *et al.* (2002), a agricultura de precisão preconiza que o manejo das lavouras pode ser melhor conduzido se a variabilidade espacial da produtividade e dos fatores a ela relacionados forem conhecidos. Para Pierce e Nowak (1999), a agricultura de precisão tem como base a aplicação de princípios e tecnologias para manejar a variabilidade espacial e temporal com o objetivo de aumentar a produtividade na agricultura e a qualidade ambiental.

A espacialização das informações em forma de mapas de produtividade, vigor vegetativo e caracterização da variação dos solos são de fundamental importância para o monitoramento, manejo e tomada de decisões. De acordo com Han *et al.* (1994), o mapa de produtividade é um importante componente para a agricultura de precisão, pois identifica e quantifica a variabilidade da produtividade das culturas e auxilia nos processos de gerenciamento. Queiroz *et al.* (2000) consideram que os mapas de produtividade da cultura podem ser utilizados como pontos de partida na averiguação das causas da variabilidade da produtividade, bem como servirem de parâmetro para as tomadas de decisão de manejo.

2.2 VITICULTURA DE PRECISÃO

O manejo de culturas vitícolas tem sido tradicionalmente realizado de maneira uniforme, considerando uma parcela como sendo homogênea e detentora das mesmas características. Dessa maneira, o trabalho investido na conservação do solo, poda do vinhedo e controle de pragas é aplicado com igual intensidade em toda a área, independentemente da localização exata dentro da parcela; a utilização de fertilizantes e adubos acaba sendo feita em doses idênticas ao longo da cultura.

O recente desenvolvimento da viticultura de precisão é derivado da agricultura de precisão, tendo surgido na Austrália e nos Estados Unidos com o aparecimento dos monitores de rendimento de uvas, associados a sistemas de posicionamento global (GPS) e a sistemas de informação geográfica (SIG). Isso permitiu aos produtores quantificar a variabilidade espacial dos rendimentos existentes num vinhedo (ORTEGA e ESSER, 2002). Nesta perspectiva, destacam-se os trabalhos pioneiros de Wample *et al.* (1998), Bramley e Proffitt (1999) e Proffitt *et al.* (2006).

O rendimento de um vinhedo geralmente apresenta considerável variação espacial dentro de uma mesma parcela, o que pode ser atribuído a fatores físicos e ambientais. Na viticultura, a variação espacial do rendimento é principalmente influenciada pelas propriedades físicas e químicas do solo (BRAMLEY e LAMB, 2003); outros fatores que podem afetar o rendimento da uva incluem a topografia e o estado nutricional das videiras (ARNO *et al.*, 2005). Bramley e Hamilton (2004) demonstraram que os padrões espaciais de variação de produtividade dentro de um vinhedo permanecem temporalmente estáveis, sendo um indicativo que os solos desempenham um papel significativo em tal variabilidade.

Correlações estruturais dos índices de vegetação com as características fisiológicas do vinhedo mostram-se promissoras. A presença de deficiências nutricionais, o estado de estresse hídrico ou o distúrbio fitossanitário podem ser estimados com base no cálculo do NDVI (MONTERO *et al.*, 1999; JOHNSON *et al.*, 2003).

A viticultura de precisão tem como concepção o monitoramento e a gestão da variabilidade espacial de todas as variáveis físicas, químicas e biológicas que estão interligadas com a produtividade de uma vinha (LAMB e BRAMLEY, 2001).

2.3 COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO

A absorção da radiação solar é fundamental para os processos fisiológicos e bioquímicos das plantas. A interação entre a radiação e as plantas pode ser medida por sistemas de sensoriamento remoto, pois estes sensores são capazes de captar a energia refletida pela planta. A determinação espectral e a diferenciação da vegetação por sensoriamento remoto podem ser efetuadas no intervalo de 0,4 a 2,5 μm , pois neste domínio de comprimentos de onda os dosséis são caracterizados por comportamentos específicos de reflexão, absorção e transmissão de radiação.

No visível, o comportamento da reflexão é determinado por pigmentos como as clorofilas e carotenóides, cujas absorções mais significativas encontram-se no intervalo da radiação azul (0,4 - 0,5 μm) e da radiação vermelha (0,6 - 0,7 μm), respectivamente, enquanto que refletem com maior intensidade no intervalo da radiação 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, uma vez que, este é o pigmento mais abundante (BELWARD, 1991).

A Figura 2 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.

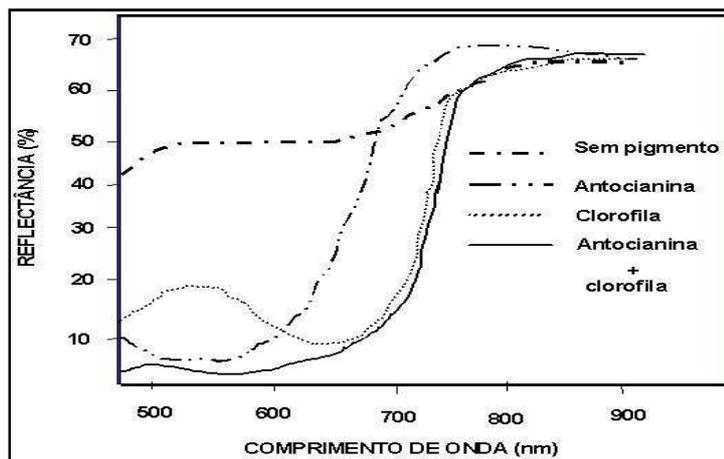


Figura 2: Reflectância de folhas com diferentes tipos de pigmentação.
Fonte: Adaptado de Hoffer (1978).

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 pelo conteúdo de água na planta nesta região é geralmente baixa, causando um aumento da reflectância. A reflectância espectral de folhas nessa região do espectro eletromagnético é o resultado da interação da energia incidente com a estrutura do mesófilo, e quanto mais lacunosa for a estrutura foliar interna, maior será o valor de reflectância (GATES et al., 1965).

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).

Nos comprimentos de ondas acima de 1,3 μm , o conteúdo de água das folhas influencia a interação com a radiação, pois a água dentro da folha absorve fortemente nas bandas em torno de 1,45 μm e 1,96 μm . Dessa forma, a variação no comportamento espectral

está relacionada com as condições hídricas das folhas, sendo que folhas com conteúdo hídrico reduzido são caracterizadas por uma maior reflectância.

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).

2.4 DOSSEL VEGETAL

O estudo de áreas agrícolas através de imagens de satélite e o desenvolvimento de novas metodologias proporcionaram resultados promissores no desenvolvimento da agricultura mundial. Estimativas de safras, controle e monitoramento das culturas, 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 deve-se a fatores naturais como as características do solo e 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 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).

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 3). As porções relativas dessas superfícies podem variar de acordo com o espaçamento da cultura, a estatura e a largura da

planta, a orientação das linhas, as posições angulares do Sol e a arquitetura da cultura, (JACKSON *et al.*, 1979).

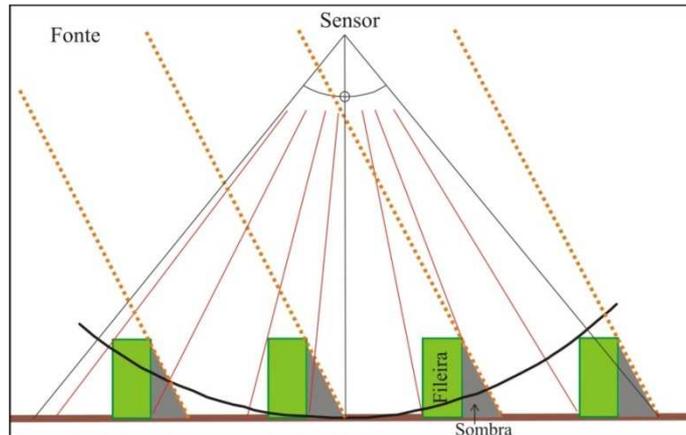


Figura 3: Reflectância de dosséis incompletos.
Fonte: Adaptado de Jackson *et. al.*, (1979).

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 (figura 4). 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).

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 apresenta interferência do fundo e de sombras, em menor ou maior quantidade, dependendo principalmente da orientação e distância das fileiras e do 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 3).

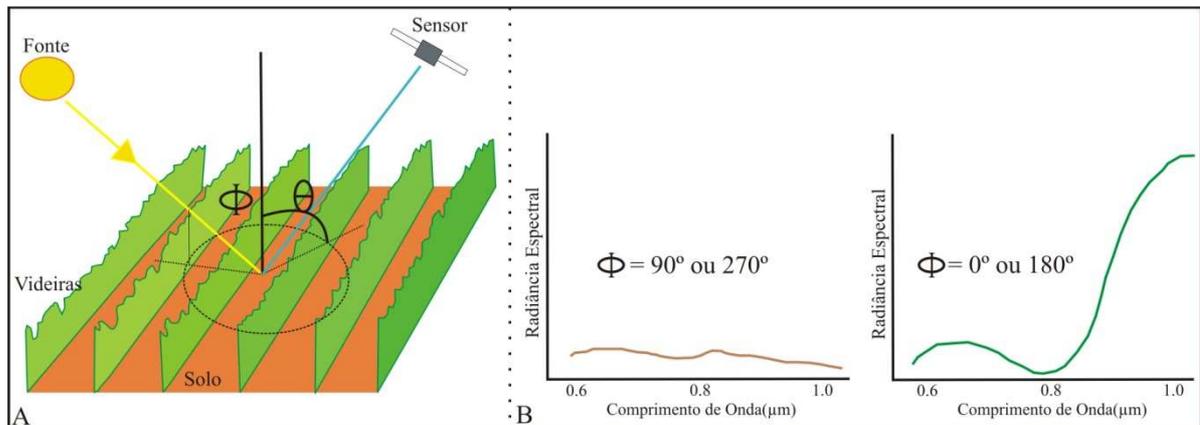


Figura 4: A) Geometria de reflexão em um plantio; B) Indicação da variação da radiância espectral para ângulos azimutais diferentes.

Fonte: Adaptado de Slater (1980).

2.5 SISTEMAS DE CONDUÇÃO

A videira é uma planta arbustiva com hábito trepador que se fixa em 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 de cada cultivar 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 5).

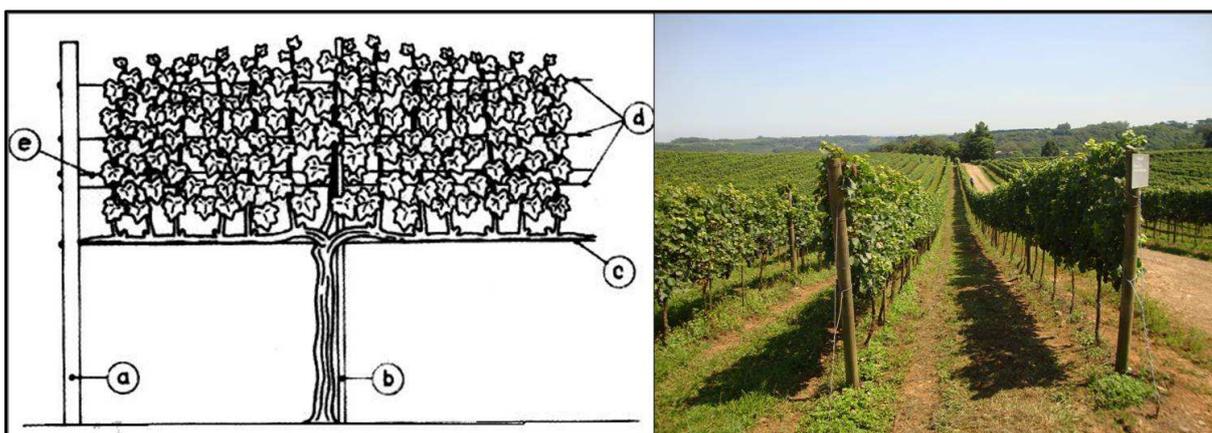


Figura 5:A) Sistema de condução da videira em espaldeira: a) poste externo; b) poste interno; c) fio da produção; d) fios fixos do dossel vegetativo; e) fio móvel do dossel vegetativo; B) Sistema de condução Vinícola Geisse, Pinto Bandeira-RS.

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 na orientação da folhagem dentro do dossel, modificando a penetração de radiação solar e a maturação.

2.6 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

No estudo do comportamento da radiação eletromagnética e sua interação com os diferentes alvos da superfície terrestre, a vegetação apresenta comportamentos complexos, os quais variam de acordo com o tipo de vegetal, culturas anuais, perenes ou florestas e as particularidades de suas estruturas, assim como o estágio de desenvolvimento das diferentes espécies que compõem a paisagem.

Conforme Epiphanio *et al.* (1996), a vegetação é um alvo complexo do Sensoriamento Remoto, pois apresenta diferentes propriedades de reflexão foliar em uma mesma planta. Sua descrição é difícil devido ao complicado processo de transferência de radiação, tanto de uma folha isolada (constituintes celulares, morfologia da folha) quanto de um dossel (variações no ângulo de iluminação, orientação espacial das folhas, sombras, vegetação não fotossinteticamente ativa e substrato). Este problema tem sido parcialmente superado pelos índices de vegetação, os quais são combinações lineares de dados espectrais cuja função é realçar o sinal da vegetação ao mesmo tempo em que minimizam as variações na irradiância solar e os efeitos do substrato do dossel vegetal (JACKSON e HUETE, 1991).

As faixas do vermelho e do infravermelho próximo são mais utilizadas, pois juntas contém mais de 90% da variação da resposta espectral da vegetação, correlacionando-as com parâmetros biofísicos (ROSA, 2003).

As assinaturas espectrais das folhas são utilizadas como forma de caracterizar o estado fisiológico das plantas. O teor de clorofila relaciona-se diretamente com o potencial fotossintético e, em última análise, com a produtividade da planta (XUE *et al.*, 2008). A reflectância na zona do infravermelho próximo é bastante sensível à alteração do estado sanitário das plantas, e esta característica permite quantificar a biomassa de uma vinha (COOK e BRAMLEY, 1998).

Um dos índices de vegetação comumente utilizados é o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), que foi desenvolvido tendo como princípio a capacidade de separar a vegetação verde do brilho do solo. É expresso como a diferença entre a banda do infravermelho próximo e vermelho, normalizada pela soma das bandas, conforme equação a seguir (ROUSE *et al.*, 1973):

$$NDVI = \frac{(\rho_{IVP} - \rho_V)}{(\rho_{IVP} + \rho_V)} \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

ρ_{IVP} = reflectância no Infravermelho Próximo;

ρ_V = reflectância no Vermelho

Este índice de vegetação tem como resultado uma escala linear de medida, variando entre -1 e +1; quanto mais próximo de 1, maior a densidade de cobertura vegetal.

Trabalhos recentes mostraram que diferenças no desenvolvimento das videiras podem ser identificadas a partir de dados de sensoriamento remoto utilizando NDVI. Trabalhos que buscam identificar e entender as variações de qualidade dentro do vinhedo empregam o vigor

vegetativo como parâmetro em inúmeras abordagens. Para ser possível estimar o vigor vegetativo de uma cultura, diferentes índices foram estudados e desenvolvidos. Na viticultura de precisão um índice comumente utilizado para tal investigação é o NDVI (HALL *et al.*, 2003; JOHNSON *et al.*, 2003, LAMB *et al.*, 2004; HALL *et al.*, 2008; SERENO, 2009; MARTINEZ-CASANOVAS *et al.*, 2012, SANTOS *et al.*, 2012; BONILLA *et al.*, 2015). Nos trabalhos realizados pelos autores citados acima, o índice de NDVI é diretamente relacionado com o vigor vegetativo do vinhedo, servindo como base para o entendimento e o relacionamento da variação espacial do vigor vegetativo juntamente com demais parâmetros de produtividade que contribuem para o zoneamento espacial na variação da qualidade das uvas.

Com relação ao vigor vegetativo, Bramley e Hamilton (2007) realizaram estudos em vinhedos da Austrália e conseguiram resultados interessantes com a colheita seletiva dentro de uma mesma parcela. Para tal análise utilizaram o índice de vigor PCD (Plant Cell Density), que é o resultado da divisão da reflectância do infravermelho pelo vermelho. Os resultados mostraram que nas regiões onde ocorreram os maiores valores de PCD (maior vigor) as áreas apresentaram maior produtividade. No entanto, geraram vinhos de menor valor econômico. O estudo mostrou que o vigor vegetativo pode ser um indicativo da variação do potencial para a produção de vinhos de maior e menor qualidade.

O vigor vegetativo é comumente relatado como tendo relação com a produtividade e qualidade do fruto (TISSEYRE *et al.*, 1999; HASELGROVE *et al.*, 2000; PETRIE *et al.*, 2000).

2.7 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 6 mostra a comparação do tamanho e a localização das bandas do sensor ASTER em relação ao Landsat ETM+.

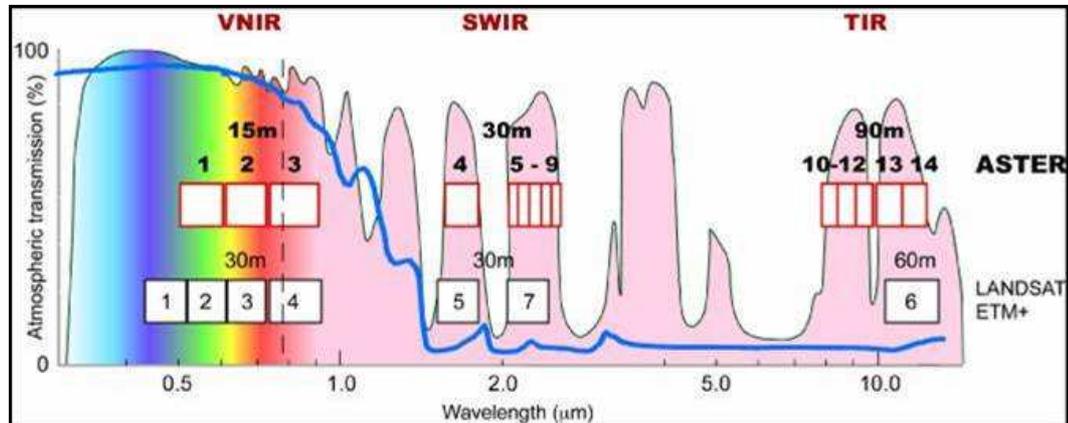


Figura 6: Localização espectral das bandas do sensor ASTER em comparação com o Landsat ETM+.
Fonte: NASA, s/d.

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, o 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 1.

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 1: 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		
	9	2,360 - 2,430	2,4		
TIR	10	8,125 - 8,475	8,291	90	12
	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).

2.7.1 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 7), apresentando resposta maior do que a esperada nestes canais.



Figura 7: 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).

2.8 SENSOR WORDVIEW-2

O sensor WorldView-2 representa uma inovação, em relação aos sensores de alta resolução espacial atualmente no mercado, devido à presença de quatro bandas espectrais além das tradicionais azul, verde, vermelho e infravermelho próximo, o que amplia seu poder de caracterização e separação dos alvos.

Lançado em Outubro de 2009 o sensor orbital WorldView-2 é o primeiro satélite que contempla 8 bandas de alta resolução espacial. Possui resolução espacial de 1,84 m nas bandas multiespectrais e 0,46 metros na banda pancromática, além de uma resolução radiométrica de 11 bits (Figura 8) (DIGITAL GLOBE, 2010).

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Resolução Radiométrica
PAN	PANCROMÁTICA	450 - 800 nm	0,46 m (nadir) / 0,52 m a 20° off-nadir.			
MS	Coastal	400 - 450 nm	1,84 m (nadir) / 2,08 m GSD a 20° off-nadir	1,1 dias no nadir 3,7 dias a 20° off-nadir	16,4 km (nadir)	11 bits
	AZUL	450 - 510 nm				
	VERDE	510 - 580 nm				
	AMARELO	585 - 625 nm				
	VERMELHO	630 - 690 nm				
	Red Edge	770 - 895 nm				
	Infravermelho Próximo	770 - 895 nm				
Infravermelho Próximo - 2	860 - 1040 nm					
s. d. = sem dados/informações						

Figura 8: Características do Sensor WorldView-2.
Fonte: DigitalGlobe (2010).

A disponibilidade de quatro novas bandas no WorldView-2, localizadas em faixas específicas do espectro eletromagnético, aumenta a capacidade de discriminação e análise dos alvos em estudo, a saber: *Coastal*, *Yellow*, *Red Edge* e *NearInfrared 2* (Figura 9). O satélite possui órbita heliossíncrona descendente e cruza o equador aproximadamente as 10:30 horas local a 770Km de altitude.

O satélite WorldView-2 adquire as imagens pancromática e multiespectral simultaneamente, de modo que existe correspondência espacial entre cada pixel das imagens (DIGITAL GLOBE, 2010).

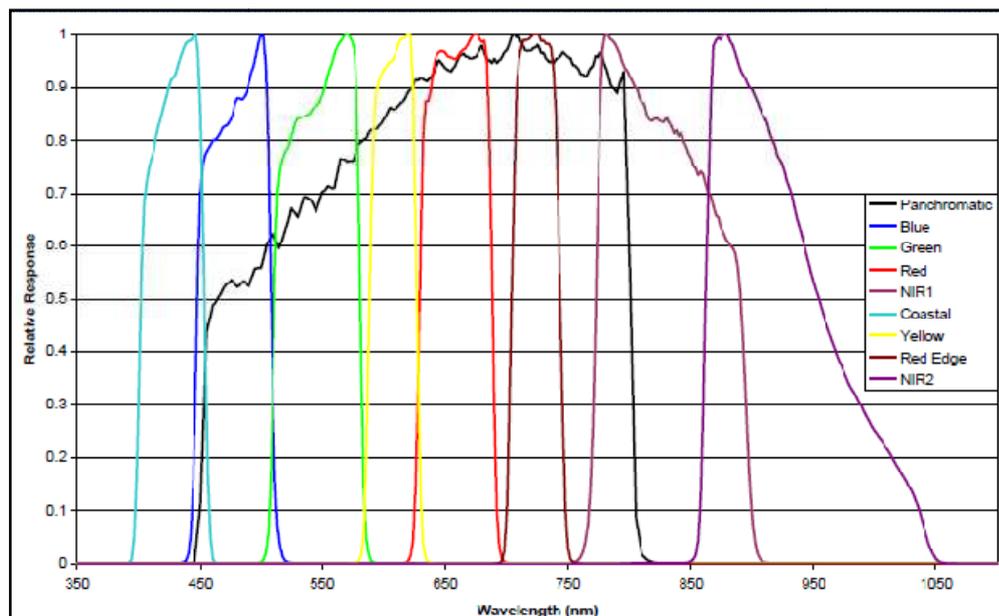


Figura 9: Resposta espectral das bandas do sensor WorldView-2.
Fonte: DigitalGlobe (2010).

2.9. CORREÇÕES RADIOMÉTRICAS

As interferências em imagens de satélites provocadas pelo espalhamento das ondas eletromagnéticas, principalmente do espectro visível, bem como pela absorção por gases, constituem um dos problemas mais sensíveis do Sensoriamento Remoto. As imagens adquiridas por sensores remotos contém erros radiométricos inerentes ao 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 influenciam 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 das 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.

As bandas do visível são mais afetadas, sendo o espalhamento o principal efeito atmosférico, que é causado por partículas moleculares e aerossóis, os quais atuam de forma aditiva, fazendo com que as partes sombreadas apresentem um valor mais alto que o esperado, provocando uma decorrelação da sombra entre as bandas (NOVO, 1992). Nos comprimentos de onda maiores (infravermelho próximo e médio) o espalhamento pode ser desprezível, sendo o principal efeito atmosférico a absorção, causada principalmente por vapor d'água, dióxido de carbono, metano e outros gases (SLATER, 1980).

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).

A correção atmosférica das imagens possibilita a obtenção de reflectância de superfície, que trazem informações sobre os alvos. A correção pode ser baseada no modelo matemático de transferência radiativa (THOME *et al.*, 1999). Um algoritmo comumente utilizado para correção de imagens em sensoriamento remoto é o “*Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes*” (FLAASH) que 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).

2.10 RADIÔMETROS

Radiômetros são sistemas passivos que medem a intensidade da energia radiante (radiância) proveniente de todos os pontos de uma superfície dentro de um campo de visada em determinadas zonas do espectro eletromagnético. Essas zonas são selecionadas através de um filtro que transmite a radiação associada a um determinado intervalo de comprimento de onda incidente no sistema. Os radiômetros podem ser classificados como imageadores ou não imageadores (MOREIRA, 2001).

Os espectrorradiômetros não imageadores medem a radiância de um objeto e apresentam os dados em forma de gráficos ou numericamente. Estes radiômetros podem ser classificados em radiômetros de banda ou espectrorradiômetros que operam em faixas espectrais estreitas, sendo possível medir a resposta do alvo quase de maneira contínua.

A utilização de espectrorradiometria na agricultura de precisão, em especial na viticultura, apresenta-se como um campo de pesquisa em recente desenvolvimento.

Os primeiros trabalhos desenvolvidos por Lacar *et al.*, (2001) mostraram ser possível diferenciar variedades de castas viníferas, uma vez que analisaram as características espectrais de quatro variedades estabelecendo intervalos de comprimentos de onda que apresentam diferenças espectrais e podem ser detectados com espectroscopia de campo. Utilizando as informações espectrais obtidas pelo espectrorradiômetro de mão, Brown *et al.*, (2004) identificaram folhas de videiras com a praga da filoxera, diferenciando as folhas doentes das saudáveis. Neste trabalho, os autores mostraram ser possível detectar as mudanças espectrais causadas pela praga nos intervalos da radiação na região do visível. Enquanto, Martins *et al.*, (2007) utilizaram espectrorradiômetro para identificar vinhas atacadas pela clorose de ferro e mapear as áreas afetadas.

A utilização de dados provenientes de sensores proximais possibilita uma informação mais precisa da resposta espectral do alvo. Este dado mais refinado auxilia na diferenciação espectral entre variedades vegetais e mostra-se como uma eficiente fonte de informação para o monitoramento e acompanhamento do vigor das videiras.

Na tentativa de mapear as variações do vigor das videiras, Serrano *et al.*, (2012) utilizaram espectrorradiometria para estudar a viabilidade de detectar as propriedades biofísicas da planta e prever o rendimento e a qualidade dos frutos. Kandyllakis e Karantzalos (2016), utilizaram dados orbitais de alta resolução e dados provenientes de espectrorradiômetro juntamente com amostras de uvas, a fim de investigar e correlacionar os resultados quantitativos das uvas e seu respectivo potencial enológico; para tal empregaram combinações de vários índices de vegetação. Na busca pelo melhor entendimento da variação do estresse hídrico das videiras, González-Fernández *et al.*, (2015) utilizaram um espectrorradiômetro de campo para estimar o teor de água na folha e no dossel. Os autores apresentaram resultados que mostraram uma boa eficiência do espectrorradiômetro de campo na avaliação rápida e não destrutiva para estimar o teor de água a nível da folha. No entanto, foi mais difícil estimar a quantidade de água a nível do dossel.

A utilização de diferentes fontes de dados, entre elas dados orbitais e radiométricos de campo, tem possibilitado um avanço na discriminação espectral e classificação das variedades viníferas. Nesse sentido, Karakizi *et al.*, (2015) realizaram a diferenciação espectral de variedades viníferas tendo como base a informação espectral de sensores remotos distintos, entre estes, dados de satélites, dados provenientes de sensores aerotransportados e espectrorradiometria de campo. Em trabalho mais recente, Karakizi *et al.*, (2016)

desenvolveram e validaram um método de classificação para imagem de alta resolução espectral, determinando um conjunto eficiente de recursos e regras para identificar diferentes variedades de castas. Para tal, os autores também utilizaram espectrorradiometria para a análise e classificação das diferentes variedades, obtendo resultados semelhantes na classificação dos dados orbitais e dados coletados em campo.

CAPÍTULO 3

Este capítulo é referente à primeira parte do estudo, a qual está sob a forma de artigo científico e foi publicada no periódico *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin* em novembro de 2014.

O estudo foi desenvolvido em vinhedos da região de Borgonha na França, com o objetivo de identificar e analisar o comportamento espectral das variedades Chardonnay e Pinot Noir, levando-se em consideração os diferentes padrões de qualidade atribuídos para a mesma variedade. Para a investigação foram utilizadas imagens do sensor ASTER obtidas em diferentes estádios fenológicos das cultivares e entre safras, período em que a videira encontra-se sem folhas e a resposta espectral do solo pode ser evidenciada. Os resultados obtidos mostraram que os dados orbitais de média resolução espacial são funcionais para revelar a qualidade das vinhas e as diferenças espectrais entre as categorias de vinhedos, que podem ser parcialmente atribuídas ao *terroir*, sugerindo que o solo também tem influência nas características espectrais do dossel das videiras.

CLASSIFYING VINEYARDS FROM SATELLITE IMAGES : A CASE STUDY ON BURGUNDY'S CÔTE D'OR

Jorge R. DUCATI^{1,2,4,*}, Magno G. BOMBASSARO¹ and Jandyra M.G. FACHEL³

1 : Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves 9500, CEP 91501-970, Porto Alegre, Brazil

2 : Departamento de Astronomia, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves 9500, CEP 91501-970, Porto Alegre, Brazil

3 : Departamento de Estatística, Instituto de Matemática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves 9500, CEP 91501-970, Porto Alegre, Brazil

4 : Visiting professor (2011), École Supérieure d'Agriculture d'Angers, Groupe ESA, 55 rue Rabelais, 49007 Angers, France

Abstract

Aim: To use Remote Sensing imagery and techniques to differentiate categories of Burgundian vineyards.

Methods and results: A sample of 201 vine plots or "climats" from the Côte d'Or region in Burgundy was selected, consisting of three vineyard categories (28 Grand Cru, 74 Premier Cru, and 99 Communale) and two grape varieties (Pinot noir and Chardonnay). A mask formed by the polygons of these vine plots was made and projected on four satellite images acquired by the ASTER sensor, covering the Côte d'Or region in years 2002, 2003 (winter image), 2004 and 2006. Mean reflectances were extracted from pixels within each polygon for each of the nine spectral bands (visible and infrared) covered by ASTER. The database had a total of 797 reflectance spectra assembled over the four images. Statistical discriminant analysis of percentage classification accuracy was made separately for Côte de Nuits and Côte de Beaune, and for each year. Results showed that for individual years and Côtes, classification accuracy for vineyard category was as high as 73.7 % (Beaune 2002) and as low as 66.7 % (Beaune 2003). There were no significant differences in accuracy between spring, summer and winter images. Classification accuracy for grape variety in Côte de Beaune over the four study years was between 73.5 % for Pinot noir climats in 2004 and 91.9 % for Chardonnay climats in 2006, including the winter image. Concerning the vegetation index NDVI, there were no significant differences between vineyard categories.

Conclusions: Satellite data is shown to be functional to reveal vineyard quality. Spectral differences between categories of Burgundian vineyards are at least partially due to terroir characteristics, which are transmitted to vine and vine canopy.

Significance and impact of the study: This work indicates that Remote Sensing techniques can be used as an auxiliary tool for the monitoring of vineyard quality in established viticultural regions and for the study of quality potential in new regions.

Key words: Burgundian climats, Remote Sensing, vineyards spectra, leaf reflectance, satellite images

Résumé

Objectif: Différencier les catégories de parcelles du vignoble bourguignon par l'utilisation d'images satellites.

Méthodes et résultats: Un échantillon de 201 parcelles ou "climats" de la Côte d'Or en Bourgogne a été sélectionné, formé par trois catégories de vignobles (28 Grand Cru, 74 Premier Cru et 99 Communale) et deux cépages (Pinot noir et Chardonnay). Un masque composé par les polygones de ces parcelles a été construit et ensuite projeté sur quatre images satellites de la région, collectées par le senseur ASTER en 2002, 2003 (en hiver), 2004 et 2006. Les réflectances moyennes pour les pixels à l'intérieur de chaque polygone ont été calculées pour chaque année et pour chacune des neuf bandes spectrales (visible et infrarouge). La base de données est formée par 797 spectres de réflectance. Des analyses discriminantes du pourcentage d'exactitude du classement ont été faites séparément pour Côte de Nuits et Côte de Beaune et pour chaque année. Les résultats montrent que la classification au niveau des catégories de vignoble a été précise entre 66,7 % (Beaune 2003) et 73,7 % (Beaune 2002). Aucune différence significative dans la précision n'a été trouvée entre les saisons de l'année des images (printemps, été et hiver). Pour la séparation des cépages sur la Côte de Beaune, la précision de l'analyse discriminante a été entre 73,5 % pour les parcelles de Pinot noir en 2004 et 91,9 % pour les parcelles de Chardonnay en 2006, comprise l'image d'hiver. Pour l'indice de végétation NDVI, aucunes différences significatives entre les catégories n'ont été trouvées.

Conclusion: L'analyse spectrale des données satellitaires peut donner une indication de la qualité d'un vignoble bourguignon. Les différences spectrales entre les catégories de vignobles sont dues au moins en partie aux propriétés du terroir transmises à la vigne.

Signification et impact de l'étude: Ce travail montre que la télédétection peut être un outil supplémentaire pour l'observation de régions viticoles établies, et aussi pour l'étude de la qualité potentielle attendue dans de nouvelles régions.

Mots clés: climat bourguignon, télédétection, spectre des vignobles, réflectance des feuilles, images satellites

manuscript received 9th September 2014 - revised manuscript received 19th July 2014

INTRODUCTION

The observation of Earth from remote platforms like airplanes or satellites has proved to be a powerful resource for land studies, with applications to geology, agriculture, environmental sciences, urban and marine monitoring, and many other fields. Presently, most of these Remote Sensing investigations are performed using digital images collected from satellites, which provide low-cost data, with the advantage of being re-acquired at new over-flights. The typical Remote Sensing process involves cameras and sensors aboard the satellite, which collect sunlight reflected from the Earth's surface; during reflection by types or classes of surface cover, like soil or vegetation, the solar spectrum undergoes modifications. The resulting reflectance spectra carry characteristic features of the classes present in the imaged surface and identification of these classes is possible. For example, reflectance spectra from plants are characterized by low reflectance in visible light, with a peak at 550 nm due to chlorophyll, which is the reason for the green color of vegetation; at near-infrared (NIR) wavelengths there is an abrupt transition towards stronger reflectances (the Red Edge); and at longer wavelengths (the Short-Wave Infrared, SWIR) reflectance falls, carrying the typical features of absorption by water at 1,400 and 1,900 nm. The spectral signatures of minerals or water are quite different, and this allows the identification of classes of soil and land cover in Remote Sensing images which have the adequate spectral sensitivity; for comprehensive reviews on the applications of Remote Sensing imagery to land monitoring, see Jensen (2007) or Campbell and Wynne (2011).

This work deals with reflectance spectra of vineyards as a particular class of vegetation. Applications of Remote Sensing techniques to vineyard studies are still in their infancy. Up until now, the majority of studies have focused on precision viticulture management in private properties of limited surface and, for this reason, are based on airborne sensors, either multispectral or hyperspectral (Bramley and Proffitt, 1999; Zarco-Tejada *et al.*, 2005). Remote Sensing imagery from satellites covers much larger areas and is suitable for regional surveys and monitoring. This field of research is new and much groundbreaking work has to be done. In this aspect, we reported in a series of papers studies performed over several viticultural areas in Europe and South America (Da Silva and Ducati, 2009; Blauth and Ducati, 2010; Ducati *et al.*, 2014). It was demonstrated that Remote Sensing data and

techniques allows not only the separation of vineyards from other vegetation, but also, to a certain degree, the identification of grape varieties (Cemin and Ducati, 2011). These possibilities were already perceived from laboratory measurements (Lacar *et al.*, 2001), but now it becomes clear that satellite images have their own potential in viticultural studies. After using satellite images to study vineyards in France (Bordeaux, Champagne, Loire), Chile and Brazil, we now focus our studies on Burgundy's Côte d'Or. This choice is justified by three basic factors:

- a) The hierarchical division of the Burgundian vineyard is historical and emblematical, having been the object of countless studies, but up to the present day few papers, if any, have used observations from space;
- b) The typical size of vine parcels in Burgundy is of the order of few hectares, being adequately resolved by multispectral images like those from ASTER sensor;
- c) The Côte d'Or region is generally oriented facing east (Pitiot and Servant 2010; Atkinson 2011), and so most vineyards receive the morning sunlight in fairly equal inclinations of solar rays. This fact is relevant since the ASTER imager gets data in the morning (around 10h30 AM). The illumination of parcels, which in general are on gentle slopes, tends to be homogeneous; this perception was gained during several field trips to the region in the last years by the first author.

In Burgundy, the hierarchy of Grand Cru, Premier Cru and more generic appellations (Côtes, Villages, Communales, etc.) seems to be linked to soil characteristics, which are at the very root of the terroir concept (Van Leeuwen and Seguin, 2006). From a principal component analysis, Wittendal (2004) gave weight to a widespread perception, indicating that most Grand Cru soils have a particular structure that is significantly different from the soils of other categories. Therefore, the objective of this investigation was to verify if these quality categories, which are transmitted from soil to wine, are also transmitted from soil to vine leaves and if they can be detected in the spectral information contained in the images. This is because the observation parameter in digital images, the reflectance, originates mainly from vine leaves reflecting sunlight, if we are using non-winter data. At the high plant density used in Burgundy (up to 10,000 vines/hectare), the soil is almost entirely covered by the plant canopy; besides, at the moment of image acquisition (10h30 AM),

there is an important projection of shadow between vine rows and little sunlight is reflected from the shadowed soil. This point will be analysed in greater detail in the Discussion section, but for now, it can be stated, for practical purposes, that the reflected light in images acquired during the vegetative cycle comes essentially from vine leaves.

MATERIALS AND METHODS

1. Image acquisition

Images from the ASTER sensor, which is aboard the Terra satellite, were acquired through the NASA website reverb.echo.nasa.gov/reverb, in the context of a research project submitted by the authors and approved by NASA. Extensive information on the ASTER sensor can be found in Abrams *et al.* (2002). The spatial resolution, or pixel size of the images, is 15 meters at the first three spectral bands in the visible and near-infrared (VNIR) subsystem, and 30 meters at the six bands in the SWIR subsystem. These combined features allow deeper analysis of reflectance compared with those of other orbital sensors like Landsat, CBERS or ALOS. Image dates were September 19, 2002 ; June 9, 2004 ; and September 6, 2006, corresponding to late spring or late summer in the Northern hemisphere. To look for pure soil effects, we also analysed a winter image (February 15, 2003), where no grape leaves were covering the soil and hiding it from satellite view. The usual treatments were applied: atmospheric correction (Berk *et al.*, 2006) and compensation for the crosstalk effect (Iwasaki and Tonooka 2005). An additional treatment was made concerning pixel size; to run the atmospheric correction algorithm it is necessary that all nine bands be at the same spatial resolution (either 15 meters or 30 meters). When studying vine parcels of a few hectares, the spatial resolution has to be as high as possible, and to take full advantage of the three higher resolution (15 meters) bands, we resampled the six 30-meter bands to match the 15-meter pixels, a procedure already used and discussed elsewhere (Mather, 1999; Altaweel, 2005).

2. Vineyard selection

The Côte d'Or region has about 1,200 vine parcels which are climats or lieu-dits. This is a large number, and to study them all would be a major constraint to a project whose prime objective is to test the spectral recognition of vineyard categories. Thus, we looked for a sample which would be representative of the three categories (Grand Cru, Premier Cru and Communales), having as selection criteria parcels with adequate areas (not too small, i.e., with more

than 40 pixels of 225 m² each), with adequate geometry (the more square, the better), and evenly distributed over the Côte d'Or region. The maps of Côte de Nuits and Côte de Beaune by Pitiot and Poupon (2009) were used for the selection of vine parcels. The final sample was formed by 201 plots: 28 Grand Cru (10 in Beaune, 18 in Nuits), 74 Premier Cru (51 in Beaune, 23 in Nuits), and 99 Communales (53 in Beaune, 46 in Nuits), this last category corresponding to vineyards which are lieu-dits and which are neither Grand Cru nor Premier Cru. The complete list of these vineyards is given in Appendix A.

A mask containing the polygons of these vineyards was generated based on the maps of the region, which were georeferenced in the same frame of reference as the satellite images. This mask was then superposed on the ASTER images, on which the selected parcels could be identified. For each climat or lieu-dit, the mean reflectance of all pixels inside a polygon was calculated for each one of the nine spectral bands. Great care was taken in doing the mask to ensure that each polygon was entirely inside the climat, avoiding contamination from other spectral classes, like roads, buildings or other vegetation classes. The selected polygons had from 40 to 140 pixels, corresponding to areas within climats from 0.9 to about 3 hectares, since a pixel has 15 m x 15 m or 225 m².

The final sample had 797 reflectance spectra of 201 climats of the three vineyard categories. The sample was divided in eight files, one file for each year (2002, 2003, 2004, and 2006) and for each Côte. The exact number of each category in each year/image varied slightly because variations in image quality sometimes made it impossible to accurately visualize certain climats. The sample also contained information on grape variety. In Côte de Nuits, only 2 out of the 87 selected parcels were Chardonnay, expressing the massive dominance of Pinot noir in the northern part of Côte d'Or. On the other hand, in Côte de Beaune many parcels of the Communale category and some of Premier Cru were planted with both grape varieties. In the eight files forming the database, each line contained the climat number and name, the category code, the grape variety, and all nine mean reflectance values. Figure 1 shows how some climats appear in the satellite image.

3. Statistical analysis

A statistical discriminant analysis with respect to vineyard category was performed using the nine

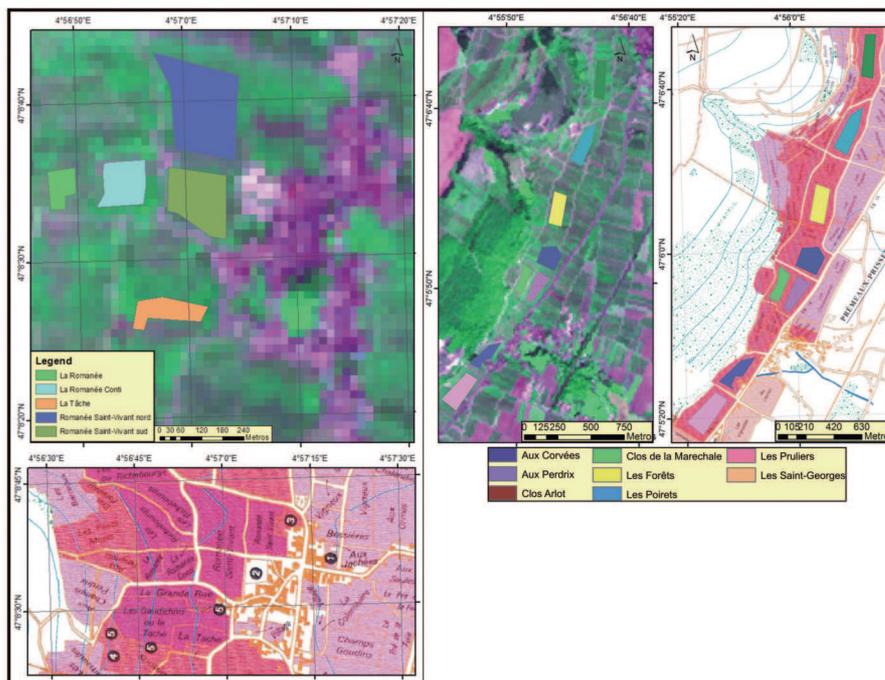


Figure 1. Examples of polygons superposed on an ASTER satellite image and the corresponding maps. Some selected climats in two areas of Côte de Nuits are shown.

spectral bands of reflectance spectra for each year and each Côte, since a preliminary analysis using the whole sample revealed that seasonal and spatial differences increased noise level.

An additional analysis using one-way ANOVA with Tukey post-hoc multiple comparisons test was made, looking for which spectral band could be more relevant to separate one vineyard category from the others.

Another discriminant analysis was performed with respect to grape variety for the Côte de Beaune files. Since each image was studied separately, we included the winter data in the analysis, although in winter there are no vine leaves to reflect sunlight. We also performed two separate analyses for grape varieties. The first one was with Pinot noir (49 parcels) and Chardonnay (37 parcels); all 28 mixed parcels were excluded from this analysis. The second analysis considered all the three grape groups: Pinot noir, Chardonnay and Pinot/Chardonnay. Preliminary tests showed that the discriminant analysis performed better for the pure groups. This was expected because in parcels with spectral mixture at pixel level, the exact variety proportions are unknown. Therefore, we restricted the analysis to the mono-varietal vineyards.

An additional analysis was performed concerning a vegetation index, in this case the Normalized

Difference Vegetation Index (NDVI), defined as (Tucker, 1979):

$$NDVI = (R_{IR} - R_{VIS}) / (R_{IR} + R_{VIS}) \quad (1)$$

where R_{IR} is the reflectance at the near infrared, which in ASTER subsystems is band 3 (0.760–0.860 μm), and R_{VIS} is the reflectance at red (0.630–0.690 μm), which is band 2. NDVI values were calculated for all 797 spectra and an ANOVA analysis was made comparing the mean values of NDVI with respect to vineyard category.

RESULTS

With respect to vineyard category, the application of discriminant analysis to Côte de Beaune (Table 1) and Côte de Nuits (Table 2) showed that for individual years and Côtes, classification accuracy was as high as 73.7 % (Beaune 2002) and as low as 66.7 % (Beaune 2003).

Results from the ANOVA test which investigated the more relevant spectral bands for vineyard category discrimination were as follows: Grand Cru climats with Pinot noir grapes had higher mean values of reflectance in bands B2, B4, B5, B6, B7 and B8; that is, in these six bands, Grand Cru plots were different from both Premier Cru and Communale plots. Numbers are less clear for Chardonnay Grand Crus. No systematic differences were observed, and in

Table 1. Discriminant analysis (vineyard category) for Côte de Beaune

Year	Category	Predicted Group Membership			Total	
		Communale	Grand Cru	Premier Cru		
2002 Original	Count	Communale	37	3	13	53
		Grand Cru	2	8	0	10
		Premier Cru	9	3	39	51
	%	Communale	69.8	5.7	24.5	100
		Grand Cru	20	80	0	100
		Premier Cru	17.6	5.9	76.5	100
2003 Original	Count	Communale	41	2	10	53
		Grand Cru	1	7	2	10
		Premier Cru	12	11	28	51
	%	Communale	77.4	3.8	18.9	100
		Grand Cru	10	70	20	100
		Premier Cru	23.5	21.6	54.9	100
2004 Original	Count	Communale	37	4	10	51
		Grand Cru	0	10	0	10
		Premier Cru	13	5	32	50
	%	Communale	72.5	7.8	19.6	100
		Grand Cru	0	100	0	100
		Premier Cru	26	10	64	100
2006 Original	Count	Communale	37	3	11	51
		Grand Cru	0	8	2	10
		Premier Cru	11	6	34	51
	%	Communale	72.5	5.9	21.6	100
		Grand Cru	0	80	20	100
		Premier Cru	21.6	11.8	66.7	100

Percentage of original grouped cases correctly classified: 2002, 73.7 %; 2003, 66.7 %; 2004, 71.2 %; 2006, 70.5 %.

some bands, Communale was separated from Grand Cru and Premier Cru and in others, Grand Cru was separated, with higher or lower values, from the other classes. It seems that for Chardonnay, the Grand Cru category is separated in a more complex way.

Grape variety results for Côte de Beaune, over the four years, are presented in Table 3. Accuracy was as low as 73.5 % for Pinot noir parcels (2004) and as high as 91.9 % for Chardonnay parcels (2006). It is worth of note that the separation of Pinot noir from Chardonnay vine plots was fairly well done even using 2003 winter data (79.6 % for Pinot noir and 89.2 % for Chardonnay), performing better than June 2004 data and with an accuracy similar to late summer data for 2002 and 2006.

Results for NDVI are shown in Table 4. Not surprisingly, NDVI values for all vineyard categories were smaller for the 2003 winter image (mean values around 0.25), being typical of classes like soil, which is exposed at this season. The index increased as the vegetative cycle progressed and was 0.46 for the June 2004 image in the two regions. The NDVI index was

higher for both late summer images (Sept. 2002 and 2006), with mean values between 0.62 and 0.64. However, there were no significant variations of NDVI comparing vineyard category.

DISCUSSION

1. Factors building up reflectance

An initial point to be discussed is if reflectance data from a vineyard, acquired by a satellite, contains information only from vine leaves or if this information is contaminated by other radiant sources, like soil, roads, or buildings. As for pixels located outside the vine parcels, we have already made it clear that great care was taken to precisely extract data well inside the selected parcels. The question is if within-vineyard features like soil, terrain slope, and row orientation play relevant roles in reflectance responses. In a previous paper we studied these influences in a different region, the Loire Valley (Ducati *et al.*, 2014). We will now present a short summary of that lengthy study. We argued that the soil contribution to reflectance is strongly dependent

Table 2. Discriminant analysis (vineyard category) for Côte de Nuits

Year	Category	Predicted Group Membership			Total		
		Communale	Grand Cru	Premier Cru			
2002	Original	Count	Communale	36	3	6	45
			Grand Cru	3	12	3	18
			Premier Cru	3	8	11	22
	%	Communale	80.0	6.7	13.3	100	
		Grand Cru	16.7	66.7	16.7	100	
		Premier Cru	13.6	36.4	50	100	
2003	Original	Count	Communale	33	6	7	46
			Grand Cru	4	10	4	18
			Premier Cru	2	4	17	23
	%	Communale	71.7	13.0	15.2	100	
		Grand Cru	22.2	55.6	22.2	100	
		Premier Cru	8.7	17.4	73.9	100	
2004	Original	Count	Communale	32	5	9	46
			Grand Cru	2	14	2	18
			Premier Cru	2	6	15	23
	%	Communale	69.6	10.9	19.6	100	
		Grand Cru	11.1	77.8	11.1	100	
		Premier Cru	8.7	26.1	65.2	100	
2006	Original	Count	Communale	34	6	6	46
			Grand Cru	1	14	3	18
			Premier Cru	3	4	16	23
	%	Communale	73.9	13.0	13.0	100	
		Grand Cru	5.6	77.8	16.7	100	
		Premier Cru	13.0	17.4	69.6	100	

Percentage of original grouped cases correctly classified: 2002, 69.4 %; 2003, 69.0 %; 2004, 70.1 %; 2006, 73.6 %.

Table 3. Discriminant analysis (grape variety) for Côte de Beaune

Year	Grape variety	Predicted Group Membership		Total	
		Chardonnay	Pinot noir		
2002 Original	Count	Chardonnay	32	5	37
		Pinot noir	5	44	49
	%	Chardonnay	86.5	13.5	100.0
		Pinot noir	10.2	89.8	100.0
2003 Original	Count	Chardonnay	33	4	37
		Pinot noir	10	39	49
	%	Chardonnay	89.2	10.8	100.0
		Pinot noir	20.4	79.6	100.0
2004 Original	Count	Chardonnay	27	9	36
		Pinot noir	13	36	49
	%	Chardonnay	75.0	25.0	100.0
		Pinot noir	26.5	73.5	100.0
2006 Original	Count	Chardonnay	34	3	37
		Pinot noir	6	43	49
	%	Chardonnay	91.9	8.1	100.0
		Pinot noir	12.2	87.8	100.0

Percentage of original grouped cases correctly classified: 2002, 88.4 %; 2003, 83.7 %; 2004, 74.1 %; 2006, 89.5 %.

on the amount of illuminated soil, which depends on plant density, row orientation, and the hour and epoch of image acquisition. As for plant density, the standard density in Côte d'Or is about 10,000 plants per hectare; such a high density ensures, during the vegetative cycle, a relatively small soil visibility. However, some soil would still be seen from the vantage point of a satellite, and we have to consider its radiance relative to plant leaves, which can be reduced by shadows projected by the vines.

For this geometrical shadow effect, the proportion P of the inter-row surface that is shadowed by a continuous wall of vines is:

$$P = (h/d) * \tan z * |\sin a| \quad (2)$$

where h is the row height, d is the distance between rows, z is the Sun's zenithal distance or elevation at a given moment, and a is the lateral illumination angle at the same time, that is, a is the angle between the orientation of a given row and the solar azimuth. Here, the angle a modulates the shadow's length because when $a = 0^\circ$, the row is oriented towards the Sun and the inter-row soil is entirely illuminated. In equation (1), the proportion P assumes values between 0 and 1, the value 1 corresponding to the extreme situation where the whole area between vine rows is in total shadow.

Table 4. Vegetation index (NDVI) for Côte de Beaune and Côte de Nuits

Côte	epoch	# vineyards	NDVI min	NDVI max	Mean	Std. Dev.
Beaune	Sept. 2002	Comm. (53)	.53	.70	.64	.040
		Gr. cru (10)	.53	.74	.61	.068
		Pr. cru (51)	.48	.74	.62	.052
		Total (114)	.48	.74	.64	.049
	Feb. 2003	Comm. (53)	.20	.29	.24	.020
		Gr. Cru (10)	.20	.30	.24	.029
		Pr. Cru (51)	.20	.33	.24	.030
		Total (114)	.19	.33	.24	.025
	June 2004	Comm. (51)	.39	.54	.48	.033
		Gr. Cru (10)	.38	.48	.44	.033
		Pr. Cru (51)	.33	.57	.45	.048
		Total (111)	.33	.57	.46	.043
	Sept. 2006	Comm. (51)	.57	.69	.64	.031
		Gr. Cru(10)	.55	.66	.61	.034
		Pr. Cru (51)	.53	.68	.63	.040
		Total (112)	.53	.69	.63	.037
Nuits	Sept. 2002	Comm. (45)	.51	.72	.63	.043
		Gr. Cru (18)	.50	.78	.65	.071
		Pr. Cru (22)	.50	.70	.63	.058
		Total (85)	.50	.78	.63	.054
	Feb. 2003	Comm (46)	.22	.32	.27	.022
		Gr. Cru (18)	.22	.32	.26	.026
		Pr. Cru (23)	.21	.34	.26	.030
		Total (87)	.21	.34	.26	.025
	June 2004	Comm. (46)	.41	.51	.47	.023
		Gr. Cru (18)	.40	.49	.45	.023
		Pr. Cru (23)	.40	.51	.45	.033
		Total (87)	.40	.51	.46	.026
	Sept. 2006	Comm. (46)	.47	.69	.61	.050
		Gr. Cru (18)	.55	.74	.66	.055
		Pr. Cru(23)	.48	.70	.62	.053
		Total (87)	.47	.74	.62	.054

In Ducati *et al.* (2014) we showed that a shadowed soil has little reflectance compared to fully-illuminated leaves. But it is seen that the amount of illuminated soil is critically dependent on row orientation; if in Loire we perceived that row orientations in vineyards are almost random, in Côte d'Or we saw during our field trips, further supported by visual inspection of high-resolution satellite images available via Internet services, that there is a certain dominance of down-hill rows. The exact geographical direction of these down-hill rows, however, varies depending on the local slope, which can favor an east exposure as well as north-east, south-east and other more extreme exposure. The Sun's position at the moment of image acquisition (10 h 30 AM) was east, and the Sun's zenithal distance in our images never exceeded 65°. Therefore, for the vineyards with down-hill rows, there is a certain amount of sunlight illuminating the soil between rows and its contribution may be considered.

However, for practical purposes, we will not discuss this issue further. This is due to the fact that during our field trips we did not detect any correlation between row orientation and vineyard category. In fact, we even observed that in those Grand Cru vineyards that are not "monopoles" the orientations of vine rows vary considering the plots inside the appellation; this is observed, for example, in the Clos-Vougeot and Échezeaux terrains and, of course, in the two other categories of this study, Premier Cru and Communale. Therefore, even if a contribution to pixel reflectance from the soil exists, this contribution is prone to be common to all three studied categories and would not be a differentiation factor in our study. This conclusion is not surprising, since if row orientation had been relevant to quality discrimination in Burgundy, the categories would have been separated by their respective row orientations a long time ago, which is not the case.

Another consideration, as stated at the beginning of this section, is terrain slope. The less prestigious vineyards in Burgundy are located over the plains on the east side of RN74, but in our study we have selected only a few plots in that zone. By far, the larger part of our sample was composed of vine plots on the hilly part. Here two points must be considered. The first one is that there is no clear slope-based criterion to separate the three categories in our sample; this is simply not observed. The second point is that the reflectance has its origin in vine leaves, and the amount of reflectance depends on the relative orientation of the plant leaf surface with respect to sunlight. However, plant leaves orient

themselves to maximize sunlight absorption and do not follow terrain slope; therefore, leaf orientation, and so the part of pixel reflectance that is due to vegetation, tends to be independent of slope.

As a final remark on the possible relevance of slope and solar orientation to vineyard quality in Côte d'Or, we note that these variables were already included in the study by Wittendal (2004), with no positive results.

2. Our results

As presented in the Results section, category discrimination was fairly good over all four images. It could be expected that discrimination accuracy would be poorer for the winter data, since the reflected light comes from the soil, with little contribution from vegetation; however, the difference of winter data with respect to spring or summer data was small. This suggests that spectral differences between categories come primarily from the soil and when the soil is covered by vine leaves these differences persist and even seem to be reinforced by what the soil communicates to plant leaves. Another result that may deserve deeper investigation is the parcels that were placed in a different category in discriminant analysis. Overall, the results indicate that about 30 % of all parcels presented spectral features typical of other categories. For example, some climats, which are formally classified as being generic appellations, carried spectral features derived from soil/leaf reflectance that put them in higher categories; the opposite also happened. For each region we had four images, and so we had four spectra treated separately in discriminant analysis. Uncertainties in reflectance determination could eventually change a spectrum to the point of putting it in another category, but some systematic changes did appear. These cases were as follows: one climat of the Communale class was considered to be Grand Cru in all four images; seven Communale climats were classified as Premier Cru four times; the opposite, Premier Cru classified as Communale, happened four times; and two Premier Cru climats were classified as Grand Cru in all four images. Visual inspection of images did not reveal any irregularities, and thus these cases deserve further and deeper investigation, possibly including more detailed soil information and field inspection.

Between 70 % and 100 % of Grand Cru vineyards were correctly identified in Beaune; these numbers were between 55.6 % and 77.8 % in Nuits. The question is: in our satellite reflectance data, what differentiates the Grand Cru category from the

others? Results showed that a systematically higher reflectance seems to be real for Pinot noir, and that for Chardonnay the differentiation process seems to be more subtle. It is known that ASTER satellite bands B4 to B8 are sensitive to water, meaning that higher water content in a target will reduce reflectance. Pinot noir Grand Crus had higher reflectance. Whether this means less water in leaves and soil is not totally clear. Atkinson (2011) suggested that Grand Cru soils have a more stable capacity of water storage, due to sub-soil characteristics; peculiarities in top-soil, the one that is observed from space, seem to be less evident. This question can be better understood in future studies, based on more detailed spectral information and a wider database.

Parcels with Chardonnay were well separated from those with Pinot noir. Again, the question is whether this is due to vegetation or soil. We already mentioned that during the vegetative season the soil is well covered by the canopy and also that this soil tends to be in shadow at the moment of image acquisition. This perception leads us to believe that the separation is due to spectral differences between the two varieties, expressed by leaf reflectance. In another investigation (Da Silva and Ducati, 2009) we demonstrated that red and white grapes could be spectrally separated, the cause being the anthocyanin pigment which is present in leaf cells of red grapes. However, the 2003 winter result provides a deeper insight, since we have only soil reflectance and separation is still well done. This is for Côte de Beaune, where the best terroirs for Chardonnay and Pinot were pinpointed by centuries of study. The extremely variable Burgundian soil was and continues to be determinant for these choices (Fanet, 2008; Pitiot and Servant, 2010), and in a limestone-dominated environment, subtle differences made Chardonnay to be frequently placed where there is a certain dominance of clay with marl-limestone. Other factors can also play a role, like terrain orientation, with often more south and south-west facing parcels for Chardonnay and a tendency for Pinot noir to occupy the higher parts of the hilly landscape. All these factors may induce spectral differences in the infrared. On the one hand, a southern exposure would make the top layers of soil drier, possibly increasing reflectance. But on the other hand, more clayed, marl-limestone terrains retain more water, and it is well known that higher soil humidity reduces the reflectance at infrared (Bowers and Hanks, 1965); moreover, if Chardonnay is more frequently placed at the lower part of hills, again humidity will be higher, and both factors would reduce reflectance. Therefore,

as for vineyard category discrimination, terrain and soil-terroir are the ultimate differentiation factors.

CONCLUSION

We have shown that satellite data is functional to reveal vineyard quality. This can be seen as surprising. Spectral differences should come essentially from soil features, which are transmitted to the vine and to vine leaves. In this study, Remote Sensing techniques were valuable in the characterization of terroirs, in this case with respect to vineyard quality. It can be noted that the ultimate factor defining quality is the resulting wine, and wine quality results not only from the soil components of the terroir concept but also from viticultural and winemaking practices. These non-geochemical factors can perhaps explain part of the « wrong » identifications commented in the Discussion, keeping the following comment in mind (Thackrey 2001): « I believe that the quality of French wine is due to a French genius for viticulture and winemaking, (...), not to the subsoil ». The fact that the differences between these climat categories are at least partially due to terroir characteristics suggests that terroir, or more precisely, the soil, influences the vine and vine canopy up to the point that detection of vineyard quality by Remote Sensing becomes possible.

Acknowledgements: ASTER L1B data were obtained through the online Data Pool at the NASA Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC), USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, Sioux Falls, South Dakota (https://lpdaac.usgs.gov/get_data). JRD is grateful for the hospitality of the staff of the International Vintage Master at the École Supérieure d'Agriculture (ESA) of Angers, France, where this investigation was started during his stay as Visiting Professor in 2011, benefiting from Erasmus Mundus financial support.

REFERENCES

- Abrams M., Hook S., Ramachandran B., 2002. *ASTER User Handbook*. Available at: http://asterweb.jpl.nasa.gov/content/03_data/04_Documents/aster_user_guide_v2.pdf (accessed on November 12, 2013).
- Altaweel M., 2005. The use of ASTER satellite imagery in archaeological contexts. *Archaeological Prospection*, **12**, 3, 151-166.
- Atkinson J., 2011. Terroir and the Côte de Nuits. *J. Wine Res.*, **22**, 1, 35-41.
- Berk A., Anderson G.P., Acharya P.K., Bernstein L.S., Muratov L., Lee J., Fox M., Adler-Golden S.M., Chetwynd J.H. J.-R., Hoke M.L., Lockwood R.B., Gardner J.A., Cooley T.W., Borel C.C., Lewis P.E., Shettle E.P., 2006. MODTRAN5: 2006 Update. *In: Proceedings of SPIE*, vol. 6233, 62331F.

- Blauth D.A., Ducati J.R., 2010. A Web-based system for vineyards management, relating inventory data, vectors and images. *Computers and Electronics in Agriculture*, **71**, 2, 182-188.
- Bowers S.A., Hanks R.J., 1965. Reflection of radiant energy from soils. *Soil Science*, **100**, 2, 130-138.
- Bramley R.G.V., Proffitt A.P.B., 1999. Managing variability in viticultural production. *Australian Grapegrower and Winemaker*, **427**, July 1999, 11-16.
- Campbell J.B., Wynne R.H., 2011. *Introduction to Remote Sensing*. Guilford Press, New York.
- Cemin G., Ducati J.R., 2011. Spectral discrimination of grape varieties and a search for terroir effects using remote sensing. *J. Wine Res.*, **22**, 1, 57-78.
- Da Silva P., Ducati J.R., 2009. Spectral features of vineyards in south Brazil from ASTER imaging. *Int. J. Remote Sensing*, **30**, 23, 6085-6098.
- Ducati J.R., Sarate R.E., Fachel J.M.G., 2014. Application of remote sensing techniques to discriminate between conventional and organic vineyards in the Loire Valley, France. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, **48**, 135-144.
- Fanet J., 2008. *Les Terroirs du Vin*. Hachette Pratique, Paris.
- Iwasaki A., Tonooka H., 2005. Validation of crosstalk correction algorithm for ASTER/SWIR. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **43**, 12, 2747-2751.
- Jensen J.R., 2007. *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*. Prentice Hall, New York.
- Lacar F.M., Lewis M.M., Grierson I.T., 2001. Use of hyperspectral reflectance for discrimination between grape varieties. In: *Proc. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (Sydney, Australia), vol. 6, pp. 2878-2880.
- Mather P., 1999. *Computer Processing of Remotely-Sensed Images: An Introduction*. Wiley, Chichester.
- Pitiot S., Poupon P., 2009. *Atlas des Grands Vignobles de Bourgogne*. Lusigny-sur-Ouche, France.
- Pitiot S., Servant J.-C., 2010. *Les Vins de Bourgogne*. Beaune, France.
- Thackrey S., 2001. *An Afternoon with Sean Thackrey*. Available at: <http://www.gangofpour.com/bree/profiles/thackrey/thackrey4.html> (accessed on November 23, 2013).
- Tucker C.J., 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing Environ.*, **8**, 2, 127-150.
- Van Leeuwen C., Seguin G., 2006. The concept of terroir in viticulture. *J. Wine Res.*, **17**, 1, 1-10.
- Wittendal F., 2004. Great Burgundy wines: a principal component analysis of "La Côte" vineyards. In: *11th Oenometrics Conference* (Dijon, France), 31 p.
- Zarco-Tejada P.J., Berjón A., López-Lozano R., Miller J.R., Martín Muñoz A.P., Cachorro V., González M.R., de Frutos A., 2005. Assessing vineyard condition with hyperspectral indices: leaf and canopy reflectance simulation in a row-structured discontinuous canopy. *Remote Sensing Environ.*, **99**, 3, 271-287.

Appendix A. Climats and lieu-dits included in this study

Climat	Commune	Category	Côte
Sur Le Bois Nord	Cheilly-lès-Maranges	Communale	Beaune
Sur Le Bois Sud	Cheilly-lès-Maranges	Communale	Beaune
Les Charmes Dessus	Santenay	Communale	Beaune
Les Cornières	Santenay	Communale	Beaune
Les Hâtes	Santenay	Communale	Beaune
Les Prarons Dessus	Santenay	Communale	Beaune
Les Champs Claudes	Santenay	Communale	Beaune
Les Benoites	Chassagne-Montrachet	Communale	Beaune
Champs de Morjot	Chassagne-Montrachet	Communale	Beaune
Les Lombardes	Chassagne-Montrachet	Communale	Beaune
Clos Bernot	Chassagne-Montrachet	Communale	Beaune
La Caniere	Chassagne-Montrachet	Communale	Beaune
Les Masures	Chassagne-Montrachet	Communale	Beaune
Le Concis du Champs	Chassagne-Montrachet	Communale	Beaune
Les Chambres	Chassagne-Montrachet	Communale	Beaune
Les Hautés	Auxey-Duresses	Communale	Beaune
La Macabrée	Auxey-Duresses	Communale	Beaune
Les Boutonniers	Auxey-Duresses	Communale	Beaune
Les Famines	Volnay	Communale	Beaune
Les Grands Poisots	Volnay	Communale	Beaune
Les Cras (Pommard)	Pommard	Communale	Beaune
Village	Pommard	Communale	Beaune
Les Prevoles	Beaune	Communale	Beaune
Les Peuillets com.	Savigny-lès-Beaune	Communale	Beaune
Poirier Malchaussé	Chorey-lès-Beaune	Communale	Beaune
Les Pimentiers	Savigny-lès-Beaune	Communale	Beaune
Aux Fourches	Savigny-lès-Beaune	Communale	Beaune
Aux Champs Chardons	Savigny-lès-Beaune	Communale	Beaune
Aux Petits Liards	Savigny-lès-Beaune	Communale	Beaune
Les Beaumonts ouest	Chorey-lès-Beaune	Communale	Beaune
Tue-Boeuf	Chorey-lès-Beaune	Communale	Beaune
Les Bons Ores	Chorey-lès-Beaune	Communale	Beaune
Les Champs Longs	Chorey-lès-Beaune	Communale	Beaune
Les Cras (Aloxe-Corton)	Aloxe-Corton	Communale	Beaune
Les Valozières	Aloxe-Corton	Communale	Beaune
Sur Herbeux	Pernand-Vergelesses	Communale	Beaune
La Mort	Ladoix	Communale	Beaune
Les Embazées	Chassagne-Montrachet	Premier Cru	Beaune
Les Grands Clos	Chassagne-Montrachet	Premier Cru	Beaune
La Chapelle	Chassagne-Montrachet	Premier Cru	Beaune
Les Chaumées	Chassagne-Montrachet	Premier Cru	Beaune
Les Fairendes	Chassagne-Montrachet	Premier Cru	Beaune
En Cailleret	Puligny-Montrachet	Premier Cru	Beaune
Les Champs Gain	Puligny-Montrachet	Premier Cru	Beaune
Chassagne	Chassagne-Montrachet	Premier Cru	Beaune
Clos Saint-Jean	Chassagne-Montrachet	Premier Cru	Beaune
Les Chenevottes	Chassagne-Montrachet	Premier Cru	Beaune
Le Montrachet	Chassagne-Montrachet	Grand Cru	Beaune
Bâtard Montrachet S	Puligny-Montrachet	Grand Cru	Beaune
Bâtard Montrachet N	Puligny-Montrachet	Grand Cru	Beaune
Montrachet	Puligny-Montrachet	Grand Cru	Beaune
Chevaller Montrachet	Puligny-Montrachet	Grand Cru	Beaune
Les Tremblots	Puligny-Montrachet	Communale	Beaune
Les Houillères	Puligny-Montrachet	Communale	Beaune
Le Cailleret	Puligny-Montrachet	Premier Cru	Beaune
Les Pucelles	Puligny-Montrachet	Premier Cru	Beaune
Clavaillon	Puligny-Montrachet	Premier Cru	Beaune

Les Perrieres	Puligny-Montrachet	Premier Cru	Beaune
Les Combettes	Puligny-Montrachet	Premier Cru	Beaune
Les Referts	Puligny-Montrachet	Premier Cru	Beaune
Les Charmes-Dessus	Mersault	Premier Cru	Beaune
Les Levrons	Puligny-Montrachet	Communale	Beaune
Les Reuchaux	Puligny-Montrachet	Communale	Beaune
Corvée des Vignes	Puligny-Montrachet	Communale	Beaune
Le Limozin	Mersault	Communale	Beaune
Les Pelles-Dessous	Mersault	Communale	Beaune
Sous La Velle	Mersault	Communale	Beaune
Les Grands Charrons	Mersault	Communale	Beaune
Les Tillets	Mersault	Communale	Beaune
Les Clous Dessus est	Mersault	Communale	Beaune
Les Clous Dessus ouest	Mersault	Communale	Beaune
Les Vireuils Dessus est	Mersault	Communale	Beaune
Les Vireuils Dessus ouest	Mersault	Communale	Beaune
Le Cromin	Mersault	Communale	Beaune
Les Meix Chavaux	Mersault	Communale	Beaune
Les Clos Roussots est	Maranges	Premier Cru	Beaune
Les Clos Roussots ouest	Maranges	Premier Cru	Beaune
Beauregard	Santenay	Premier Cru	Beaune
La Comme	Santenay	Premier Cru	Beaune
Les Gravières	Santenay	Premier Cru	Beaune
Les Champs Fulliot	Monthélie	Premier Cru	Beaune
Clos des Chenes	Volnay	Premier Cru	Beaune
En Champans	Volnay	Premier Cru	Beaune
Frémiets	Volnay	Premier Cru	Beaune
Les Bertins	Pommard	Premier Cru	Beaune
Clos de la Commaraine	Pommard	Premier Cru	Beaune
La Refene	Pommard	Premier Cru	Beaune
Clos Blanc	Pommard	Premier Cru	Beaune
Les Grands Epenots	Pommard	Premier Cru	Beaune
Les Petits Epenots 1.SE	Pommard	Premier Cru	Beaune
Les Petits Epenots 2.NW	Pommard	Premier Cru	Beaune
Les Petits Epenots 3.NE	Pommard	Premier Cru	Beaune
Les Epenotes	Beaune	Premier Cru	Beaune
Le Clos des Mouches	Beaune	Premier Cru	Beaune
Les Aigrots	Beaune	Premier Cru	Beaune
Champs Pimont	Beaune	Premier Cru	Beaune
Les Avaux	Beaune	Premier Cru	Beaune
Les Tuvilains	Beaune	Premier Cru	Beaune
Belissand	Beaune	Premier Cru	Beaune
Les Teurons	Beaune	Premier Cru	Beaune
Les Greves	Beaune	Premier Cru	Beaune
Les Cents Vignes	Beaune	Premier Cru	Beaune
Clos du Roi	Beaune	Premier Cru	Beaune
Les Peuillets 1er	Savigny-lès-Beaune	Premier Cru	Beaune
Les Narbantons	Savigny-lès-Beaune	Premier Cru	Beaune
Aux Clous	Savigny-lès-Beaune	Premier Cru	Beaune
Aux Serpentieres	Savigny-lès-Beaune	Premier Cru	Beaune
Aux Vergelesses	Savigny-lès-Beaune	Premier Cru	Beaune
Les Basses Vergelesses	Pernand-Vergelesses	Premier Cru	Beaune
Le Clos du Roi	Aloxe-Corton	Grand Cru	Beaune
Les Bressandes	Aloxe-Corton	Grand Cru	Beaune
Les Renardes	Aloxe-Corton	Grand Cru	Beaune
Les Pougets	Aloxe-Corton	Grand Cru	Beaune
Le Corton	Aloxe-Corton	Grand Cru	Beaune
Le Clos de Magny	Corgoloin	Communale	Nuits
La Montagne	Corgoloin	Communale	Nuits

Les Chaillots	Corgoloin	Communale	Nuits
Aux Quartiers	Corgoloin	Communale	Nuits
Les Monts de Boncourt	Corgoloin	Communale	Nuits
Aux Fauques	Comblanchien	Communale	Nuits
Belle Vue	Comblanchien	Communale	Nuits
Le Vaucrain	Comblanchien	Communale	Nuits
Les Vignottes	Premeaux	Communale	Nuits
Au Leurey	Premeaux	Communale	Nuits
Preau	Brochon	Communale	Nuits
Vignois	Brochon	Communale	Nuits
Les Vallerots	Nuits-Saint-Georges	Communale	Nuits
Les Longecourts	Nuits-Saint-Georges	Communale	Nuits
Les Chaliots	Nuits-Saint-Georges	Communale	Nuits
Les Charmois	Nuits-Saint-Georges	Communale	Nuits
La Charmotte	Nuits-Saint-Georges	Communale	Nuits
Aux Allots	Nuits-Saint-Georges	Communale	Nuits
Aux Saints Jacques	Nuits-Saint-Georges	Communale	Nuits
Aux Herbues	Nuits-Saint-Georges	Communale	Nuits
Aux Raviolles	Vosne-Romanée	Communale	Nuits
Aux Lavières	Nuits-Saint-Georges	Communale	Nuits
Au Bas de Combe	Nuits-Saint-Georges	Communale	Nuits
Aux Athees	Nuits-Saint-Georges	Communale	Nuits
Les Condemennes	Chambolle-Musigny	Communale	Nuits
Les Babilleres	Chambolle-Musigny	Communale	Nuits
Les Athets	Chambolle-Musigny	Communale	Nuits
Les Herbues	Chambolle-Musigny	Communale	Nuits
Les Porroux	Morey-Saint-Denis	Communale	Nuits
Clos Solon	Morey-Saint-Denis	Communale	Nuits
Les Crais	Morey-Saint-Denis	Communale	Nuits
Les Cognées	Morey-Saint-Denis	Communale	Nuits
Les Crais Gillon	Morey-Saint-Denis	Communale	Nuits
Les Seuvrées	Gevrey-Chambertin	Communale	Nuits
Le Fourneau	Gevrey-Chambertin	Communale	Nuits
Pressonnier	Gevrey-Chambertin	Communale	Nuits
La Burie	Gevrey-Chambertin	Communale	Nuits
Croix des Champs	Gevrey-Chambertin	Communale	Nuits
La Platière	Gevrey-Chambertin	Communale	Nuits
Creux Brouillard	Gevrey-Chambertin	Communale	Nuits
La Justice	Gevrey-Chambertin	Communale	Nuits
Billard	Brochon	Communale	Nuits
Les Jeunes Rois	Brochon	Communale	Nuits
En Auvoine	Couchey	Communale	Nuits
Es Barres	Marsannay-La-Côte	Communale	Nuits
Champforey	Marsannay-La-Côte	Communale	Nuits
Clos de la Marechale	Premeaux	Premier Cru	Nuits
Clos Arlot	Premeaux	Premier Cru	Nuits
Aux Perdrix	Premeaux	Premier Cru	Nuits
Aux Corvées	Premeaux	Premier Cru	Nuits
Les Forêts	Premeaux	Premier Cru	Nuits
Les Saint-Georges	Nuits-Saint-Georges	Premier Cru	Nuits
Les Poirets	Nuits-Saint-Georges	Premier Cru	Nuits
Les Pruliers	Nuits-Saint-Georges	Premier Cru	Nuits
Aux Boussetots	Nuits-Saint-Georges	Premier Cru	Nuits
Aux Boudots	Nuits-Saint-Georges	Premier Cru	Nuits
Les Terres Blanches	Premeaux	Premier Cru	Nuits
Aux Malconsorts	Vosne-Romanée	Premier Cru	Nuits
Les Chaumes	Vosne-Romanée	Premier Cru	Nuits
Les Suchots ouest	Vosne-Romanée	Premier Cru	Nuits
Les Suchots est	Vosne-Romanée	Premier Cru	Nuits

Les Crâs	Vougeot	Premier Cru	Nuits
La Vigne Blanche	Vougeot	Premier Cru	Nuits
Les Sentiers	Vougeot	Premier Cru	Nuits
Les Milandes	Morey-Saint-Denis	Premier Cru	Nuits
La Perrière	Fixin	Premier Cru	Nuits
Clos du Chapitre	Fixin	Premier Cru	Nuits
Les Cazetiers	Gevrey-Chambertin	Premier Cru	Nuits
Lavaut	Gevrey-Chambertin	Premier Cru	Nuits
La Tâche	Vosne-Romanée	Grand Cru	Nuits
La Romanée	Vosne-Romanée	Grand Cru	Nuits
La Romanée Conti	Vosne-Romanée	Grand Cru	Nuits
Romanée Saint-Vivant nord	Vosne-Romanée	Grand Cru	Nuits
Romanée Saint-Vivant sud	Vosne-Romanée	Grand Cru	Nuits
Les Treux	Flagey-Échezeaux	Grand Cru	Nuits
Les Grands Échezeaux	Flagey-Échezeaux	Grand Cru	Nuits
Echezeaux du Dessus	Flagey-Échezeaux	Grand Cru	Nuits
Clos de Vougeot ouest	Vougeot	Grand Cru	Nuits
Clos de Vougeot est	Vougeot	Grand Cru	Nuits
Les Musigny	Chambolle-Musigny	Grand Cru	Nuits
Les Bonnes Mares	Chambolle-Musigny	Grand Cru	Nuits
Clos de Tart	Morey-Saint-Denis	Grand Cru	Nuits
Clos des Lambrays	Morey-Saint-Denis	Grand Cru	Nuits
Latricieres	Gevrey-Chambertin	Grand Cru	Nuits
Chambertin	Gevrey-Chambertin	Grand Cru	Nuits
Mazoyeres ou Charmes	Gevrey-Chambertin	Grand Cru	Nuits
Clos de Beze	Gevrey-Chambertin	Grand Cru	Nuits

CAPÍTULO 4

4. METODOLOGIA

No Capítulo 3 apresenta-se o que foi realizado com referência à investigação preliminar sobre a viabilidade de diferenciação espectral entre variedades de uvas e entre diferentes classes de qualidades. Neste aspecto, o artigo publicado em periódico internacional demonstrou que com dados orbitais multiespectrais é possível e viável separar vinhedos de Pinot Noir e Chardonnay, e também separar vinhedos por classes, que no caso são classes de qualidade. Estes resultados foram encorajadores e motivaram a investigação apresentada na segunda parte do trabalho, na qual empregam-se técnicas mais robustas para a obtenção de dados espectrais de alta qualidade, buscando objetivos semelhantes aos da primeira parte, porém mais ambiciosos.

A metodologia apresentada neste Capítulo refere-se, portanto, à segunda parte do trabalho, e foi desenvolvida buscando analisar dados de reflectância de duas variedades viníferas, Chardonnay e Pinot Noir, as mesmas estudadas na primeira análise. Esses dados foram obtidos com o espectrorradiômetro em trabalhos de campo ao longo de dois anos/safra. Os dados de campo foram coletados em cinco oportunidades, conforme a Tabela 2.

Para complementar os dados de campo na análise do comportamento espectral das videiras, foi utilizada uma imagem de satélite de alta resolução, WorldView-2, tomada no dia 19 de janeiro de 2014.

Tabela 2: Datas das coletas de campo e dia da passagem dos satélites.

Datas das coletas de campo	Imagem de Satélite
28/01/2013**	
07/10/2013	-
14/11/2013	-
19/12/2013**	
17/01/2014	19/01/2014- WorldView 2
06/12/2014	-
09/01/2015**	-
08/02/2015	

**Datas de coleta de dados de campo que, devido a mudanças climáticas (excesso de nuvens), os dados coletados foram incompletos, impossibilitando a análise dos mesmos.

As atividades metodológicas desenvolvidas na segunda parte da Tese estão apresentadas no fluxograma apresentado na Figura 10, que será discutida com maior detalhamento no decorrer da seção.

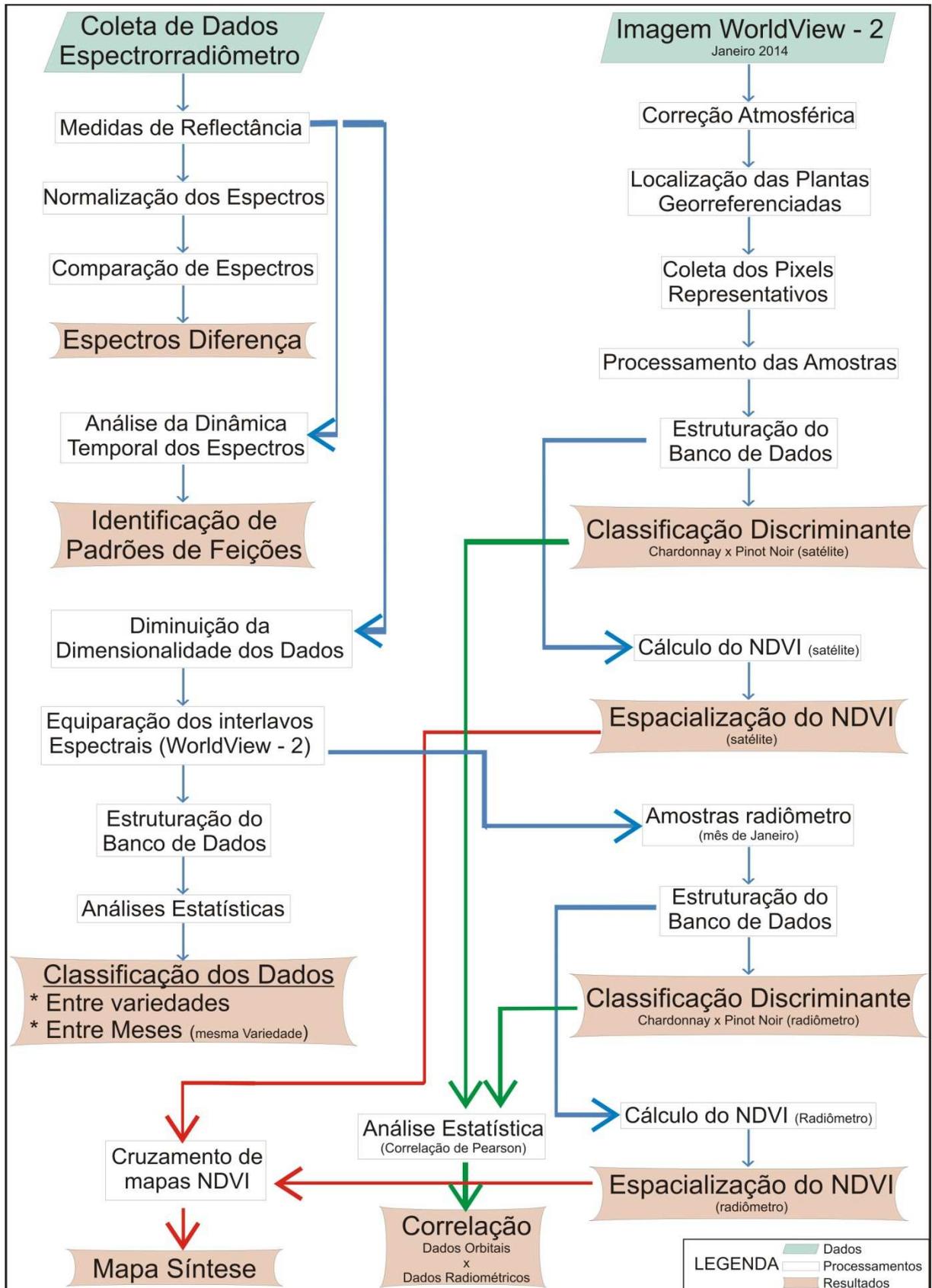


Figura 10: Fluxograma da metodologia utilizada

4.2 DADOS DE TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO

Para melhor entender o comportamento dos dados radiométricos obtidos em campo, foram analisados dados de temperatura e precipitação, os quais foram fornecidos pela Embrapa Uva e Vinho de Bento Gonçalves.

Os dados são provenientes de uma estação meteorológica iMetos modelo AG, localizada na vinícola Don Giovanni (Latitude: 29° 08' 55" S, Longitude: 51° 26' 11" W, Altitude: 713 m) que armazena dados desde Outubro de 2006. É uma estação bem compacta e tem instrumentos com capacidade para medir precipitação, temperatura, umidade, radiação solar, molhamento foliar e velocidade do vento. Esta estação está distante aproximadamente de um quilômetro da área de pesquisa (Figura 11).

Os dados analisados são referentes à pluviosidade e temperatura média diária do período referente à duas safras estudadas (Outubro, Novembro e Dezembro de 2013; Janeiro, Fevereiro, Outubro, Novembro e Dezembro de 2014; Janeiro e Fevereiro de 2015). Para o melhor entendimento do comportamento pluviométrico do período estudado, realizou-se a compilação dos dados no *software* Excel e posteriormente foram gerados gráficos que ilustrassem o histórico das condições climáticas ao longo dos dois ciclos fenológicos estudados.

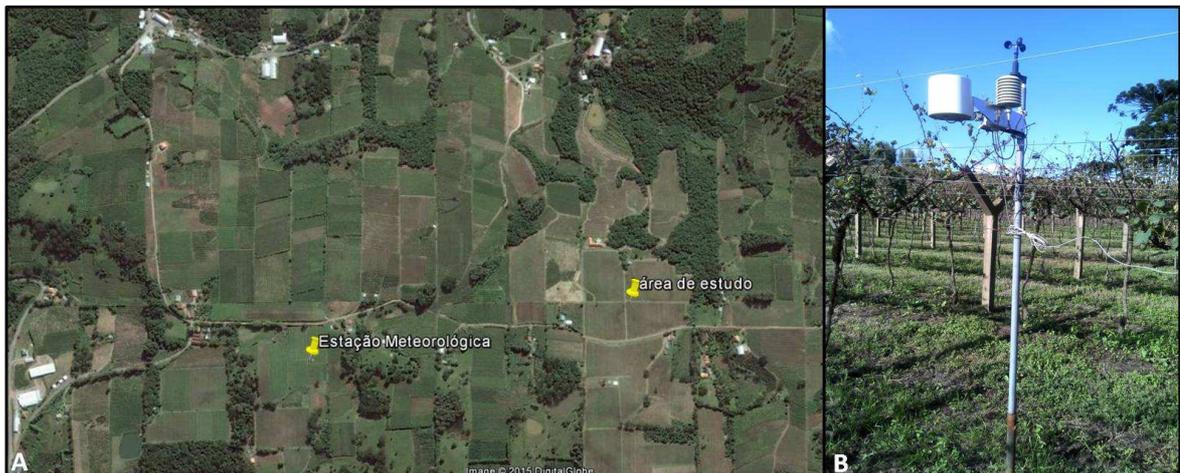


Figura 11: A) Localização da estação meteorológica Don Giovanni (vinícola Don Giovanni, Pinto Bandeira-RS); B) Estação meteorológica iMetos, modelo AG.

4.3 DADOS RADIOMÉTRICOS DE CAMPO

4.3.1 Coleta dos dados de campo

Para a coleta das informações espectrais de campo, foi utilizado um espectrorradiômetro portátil modelo FieldSpec Pro FR, que possui nas suas características um FOV (*Field-Of-View*) de 1°, 8° e 25°, resolução espectral variando de 3 a 10 nm, no domínio de 350 a 2500 nm e capacidade de coletar até 10 espectros por segundo. A unidade detectora está ligada ao instrumento por um cabo de fibra óptica e possui três detectores (ASD, 2013). Realiza medições de reflectância, radiância e irradiância. Além disso, compõem também o instrumento um computador notebook, baterias, interface Espectrorradiômetro-Computador, o software RS2 de interface com o usuário, software para aquisição e armazenamento de dados de reflectância, radiância e irradiância.

A coleta dos dados de campo consistiu nas medidas radiométricas de plantas que foram pré-selecionadas, definindo amostras que mantivessem a homogeneidade dentro das duas parcelas de vinhedos. Estas duas parcelas, por sua vez, foram escolhidas a partir da indicação dos proprietários, sendo parcelas que dão origem a uvas utilizadas nos vinhos espumantes de maior qualidade na empresa. As medidas foram obtidas com o espectrorradiômetro FieldSpec® 3 ASD (*Analytical Spectral Devices*), no período que compreende desde o surgimento das primeiras folhas até o período pós-colheita, sempre em condições atmosféricas de sol pleno e céu sem nuvens, pelo menos na região zenital. As medidas foram realizadas no dossel da planta, sempre respeitando uma distância de 30cm entre o sensor do equipamento e as folhas do dossel. As medidas foram efetuadas com IFOV de 25°, ou seja, a 30cm do alvo e a área captada pelo sensor do espectrorradiômetro foi de aproximadamente 140cm² de dossel.

Antes de medir cada alvo, foi realizada a calibração do espectrorradiômetro. Esta operação consistiu em duas etapas; o primeiro passo foi a otimização do instrumento, que tem por finalidade ajustar a sensibilidade dos detectores de acordo com as condições específicas de iluminação no momento da medição. É necessário otimizar os detectores regularmente sob condições de campo para assegurar que a alteração nos níveis de irradiância não causem saturação. O segundo passo foi medir a placa de referência (*spectralon*), pois a mesma tem propriedades de reflexão da luz com percentuais constantes e próximos de 100%, ou seja, reflete 100% da radiação eletromagnética que incide sobre ela. Realizada a calibração, o equipamento está em condições de realizar medidas do alvo de interesse, sendo estas medidas

convertidas em dimensão de reflectância a partir de uma operação interna do equipamento, utilizando as medidas de calibração.

Após a calibração, as amostras foram coletadas sempre respeitando-se um ângulo de 45° entre o sensor e o dossel (Figura 12). Para cada planta amostrada foram realizadas cinco medidas simultâneas e os valores de reflectância foram determinados através da média destas medidas.



Figura 12: Coleta de dados de campo, vinhedos da Vinícola Geisse, Pinto Bandeira-RS.

Para a análise do vinhedo com base em dados de campo foram definidas duas áreas de interesse, como já mencionado, levando-se em consideração a peculiaridade do terreno e a variedade vinífera plantada (uvas tintas e brancas).

A parcela da variedade Chardonnay tem porta enxerto Paulsen 116 e clone CH 65, e está plantada em uma área de 2,10 hectares com densidade de 4566 plantas/hectare. Para esta parcela foram selecionadas 77 plantas. Os pontos foram determinados de forma que houvesse uma distribuição regular no terreno. A amostragem das videiras medidas foi realizada tendo como base uma malha regular de pontos, sendo coletadas amostras a cada 10 fileiras e dentro das fileiras a cada 19 plantas.

A parcela da variedade Pinot Noir, plantada com o porta enxerto Paulsen 116 e clone PN 777, possui área de 1,28 hectares e densidade de 3020 plantas/hectare. Nesta parcela foram selecionadas 70 plantas. A distribuição dos pontos também foi realizada com base em uma malha regular; no entanto, nesta parcela a densidade de pontos foi maior, sendo coletadas amostras a cada 8 fileiras e dentro das fileiras com um espaçamento de 13 plantas. De acordo com o proprietário da vinícola esta parcela tem um comportamento mais homogêneo de

produtividade e não apresenta grandes variações no terreno, e sendo assim, a malha de pontos mais densa possibilita investigar variações mais sutis (Figura 13).

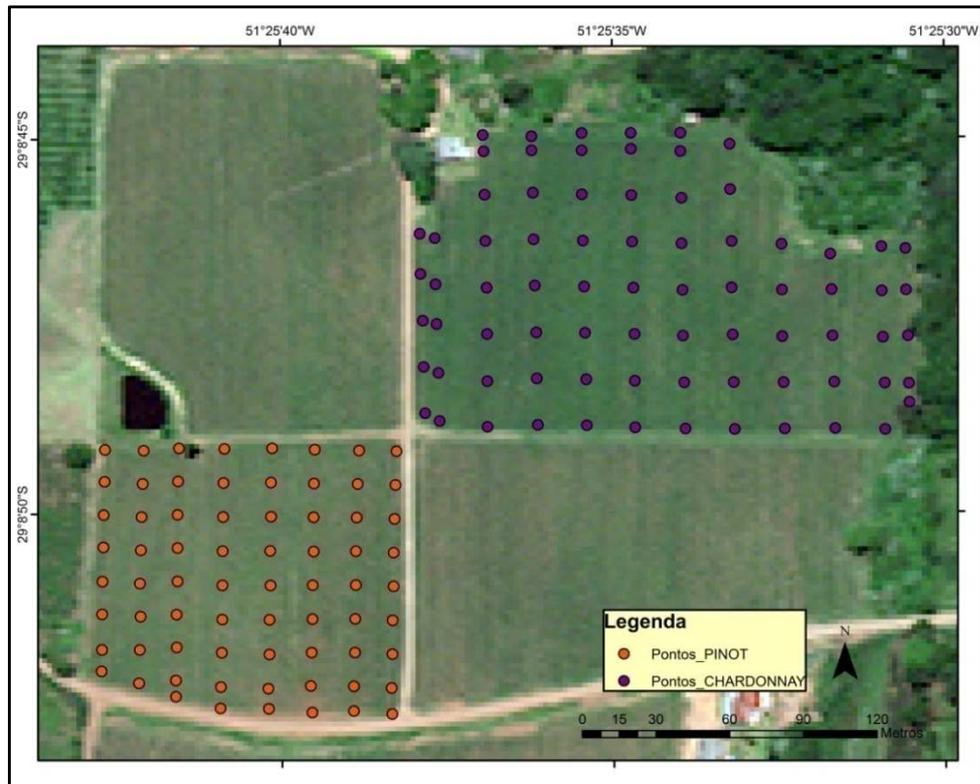


Figura 13: Localização dos pontos de coleta de dados das variedades Pinot Noir e Chardonnay.
Fonte: Imagem WorldView- 2; elaborado pelo autor.

Todos os pontos amostrados foram rastreados com GPS Geodésico de alta precisão posicional, pois o georreferenciamento dos pontos possibilitou localizar e espacializar os dados coletados dentro das parcelas e a sua localização precisa na imagem orbital.

O acompanhamento fenológico da cultura foi realizado mensalmente, sendo realizadas expedições a campo ao longo das safras, compreendendo os meses de Outubro a Fevereiro. Para facilitar a identificação das plantas a serem medidas no decorrer do ciclo fenológico, as mesmas foram identificadas com um lacre (Figura 14).



Figura 14: Lacre de identificação para as plantas medidas ao longo da pesquisa, Pinto Bandeira-RS.

4.3.2 Processamento dos dados de Campo

Os dados de campo foram processados no software ViewSpecPro®, disponibilizado pela ASD_{Inc}, sendo este um software destinado especificamente para o pós-processamento de dados obtidos com o espectrorradiômetro FieldSpec®. As medidas espectrais realizadas pelo FieldSpec® são salvas em arquivos com formato nativo ASD - *Analytical Spectral Devices* (*.asd). O *software* ViewSpecPro® realiza a leitura destes dados e permite converter os arquivos em text file (.txt), permitindo assim a manipulação, estruturação e análise dos mesmos.

A elaboração de perfis espectrais das amostras coletadas em campo foi realizada com o auxílio do software Excel.

4.4 COMPARAÇÃO DAS RESPOSTAS ESPECTRAIS

Para avaliar a diferença espectral entre as variedades Pinot Noir e Chardonnay, em primeira análise, foi efetuada uma inspeção visual dos espectros. Para tal análise foram feitas comparações de amostras das duas variedades escolhidas de forma aleatória. No entanto, não foram encontradas diferenças consistentes identificáveis visualmente.

Para identificar as diferenças mais sutis, as amostras de cada variedade foram agrupadas em sete grupos. Cada grupo consiste na média da resposta espectral de dez amostras (plantas) escolhidas de forma aleatória. As plantas que compõem cada grupo foram identificadas a fim de que a média de cada grupo fosse composta sempre pelos mesmos elementos. Este procedimento foi realizado para as duas variedades e para todos os estádios fenológicos estudados.

4.4.1 Normalização dos Espectros Eletromagnéticos

Para ser possível comparar os dados espectrais de diferentes variedades e em diferentes datas é importante padronizar a intensidade da resposta espectral, e para tal, foi realizada a normalização dos espectros. No processo de normalização, o valor de reflectância de cada comprimento de onda do espectro eletromagnético é dividido pelo resultado da soma de todas as reflectâncias ao longo do mesmo espectro eletromagnético (350 a 2500nm). Com esse procedimento, a área gerada pela curva espectral da reflectância passa a ter valor igual a 1 em todos os casos, possibilitando comparações de áreas (integrais) iguais.

Realizada a normalização da reflectância de todas as amostras, os espectros eletromagnéticos da variedade Chardonnay e Pinot Noir foram cruzados, gerando-se assim um espectro com as diferenças de resposta espectral para cada comprimento de onda. Este cruzamento de espectros consistiu na subtração dos espectros normalizados, ou seja, o espectro resultante tem origem na subtração do espectro normalizado da variedade Pinot Noir em relação ao espectro normalizado da variedade Chardonnay. Cabe aqui ressaltar que a normalização não altera a feição do espectro eletromagnético original, apenas altera a escala vertical.

4.5 REDUÇÃO DA DIMENSIONALIDADE DOS DADOS

Os dados radiométricos foram obtidos na faixa espectral de 350 a 2500nm. A leitura de uma amostra é composta pelo registro de 2150 medidas de reflectância ao longo do espectro, formando uma curva espectral. Trabalhar com dados nessa magnitude torna difícil a análise quantitativa dos dados e inviabiliza a criação de bancos de dados.

Como forma de diminuir a quantidade de dados, cada espectro foi representado pelo valor médio de 8 intervalos espectrais ao longo do espectro eletromagnético. Os comprimentos de onda estudados foram definidos conforme os intervalos das bandas multiespectrais do sensor WorldView-2 (Figura 15).

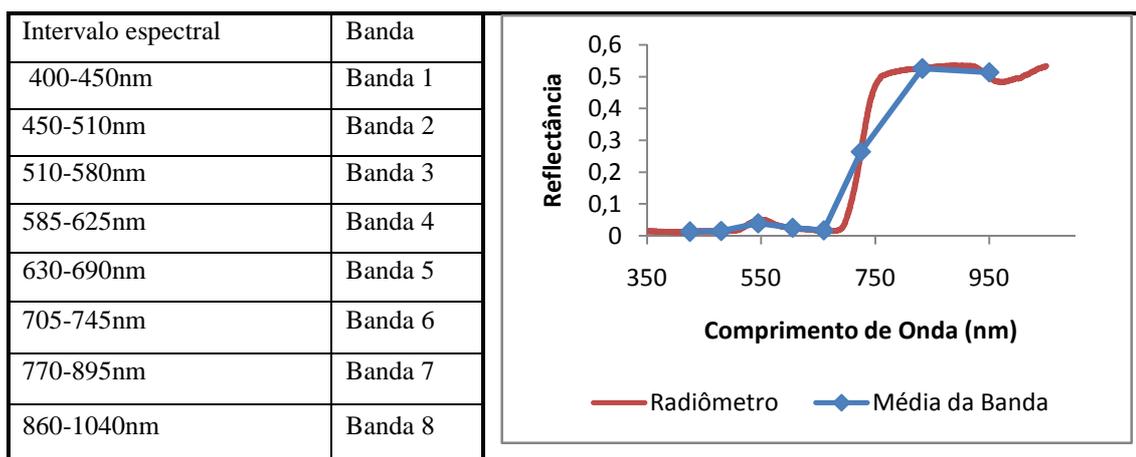


Figura 15: Bandas espectrais e respectivos intervalos. Exemplo de generalização do espectro contínuo.

A transformação do espectro eletromagnético contínuo para bandas espectrais foi realizada para os dados de campo do mês de outubro e o novembro de 2013, janeiro e dezembro de 2014 e fevereiro de 2015. Dessa maneira, cada amostra passou a ser representada por oito variáveis espectrais.

4.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para a Análise Discriminante aplicada nos dados de reflectância, as cinco amostras da última fileira da parcela da variedade Chardonnay foram descartadas. Esta fileira está localizada na borda da mata e sofre influência direta da falta de Sol e do excesso de umidade, apresentando comportamento espectral anômalo do restante das amostras da parcela. Dessa forma, foram analisadas 70 plantas da variedade Pinot Noir e 72 plantas da variedade Chardonnay em cinco meses distintos, totalizando 710 amostras.

Com relação à condição de homogeneidade das matrizes de variância e covariância, Hair (2005) explica que matrizes de covariância desiguais podem afetar negativamente o processo de classificação, e nesse caso os grupos não devem ter tamanhos relativamente diferentes, pois podem causar impacto na estimação da função discriminante e na classificação das observações. O método escolhido para determinar as funções discriminantes foi o simultâneo, o qual considera a inclusão de todas as variáveis explicativas conjuntamente no modelo; assim, a função discriminante é estruturada sem considerar o poder discriminatório de cada variável independente. O nível de significância estatística utilizado foi de 5% obtido pelo coeficiente *Lambda de Wilks* que, segundo Maroco (2007), serve para testar a significância das funções discriminantes e é calculado a partir do determinante da

matriz da soma dos quadrados e produtos cruzados dentro dos grupos, bem como do determinante da matriz da soma dos quadrados e produtos cruzados total.

Nestas análises foram verificados os potenciais de discriminação das variedades Chardonnay e Pinot Noir através de informações de reflectância das videiras. As classificações objetivaram a separação espectral entre duas variedades distintas e a separação dos diferentes estádios fenológicos da mesma variedade.

Para a análise de Cluster foram utilizadas médias representativas para cada grupo. Como são 10 grupos (cinco meses e duas variedades), cada grupo foi representado pela sua média aritmética.

A análise de agrupamentos, também conhecida como análise de cluster ou de conglomerados, é uma técnica estatística multivariada que tenta sintetizar ou simplificar a estrutura de variabilidade dos dados. O objetivo dessa técnica é organizar elementos em grupos, sejam essas observações ou variáveis, com base nas informações quanto à sua proximidade. O resultado obtido a partir da aplicação dessa técnica é um conjunto de grupos com coesão interna e isolamento externo (EVERITT, 1993), ou seja, elementos dentro de um mesmo grupo são tão similares quanto possível e são, ao mesmo tempo, tão dissimilares quanto possível dos elementos presentes nos demais grupos.

4.7 DADOS ORBITAIS

4.7.1 Processamento da imagem WorldView-2

A imagem WorldView-2 utilizada foi adquirida com um pré-processamento básico, no qual a imagem foi corrigida espectralmente, as radiâncias normalizadas e os valores dos pixels convertidos para radiâncias relativas.

A imagem com valores de radiâncias relativas foi convertida para uma imagem com pixel em radiâncias absolutas de acordo com a equação 2 (UPDIKE, 2010):

$$L_{pixel,banda} = \frac{K_{banda} \cdot q_{pixel,banda}}{\Delta\lambda_{banda}} \quad \text{Equação 2}$$

Os valores dos fatores de calibração radiométrica absoluta (K) e a largura efetiva de cada banda ($\Delta\lambda$) são encontrados nos metadados da imagem WorldView-2.

Para possibilitar a comparação da imagem com dados radiométricos de campo ou até mesmo com outras imagens, é importante que as comparações sejam realizadas com valores espectrais que tenham correspondência com a quantidade de energia solar incidente, a qual é refletida pelos diferentes elementos da cobertura terrestre, excluindo a influência das condições atmosféricas. Dessa forma, foi realizada a conversão da imagem para valores de reflectâncias, conforme a Equação 3, proposta por Updike (2010):

$$\rho_{\lambda_{pixel,banda}} = \frac{L_{\lambda_{pixel,banda}} \cdot d^2 \cdot \pi}{E_{\lambda_{banda}} \cdot \cos(\theta_s)} \quad \text{Equação 3}$$

Em que L_{λ} é a imagem em valores de radiâncias absolutas;

θ_s é o ângulo zenital solar.

Para aplicar a Equação 5, é preciso saber a distância (d) e o ângulo do sol (θ_s) (Equação 4 - Equação 5) que estão incluídos no metadados da imagem assim como a média de irradiação solar espectral (E_{λ}) para cada banda.

$$D = DJ - 2451545$$

$$g = 357.529 + (0.98560028 \cdot D)$$

$$d = 1.00014 - (0.01671 \cdot \cos g) - (0.00014 \cdot \cos 2g) \quad \text{Equação 4}$$

Em que DJ = dia juliano

$$\theta = 90 - \text{ângulo de elevação solar} \quad \text{Equação 5}$$

Realizada a conversão, é obtida uma imagem de reflectância absoluta no topo da atmosfera, onde foram considerados para correção atmosférica apenas o ângulo zenital do Sol e a data da tomada da imagem.

4.8 OBTENÇÃO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO

Para analisar o comportamento espacial do vigor vegetativo das videiras dentro de uma parcela que historicamente tem seu manejo realizado de forma homogênea, decidiu-se

por elaborar mapas de vigor vegetativo, e para isso foi utilizado o índice mais usualmente encontrado na literatura, o NDVI (ROUSE *et al.*, 1973).

Para as duas variedades estudadas foram elaborados mapas de NDVI que tiveram como dados de entrada os dados de reflectância de diferentes fontes (radiômetro e orbital). Dessa maneira, para cada amostra foi calculado o índice de vigor de duas maneiras distintas.

4.8.1 Índice de NDVI calculado com base em dados radiométricos

Para a obtenção do índice de vegetação proveniente dos dados radiométricos, as reflectância de todas as amostras foram tratadas de acordo com a metodologia descrita no item 4.5. O NDVI foi calculado utilizando-se a banda cinco (vermelho) e a banda 7 (infravermelho próximo), simuladas de acordo com os intervalos espectrais do sensor WorldView-2. Dessa maneira obteve-se o NDVI para as 147 amostras (77 amostras da parcela Chardonnay e 70 amostras da parcela Pinot Noir).

4.8.2 Índice de NDVI calculado com base em dados orbitais

Os índices de NDVI calculados para a imagem de satélite foram obtidos tendo como base a escolha de pixels que representassem cada amostra (planta). Como suporte para a tomada de decisão na coleta das amostras representativas da imagem, identificou-se os pixels com a mesma localização espacial das videiras amostradas em campo. A localização espacial do ponto foi considerada como pixel central e cada amostra foi obtida considerando-se também os pixels vizinhos mais próximos. Nos pontos localizados nas bordas das parcelas desconsideraram-se os pixels vizinhos da borda. Utilizou-se a média dos pixels de cada amostra como a reflectância representativa para cada ponto (planta). O NDVI foi estimado com base nas mesmas bandas e quantidade de amostras dos dados radiométricos.

4.9 COMPARAÇÃO E SOBREPOSIÇÃO DE MAPAS

Os mapas de vigor vegetativo foram gerados com auxílio do *software* ArcGis[®]. Para a espacialização da variabilidade do NDVI dentro de cada parcela, foi realizada a interpolação dos pontos amostrados através de *krigagem*. Foi utilizado como base para interpolação o

método ordinário e o modelo de semivariograma esférico (Lourenço e Landim 2004; Yang *et al.* 2011).

O produto preliminar resultou em dois mapas para cada variedade. Os mapas obtidos para a mesma variedade foram comparados com o propósito de avaliar as diferenças e similaridades entre eles, e verificar a compatibilidade das informações radiométricas provenientes de diferentes fontes. Os mapas foram classificados com base nas áreas de maior e menor vigor vegetativo dentro de cada parcela, e, para tal, os valores de NDVI calculados para cada caso foram separados em duas classes. Para a definição do limiar de separação dos valores de NDVI, usou-se como parâmetro a mediana.

O produto final foi um mapa síntese para cada variedade, gerado através do cruzamento dos mapas de NDVI radiométrico e orbital. O mapa final foi dividido em três classes, a saber, “Maior NDVI”, “Menor NDVI” e “Áreas conflitantes”.

CAPÍTULO 5

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentados os dados referentes à segunda parte do trabalho. Antes de dissertar sobre as análises e comparações dos dados de reflectância, cabe aqui uma breve análise dos dados de precipitação e temperatura que compreendem os meses referentes ao período vegetativo das duas safras analisadas no estudo.

Como pode ser observado na Figura 16, não houve variações significativas de temperatura entre os dois anos/safra, não alterando o período de início do ciclo vegetativo das duas safras. Segundo Mandelli et al. (2003), o padrão fenológico dos diferentes cultivares está principalmente relacionado à temperatura do ar. O mesmo autor, em estudo referente à fenologia dos diferentes cultivares da Serra Gaúcha, classificou as variedades Pinot Noir e Chardonnay como precoces.

Com relação à precipitação acumulada, observa-se que não houve um comportamento homogêneo entre os mesmos meses nas duas safras. Os meses de novembro e fevereiro na safra de 2013/2014 apresentaram precipitações um pouco mais elevadas quando comparadas com o mesmo período da safra 2014/2015. Na safra 2014/2015, o mês de dezembro apresentou precipitações mais elevadas quando comparado ao mesmo mês do ano/safra anterior. Conforme Teixeira et al. (2010), o excesso de chuvas associado a temperaturas elevadas torna esta cultura muito suscetível a doenças e ao ataque de fungos. No entanto, a grande diferença na precipitação registrada em dezembro de 2014 se deve ao fato de que choveu 86mm em dois dias consecutivos, aproximadamente um terço da precipitação acumulada do mês. O mês de janeiro apresentou a menor variação nos índices de precipitação entre as duas safras, com precipitações acumuladas aproximadamente iguais, sendo 142mm no ano/safra 2013/2014 e 139mm no ano/safra seguinte.

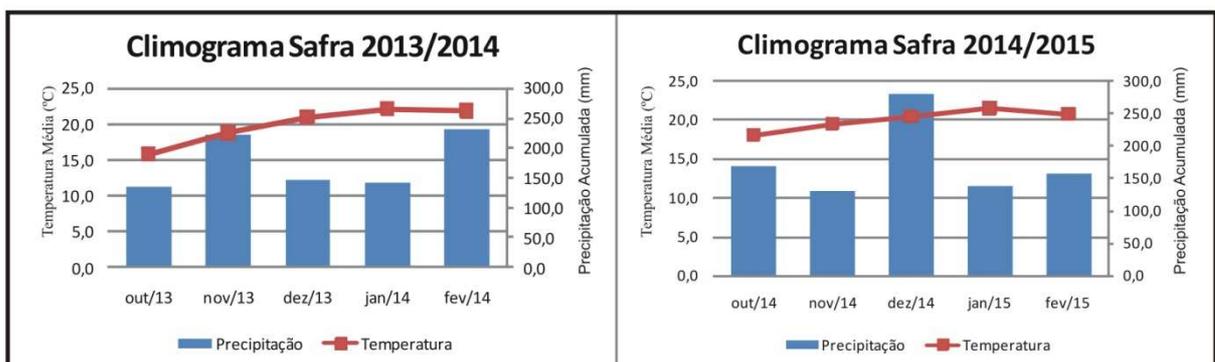


Figura 16: Climogramas dos anos/safra analisados.

Para compreender melhor o comportamento espectral das variedades ao longo dos estádios fenológicos, foram observados os volumes pluviométricos registrados antes de cada coleta de dados em campo (Tabela 3). Os dias de coleta foram determinados observando as variações das condições climáticas, sempre respeitando o período de pelo menos 24 horas sem precipitações significativas.

Observando a Tabela 3, verifica-se que os dados coletados no trabalho de campo realizado no mês de novembro de 2013 apresentou precipitações elevadas nos dias que antecederam às coletas; os maiores volumes foram registrados no quarto e quinto dia anteriores ao trabalho de campo. As chuvas intensas aconteceram nos dias 9 e 10 de novembro, quando foram registrados 47mm e 84,2mm, respectivamente.

Tabela 3: Datas das coletas de campo e a precipitação acumulada.

Datas das coletas de campo	Precipitação (mm)*	Precipitação acumulada (mm) **
07/10/2013	0,0	1,8
14/11/2013	0,0	136,2
17/01/2014	0,2	12,8
06/12/2014	0,4	31,6
08/02/2015	0,2	0,4

* Precipitação do dia anterior ao dia da coleta dos dados.

** Precipitação acumulada nos cinco dias que antecederam a coleta dos dados.

5.1 ESTRUTURA DOS ESPECTROS E SUA DINÂMICA TEMPORAL

Para compreender as variações do comportamento espectral nos estádios fenológicos da videira, a resposta espectral de cada planta ao longo de seu ciclo foi analisada através de gráficos que contemplam as variações espectrais nos períodos de desenvolvimento da videira.

Variações espectrais foram observadas ao longo do espectro eletromagnético das duas safras. Estas variações, que foram identificadas na maioria dos 298 espectros analisados, referem-se às alterações observadas nos comprimentos de onda do infravermelho próximo (780nm a 940nm). Nesta faixa espectral, a inclinação da curva é perceptível nas amostras de janeiro e Fevereiro (Figura 17 e 18).

As Figuras 17 e 18 apresentam uma síntese da evolução espectral das variedades Chardonnay e Pinot Noir nos dois anos/safras estudados. A apresentação de todos os espectros é feita no Apêndice I.

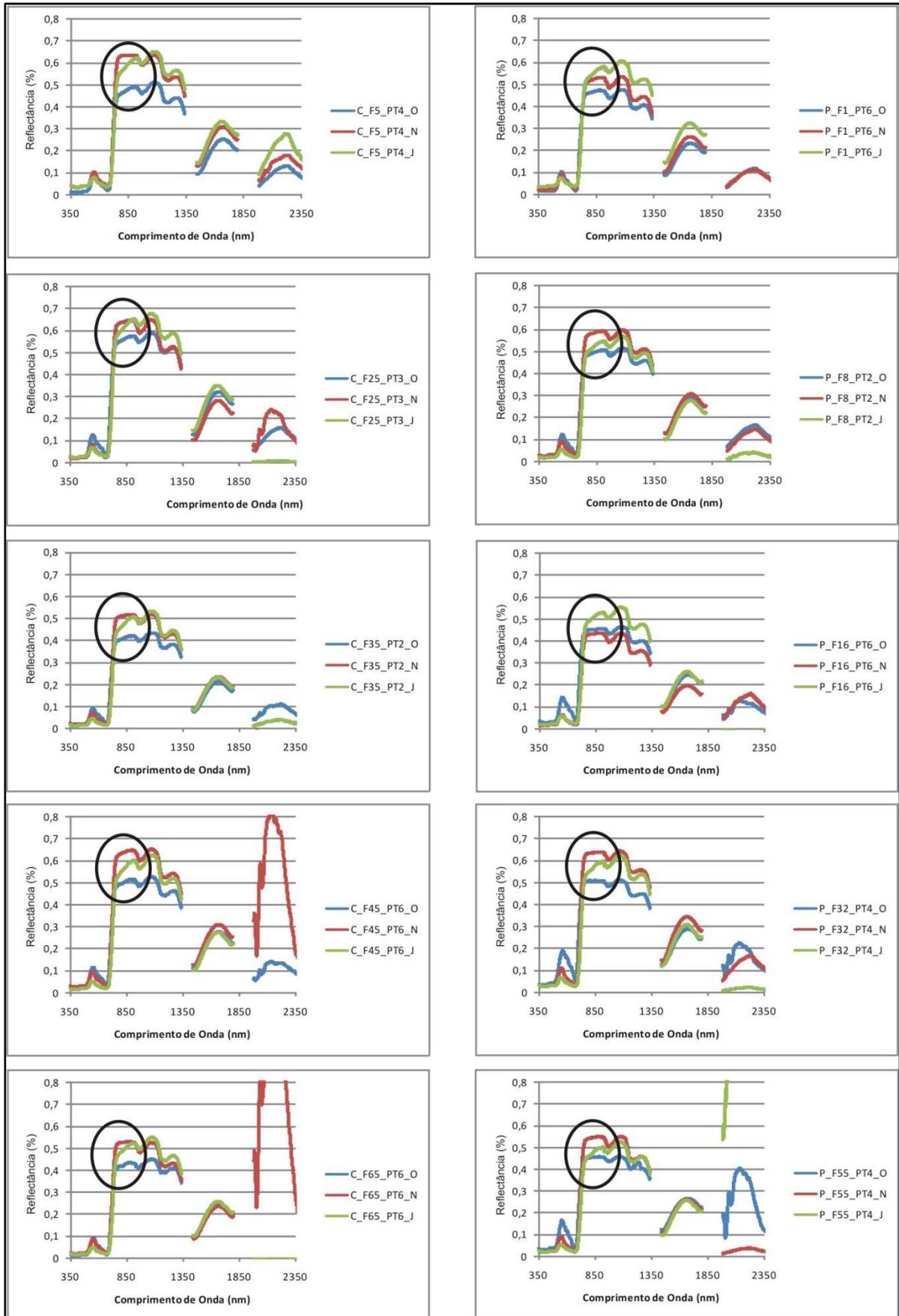


Figura 17: Evolução do comportamento espectral das variedades Chardonnay e Pinot Noir na safra 2013/2014.
 *A legenda dos gráficos refere-se: variedade (C=Chardonnay, P= Pinot Noir)_fileira da parcela amostrada_planta dentro da fileira_mês de amostragem (O=Outubro, N=novembro, J=janeiro).

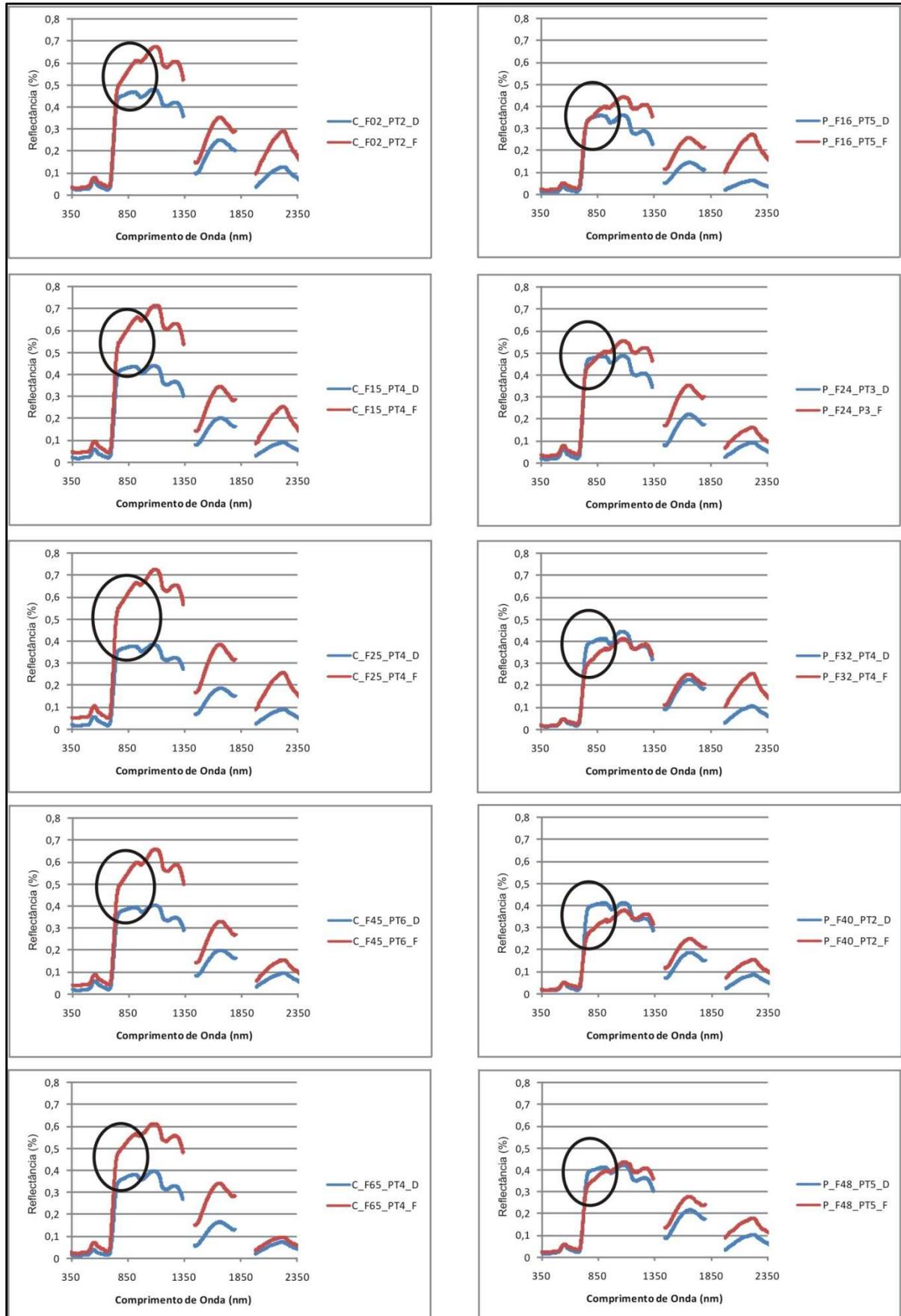


Figura 18: Evolução do comportamento espectral das variedades Chardonnay e Pinot Noir na safra 2014/2015.
 *A legenda dos gráficos refere-se: variedade(C=Chardonnay, P=Pinot Noir)_fileira da parcela amostrada_planta dentro da fileira_mês de amostragem (D=dezembro, F=fevereiro).

A análise e discussão dos espectros apresentados referem-se à região do espectro eletromagnético que compreende a faixa espectral do infravermelho próximo (aproximadamente 900nm), na qual foram detectadas variações sistemáticas de feições, as quais apresentam semelhanças com análises reportadas na literatura, referente a outras espécies vegetais.

Nota-se também que na região espectral próxima da faixa dos 2000nm ocorrem, eventualmente, efeitos de ruídos e saturação. Como esses efeitos ocorrem de forma aleatória e não se tem um controle dessa variação; portanto, optou-se por não analisar esta região espectral.

No período fenológico que abrange os meses de Janeiro e Fevereiro as folhas que compõem o dossel estão no estágio adulto com folhas plenamente desenvolvidas e estrutura celular definida. Nas coletas de campo realizadas em Janeiro e Fevereiro, as videiras estavam no período pós-colheita. Com o término da colheita, o ciclo vegetativo caracteriza-se como sendo o final do período reprodutivo e a planta começa a migrar para o início do estágio de senescência (MANDELLI *et al.*, 2003).

As hipóteses para o aumento da inclinação da curva espectral detectada nos comprimentos de onda do infravermelho próximo nas amostras dos meses de Janeiro e Fevereiro podem estar relacionadas com o ciclo do nitrogênio na planta e o início do estágio de senescência.

O nitrogênio e seus derivados são fundamentais para o crescimento das plantas, formação dos cachos e amadurecimento dos frutos. A videira utiliza nitrogênio em maior quantidade até o período da colheita, e após esse período a presença de nitrogênio começa a diminuir. Alguns artigos relatam a presença de nitrogênio nas folhas na fase de crescimento e frutificação. Conradie (1990), aplicando fertilizante nitrogenado no florescimento dos cachos verificou que durante a primavera 55% do Nitrogênio encontrava-se nas folhas e nos ramos, 20% nos cachos, 22% nas raízes e 3% no caule, enquanto que no período de maturação da uva 41% do nitrogênio e derivados foram encontrados nas folhas e nos ramos, 45% nos cachos, 12% nas raízes e 3% no caule. Brunetto *et al.* (2006) relataram que aplicando nitrogênio no inchamento das gemas de viníferas Chardonnay e Riesling Renano, as partes anuais, como as folhas e os ramos são importantes drenos do nitrogênio. Da mesma forma, Williams (1987) documentou a aplicação do nitrogênio durante o crescimento vegetativo da cultivar e encontrou aumento da sua quantidade nos ramos e nas folhas, sendo a maior concentração destinada ao cacho.

A detecção do nitrogênio na resposta espectral das plantas muitas vezes torna-se difícil. De acordo com Thenkabail et al. (2013), lignina, celulose, proteínas e nitrogênio apresentam relativamente baixa refletância e forte absorção em bandas do infravermelho; no entanto, a absorção da água nesses comprimentos de onda mascara a absorção de outras características.

Thenkabail et al. (2013) pesquisaram o comportamento de diferentes culturas vegetais através de dados do sensor Hyperion, na tentativa de discriminar os tipos de culturas e auxiliar no monitoramento da agricultura e na caracterização biofísica da biomassa. Nos gráficos apresentados pelos autores, as culturas que estavam em estádios de senescência ou em fase adulta avançada demonstraram comportamento espectral na faixa do infravermelho próximo muito semelhante ao encontrado nas amostras de Janeiro e Fevereiro do presente trabalho.

Comportamento similar também foi verificado por O'Connell et al. (2014), onde os autores utilizaram espectrorradiômetro portátil na tentativa de estimar a concentração de nitrogênio foliar em plantas macrófilas *Schoenoplectus acutus*, espécie de junco nativo de água doce dos pântanos da América do Norte.

Por sua vez, Christie et al. (2013) estudaram quatro espécies comuns de árvores da América do Norte e relataram que a capacidade de prever as concentrações de nitrogênio, juntamente com uma análise de senescência das plantas, tem o potencial para produzir uma compreensão mais abrangente da saúde da planta.

Segundo o referido autor, a primeira alteração que ocorre é a redução na atividade anabólica da folha. O passo seguinte, o qual marca o início da senescência foliar, é a degradação dos pigmentos de clorofila nos cloroplastos, as moléculas de clorofila são decompostas para que o nitrogênio possa ser liberado. Sendo assim, na região do infravermelho próximo (NIR) 700-1300 nm ocorrem alterações no aumento na refletância, as quais podem ser atribuídas às modificações estruturais das células.

Ollinger (2011) afirma que constituintes sem pigmentação, incluindo nitrogênio, proteínas, lignina e celulose influenciam diretamente nas propriedades espectrais da folha através de suas propriedades de absorção individuais e, indiretamente, através da sua relação com a estrutura foliar e atributos bioquímicos.

Relações entre concentração de nitrogênio foliar e índices de vegetação utilizando dados hiperespectrais são propostos considerando-se os comprimentos de onda do infravermelho próximo (XUE *et al.*, 2008; OLLINGER, 2011; RAMOELO *et al.*, 2012)

Nessa percepção, pode-se inferir que a diminuição da quantidade de nitrogênio nas folhas da videira ocorre quando a planta completa seu ciclo reprodutivo e passa para o início

do estágio de senescência, período em que também ocorrem as primeiras mudanças na estrutura celular das folhas. Estas mudanças sutis são detectáveis na faixa do infravermelho próximo e apresentam como característica a alteração da inclinação da curva espectral nos meses pós-colheita.

5.2 COMPARAÇÃO DOS ESPECTROS-DIFERENÇA

A alta relação sinal/ruído destes dados permitiu detectar, por técnica de subtração dos espectros normalizados, diferenças consistentes e sistemáticas entre as reflectâncias, da ordem de 10^{-2} a 10^{-3} , referidos ao valor máximo (igual a 1) da reflectância normalizada (Figura 19). A análise da Figura 19 mostra que as maiores e mais definidas diferenças encontradas entre os espectros localizam-se no intervalo espectral que compreende a faixa das bandas verde e vermelho. Sendo assim, podemos supor que os elementos que estão caracterizando estas diferenças são referentes à diversidade de pigmentos e suas respectivas quantidades presentes nas folhas das videiras.

Observa-se que no mês de outubro a diferença entre os espectros é mais pronunciada, em especial nos comprimentos de onda próximos de 550nm e 700nm. Há uma diminuição gradual desta diferença nos meses de novembro e janeiro. Ao analisar a evolução da diminuição desta diferença, constata-se que nos comprimentos de onda próximos de 550nm este efeito foi mais pronunciado quando comparado com a mesma diminuição nos comprimentos de onda próximos de 700nm.

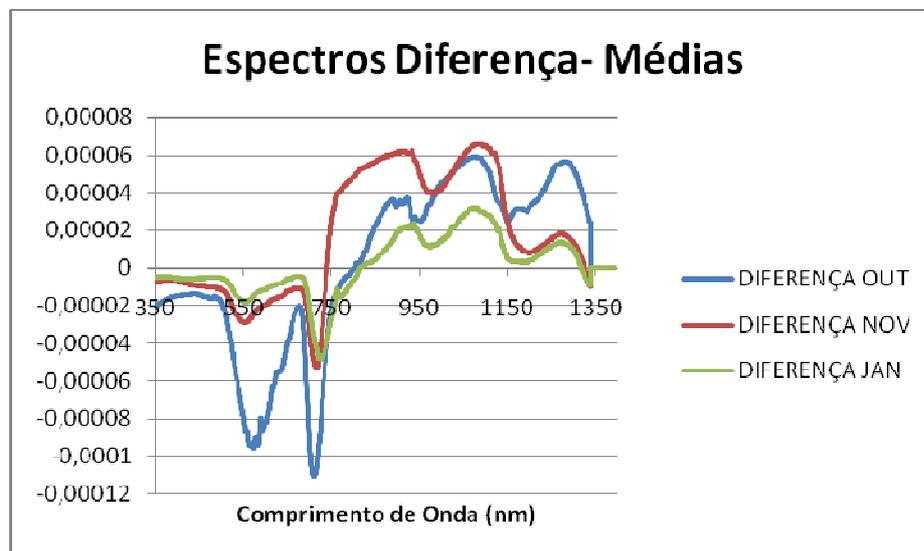


Figura 19: Diferenças dos espectros Chardonnay *versus* Pinot Noir, no ano/safra 2013/2014.

De acordo com Gitelson et al. (2001) e Merzlyak et al. (2003), a análise espectral revelou que as antocianinas, localizadas em vacúolos no interior das células das folhas e frutos, possuem um máximo de absorção próximo de 540-550nm. Esta afirmação nos permite inferir que com o desenvolvimento do dossel e, conseqüentemente, da estrutura celular das folhas, o aumento da concentração de pigmentos de antocianinas tem uma relação direta com a maior absorção de radiação eletromagnética na faixa espectral compreendida entre 530-560nm.

As diferenças espectrais encontradas entre as duas castas, e que são mais notáveis nos comprimentos de onda de 552, 577, 662, 884, 1059, 1263, 1981 e 2051nm, são a base física que leva à possibilidade de separar as duas castas quando se aplicam classificadores em imagens digitais. Dado que uma diferença essencial entre estas duas castas de uvas é a presença de pigmentos de antocianinas na casta Pinot Noir, estas diferenças espectrais são interpretadas como sendo relacionadas à presença ou à ausência desses pigmentos nas folhas.

5.3 DIFERENCIAÇÃO ESPECTRAL POR ANÁLISE DISCRIMINANTE

A análise discriminante foi utilizada como ferramenta para a comparação e análise das respostas espectrais das variedades estudadas. As comparações visaram identificar as variáveis que melhor caracterizam cada variedade, utilizando as mesmas para desenvolver funções discriminantes que representem as diferenças entre os grupos e contribuam para a classificação de futuros elementos.

O primeiro banco de dados analisado foi referente às observações feitas em campo para a variedade Chardonnay na safra 2013/2014, quando foram tratados os dados de reflectância dos meses de Outubro e Novembro de 2013 e de Janeiro de 2014. Estes resultados são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4: Matriz de correlação entre diferentes meses para a variedade Chardonnay na safra 2013/2014.

		variedade	Predicted Group Membership			Total
			Outubro	Novembro	Janeiro	
Original	Count	Outubro	71	0	0	71
		Novembro	0	72	0	72
		Janeiro	0	0	72	72
	%	Outubro	<u>100,0</u>	0,0	0,0	100,0
		Novembro	0,0	<u>100,0</u>	0,0	100,0
		Janeiro	0,0	0,0	<u>100,0</u>	100,0
Cross-validated(a)	Count	Outubro	71	0	0	71
		Novembro	0	72	0	72
		Janeiro	0	0	72	72
	%	Outubro	<u>100,0</u>	0,0	0,0	100,0
		Novembro	0,0	<u>100,0</u>	0,0	100,0
		Janeiro	0,0	0,0	<u>100,0</u>	100,0

Como mostrado na Tabela 4, a classificação efetuada pela função discriminante mostra que a resposta espectral das videiras é característica de cada um dos diferentes estádios de seu desenvolvimento. A classificação discriminante mostrou-se eficiente na separação espectral, não ocorrendo nenhum caso de confusão na classificação; ou seja, tanto nos dados originais quanto na validação cruzada, 100% dos casos foram classificados corretamente, pois o classificador conseguiu distinguir as diferenças de respostas espectrais na evolução do ciclo fenológico das folhas e dossel.

As funções discriminantes utilizadas na classificação foram aplicadas em cada videira (amostra) e os resultados são mostrados no diagrama de dispersão (Figura 20). Observa-se que todas as amostras obtidas no mês de Outubro apresentam resultados negativos na primeira função e, na grande maioria dos casos, valores positivos na segunda função. Para os dados de Novembro, a primeira função não conseguiu discriminar de forma eficiente as amostras apresentando resultados positivos e negativos; já a segunda função contribuiu sensivelmente para a diferenciação apresentando valores negativos em todos os casos. No caso das observações de Janeiro, as duas funções resultaram em valores positivos para todas as amostras. Observa-se que os dados de Janeiro são os que apresentam a menor dispersão em relação ao seu centroide, mantendo um bom agrupamento na distribuição espacial.

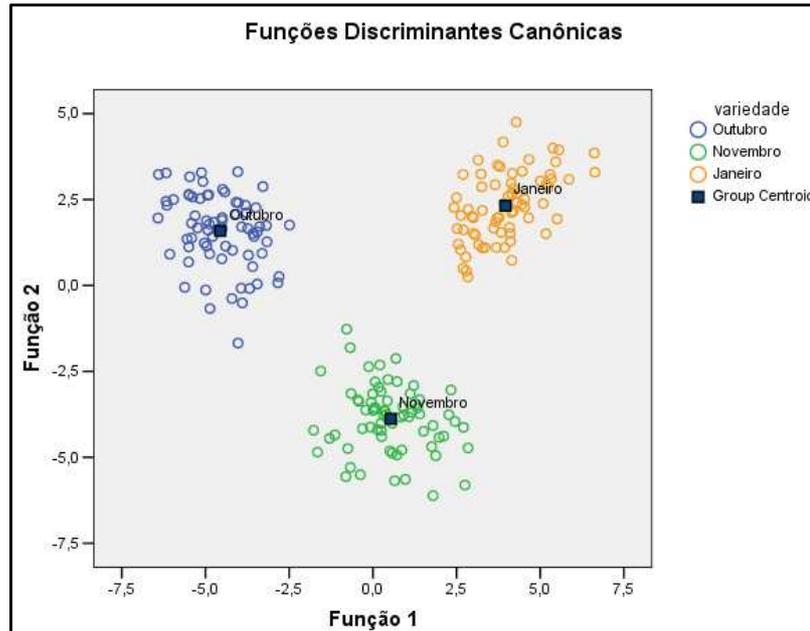


Figura 20: Dispersão da classificação com base nas funções discriminantes. Variedade Chardonnay 2013/2014.

A primeira função discriminante canônica é a que explica a maior correlação entre as observações do grupo, e o coeficiente que apresentar o maior valor na função, em módulo, indica o melhor descritor para a classificação dos dados. Os coeficientes canônicos utilizados para a classificação são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Funções discriminantes canônicas para os dados da variedade Chardonnay, safra 2013/2014.

1ª Função	$Z = -1,66 + (-438,31*b1) + (589,68*b2) + (156,17*b3) + (37,86*b4) + (-231,07*b5) + (-145,74*b6) + (59,71*b7) + (8,21*b8)$
2ª Função	$Z = 0,61 + (91,26*b1) + (1,72*b2) + (-263,0*b3) + (352,62*b4) + (-246,19*b5) + (58,74*b6) + (-241,97*b7) + (215,93*b8)$

Nesta Tabela 5, foram geradas duas funções discriminantes que explicam a variância dos dados; a primeira função explica 61,4% da variância entre os grupos e a segunda função contribui com 38,6%. É importante salientar que, para a obtenção de uma classificação com 100% de acertos, foi fundamental a utilização das duas funções discriminantes.

Os mesmos procedimentos de análise realizados para a variedade Chardonnay foram seguidos para a variedade Pinot Noir na safra 2013/2014, e os resultados são apresentados na Tabela 6. A discriminação dos dados referentes à resposta espectral para os meses de Outubro e Novembro de 2013 e Janeiro de 2014 mostrou-se muito eficiente, com acurácia de 100% na análise original e apenas um caso de equívoco na validação cruzada.

Tabela 6: Matriz de correlação entre diferentes meses para a variedade Pinot Noir na safra 2013/2014.

		variedade	Predicted Group Membership			Total
			Outubro	Novembro	Janeiro	
Original	Count	Outubro	70	0	0	70
		Novembro	0	70	0	70
		Janeiro	0	0	70	70
	%	Outubro	100,0	0,0	0,0	100,0
		Novembro	0,0	100,0	0,0	100,0
		Janeiro	0,0	0,0	100,0	100,0
Cross-validated(a)	Count	Outubro	70	0	0	70
		Novembro	0	69	1	70
		Janeiro	0	0	70	70
	%	Outubro	100,0	0,0	0,0	100,0
		Novembro	0,0	98,6	1,4	100,0
		Janeiro	0,0	0,0	100,0	100,0

Observando a Tabela 6, nota-se um caso de confusão nas amostras de Novembro, a qual foi classificada como pertencente ao grupo de dados das amostras de Janeiro. No contexto geral, 99,5% dos dados foram classificados corretamente, mostrando que para a variedade Pinot Noir é possível diferenciar a evolução do ciclo fenológico através de dados espectrais. As funções discriminantes utilizadas nessa classificação são apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7: Funções discriminantes canônicas para os dados da variedade Pinot Noir, safra 2013/2014.

1ª Função	$Z = 2,72 + (202,88*b1) + (-245,42*b2) + (-134,07*b3) + (82,16*b4) + (39,16*b5) + (104,31*b6) + (-61,82*b7) + (2,71*b8)$
2ª Função	$Z = -0,74 + (746,84*b1) + (-743,12*b2) + (-226,90*b3) + (339,08*b4) + (-146,21*b5) + (30,82*b6) + (-255,75*b7) + (250,38*b8)$

Para a discriminação dos estádios fenológicos da variedade Pinot Noir, a primeira função contribui com 56,4% da variância das amostras. No entanto, a contribuição da segunda função para a classificação é fundamental, pois a mesma explica 43,6% da variância dos dados, mostrando que para o bom desempenho do classificador é importante considerar as duas funções. A primeira função sempre explica a maioria da variância dos dados, e em casos onde a contribuição da segunda função é expressiva, a correlação entre os grupos é baixa.

O resultado da classificação foi espacializado levando-se em consideração as duas funções discriminantes canônicas (Figura 21). Observando o eixo das abscissas, podemos inferir que a primeira função consegue representar bem a separação dos dados de Outubro em relação aos demais meses, mesmo com alguns elementos apresentando médias afastadas do centroide do grupo. No eixo das ordenadas, referente à segunda função, pode-se distinguir

facilmente os agrupamentos dos dados de Novembro e Janeiro. Esta espacialização evidencia a importância das duas funções discriminantes para uma classificação mais eficiente.

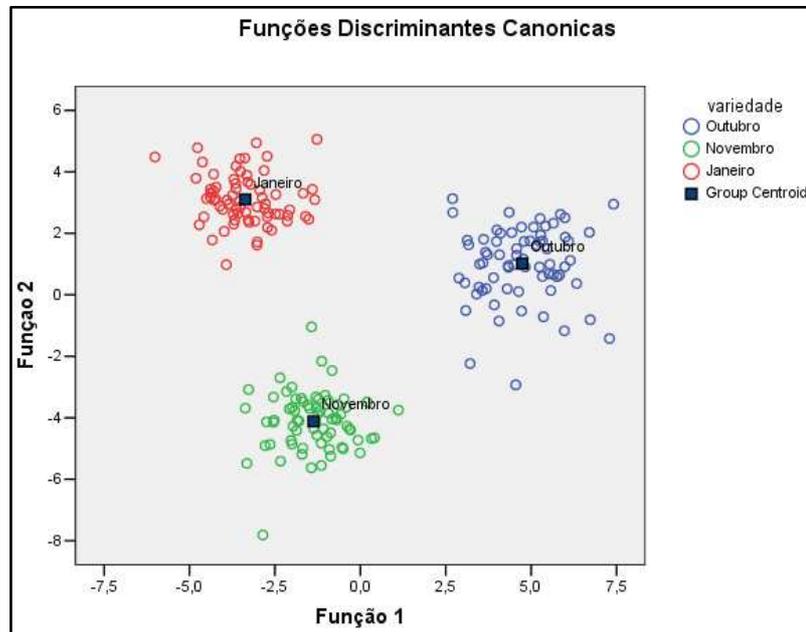


Figura 21: Dispersão da classificação com base nas funções discriminantes. Variedade Pinot Noir, safra 2013/2014.

Nas classificações anteriores, as duas variedades em estudo foram tratadas separadamente. A análise seguinte compara o comportamento espectral das variedades Pinot Noir e Chardonnay ao longo do ciclo fenológico da safra 2013/2014 em um banco de dados único.

Nesta análise foram comparados seis grupos simultaneamente e, conforme pode ser observado na Tabela 8, a classificação apresentou pouca confusão entre as classes. A variedade Pinot Noir do mês de Outubro foi a que obteve os piores resultados, com acurácia de pouco mais de 70%, onde os casos classificados como errados foram rotulados como pertencentes às amostras da variedade Chardonnay do mês de Outubro. Em contrapartida, as amostras da variedade Chardonnay do mês de Outubro tiveram a melhor classificação com 95% de acerto, e os erros de classificação ocorreram por confusão com dados da variedade Pinot Noir do mesmo mês.

Analisando a matriz de correlação e os erros de classificação, percebe-se que quando houve erros, os mesmos foram rotulados como pertencentes a outra variedade mas no mesmo período fenológico. Não ocorreram erros de classificação entre diferentes meses. Este fato mostra que a estrutura celular é um fator determinante na resposta espectral quando da interação da radiação eletromagnética com as folhas da videira.

Tabela 8: Matriz de correlação para as variedades Chardonnay e Pinot Noir na safra 2013/2014.

	variedade	Predicted Group Membership						Total	
		Out_CH	Out_PI	Nov_CH	Nov_PI	Jan_CH	Jan_PI		
Original	Count	Out_CH	68	3	0	0	0	0	71
		Out_PI	18	52	0	0	0	0	70
		Nov_CH	0	0	57	15	0	0	72
		Nov_PI	0	0	13	57	0	0	70
		Jan_CH	0	0	0	0	55	17	72
		Jan_PI	0	0	0	0	10	60	70
	%	Out_CH	95,8	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
		Out_PI	25,7	74,3	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
		Nov_CH	0,0	0,0	79,2	20,8	0,0	0,0	100,0
		Nov_PI	0,0	0,0	18,6	81,4	0,0	0,0	100,0
		Jan_CH	0,0	0,0	0,0	0,0	76,4	23,6	100,0
		Jan_PI	0,0	0,0	0,0	0,0	14,3	85,7	100,0
Cross-validated(a)	Count	Out_CH	68	3	0	0	0	0	71
		Out_PI	20	50	0	0	0	0	70
		Nov_CH	0	0	57	15	0	0	72
		Nov_PI	0	0	13	56	0	1	70
		Jan_CH	0	0	0	0	55	17	72
		Jan_PI	0	0	0	0	12	58	70
	%	Out_CH	95,8	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
		Out_PI	28,6	71,4	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
		Nov_CH	0,0	0,0	79,2	20,8	0,0	0,0	100,0
		Nov_PI	0,0	0,0	18,6	80,0	0,0	1,4	100,0
		Jan_CH	0,0	0,0	0,0	0,0	76,4	23,6	100,0
		Jan_PI	0,0	0,0	0,0	0,0	17,1	82,9	100,0

A classificação global das variedades Pinot Noir e Chardonnay para as amostras do ano/safra de 2013/2014 foi de 82,1% para os dados originais e 80,9% na validação cruzada, desempenho que mostra ótima classificação através do método de análise discriminante.

As funções discriminantes canônicas geradas para a classificação são apresentadas na Tabela 9. As funções são geradas com base em combinações lineares das amostras que fornecem a melhor discriminação entre os grupos; as funções obtidas são independentes, não sendo registrada sobreposição da sua contribuição para a função seguinte. O número de funções gerados na análise é sempre $n-1$, onde n é o número de grupos, e, portanto, neste caso foram geradas cinco funções. Na grande maioria dos casos as duas primeiras funções representam quase a totalidade da variância dos grupos. Na discussão em questão, a primeira função representa 57,2% da variância dos grupos, já a segunda função contribui com 38,9% da variância de todas as amostras. Juntas as funções têm capacidade para explicar 96,1% da discriminação dos dados.

Tabela 9: Funções discriminantes canônicas para as variedades Chardonnay e Pinot Noir na safra 2013/2014.

Função 1	$Z = 2,12 + (259,78*b1) + (-287,12*b2) + (-202,11*b3) + (131,53*b4) + (27,71*b5) + (119,18*b6) + (-54,36*b7) + (-6,06*b8)$
Função 2	$Z = 0,03 + (434,64*b1) + (-400,34*b2) + (-211,27*b3) + (298,94*b4) + (-56,97*b5) + (-41,62*b6) + (-245,97*b7) + (230,35*b8)$

Para um melhor entendimento da classificação, as amostras foram espacializadas de acordo com a rotulagem dada pelo classificador, Figura 22.

Como pode ser observado, a classificação evidencia a tendência de agrupamento das amostras nos diferentes estádios fenológicos; como já citado, a estrutura celular das folhas apresenta uma constante mudança até chegar ao estágio adulto, e nessa evolução a resposta espectral da folha acompanha as mudanças, as quais podem ser detectadas por sensores remotos.

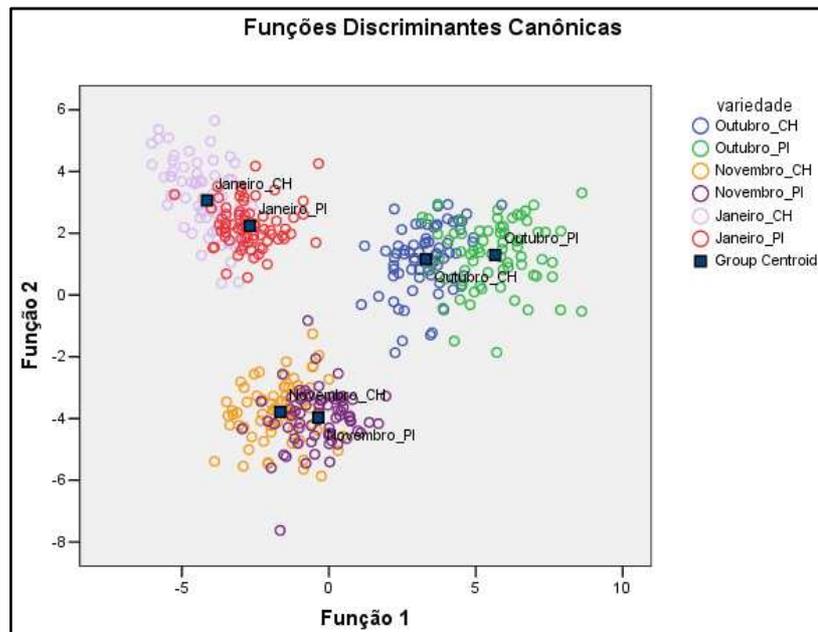


Figura 22: Dispersão da classificação com base nas funções discriminantes. Variedades Chardonnay e Pinot Noir, safra 2013/2014.

Analisado o comportamento espectral ao longo de um ciclo fenológico, incorporou-se na análise dados espectrais da safra 2014/2015. Os dados complementares são referentes a coletas de campo realizadas nos meses de Dezembro e Fevereiro, meses estes que não foram analisados nos dados da safra anterior. Desta forma, é possível acompanhar e analisar o comportamento espectral das variedades ao longo de todo o ciclo fenológico, assim como possíveis variações entre as diferentes safras.

A Tabela 10 refere-se à classificação da resposta espectral da variedade Chardonnay para os meses de Outubro a Fevereiro. Como se pode observar, o classificador teve um

excelente desempenho, apresentando amostras classificadas de forma equivocada apenas nos dados de Novembro, onde as amostras que foram classificadas como erradas foram rotuladas como pertencentes ao mês de Dezembro. Esta classificação mostra a influência do estágio de desenvolvimento da planta na interação das folhas com radiação eletromagnética e consequente resposta espectral. Mesmo com as amostras do mês de Dezembro pertencendo a outro ano/safra, algumas amostras de Novembro foram rotuladas como pertencentes ao grupo de Dezembro, ou seja, foram rotulados no mês subsequente ao seu estágio fenológico, no qual as características estruturais da folha e dossel apresentam pouca distinção.

Tabela 10: Matriz de correlação entre diferentes meses para a variedade Chardonnay nas duas safras.

		variedade	Predicted Group Membership					Total
			Safra 2013/2014			Safra 2014/2015		
			Outubro	Novembro	Janeiro	Dezembro	Fevereiro	
Original	Count	Outubro	71	0	0	0	0	71
		Novembro	0	70	0	2	0	72
		Janeiro	0	0	72	0	0	72
		Dezembro	0	0	0	72	0	72
		Fevereiro	0	0	0	0	72	72
	%	Outubro	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
		Novembro	0,0	97,2	0,0	2,8	0,0	100,0
		Janeiro	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	100,0
		Dezembro	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0
		Fevereiro	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0
Cross-validated(a)	Count	Outubro	71	0	0	0	0	71
		Novembro	0	70	0	2	0	72
		Janeiro	0	0	72	0	0	72
		Dezembro	0	0	0	72	0	72
		Fevereiro	0	0	0	0	72	72
	%	Outubro	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
		Novembro	0,0	97,2	0,0	2,8	0,0	100,0
		Janeiro	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	100,0
		Dezembro	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	100,0
		Fevereiro	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0

Como resultado global da classificação, obteve-se 99,4% de acertos, mostrando que são perfeitamente distinguíveis as diferentes fases de desenvolvimento de uma cultivar ao longo de seu ciclo.

Do processamento dos dados foram derivadas quatro funções discriminantes canônicas. No entanto, para a espacialização dos dados foram utilizadas as duas funções mais relevantes (Tabela 11); a primeira função descreve 59,2% da variância dos dados e a segunda função, com menor contribuição, representa 36,3%. Somadas, as duas primeiras funções têm capacidade de explicar mais de 95% de toda a variância dos grupos.

Tabela 11: Funções discriminantes canônicas para os dados da variedade Chardonnay nas duas safras.

Função 1	$Z = 1,11 + (18,64*b1) + (65,61*b2) + (-130,47*b3) + (96,27*b4) + (-72,65*b5) + (51,20*b6) + (-195,52*b7) + (166,97*b8)$
Função 2	$Z = 0,81 + (369,34*b1) + (-343,80*b2) + (-317,49*b3) + (308,91*b4) + (-164,65*b5) + (150,38*b6) + (-99,27*b7) + (33,13*b8)$

As amostras classificadas são apresentadas no gráfico de dispersão (Figura 23), no qual se observa que os meses de Outubro e Fevereiro possuem os centroides mais afastados, com maior separabilidade dos demais grupos. No mês de Outubro, o dossel apresenta-se no início de sua formação, com folhas mais jovens em menor quantidade e vigor vegetativo ascendente; em contrapartida, Fevereiro é o período de início da senescência, no qual o dossel é formado por folhas adultas bem estruturadas e com vigor vegetativo decrescente. As amostras do mês de Fevereiro são as que apresentam a maior dispersão das amostras em relação ao seu centroide, mostrando alta variância dentro do grupo.

Apesar das amostras de Novembro, Dezembro e Janeiro estarem espacialmente próximas, o classificador teve um desempenho excelente, com apenas 2,8% de erro nos meses de Novembro e Dezembro. Observa-se que nesses casos as amostras estão bem próximas de seus centroides, facilitando a sua discriminação.

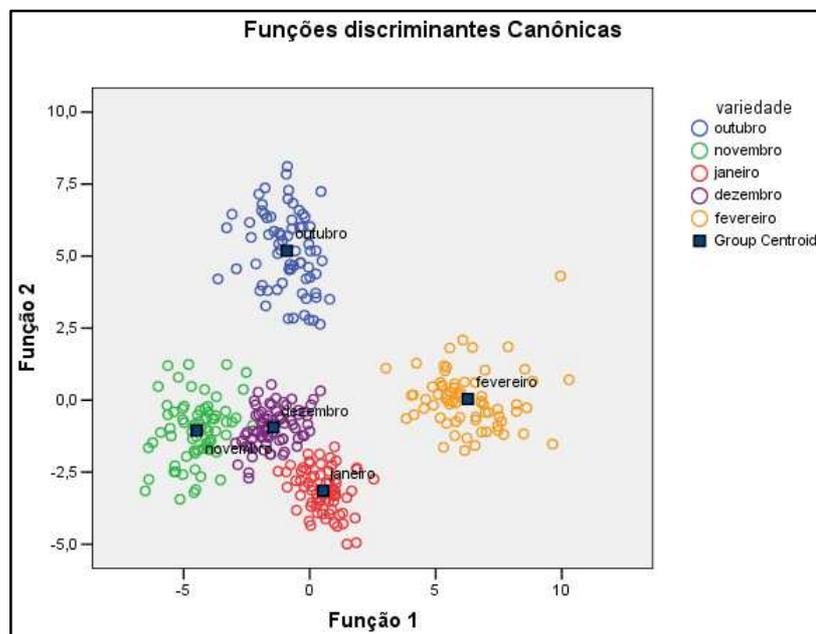


Figura 23: Dispersão da classificação com base nas funções discriminantes. Variedade Chardonnay nas safras 2013/2014 e 2014/2015.

Para a variedade Pinot Noir também foram realizadas comparações em todos os meses do ciclo; na classificação discriminante, os meses de Outubro, Janeiro e Fevereiro apresentaram 100% das amostras rotuladas corretamente, como é mostrado na Tabela 12.

Seguindo a tendência dos dados da variedade Chardonnay, as amostras do mês de Novembro mostraram uma pequena confusão com os dados de Dezembro. Por sua vez, as amostras de Dezembro foram rotuladas de forma equivocada no grupo de Novembro (1,4%) e Janeiro (7,1%). O índice de acerto global para a classificação foi de 96,6%, mostrando novamente que a caracterização e monitoramento dos diferentes estádios de desenvolvimento das videiras podem ser realizados através de dados espectrais.

A exemplo do ocorrido com a variedade Chardonnay, os erros que o classificador apontou são referentes às amostras que apresentaram confusão espectral com os grupos dos meses anteriores e posteriores a Dezembro. Estas alterações mostram a influência da estrutura celular na resposta espectral das folhas.

Tabela 12: Matriz de correlação entre diferentes meses para a variedade Pinot Noir nas duas safras.

		variedade	Predicted Group Membership					Total
			Safra 2013/2014			Safra 2014/2015		
			Outubro	Novembro	Janeiro	Dezembro	Fevereiro	
Original	Count	Outubro	70	0	0	0	0	70
		Novembro	0	67	0	3	0	70
		Janeiro	0	0	70	0	0	70
		Dezembro	0	1	4	65	0	70
		Fevereiro	0	0	0	0	70	70
	%	Outubro	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
		Novembro	0,0	95,7	0,0	4,3	0,0	100,0
		Janeiro	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	100,0
		Dezembro	0,0	1,4	5,7	92,9	0,0	100,0
		Fevereiro	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0
Cross-validated(a)	Count	Outubro	69	0	0	0	1	70
		Novembro	0	66	1	3	0	70
		Janeiro	0	0	69	1	0	70
		Dezembro	0	1	5	64	0	70
		Fevereiro	0	0	0	0	70	70
	%	Outubro	98,6	0,0	0,0	0,0	1,4	100,0
		Novembro	0,0	94,3	1,4	4,3	0,0	100,0
		Janeiro	0,0	0,0	98,6	1,4	0,0	100,0
		Dezembro	0,0	1,4	7,1	91,4	0,0	100,0
		Fevereiro	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0

As duas funções discriminantes canônicas que explicam em maior parte a classificação são mostradas na Tabela 13.

Tabela 13: Funções discriminantes canônicas para os dados da variedade Pinot Noir nas duas safras.

Função 1	$Z = 1,65 + (329,18*b1) + (-279,49*b2) + (-226,11*b3) + (245,85*b4) + (-116,53*b5) + (83,66*b6) + (-247,44*b7) + (203,52*b8)$
Função 2	$Z = 1,20 + (279,62*b1) + (-312,32*b2) + (-144,99*b3) + (138,80*b4) + (-15,82*b5) + (89,83*b6) + (8,21*b7) - (54,40*b8)$

A correlação entre os dados da variedade Pinot Noir é baixa, fato que pode ser evidenciado na primeira e segunda funções discriminantes, as quais representam 55,2% e 39,2% da variância dos grupos, respectivamente. Quando a correlação dos dados é alta, a primeira função é capaz de explicar a grande maioria da variância dos dados. As duas primeiras funções representam 94,4% de toda a variância.

As amostras foram espacializadas em um gráfico de dispersão (Figura 24), como pode ser observado, e, de forma semelhante ao comportamento encontrado para a variedade Chardonnay, as amostras dos meses de Outubro e Fevereiro foram as que tiveram seus centroides mais afastados entre si e entre os demais meses. Esta espacialização mostra uma melhor distinção destes meses em relação a Outubro, Novembro e Janeiro, que por sua vez, são os meses que mostraram possuir características espectrais semelhantes, representadas no gráfico pela distância de seus centroides e a distribuição das amostras agrupadas.

Como pode ser observado no gráfico de dispersão, apesar das amostras dos grupos de Outubro, Novembro e Janeiro estarem bem próximas, a dispersão das amostras em relação ao centroide de cada grupo é pequena, minimizando assim classificações errôneas. A pequena confusão espectral de algumas amostras, também detectada nos resultados da matriz de correlação, mostra a consistência e homogeneidade da resposta espectral para os diferentes meses.

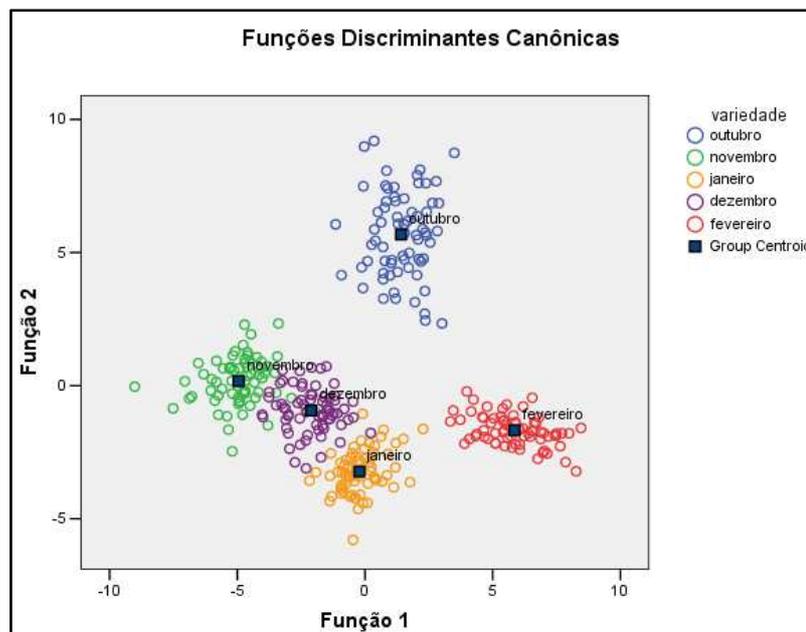


Figura 24: Dispersão da classificação com base nas funções discriminantes. Variedade Pinot Noir nas safras 2013/2014 e 2014/2015.

Como forma de entender melhor o comportamento das duas variedades, foram comparados os dados da safra de 2014/2015, a qual é representada apenas pelas amostras dos meses de Dezembro de 2014 e Fevereiro de 2015.

Pode ser observado na Tabela 14 que o resultado das amostras do mês de Dezembro, provenientes da classificação discriminante, apresentam o pior desempenho quando comparados com os resultados obtidos nas análises anteriores, pois a confusão espectral entre as duas variedades foi em torno de 16%.

Com relação ao mês de Fevereiro, as amostras da variedade Pinot Noir foram classificadas com 98,6% de acerto, mostrando uma boa discriminação em relação à variedade Chardonnay e às amostras do mês de Dezembro. Na discriminação das amostras da variedade Chardonnay, 19,4% dos casos foram rotulados de forma equivocada, sendo classificados como pertencentes à classe Pinot Noir do mesmo mês.

De forma semelhante ao observado no comportamento espectral das amostras da safra 2013/2014, os resultados obtidos mostram que quando ocorrem confusões na classificação estas estão correlacionadas aos grupos de amostras que foram coletados no mesmo período, ou seja, a confusão espectral acontece entre as variedades Chardonnay e Pinot Noir que estão no mesmo período fenológico e não entre amostras da mesma variedade em estágios de desenvolvimento distintos.

Analisando os resultados da classificação global, 86,6% dos grupos foram corretamente classificados, e observando os resultados da validação cruzada essa porcentagem cai para 84,5%, mostrando um bom desempenho do classificador. Na validação cruzada a amostra de treinamento original é dividida em n subamostras. Destas n subamostras, uma é retirada para ser utilizada na validação do modelo e as $n-1$ subamostras restantes são utilizadas no treinamento. O processo de validação cruzada é repetido n vezes, de maneira que todas as subamostras sejam utilizadas uma vez como dado de teste para a avaliação do modelo. O resultado final é o desempenho médio do classificador nos n testes.

Tabela 14: Matriz de correlação das variedades Chardonnay e Pinot Noir para a safra 2014/2015.

		variedade	Predicted Group Membership				Total
			Dezembro_CH	Dezembro_PI	Fevereiro_CH	Fevereiro_PI	
Original	Count	Dezembro_CH	63	9	0	0	72
		Dezembro_PI	14	56	0	0	70
		Fevereiro_CH	0	0	58	14	72
		Fevereiro_PI	0	0	1	69	70
	%	Dezembro_CH	87,5	12,5	0,0	0,0	100,0
		Dezembro_PI	20,0	80,0	0,0	0,0	100,0
		Fevereiro_CH	0,0	0,0	80,6	19,4	100,0
		Fevereiro_PI	0,0	0,0	1,4	98,6	100,0
Cross-validated(a)	Count	Dezembro_CH	61	11	0	0	72
		Dezembro_PI	16	54	0	0	70
		Fevereiro_CH	0	0	56	16	72
		Fevereiro_PI	0	0	1	69	70
	%	Dezembro_CH	84,7	15,3	0,0	0,0	100,0
		Dezembro_PI	22,9	77,1	0,0	0,0	100,0
		Fevereiro_CH	0,0	0,0	77,8	22,2	100,0
		Fevereiro_PI	0,0	0,0	1,4	98,6	100,0

Na Tabela 15 são apresentadas as duas primeiras funções discriminantes canônicas utilizadas para a espacialização da classificação; estas funções são o resultado da avaliação da interação da radiação eletromagnética com o dossel das videiras nos meses de Dezembro de 2014 e de Fevereiro de 2015.

Tabela 15: Funções discriminantes canônicas para os dados de reflectância da safra 2014/2015.

Função 1	$Z = 1,05 + (-264,11*b1) + (482,03*b2) + (-270,65*b3) + (269,91*b4) + (-241,76*b5) + (69,18*b6) + (-212,76*b7) + (171,34*b8)$
Função 2	$Z = -2,96 + (-188,15*b1) + (175,92*b2) + (310,43*b3) + (-103,51*b4) + (-135,02*b5) + (-122,20*b6) + (39,61*b7) + (17,13*b8)$

A primeira função representa mais de 90% da variância das amostras e, mesmo se for utilizada de maneira isolada, apresentará bons resultados de classificação. A segunda função discriminante contribui com pouco mais de 8% do restante da variância que não foi explicada na primeira função.

O resultado da aplicação das funções discriminantes é mostrado na Figura 25. Observando a dispersão dos dados, é notável que as amostras da variedade Chardonnay para o mês de Fevereiro apresentam alta dispersão, fato este que contribui significativamente para o aumento do erro e da descaracterização do grupo. Este comportamento não era esperado, visto que em todas as outras análises não foram obtidas dispersões semelhantes. Apesar da alta dispersão e da confusão espectral com as amostras da variedade Pinot Noir do mesmo mês, não ocorreram casos de amostras classificadas como pertencentes ao mês de Dezembro. A

grande diferença fenológica entre as datas de coleta dos dados pode ter contribuído para a melhor separação.

As amostras das duas variedades para o mês de Dezembro apresentam proximidade entre seus centroides e baixa dispersão, dificultando a identificação e a classificação correta de uma porcentagem considerável das amostras. No entanto, a separabilidade entre as duas variedades mostrou-se possível com o auxílio das funções discriminantes, indicando ser possível gerar as diferenças entre as duas variedades.

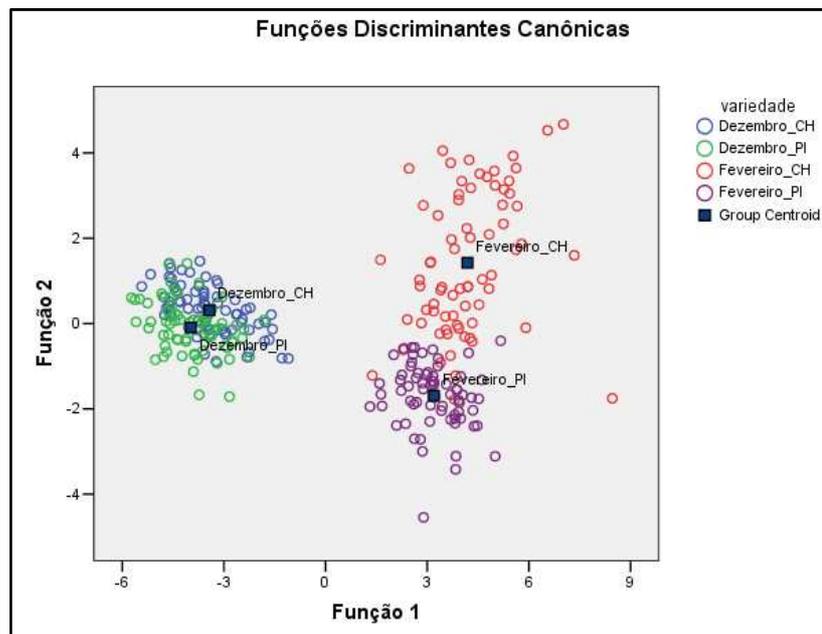


Figura 25: Dispersão da classificação com base nas funções discriminantes. Variedade Chardonnay e Pinot Noir para safra de 2014/2015.

A última análise destas comparações foi realizada incorporando todos os dados das duas variedades (Chardonnay e Pinot Noir) e todos os meses amostrados, ou seja, os resultados a seguir referem-se ao comportamento espectral das amostras e sua possível distinção quando tratadas todas em um único banco de dados (Tabela 16).

A variedade Chardonnay para o mês de Outubro obteve 94,4% de acerto, e uma pequena parte das amostras foi rotulada de forma equivocada no grupo Pinot Noir do mês de Outubro. Por sua vez, a variedade Pinot Noir em Outubro teve o pior desempenho, com 71,4% de acerto, em que mais de 27% das amostras foram alocadas como pertencentes à variedade Chardonnay do mesmo mês.

As amostras para o mês de Novembro tiveram um desempenho inferior ao obtido em Outubro. A variedade Chardonnay foi classificada com pouco mais de 79% de acertos, mostrando confusão (16,7%) com as amostras de Pinot Noir do mesmo mês e com os dados

do mês de Dezembro. Já a Variedade Pinot Noir obteve somente 71,4% de sucesso, com 20% das amostras classificadas como pertencentes a variedade Chardonnay do mesmo mês e aproximadamente 9% rotuladas com características dos dados de Dezembro.

Os dados do mês de Dezembro apresentam comportamento semelhante aos obtidos em Novembro; a variedade Chardonnay teve 81,9% de amostras bem classificadas, e neste caso a maioria dos erros ocorreram com dados classificados como pertencentes à variedade Pinot Noir do mesmo mês (13,9%); algumas amostras também foram classificadas como pertencentes aos meses de Janeiro e Novembro. Para as amostras da variedade Pinot Noir do referido mês, apenas 70% da classificação teve sucesso; dos 30% de amostras rotuladas de forma errônea, 22,9% foram atribuídos à variedade Chardonnay do mesmo mês e o restante foram confusões espectrais com os meses de Novembro e Janeiro.

Fazendo referência ao mês de Janeiro, este também apresentou classificações com dados rotulados de forma equivocada, no entanto os erros foram computados nas amostras do mesmo mês, ou seja, a variedade Chardonnay teve 84,7% de acerto e 15,3% das amostras foram rotuladas como sendo da variedade Pinot Noir. Já a variedade Pinot Noir obteve 82,9% de sucesso e 15,7% das amostras classificadas como pertencentes à variedade Chardonnay do mesmo mês, apenas uma amostra foi classificada como pertencente ao mês de Dezembro.

Os dados de Fevereiro foram os que mostraram melhor desempenho. A variedade Chardonnay foi rotulada com 77,8% de acerto e os 22,2% de confusão ocorreram com amostras do grupo de Pinot Noir também de Fevereiro. As amostras do grupo de Pinot Noir para o referido mês foram as que melhor se diferenciaram das demais, com 98,6% de acerto e apenas uma amostra classificada errada como sendo da variedade Chardonnay.

Resumindo a descrição dos resultados, pode-se apontar para alguns comportamentos observados. Novamente os meses de Outubro e Dezembro foram os que apresentaram melhores resultados, com pouca confusão na classificação e, quando esta ocorreu, foi influenciada por amostras da outra variedade coletadas no mesmo período fenológico. Por serem meses referentes ao início e final de desenvolvimento dos dosséis, as folhas apresentam estruturas e quantidades de pigmentos distintos dos meses intermediários, facilitando assim sua caracterização e discriminação.

Os meses de Novembro, Dezembro e Janeiro foram os que apresentaram maior confusão na classificação. Estes equívocos aconteceram entre as variedades com o mesmo período fenológico, mas também com amostras da mesma variedade e em estádios de desenvolvimento mais precoces e mais evoluídos. Estes meses referem-se ao período de transição das folhas, de folhas jovens para folhas adultas, o surgimento e amadurecimento

das bagas, aumento da quantidade de antocianinas nas folhas e nas bagas das variedade Pinot Noir, fatores que contribuem para uma maior confusão espectral e consequentemente diminuição da qualidade das classificações.

Tabela 16: Matriz de correlação das variedades Chardonnay e Pinot Noir para as duas safras.

	variedade	Predicted Group Membership										Total		
		SAFRA 2013/2014						SAFRA 2014/2015						
		Out_CH	Out_P I	Nov_C H	Nov_P I	Jan_C H	Jan_PI	Dez_C H	Dez_P I	fev_C H	fev_PI			
Original	Count	Out_CH	67,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	71,0
		Out_PI	19,0	51,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	70,0
		Nov_CH	0,0	0,0	59,0	11,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	72,0
		Nov_PI	0,0	0,0	13,0	52,0	0,0	0,0	3,0	2,0	0,0	0,0	0,0	70,0
		Jan_CH	0,0	0,0	0,0	0,0	61,0	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	72,0
		Jan_PI	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	59,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	70,0
		Dez_CH	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	61,0	10,0	0,0	0,0	0,0	72,0
		Dez_PI	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	4,0	16,0	49,0	0,0	0,0	0,0	70,0
		fev_CH	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	58,0	14,0	0,0	72,0
		fev_PI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	69,0	0,0	70,0
		%	Out_CH	94,4	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	100,0
			Out_PI	27,1	72,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
			Nov_CH	0,0	0,0	81,9	15,3	0,0	0,0	1,4	1,4	0,0	0,0	100,0
			Nov_PI	0,0	0,0	18,6	74,3	0,0	0,0	4,3	2,9	0,0	0,0	100,0
			Jan_CH	0,0	0,0	0,0	0,0	84,7	15,3	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
			Jan_PI	0,0	0,0	0,0	0,0	14,3	84,3	0,0	1,4	0,0	0,0	100,0
			Dez_CH	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	84,7	13,9	0,0	0,0	100,0
			Dez_PI	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	5,7	22,9	70,0	0,0	0,0	100,0
		fev_CH	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	80,6	19,4	100,0	
		fev_PI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	98,6	100,0	
Cross-validated(a)	Count	Out_CH	67,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	71,0	
		Out_PI	19,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	70,0	
		Nov_CH	0,0	0,0	57,0	12,0	0,0	0,0	1,0	2,0	0,0	0,0	72,0	
		Nov_PI	0,0	0,0	14,0	50,0	0,0	0,0	4,0	2,0	0,0	0,0	70,0	
		Jan_CH	0,0	0,0	0,0	0,0	61,0	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	72,0	
		Jan_PI	0,0	0,0	0,0	0,0	11,0	58,0	0,0	1,0	0,0	0,0	70,0	
		Dez_CH	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	2,0	59,0	10,0	0,0	0,0	72,0	
		Dez_PI	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	4,0	16,0	49,0	0,0	0,0	70,0	
		fev_CH	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	56,0	16,0	72,0	
		fev_PI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	69,0	70,0	
		%	Out_CH	94,4	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	100,0
			Out_PI	27,1	71,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	100,0
			Nov_CH	0,0	0,0	79,2	16,7	0,0	0,0	1,4	2,8	0,0	0,0	100,0
			Nov_PI	0,0	0,0	20,0	71,4	0,0	0,0	5,7	2,9	0,0	0,0	100,0
			Jan_CH	0,0	0,0	0,0	0,0	84,7	15,3	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
			Jan_PI	0,0	0,0	0,0	0,0	15,7	82,9	0,0	1,4	0,0	0,0	100,0
			Dez_CH	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	2,8	81,9	13,9	0,0	0,0	100,0
			Dez_PI	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	5,7	22,9	70,0	0,0	0,0	100,0
		fev_CH	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	77,8	22,2	100,0	
		fev_PI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	98,6	100,0	

Mesmo com a alta quantidade de grupos analisados em um mesmo banco de dados e as confusões espectrais descritas acima, a qualidade da classificação global por validação cruzada foi de 81,2%, consolidando o potencial de discriminação através do método de análise discriminante. Este resultado solidifica a capacidade de monitorar as diferentes cultivares ao longo do ciclo. O potencial de verificar os comportamentos distintos de duas variedades viníferas, e mesmo as diferenças espectrais de uma variedade ao longo e seu desenvolvimento, são fatores que contribuem para solidificar a viabilidade de monitoramento dos vinhedos, identificando possíveis anomalias e variações do comportamento das plantas

Como o número dos grupos analisados é grande e as funções descritivas sempre são $n-1$, para esta classificação foram obtidas nove funções discriminantes. Para esta análise composta por 10 grupos distintos, a primeira função conseguiu explicar aproximadamente 54% da variância, com uma contribuição importante da segunda função; as duas primeiras funções representam 91,4% de variância total das amostras, mostradas na Tabela 17. As funções são geradas a partir de uma amostra de casos para os quais a associação de grupo é conhecida; as funções podem então ser aplicadas a novos casos, com medições para as variáveis de previsão, mas a associação de grupo desconhecido. As funções obtidas são independentes, não sendo registrada sobreposição da sua contribuição para a discriminação entre os grupos.

Tabela 17: Funções discriminantes canônicas para os dados de reflectância das duas safras.

Função 1	$Z = 1,23 + (120,17*b1) + (-45,05*b2) + (-174,31*b3) + (174,61*b4) + (-107,64*b5) + (60,26*b6) + (-217,14*b7) + (184,78*b8)$
Função 2	$Z = 0,96 + (382,29*b1) + (-383,58*b2) + (-256,28*b3) + (265,36*b4) + (-85,95*b5) + (115,80*b6) + (-61,90*b7) + (7,38*b8)$

O comportamento das amostras quando espacializadas é demonstrado na figura 26. A dispersão dos dados aqui apresentada é o resumo do comportamento das amostras descrito na matriz de correlação; no entanto, aqui as mesmas são analisadas levando-se em consideração somente a capacidade de classificação das duas primeiras funções, ou seja, 91,4% da variância dos dados.

Observando a dispersão dos resultados, é notável a separação das amostras de Outubro e Dezembro em relação aos demais meses. Observando a dispersão das amostras em relação aos seus centroides percebe-se que nesses meses as amostras estão mais esparsas, mas mesmo assim se consegue diferenciá-las dos meses de Novembro, Dezembro e Janeiro. A confusão que ocorre nesse caso é entre as amostras das variedades de Pinot Noir e Chardonnay dentro do mesmo mês, tanto para os dados de Outubro como para os de Fevereiro. Este

comportamento mostra que mesmo analisando dados de safras distintas foi possível diferenciar seu comportamento espectral baseado na relação da radiação eletromagnética com os diferentes estádios de desenvolvimento do dossel.

Observando o comportamento das variedades Chardonnay e Pinot Noir nos meses de Novembro, Dezembro e Janeiro, torna-se difícil definir uma linha de separação entre os grupos, tanto entre meses quanto entre variedades. No entanto, é possível observar o agrupamento das amostras no entorno de seus centroides, mostrando pouca dispersão nos dados classificados.

Se compararmos os dados de Novembro em relação a Janeiro, suprimindo as amostras de Dezembro, conseguimos uma boa discriminação visual entre os dois meses.

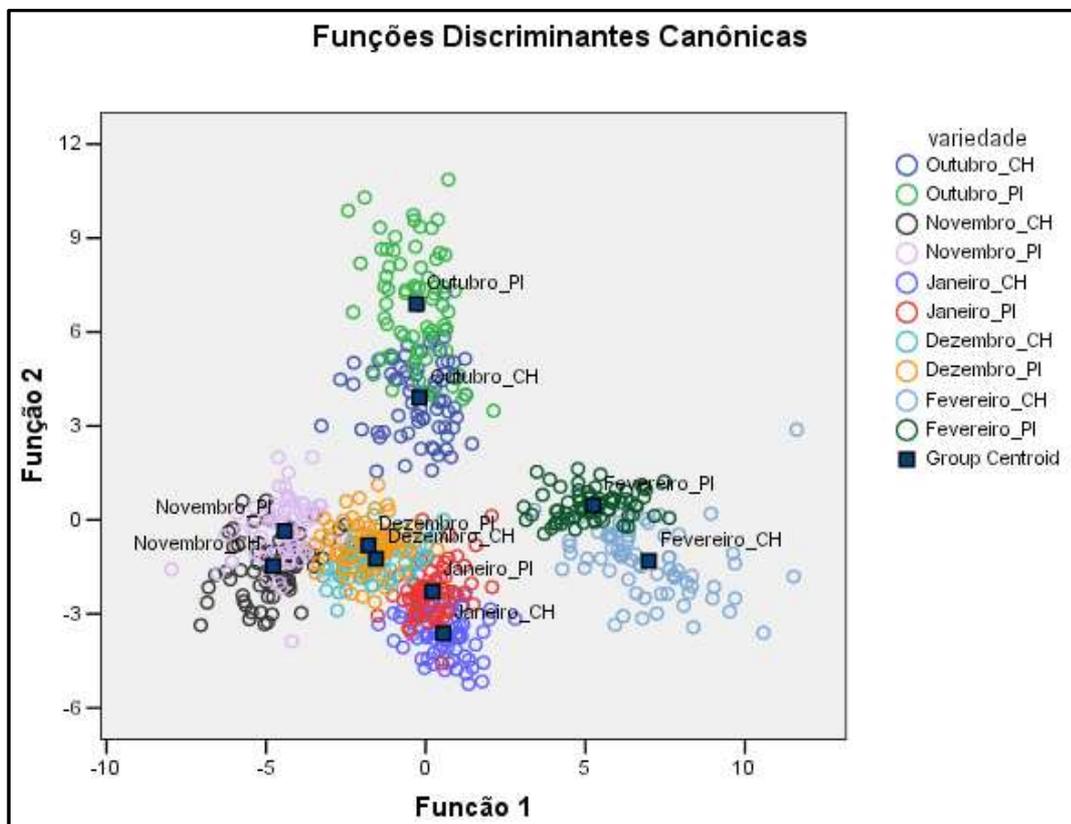


Figura 26: Dispersão da classificação com base nas funções discriminantes. Variedade Chardonnay e Pinot Noir para safra de 2013/2014 e 2014/2015.

5.4 ANÁLISE DE CLUSTER

A análise de *cluster* foi realizada com os dez grupos analisados nas funções discriminantes descritas na seção anterior. Para esta análise, trabalhou-se com o valor médio representativo para cada grupo, como descrito na metodologia. O pressuposto dessa análise é

buscar agrupar os dados baseando-se na similaridade entre eles. Os grupos são determinados de forma a obter-se homogeneidade dentro dos grupos e heterogeneidade entre eles.

Na análise do dendrograma (Figura 27), detectou-se que os primeiros grupamentos por similaridades consideraram os diferentes estádios de desenvolvimento das folhas e dossel como critério preponderante. No primeiro nível foram identificados cinco grupos (Janeiro_CH, Janeiro_PI e Fevereiro_CH), (Novembro_CH e Novembro_PI), (Outubro_CH e Outubro_PI), (Dezembro_CH e Dezembro_PI) e (Fevereiro_PI). Percebe-se aqui que o grupo Fevereiro_CH apresentou maior similaridade com os grupos do mês de Janeiro, fato que não era esperado; no entanto, como são grupos que fenologicamente apresentam estádios de desenvolvimento próximos e os anos/safra são distintos, confusões espectrais podem ter ocorrido.

Analisando o segundo nível dos grupamentos é possível constatar que as similaridades se deram em função dos estádios de desenvolvimento das folhas e dosséis, formando três grupos distintos (Janeiro_CH, Janeiro_PI, Fevereiro_CH, Novembro_CH e Novembro_PI), (Outubro_CH e Outubro_PI) e (Dezembro_CH, Dezembro_PI e Fevereiro_PI). Os grupos formados estão associados às semelhanças do comportamento espectral em períodos fenológicos próximos, ou seja, os grupos formados pelas amostras de Novembro e Janeiro refletem o comportamento das videiras na fase de desenvolvimento e colheita. O grupo que concentra somente as amostras de Outubro contempla as características das videiras em início de formação das folhas e do dossel com a maioria das folhas jovens; já o último grupo é formado pelas amostras da safra de 2014/2015, com exceção do grupo "Fevereiro_CH" que manteve a hierarquia do primeiro nível.

O terceiro nível é formado por dois grupos distintos, no qual os mesmos seguem a estrutura hierárquica herdada do segundo nível e a similaridade, neste caso, ocorre entre as amostras do grupo de Outubro com o grupo de Novembro e Janeiro. Assim, o grupamento final é representado por um grupo com dados coletados na safra de 2013/2014 e o outro com dados da safra 2014/2015.

No comportamento geral dos dados submetidos à análise de *cluster*, verifica-se que a tendência de grupamento ocorreu primeiramente pela similaridade do estádio de desenvolvimento das folhas (datas mais precoces e mais tardias) e posteriormente pelo ano de coleta das amostras (distinção entre as safras). Resultados semelhantes foram obtidos por Cemin e Ducati (2011).

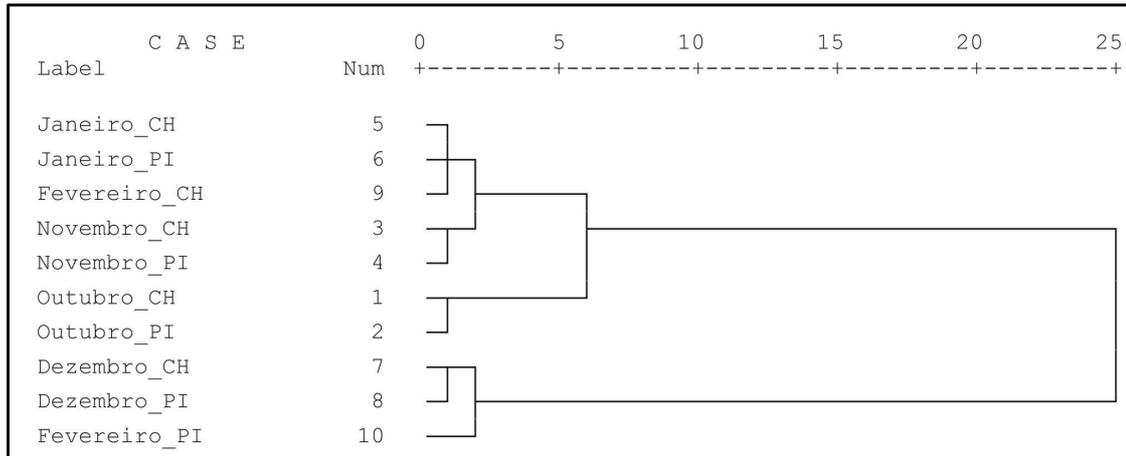


Figura 27: Dendrograma da comparação das variedades Chardonnay e Pinot Noir ao longo do ciclo fenológico.

5.5 ANÁLISE DISCRIMINANTE ENTRE DADOS ORBITAIS E RADIOMETRIA DE CAMPO

Os resultados obtidos nessa etapa do trabalho têm como pressuposto analisar a qualidade e compatibilidade dos dados de reflectância, para as variedades Chardonnay e Pinot Noir, coletados no mês de Janeiro de 2014 através de medidas radiométricas de campo e por imagens de satélite.

Como os dados de campo (17/01/2014) distam dois dias dos dados orbitais (19/01/2014), foi realizado o acompanhamento e comparação dos dados de precipitação e temperatura entre os referidos dias (Figura 28). No dia anterior e nos dias das coletas dos dados não foram registradas precipitações, sendo que a precipitação acumulada dos cinco dias anteriores à primeira coleta foi de 12,8 mm. As temperaturas médias dos dias de coletas não tiveram muitas variações, sendo 22,5°C e 24,2°C nos dias 17 e 19 de Janeiro, respectivamente. No período de realização da coleta dos dados de campo (10h às 14h) no dia 17 de Janeiro, a temperatura média foi de 26,3°C, e no dia da passagem do satélite em 19 de Janeiro, a temperatura média para o mesmo horário foi de 26,9°C.

Considerando os dados de temperatura e precipitação descritos acima e observando o comportamento da variação da temperatura nos dias entre as coletas de campo e orbital, pode-se considerar que as temperaturas mantiveram-se semelhantes nos dias das coletas, não sendo importantes a ponto de provocar mudanças significativas no metabolismo das videiras.

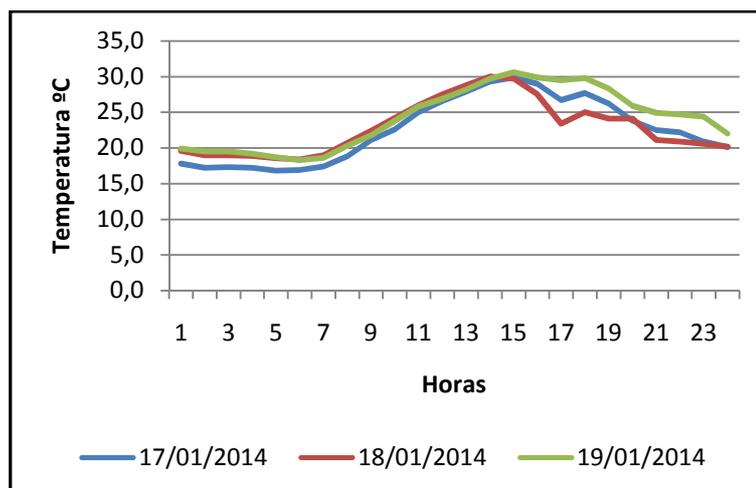


Figura 28: Variação da temperatura nos dias de coleta dos dados de campo e orbitais.

Para a comparação das informações espectrais oriundas da radiometria de campo e dos dados orbitais, analisou-se o potencial de discriminação das amostras em separar os espectros das variedades Chardonnay e Pinot Noir. Para tal, foram comparados os resultados da classificação discriminante para as diferentes fontes de dados.

Os dados radiométricos foram classificados com o objetivo de verificar o poder de separação das duas variedades viníferas (Tabela 18). Pode-se observar que o percentual de acerto na classificação para as duas variedades foi semelhante, pois para as variedades Chardonnay e Pinot Noir foram obtidos 87,5 e 87,1% de acerto nos dados originais, respectivamente. Na validação cruzada o desempenho foi um pouco inferior, a variedade Chardonnay apresentou 1% menos de acerto que Pinot Noir, que por sua vez teve 84,3% dos dados rotulados corretamente. No desempenho global, a classificação foi de 83,8%, mostrando ser uma ferramenta eficiente para a diferenciação espectral das duas variedades.

Tabela 18: Matriz de correlação para os dados radiométricos.

		variedade	Predicted Group Membership		Total
			Chardonnay	Pinot Noir	
Original	Count	Chardonnay	63	9	72
		Pinot Noir	9	61	70
	%	Chardonnay	87,5	12,5	100,0
		Pinot Noir	12,9	87,1	100,0
Cross-validated(a)	Count	Chardonnay	60	12	72
		Pinot Noir	11	59	70
	%	Chardonnay	83,3	16,7	100,0
		Pinot Noir	15,7	84,3	100,0

O mesmo processo de classificação foi realizado para os dados orbitais, Tabela 19. Como podemos constatar, os dados orbitais mostraram-se mais robustos na classificação. A

variedade Pinot Noir obteve 100% de acerto e na variedade Chardonnay apenas uma amostra foi rotulada de forma errônea. Este panorama ocorreu tanto na classificação original quanto na validação cruzada, na qual a classificação global foi de 99,3%, resultado que evidencia uma excelente discriminação.

Tabela 19: Matriz de correlação para os dados orbitais.

		variedade	Predicted Group Membership		Total
			Chardonnay	Pinot Noir	
Original	Count	Chardonnay	71	1	72
		Pinot Noir	0	70	70
	%	Chardonnay	98,6	1,4	100,0
		Pinot Noir	0,0	100,0	100,0
Cross-validated(a)	Count	Chardonnay	71	1	72
		Pinot Noir	0	70	70
	%	Chardonnay	98,6	1,4	100,0
		Pinot Noir	0,0	100,0	100,0

Comparando as duas fontes de dados, evidencia-se que as respostas espectrais obtidas por imagem de satélite apresentam uma sensível diferença em relação aos dados radiométricos, com resultados mais eficientes na classificação das amostras. Para melhor entendimento desta variação são apresentadas a seguir as matrizes estruturais geradas para cada função discriminante (Tabela 20).

Tabela 20: Matriz estrutural para os dados radiométricos e orbitais. Variáveis ordenadas pelo tamanho da correlação dentro de cada função.

Matriz estrutural			
Variáveis	Radiômetro	Variáveis	Satélite
B8	-0,120	B2	0,821
B3	0,106	B4	0,811
B4	0,099	B5	0,804
B7	-0,089	B7	-0,622
B1	0,068	B8	-0,573
B6	0,061	B1	0,563
B5	0,058	B3	0,533
B2	0,050	B6	-0,282

Com a matriz estrutural tem-se em ordem de grandeza (valores absolutos), a correlação simples entre os preditores e a função discriminante. A matriz estrutural gerada através da análise discriminante é considerada como a mais acurada para identificar as variáveis que mais contribuem na diferenciação dos grupos (MALHOTRA, 2001; HAIR *et al.*, 2005).

Cabe aqui ressaltar que a comparação dos pesos obtidos para os dados radiométricos e orbitais não pode ser efetuada pois, apesar de os dois dados serem referentes a grandezas de reflectância, os mesmos foram obtidos por sensores distintos.

Observando as variáveis preditoras de maior peso nos dados radiométricos tem-se por ordem de grandeza as variáveis B8 (infravermelho próximo), B3 (verde) e B4 (amarelo), sendo estas as três primeiras variáveis de maior peso. A resposta espectral da variável B8, localizada na região do infravermelho está diretamente relacionada com a estrutura celular das folhas (PONZONI e SHIMABUKURO, 2007). Segundo Gates *et al.* (1965), a reflectância espectral de folhas nessa região do espectro eletromagnético é o resultado da interação da energia incidente com a estrutura do mesófilo. Bogs *et al.* (2005) e Braidot *et al.* (2008) detectaram a presença de antocianinas armazenadas nos vacúolos das folhas de videiras, podendo alterar a estrutura celular da folha e, conseqüentemente, a resposta espectral das mesmas.

A segunda e terceira variáveis estão relacionadas aos comprimentos de onda do visível. Conforme Ponzoni e Shimabukuro (2007), pigmentos existentes nas folhas dominam a reflectância espectral, estes comprimentos de onda estão diretamente ligados à quantidade de clorofila, carotenos e xantofilas. Silva e Ducati (2009) detectaram através de imagens orbitais a influência de antocianinas em folhas de videiras tintas, mostrando ser factível sua separação. Steele *et al.* (2009) demonstraram a presença de antocianinas em folhas de videiras e sua influência no comportamento espectral, principalmente na região do verde e vermelho.

Com relação aos dados orbitais as variáveis preditoras de maior peso por ordem de grandeza são B2 (azul), B4 (amarelo) e B5 (vermelho). Com relação à primeira variável pode-se inferir que estes comprimentos de ondas foram os de maior peso para a classificação dos dados orbitais. No entanto, as diferenciações das duas variedades para estes comprimentos de onda podem estar relacionadas não somente com a resposta espectral do dossel, mas sim de todo o meio, visto que as amostras orbitais são compostas pela mistura espectral das videiras, vegetação entre fileiras (normalmente gramíneas), solo, umidade presente no dossel e no substrato e os microclimas presentes dentro das diferentes parcelas.

O fator umidade é uma variável que não está diretamente presente nos dados radiométricos, pois os mesmos representam apenas a reflectância das folhas e uma pequena parte do dossel que, no momento da coleta dos dados, são os que estão mais expostos à radiação solar. Nota-se que a parcela de Pinot Noir apresenta condições de umidade diferentes da parcela de Chardonnay no que diz respeito ao solo; esta diferença é evidenciada por uma variação significativamente menor do índice NDVI desta parcela de Pinot Noir. Como os

dados orbitais incluem, para cada planta, pixels da planta e também do solo em seu entorno, a diferenciação entre as parcelas levou em consideração as diferenças entre solos, além das diferenças entre variedades.

Com relação às outras variáveis preditoras B4 e B5, estas referem-se a comprimentos de onda da faixa do amarelo e vermelho, que são semelhantes aos resultados encontrados e discutidos para os dados radiométricos.

Observando as duas matrizes estruturais, B7 (infravermelho próximo) é a quarta variável em ambas, mostrando que nesta escala os comprimentos de ondas que regem o poder de discriminação dos dados são semelhantes para os dados radiométricos e orbitais. A variável B2 pode ser um preditor significativo para que os resultados da classificação dos dados orbitais apresentem melhor desempenho.

As funções discriminantes geradas para a classificação dos dados é apresentada na Tabela 21. A classificação das amostras foi realizada com base nos escores (valor de Z) gerados para cada amostra, ou seja, as amostras foram calculadas de modo que a variabilidade dos escores da função discriminante seja máxima entre os grupos e mínima dentro dos grupos (MAROCO, 2007). Desse modo, cada amostra passou a ser representada pelo seu escore Z e não mais pelas 8 bandas de reflectância.

Tabela 21: Funções discriminantes canônicas para os dados de reflectância (radiométricos e orbitais).

Dados radiométricos	$Z = 3,65 + (555,91*b1) + (-199,35*b2) + (-666,38*b3) + (810,72*b4) + (-647,05*b5) + (180,08*b6) + (-181,36*b7) + (-81,19*b8)$
Dados orbitais	$Z = -82,56 + (114,75*b1) + (527,42*b2) + (-242,72*b3) + (104,13*b4) + (0,92*b5) + (143,90*b6) + (-181,36*b7) + (174,58*b8)$

A Figura 29 representa a espacialização dos escores Z obtidos das funções discriminantes aplicadas nas amostras radiométricas e orbitais. Quando se analisa a espacialização dos resultados considerando-se apenas a classificação obtida por somente uma das fontes de dados (Figura 29A e 29B) a definição de cada grupo é de difícil delimitação, mas, no entanto, quando os resultados dos escores Z são tratados em conjunto (Figura 29C), a definição dos grupos é mais clara e de fácil interpretação.

Com a utilização dos dados do radiômetro e da imagem de satélite foi possível separar as variedades Chardonnay e Pinot Noir com grande eficiência. Este procedimento, além de demonstrar a possibilidade de trabalhar com dados e fontes distintas, nos quais os mesmos contribuem para o resultado final na análise de classificação, mostra que os dados orbitais e de campo são coerentes entre si. Este resultado tem sido raramente reportado na literatura.

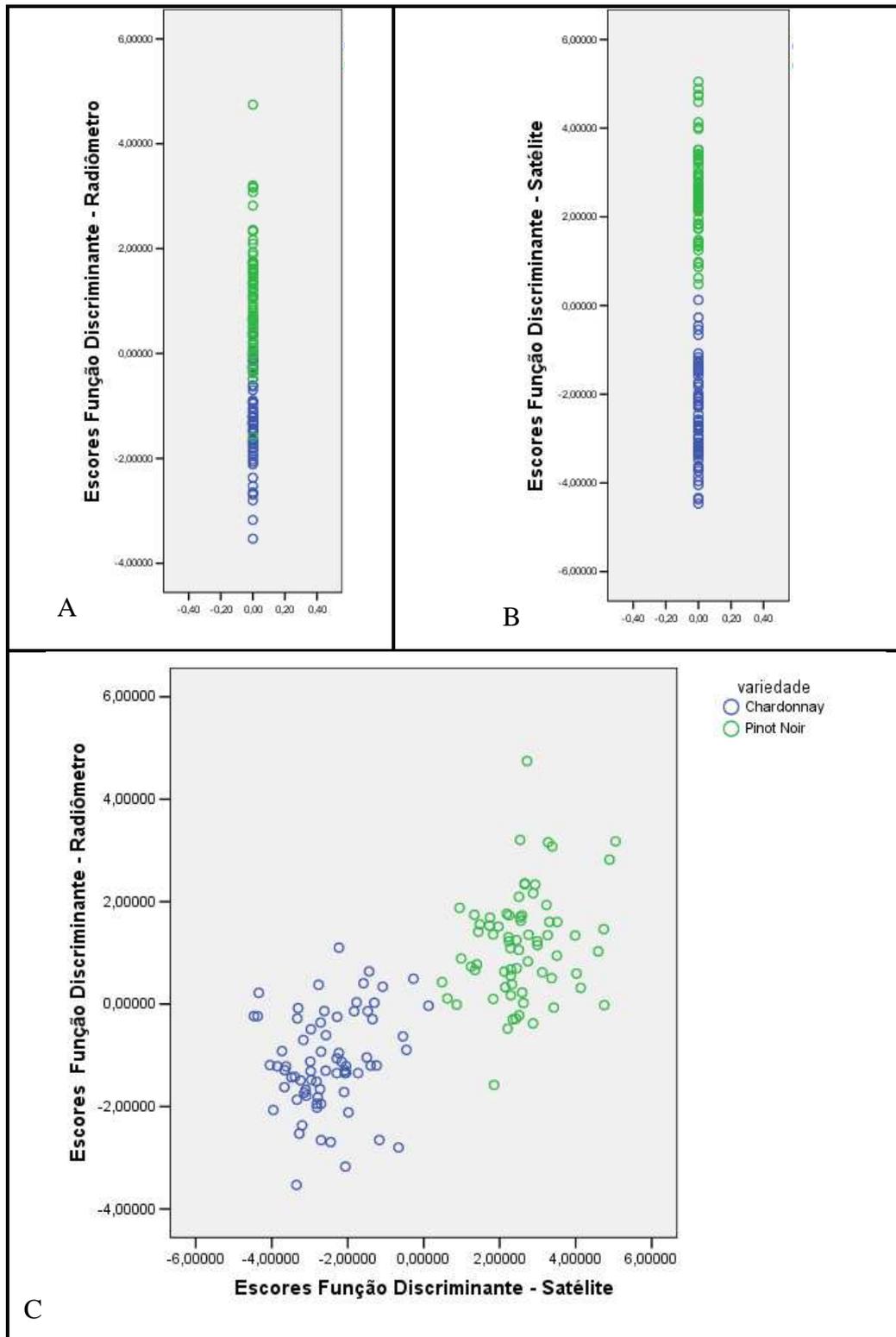


Figura 29: Dispersão das variedades Chardonnay e Pinot Noir com base nos escores das funções discriminantes.

A última comparação realizada entre os dados foi a correlação linear de Pearson. Esta correlação indica a força e a direção do relacionamento linear entre duas variáveis (Tabela 22). Como pode ser observado, o resultado da correlação foi de 0,75, indicando forte

correlação linear (CALLEGARI-JACQUES, 2003), o que novamente indica a coerência entre os dados orbitais e de campo.

Tabela 22: Resultado da correlação de Pearson.

		Satélite	Radiômetro
Satélite	Correlação de Pearson	1	0,752*
	Sig. (2-tailed)		0,000
	Soma dos Quadrados e Produtos Cruzados	1.055,940	439,111
	Covariância	7,489	3,114
	N	142	142
Radiômetro	Correlação de Pearson	0,752*	1
	Sig. (2-tailed)	0,000	
	Soma dos Quadrados e Produtos Cruzados	439,111	322,802
	Covariância	3,114	2,289
	N	142	142

* Correlação é significativa ao nível 0,01 (2-tailed).

5.6 ESPACIALIZAÇÃO DO VIGOR VEGETATIVO (NDVI)

5.6.1 Parcela Chardonnay

A Figura 30 mostra os mapas de NVDI construídos com base em dados de campo e orbital, os mesmos foram divididos em duas classes de acordo com o vigor vegetativo das áreas. Como forma de diferenciar as áreas de maior e menor vigor vegetativo, utilizou-se a mediana dos índices de NDVI obtidos em cada análise como limiar para divisão das classes.

Para os dados radiométricos os índices máximos e mínimos de NDVI foram 0,86 e 0,94, respectivamente. Para a obtenção do mapa de vigor vegetativo, todos os NDVIs acima de 0,9 foram considerados como "Maior NDVI" e os demais como "Menor NDVI". Como resultado da espacialização do NDVI obteve-se 70,3% das áreas como pertencentes a classe de maior NDVI e 29,7% como áreas de menor NDVI, Tabela 23.

O mapa de vigor vegetativo obtido com base nos dados orbitais (Figura 30B) foi gerado tendo como limiar para divisão das classes o índices de NDVI de 0,68. Os índices mínimos e máximos de NDVI encontrados nos dados orbitais foram 0,62 e 0,74, respectivamente. As áreas com maior NDVI representam 67,32% da parcela, em contrapartida 32,68% foram classificadas como áreas de menor NDVI, Tabela 23.

As grandezas dos índices de vigor vegetativo obtidos nos dados de campo e orbitais são distintas. Os índices obtidos pelas medidas dos dados radiométricos de campo são maiores, visto que os mesmos referem-se a resposta espectral do dossel da videira e

representam o vigor vegetativo sem a influência espectral de outros alvos. Por conseguinte, a resposta espectral oriunda dos dados orbitais representa a mistura espectral do dossel e dos alvos ao seu redor como as gramíneas e o solo presente entre as fileiras do vinhedo.

Observando o tamanho das áreas classificadas como maior NDVI e menor NDVI nos mapas A e B da Figura 30, verifica-se que as porcentagens das classes de vigor vegetativo referentes a cada mapa são semelhantes. No entanto, estas semelhanças não ocorrem na mesma espacialidade e quando se realiza a comparação espacial dos mapas evidencia-se a existência de áreas conflitantes (Figura 30C). Do cruzamento dos mapas obtidos por dados radiométricos e orbitais obteve-se um mapa síntese, este representa espacialmente as áreas que apresentam classificações em comum nos dois mapas e as áreas de divergência quando da definição das classes de maior e menor NDVI.

Na Tabela 23 pode-se verificar que as áreas classificadas como maior NDVI referem-se a 52,96% do total da área da parcela, as áreas classificadas como menor NDVI condizem com apenas 15,47% e as áreas identificadas como conflitantes representam 31,57% do total da parcela. Estes resultados mostram que os mapas obtidos por dados orbitais e radiométricos apresentam relação de aproximadamente 70% dos resultados obtidos pelas diferentes fontes de informação.

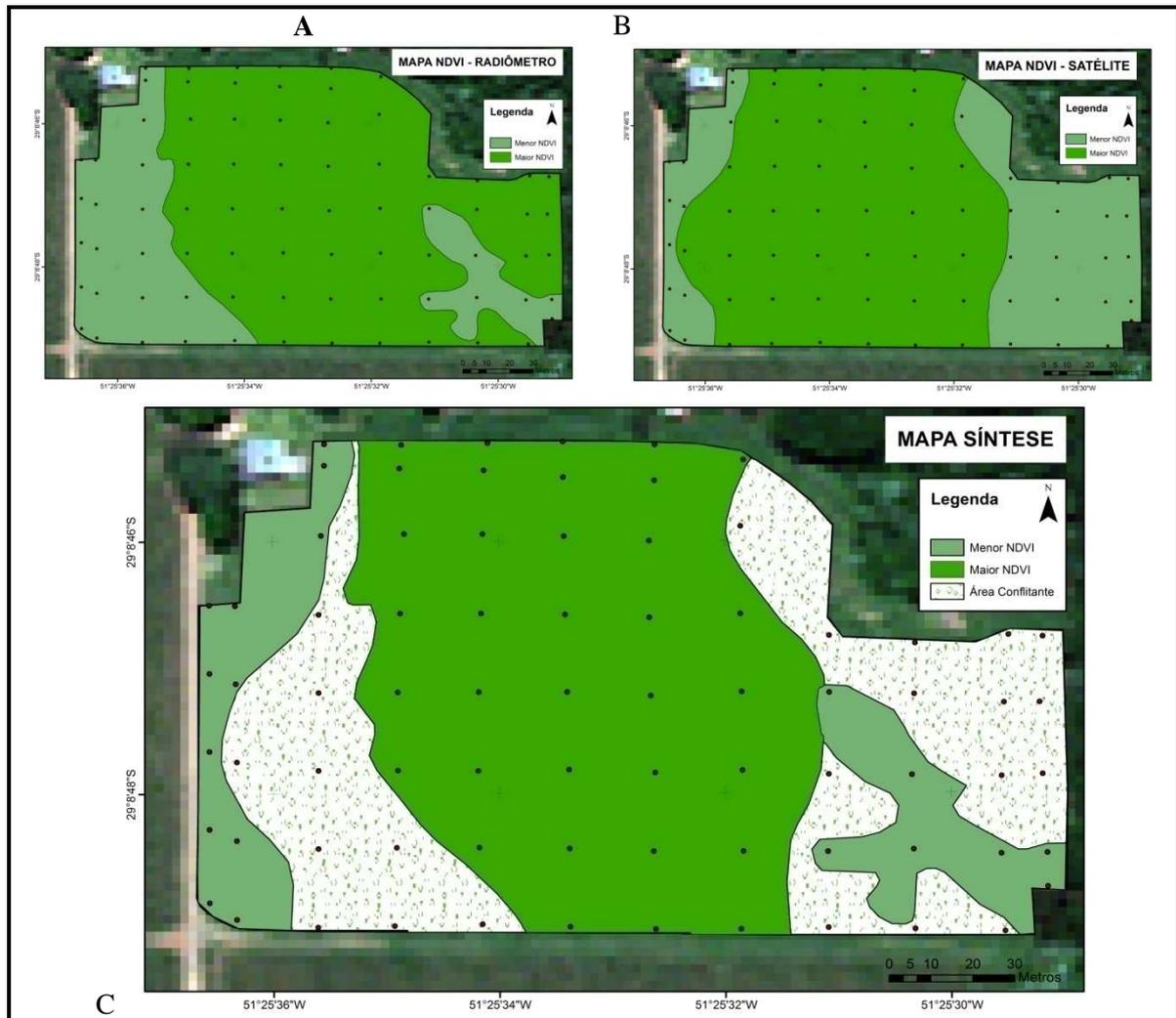


Figura 30: Mapas de vigor vegetativo para a parcela da variedade Chardonnay, Pinto Bandeira-RS.

Tabela 23: Área (%) de NDVI de cada mapa para a variedade Chardonnay.

	Mapa NDVI Radiômetro	Mapa NDVI Satélite	Mapa NDVI Síntese
Área - Maior NDVI	70,30%	67,32%	52,96%
Área - Menor DVI	29,70%	32,68%	15,47%
Área Conflitante	-	-	31,57%

5.6.2 Parcela Pinot Noir

Para a parcela que contempla a variedade Pinot Noir foi realizado o mesmo procedimento de mapeamento.

O Mapa de vigor vegetativo gerado com base nos dados radiométricos de campo mostra uma divisão semelhante entre as áreas de maior e menor NDVI (Figura 31A). Os índices máximos e mínimos de NDVI foram 0,86 e 0,94, respectivamente. Para a obtenção do mapa de vigor vegetativo, todos os NDVIs acima de 0,9 foram considerados como "Maior

NDVI" e os demais como "Menor NDVI". Os índices de maior e menor NDVI obtidos por radiometria de campo foram iguais para as duas variedades (Chardonnay e Pinot Noir).

As áreas classificadas como pertencentes à classe de Menor NDVI estão localizadas na porção sul da parcela e referem-se à parte mais alta do terreno, como constatado em campo. Nessas áreas verificou-se que a capacidade de drenagem do terreno é maior e conseqüentemente a umidade do solo tende a ser menor. Esta variável é uma possível reguladora da variação do vigor vegetativo das videiras nessa parcela. A área com menor NDVI representa 47,19% da parcela e a classe que representa as áreas de maior NDVI compreendem 52,81%, Tabela 24.

O mapa de vigor vegetativo obtido tendo como base os dados orbitais (Figura 31B) apresenta menor área como pertencente à classe de menor NDVI. Como pode ser observado no mapa e igualmente ao verificado nos dados radiométricos, a parte sul da parcela é a que apresenta menores índices de NDVI. No entanto os dados orbitais classificaram somente 23,06% de toda a parcela como sendo de baixo vigor vegetativo. Em contrapartida, as áreas de maior vigor representam 76,94% da área total da parcela de Pinot Noir.

Para os dados orbitais os índices máximos e mínimos de NDVI obtidos foram 0,52 e 0,67, respectivamente. Para a obtenção do mapa de vigor vegetativo, todos os NDVIs acima de 0,59 foram considerados como "Maior NDVI" e os demais como "Menor NDVI". Para a parcela de Pinot Noir verificou-se que a presença de solo exposto entre as fileiras era maior, fato que pode ter contribuído para a obtenção de baixos valores de NDVI orbital.

Cabe ressaltar que toda a faixa da lateral leste da parcela foi classificada com baixos índices de NDVI. Se observarmos no mapa, esta parte da parcela faz limite com a estrada e as amostras localizadas nessa linha sofrem com fluxo de veículos e maior quantidade de poeira nas folhas. As videiras localizadas na parte sul da parcela também fazem limite com a estrada e, como verificado em campo, as duas laterais são formadas por videiras que apresentam o menor porte dentro da parcela.

Para a confecção do mapa síntese realizou-se o cruzamento dos mapas obtidos por dados radiométricos e orbitais obteve-se da variedade Pinot Noir. Na Tabela 24 pode-se verificar que as áreas classificadas como maior NDVI referem-se a 51,9% do total da área da parcela, valor semelhante ao obtido no mapa síntese para a variedade Chardonnay. As áreas classificadas como menor NDVI representam 22,2% e as áreas identificadas como conflitantes representam 25,9% do total da parcela. Estes resultados mostram que mais de 74% da área mapeada é condizente com os resultados obtidos nos mapas de vigor vegetativo gerados por duas fontes distintas de informação, evidenciando a capacidade dos dois sensores

(orbital e terrestre) de produzir dados relevantes e confiáveis. Do resultado do cruzamento dos mapas 25,9% de toda a área da parcela da variedade Pinot Noir foi considerada conflitante.

As áreas consideradas conflitantes não necessariamente são áreas de grande divergência nos índices de vigor vegetativo, visto que para a classificação dos referidos mapas foi necessário a definição de um limiar de corte e este, por sua vez, apresenta uma linha muito tênue na segregação das classes de maior e menor vigor vegetativo.

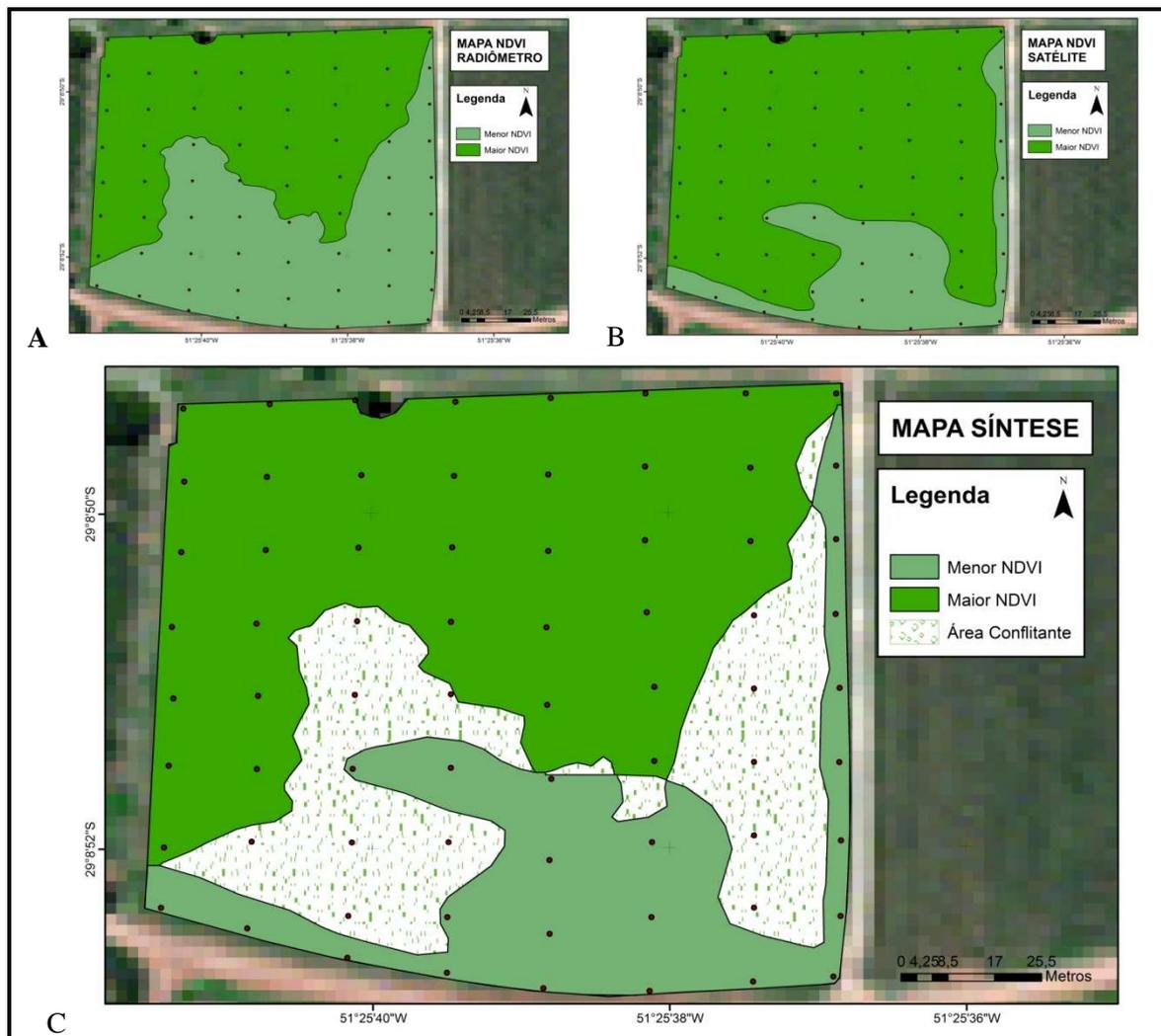


Figura 31: Mapas de vigor vegetativo para a parcela da variedade Pinot Noir.

Tabela 24: Área (%) de NDVI de cada mapa para a variedade Pinot Noir.

	Mapa NDVI Radiômetro	Mapa NDVI Satélite	Mapa NDVI - Síntese
Área - Maior NDVI	52,81%	76,94%	51,90%
Área - Menor DVI	47,19%	23,06%	22,20%
Área Conflitante	-	-	25,90%

Em estudos que buscam identificar a influência do vigor vegetativo na qualidade das uvas, Proffit *et al.*, (2006) trabalharam com vinhedos da variedade Syrah e Riesling com duas

zonas distintas de vigor vegetativo, fizeram a segmentação das mesmas colhendo primeiro a zona de menor vigor e após 9 dias colheram a zona de maior vigor, conseguindo na última um acréscimo substancial de qualidade. Obtiveram um acréscimo significativo da valorização do produto final, mesmo contabilizando os custos acrescidos da implementação da segmentação do vinhedo.

Bramley & Hamilton (2004), ao estudar a casta Cabernet Sauvignon obtiveram diferenças significativas nos valores qualitativos para zonas com diferentes vigores, tendo a zona de menor vigor apresentado valores superiores de antocianas totais, fenóis totais, pH e acidez total. Ao mesmo tempo na prova sensorial realizada, os vinhos da zona com alto vigor vegetativo apresentaram uma nota significativamente inferior com relação aos vinhos provenientes da zona de baixo vigor vegetativo.

Sereno (2009), ao estudar o vigor vegetativo das variedades Syrah e Touriga Franca demonstrou que a segmentação do vinhedo em parcelas com diferenças de vigor vegetativo (NDVI) possibilitaram a obtenção de valores significativamente superiores de acidez total, antocianas, intensidade de cor e fenóis totais do mosto, atributos que definem um vinho de melhor qualidade. As regiões do vinhedo que foram definidas como as de maior potencial para a produção de vinhos de melhor qualidade foram definidas como as sendo de menor NDVI, correspondente ao menor vigor das videiras. Segundo o autor, as relações entre variáveis permite considerar a hipótese de utilização do NDVI como estimador de vigor e de produção da videira.

A capacidade que a viticultura de precisão tem em identificar as diferentes áreas do vinhedo com potenciais qualitativos distintos e que originam uma diferença na rentabilidade econômica está comprovada. Atualmente, este é o argumento mais robusto que permite à viticultura de precisão ter um futuro próspero por todo mundo. Sabe-se ainda que em muitos casos os custos com o emprego desta técnica são apenas uma pequena percentagem em relação ao valor agregado do produto final (Bramley, 2000).

CAPÍTULO 6

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos no decorrer do desenvolvimento da Tese solidificam as perspectivas projetadas no início do trabalho.

Em relação à primeira parte do trabalho, referente à investigação de vinhedos com base em imagens ASTER, os resultados mostram ser perfeitamente factível o uso de imagens deste sensor para classificações de vegetação, principalmente quando se referem à análise e monitoramento de cultivos vitícolas. Portanto, técnicas de sensoriamento remoto podem ser utilizadas como uma das ferramentas para o monitoramento da qualidade de vinhedos, para caracterizar regiões vinícolas e possibilitar a identificação de novas regiões com potencial vitivinícola.

Na segunda parte do trabalho foi demonstrado que o monitoramento da dinâmica espectral na evolução do ciclo fenológico da videira possibilita a diferenciação dos estádios fenológicos da cultivar através de dados radiométricos, evidenciando as mais sutis alterações no espectro. A identificação de variações na resposta espectral da videira na faixa do infravermelho próximo, como um indicativo do início do estágio de senescência, possibilita um monitoramento mais detalhado dos cultivares, sendo este um campo de pesquisa que merece estudos mais aprofundados na busca de índices vegetativos e padrões que auxiliem na tomada de decisões.

A técnica de normalização de espectros mostrou-se eficiente como uma ferramenta importante para comparação de dados radiométricos, possibilitando a identificação sutil das variações espectrais. No estudo comparativo entre cultivares tintas e brancas foi possível demonstrar que as maiores e mais definidas diferenças estão compreendidas nas faixas espectrais referentes às bandas do verde e vermelho, consolidando a ideia de que os elementos que caracterizam estas diferenças são referentes à diversidade de pigmentos e suas respectivas quantidades presentes nas folhas das videiras.

Os resultados obtidos por análises estatísticas na discriminação de variedades viníferas de uvas tintas e brancas, juntamente com as percepções obtidas na normalização dos espectros mostram, que a concentração e a presença de pigmentos característicos de cada variedade estão presentes nas folhas das videiras, que por sua vez, são detectáveis nos espectros foliares e de dossel. A utilização de análise discriminante na diferenciação dos estádios fenológicos de um mesmo cultivar permitiu a obtenção de resultados satisfatórios, demonstrando que as

alterações no vigor vegetativo e na estrutura celular das folhas são passíveis de serem detectáveis através de dados radiométricos.

A discriminação espectral entre as variedades de Chardonnay e Pinot Noir foi possível através da utilização de dados radiométricos orbitais, bem como com os dados obtidos em campo. No entanto, os resultados da classificação com os dados orbitais foram melhores que aqueles com dados de campo. Esta constatação mostra que a influência espectral de elementos como solo, gramíneas e a diferença de umidade em microclimas presentes dentro do vinhedo são fatores que influenciam na resposta espectral do alvo. Sendo assim, estes fatores podem contribuir para a discriminação das diferentes variedades, mas, ao mesmo tempo, prejudicar a caracterização espectral das mesmas. A capacidade de discriminar diferentes variedades possibilita o mapeamento de áreas vitícolas, auxiliando no seu cadastro e monitoramento.

Com a utilização de diferentes fontes de dados a fim de promover a delimitação de áreas com variações de vigor vegetativo dentro de uma mesma parcela, foi possível obter coerência na definição das respectivas áreas, apesar de apresentar algumas áreas conflitantes. Estas divergências podem ser entendidas pela necessidade de definição de um limiar de separação entre as áreas de maior e menor vigor, visto que a variação dos índices de NDVI foi baixa. Estes resultados podem servir de subsídio para a tomada de decisões, possibilitando um manejo setorizado do vinhedo e auxiliando na coleta seletiva das uvas na busca de aumentar a qualidade do produto final.

Uma comparação de resultados derivados de dados orbitais e de campo é idealmente feita a partir de dados obtidos quase de forma simultânea, sendo esta uma condição difícil de ser satisfeita e por isto raramente reportada. Desta maneira, entende-se que uma das realizações de maior importância neste trabalho foi ter sido possível realizar com sucesso a correlação de dados provenientes de diferentes sensores.

Com relação aos benefícios que este trabalho pode trazer à Viticultura de Precisão, mostrou-se que, mesmo na escala de parcelas vitícolas de pequena área, o que neste caso significa em torno de dois hectares, é possível derivar parâmetros relevantes a partir de imagens de satélites com um grau de confiabilidade que é validado a partir de sua comparação com dados de campo. Esta percepção é importante, pois dados orbitais são de fácil acesso e podem levar a ganhos significativos, em termos de custo e tempo, se comparados aos investimentos na aquisição de dados de campo, quando se busca a caracterização de áreas de diferentes potenciais enológicos no interior de vinhedos.

Este trabalho abre pressupostos para estudos mais aprofundados no intuito de refinar a compatibilização de dados radiométricos de campo e orbitais, o que aponta para uma evolução promissora e um ganho substancial para diferenciações espectrais dos alvos.

REFERÊNCIAS

- 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.
- ABRAHÃO, S. A.; PINTO, F. A. C.; QUEIROZ, D. M.; SANTOS, N. T.; GLERIANI, J. M.; ALVES, E. A. Índices de vegetação de base espectral para discriminar doses de nitrogênio em capim-tanzânia. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 9, p. 1637–1644, 2009.
- ANALYTICAL SPECTRAL DEVICE INC (ASD). **FieldSpec FR Portable Spectroradiometer**. Disponível em: <http://www.asdi.com/asdi_t2_pr_sp_fsp.html> acesso em: 22 Jul. 2002.
- ARKUN S.; HONEY F.; JOHNSON L.; LAMB D.; LIEFF W.; MORGAN G., 2000. **Airborne remote sensing of the vine canopy**. Disponível em: <<http://www.crcv.com.au/research/programs/one/finalreport.pdf>>. Acesso em: 20 Fev. 2013.
- ARNO J.; BORDES X.; RIBES-DASI M.; BLANCO R.; ROSELL J.R.; ESTEVE J. Obtaining grape yield maps and analysis of within-field variability in Raimat (Spain). **ProcV ECPA-EurConf on Precision Agriculture**. Uppsala, Sweden. p. 899-906, 2005.
- ASD. *Analytical Spectral Devices, inc. Centro de Recursos e documentos para os produtos ASD*. 2013. Disponível em: <<http://www.asdi.com/resource-enter/documents>>. Acessado em 10 de Nov. de 2014.
- BALASTREIRE, L.A. O Estado-da-Arte da Agricultura de Precisão no Brasil. 1. ed. Piracicaba: 224p. v.1. 2000.
- BARNES, E.M.; CLARKE, T.R.; RICHARDS, S.E.; COLAIZZI, P.D.; HABERLAND, J.; KOSTREWSKI, M.; WALLER, P.; CHOI, C.; RILEY, E.; TOMPSON, T.; LASCANO, R.J.; LI, H.; MORAN, M.S. Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground-based multispectral data. In: **Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture**, Bloomington, MN, USA (Madison, WI: ASA-CSSA-SSSA). 2000.
- 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.
- BOGS, J.; DOWNEY, M.O.; HARVEY, J.S.; ASHTON, A.R.; TANNER, G.J.; ROBINSON, S.P. (2005) Proanthocyanidin synthesis and expression of genes encoding leucoanthocyanidin reductase and anthocyanidin reductase in developing grape berries and grapevine leaves. **Plant Physiology**, v.139, p.652-663.
- BOMBASSARO, M. G. **Classificação e efeitos de sombreamento em videiras determinados a partir de imagens ASTER**. 2011. 102 p. Dissertação (Mestrado em

Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Porto Alegre. 2011.

BONILLA, I.; TODA, F. M.; MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A. Vine vigor, yield and grape quality assessment by airborne remote sensing over three years: Analysis of unexpected relationships in cv. Tempranillo. **Spanish Journal of Agricultural Research**. v.13, 2015.

BRAIDOT, E.; PETRUSSA, E.; BERTOLONI, A.; PERESSON, C., ERMACORA, P.; LOI, N.; PASSAMONTI, S.; TERDOSLAVICH, M.; MACRI, F.; Vianello, A. (2008). Evidence for a putative flavonoid translocator similar to mammalian bilitranslocase in grape berries (*Vitis vinifera* L.) during ripening. **Planta** 228: 203-13.

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. Measuring within vineyard variability in yield and quality attributes. Vineyard monitoring and management beyond. **Wagga**. 2000,

BRAMLEY, R.G.V.; LAMB, D.W. Making sense of vineyard variability in Australia. In: Ortega, R.; Esser, A..Precision Viticulture. Proceedings of an internacional symposium held as part of the **IX Congreso Latino americano de Viticultura e Enologia**. Centro de Agricultura de Precisión (CAPUC), Pontificia Universidad Católica de Chile. 2003.

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

BROWN, R. B.; LAMB, D. W.; SIDAHMED, M. M. Using Grape Leaf Reflectance for Spatially Variable Vineyard Management. ASABE: American Society of Agricultural and Biological Engineers. 2004

BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J.; MELO, G. W. B.; BRUNING, F. S.; MALLMANN, F. Destino do nitrogênio em videiras ‘Chardonnay’ e ‘Riesling Renano’ quando aplicado no inchamento das gemas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, p. 497-500, 2006.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artmed, 2003.

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. p. 21- 34. 1991.

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

COBBOLD, D., DURAND-VIEL, S. **Le Goût des Cépages**. Paris:Hachette, 2013.

COOK, S.E.; BRAMLEY, R.G.V. Precision Agriculture - Opportunities, Benefits and Pitfalls. **Australian Journal of Experimental Agricultura**. v. 38. p. 753-763. 1998.

CONRADIE, W. J. Distribution and translocation of nitrogen absorbed during late spring by twoyear-old grapevines grown in sand culture. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 41, p. 241-250, 1990

CHRISTIE, C.; MANN, P.; CLOUTIS, E. A. Spectral Characteristics of Natural and Laboratory-Induced Leaf Senescence in Four Common North American Tree Species. **International Journal of Remote Sensing Applications**, V3 Issue 2, 2013.

DIGITAL GLOBE. **White Paper** – the benefits of the 8 spectral bands of WorldView-II. Março, 2010. Disponível em: <http://Worldview2.digitalglobe.com/docs/Worldview-2_8-Band_Applications_Whitepaper.pdf> . Acesso em: 20 de Jan. 2013.

DUCATI, J.R., SARATE, R.E., FACHEL, J.M.G. 2014. Application of Remote Sensing Techniques to Discriminate between Conventional and Organic Vineyards at Loire Valley, France. **Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin** 48, 135-144. 2014.

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

EPIPHANIO, J. C. N.; GLERIANI, J. M.; FORMAGGIO, A.R.; RUDORFF, B. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesq. Agrop. Bras.** Brasília, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996.

EVERITT, B. S. **Cluster Analysis**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1993.

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

FERRAZ, R. C.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; SOUZA, A. R. C.; SAQUET, D. B.; SOUZA, G. R. C. Discriminação de diferentes espécies forrageiras por meio da resposta espectral. **Perspectiva**, v. 35, n. 131, p. 91–98, 2011.

FERRI, C. P.; FORMAGGIO A. R.; SCHIAVINATO, M. A. Avaliação de índices de pigmentos fotossintéticos na estimativa da concentração de clorofila a, clorofila b, clorofila total e carotenóides nas diferentes fases de desenvolvimento da cultura da soja (*Glycine max* [L], Merrill). **Anais... X SBSR**, Foz do Iguaçu, 2001.

FLORES, C. A.; MANDELLI, F.; FALCADE, I.; TONIETTO, J.; SALTON, M. A.; ZANUS, M. C. Vinhos de Pinto Bandeira: características da identidade regional para uma indicação

geográfica. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 12 p. (Embrapa Uva e Vinho. Circular Técnica, 55). 2005.

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.

GITELSON, A. A.; MERZLYAK, M. N.; CHIVKUNOVA, O. B. Optical properties and non-destructive estimation of anthocyanin content in plant leaves, **Photochem. Photobiol.**, 74, p. 38 – 45. 2001.

GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, A. B.; RODRÍGUEZ-PÉREZ, J. R.; MARCELO, V.; VALENCIANO, J. B. Using field spectrometry and a plant probe accessory to determine leaf water content in commercial vineyards. *Agricultural Water Management* v.156, 2015.

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.; LAMB D. 2003. Characterising and mapping vineyard canopy using high-spatial-resolution aerial multispectral images. **Computers & Geosciences**, n.29, p. 813–822. 2003

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.

HALL, A.; LAMB D.W.; HOLZAPFEL B., LOUIS J. Optical remote sensing applications in viticulture – a review. **Aust J Grape Wine Res** 8, p. 36-47. 2002.

HALL, A.; LOUIS, J.P.; LAMB, D.W. Low-resolution remotely sensed images of winegrape vineyards map spatial variability in planimetric canopy area instead of leaf area index. **Australian Journal of Grape and Wine Research** 14, 9–17, 2008.

HAN, S.; HUMMEL, J.W.; GOERING, C.E.; CAHN, M.D. Cel size for site-specific crop management. **Transactions of the ASAE**, v.37, n.1, p.19-26, jan/fev. 1994.

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. p. 227-289. 1978.

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

HOUTE, A.R.; LIU, H.Q.; BATCHILY, K.; VAN LEEUWEN, W. A Comparison of Vegetation Indices over a Global Set of TM Images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, n.59, p.440-451, 1997.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) Mapas temáticos do Projeto RADAMBRASIL do Rio Grande do Sul na escala 1:250.000. IBGE/SAA-RS, Florianópolis, CD-ROM (Convênio entre IBGE e Secretaria da Agricultura e Abastacimento do RS). 2003.

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**, v.18 (22), p. 3730-3731, 1979.

JACKSON, R.D.; HUETE, A.R. Interpreting vegetation indices. **Preventive Veterinary Medicine**, v.11, n.3-4, p.185-200, 1991.

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

JOHNSON, L.F.; ROCZEN D.E.; YOUKHANA S.K.; NEMANI R.R.; BOSCH D.F. Mapping vineyard leaf area with multispectral satellite imagery. **Comput Electron Agric**.v.38, p. 33-44. 2003.

KARAKIZI, C.; OIKONOMOU, M.; KARANTZALOS, K. Spectral Discrimination and Reflectance Properties of Various Vine Varieties from Satellite, UAV and Proximate Sensors. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Volume XL-7/W3, 2015.

KARAKIZI, C.; OIKONOMOU, M.; KARANTZALOS, K. Vineyard Detection and Vine Variety Discrimination from Very High Resolution Satellite Data. **Remote Sensing**. 2016.

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.

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.

LACAR, F.M.; LEWIS, M. M.; GRIERSON, I.T. Use of hyperspectral reflectance for discrimination between grape varieties. In : Proc. IEEE **International Geoscience and Remote Sensing Symposium (Sydney, Australia)**, vol. 6, p. 2878-2880, 2001.

KANDYLAKIS, Z.; KARANTZALOS, K. Precision Viticulture from Multitemporal, Multispectral Very High Resolution Satellite Data. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, 2016.

LAMB, D.W.; BRAMLEY, R.G.V. Managing and monitoring spatial variability in vineyard productivity. **Natural Resource Management** 4, p. 25–30. 2001.

LAMB D.W.; WEEDON M.M. and BRAMLEY R.G.V. Using remote sensing to predict phenolics and colour at harvest in a Cabernet Sauvignon vineyard : Timing observations against vine phenology and optimising image resolution. **Australian Journal of Grape and Wine Research**.V.10, 46-54. 2004.

LAMPARELLI, R.A.C.; ROCHA, J.V.; BORGHI E. **Geoprocessamento e agricultura de precisão**, Guaíba: Agropecuária, (2001), 118 p.

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

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

LOURENÇO, R. W.; LANDIM, P. M. B. Estudo da variabilidade do “índice de vegetação por diferença normalizada/NDVI” utilizando krigagem indicativa. **HOLOS environment**, v. 4, n. 1, p. 38-35, 2004.

MALHOTRA, N. K. **Pesquisa de marketing: uma orientação aplicada** (3a ed.). Porto Alegre: Bookman, 2001.

MANDELLI, F.; BERLATTO, M. A.; TONIETTO, J.; BERGAMASCHI, H. . Fenologia da videira na Serra Gaúcha. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 9, n. 1-2, p. 129-144, 2003.

MANZATTO, C.V.; BHERING, S.B.; SIMÕES, M. Agricultura de precisão: propostas e Embrapa ações da Embrapa solos. EMBRAPA Solos, 1999. Disponível em <<http://www.cnps.embrapa.br/search/pesqs/proj01/proj01.html>> Acesso em: 15 Fev. 2013.

MAROCO, J. 2007. **Análise estatística com utilização do SPSS**. 3. ed. Lisboa: Edições Sílabo.

MARTINEZ-CASASNOVAS J.A.; AGELET-FERNANDEZ J.; ARNO J.; RAMOS M.C. Analysis of vineyard differential management zones and relation to vine development, grape maturity and quality. **Spanish Journal of Agricultural Research**. v.10(2), p. 326-337. 2012.

MARTÍN, P.; ZARCO-TEJADA, P. J.; GONZÁLEZ, M. R.; BERJÓN, A. Using hyperspectral remote sensing to map grape quality in 'Tempranillo' vineyards affected by iron deficiency chlorosis. **Vitis Journal of grapevine Reseach**, v.46,p. 7–14. 2007.

MELLO, L. M. R. **Vitivinicultura brasileira: panorama 2010**. BENTO Gonçalves: Uva e Vinho, 2010.

MERZLYAK, M. N.; GITELSON, A. A.; CHIVKUNOVA, O. B.; SOLOVCHENKO, A. E.; POGOSYAN, S. I. (2003). Application of reflectance spectroscopy for analysis of higher plant pigments. **Russian Journal of Plant Physiology**, 50(5), 704–710.

MIELE, A.; MANDELLI, F. **Uvas Viníferas para Processamento em Regiões de Clima Temperado: sistemas de condução**. Sistema de Produção, Bento Gonçalves, n. 4, 2003.

MIRANDA, E.E. Quem precisa da agricultura de precisão?.**Informática Brasileira em Análise**. EMBRAPA Monitoramento por Satélite, 1999. Disponível em <http://www.cesar.org.br/analise/n_20/artigon_20.html> Acesso em: 15 Fev. 2013.

MOLIN, J.P.; RIBEIRO FILHO, A.C.; TORRES, F.P.; SHIRAI, L.E.; SARTORI, S. Precision agriculture for coffee in Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 6., 2002, Minneapolis. **Proceedings...** Minnesota: ASA/CSSA/SSSA. p. 578-587. 2002.

MONTERO F.J.; MELIÁ J.; BRASA A.; SEGARRA D.; CUESTA A.; LANJERI S. Assessment of vine development according to available water resources by using remote sensing in La Mancha, Spain. **Agric Water Manage** v. 40, p. 363-375. 1999.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto e Metodologia de Aplicação**. 1. ed. São José dos Campos, SP: UFV. 250 p. 2001.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 42p.

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. **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.

O'CONNELL, J.L.; BYRD, K. B.; KELLY, M. Remotely-Sensed Indicators of N-Related Biomass Allocation in *Schoenoplectus acutus*. **Plos One**, 2014. V9 Issue 3.

OLLINGER, S. V. Sources of variability in canopy reflectance and the convergent properties of plants. **New Phytologist** (2011) 189: 375–394.

ORTEGA, R.; ESSER, A. Viticultura de Precisión: **Fundamentos, aplicaciones y oportunidades en Chile**. Pontificia Universidad Católica de Chile, p.1-10. 2002.

PIERCE, J.F., NOWAK, P. Aspects of precision agriculture. **Advances in Agronomy**, v.67, p.1-85. 1999.

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

PROFFITT, T.; BRAMLEY, R.; LAMB, D.; WINTER, E. **Precision viticulture: a new era in vineyard management and wine production**. Ashford: Winetitles, 2006. 90 p.

QUEIROZ, D.M.; DIAS, G.P.; MANTOVANI, E.C. Agricultura de Precisão na Produção de Grãos. In: BOREM, A.; GIUDICE, M.P.; QUEIROZ, D.M. et al. (Eds.) **Agricultura de precisão**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2000. p.1-41.

RAMOELO, A.; SKIDMORE, A. K.; CHO, M. A.; SCHLERF, M.; MATHIEU, R.; HEITKONIG, I. M. A. Regional estimation of savanna grass nitrogen using the red-edge band of the spaceborne RapidEye sensor. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation** 19 (2012) 151–162

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.

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

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

ROBINSON, J.; HARDING, J.; VOUILLAMOZ, J. **Wine Grapes**. New York:Harper-Collins, 2012.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 5ª ed. Uberlândia. Ed. da Universidade Federal de Uberlândia. 2003, p. 238.

ROUSE J.W.; HAAS Jr, R.H.; SCHELL J.A.; DEERING D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, Third ERTS **Symposium**, NASA SP-351 I, 309–317, 1973.

ROSSATO, M.S. **Os Climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia**. Tese de Doutorado. UFRGS: Porto Alegre, 2011. 240p.

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.

SANTI, A. L. **Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão**. Tese de Doutorado. UFSM: Santa Maria, 2007.175p.

SANTOS, A. O.; WAMPLE, R. L.; SACHIDHANANTHAM, S.; KAYE, O. Grape Quality Mapping for Vineyard Differential Harvesting. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. v.55 n.2: p. 193-204, 2012.

SERRANO, L.; GONZÁLEZ-FLOR, C.; GORCHS, G. Assessment of grape yield and composition using the reflectance based Water Index in Mediterranean rainfed vineyards. *Remote Sensing of Environment*. v118, p.249-258. 2012.

SERENO, P. M. V. M. **Viticultura de precisão: Utilização da detecção remota no estudo da variabilidade espacial do vigor, produção e qualidade, castas “SYRAH” E “TOURIGA FRANCA”** Universidade Técnica de Lisboa, Master thesis, Lisboa 2009)

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.

SILVA, P.R.; DUCATI, J.R. Spectral features of vineyards in south Brazil from ASTER imaging. **International Journal of Remote Sensing**, v. 30, n. 23-24, p. 6085-6098, 2009.

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

STEELE, M. R.; GITELSON, A. A.; RUNDQUIST, D. C.; MERZLYAK, M. N. 2009. Nondestructive Estimation of Anthocyanin Content in Grapevine Leaves. **Papers in Natural Resources**. 2009. Paper 283.

TEIXEIRA, A.H de C.; MOURA, M.S. B.; ANGELOTTI, F. **Aspectos Agrometeorológicos da Cultura da Videira**. CNPTIA. EMBRAPA, 2010.

THENKABAIL, P. S.; MARIOTTO, I.; GUMMA, M. K.; MIDDLETON, E. M.; LANDIS, D. R.; HUENNRICH, K. F. Selection of Hyperspectral Narrowbands (HNBS) and Composition of Hyperspectral Twoband Vegetation Indices (HVIs) for Biophysical Characterization and Discrimination of Crop Types Using Field Reflectance and Hyperion/EO-1 Data. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v6, n2, 2013.

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.

TONIETTO, J.; CARBONNEAU, A. Análise mundial do clima das regiões vitícolas e de sua influência sobre a tipicidade dos vinhos: a posição da viticultura brasileira comparada a 100 regiões em 30 países. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE VITICULTURA E ENOLOGIA, 9., 1999, Bento Gonçalves. **Anais**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 1999b. p.75-90.

UPDIKE, T., COMP, C. Radiometric Use of WorldView-2 Imagery. Digital Globe. Technical note. 2010.

WAMPLE R.L., MILLS L., DAVENPORT J.R. Use of precision farming practices in grape production. Proc **IV International Conference on Precision Agriculture**. St Paul, MN, USA, July 19-22. p. 897-905. 1998.

WILLIAMS, L. E. Growth of "Thompson Seedless" grapevines: II. Nitrogen distribution. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, Alexandria, v. 112, p. 330-333, 1987.

XUE, L.; YANG, L. Deriving leaf chlorophyll content of green-leafy vegetables from hyperspectral reflectance. v.64. **ISPRS Journal of Photogrammetry e Remote Sensing** p.97-106. 2008

YANG, Y.; ZHU, J.; ZHAO, C.; LIU, S.; TONG, X. The spatial continuity study of NDVI based on Kriging and BPNN algorithm. **Mathematical and Computer Modelling**, 54 (2011) 1138–1144.

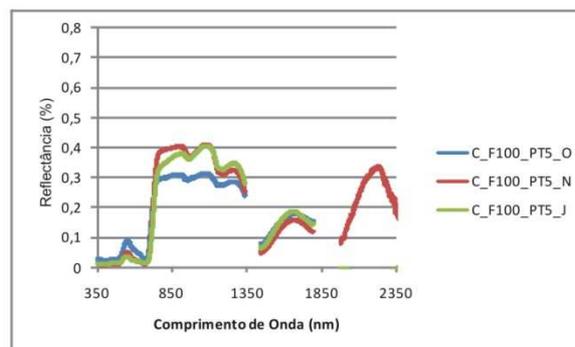
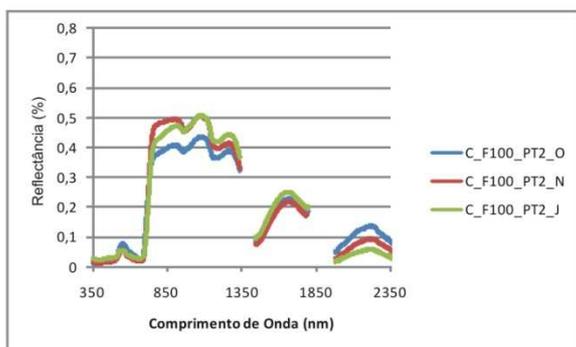
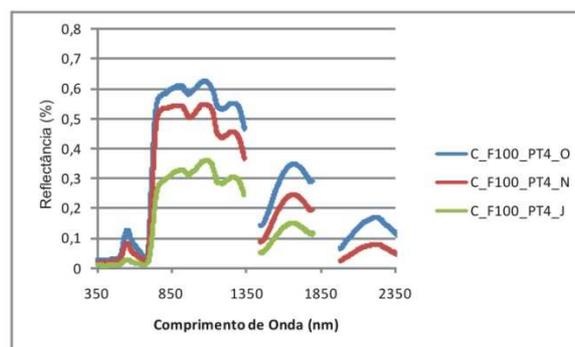
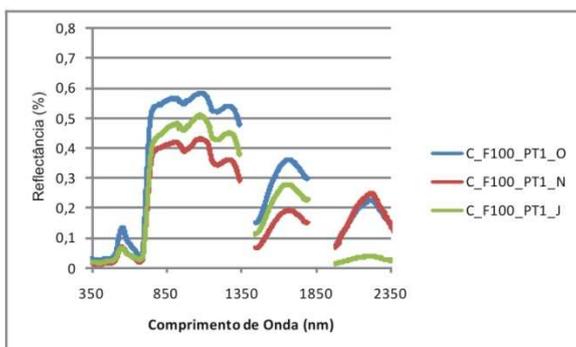
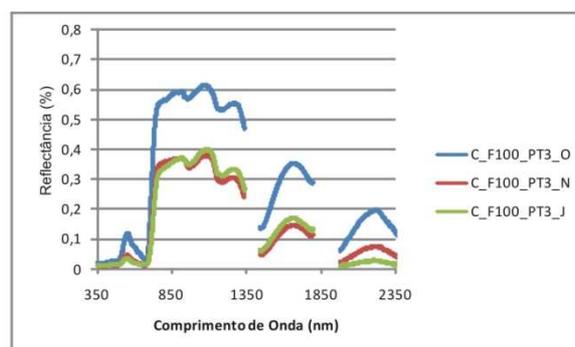
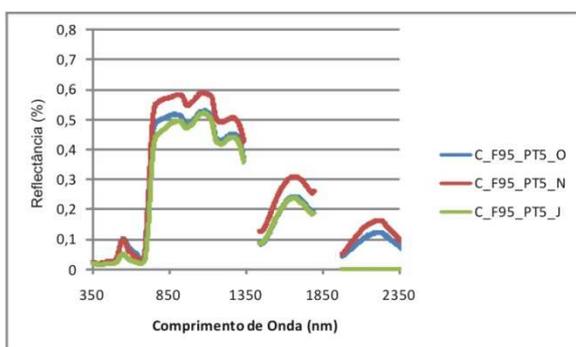
ZWIGGELAAR, R. A review of spectral properties of plants and their potential use for crop / weed discrimination in row-crops. **Crop Protection**, v. 17, n. 3, p. 189–206, 1998.

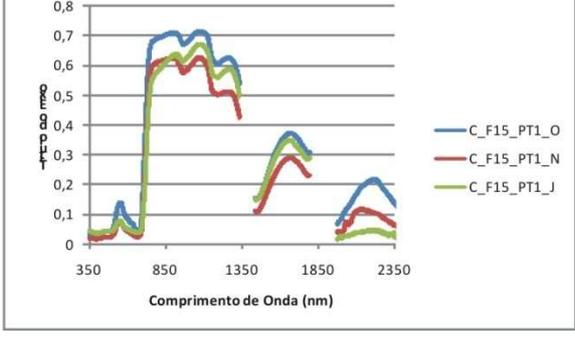
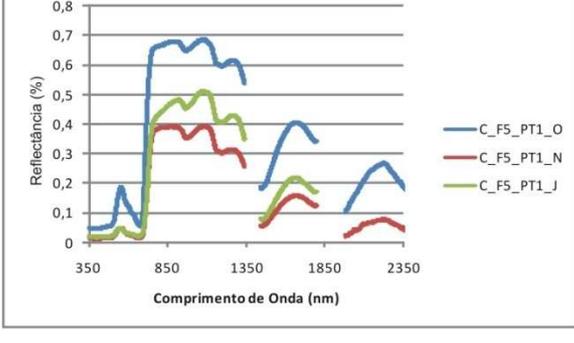
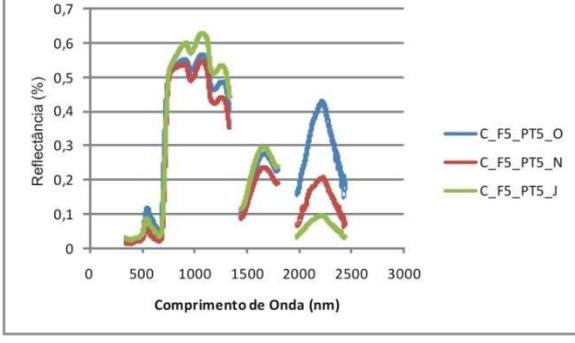
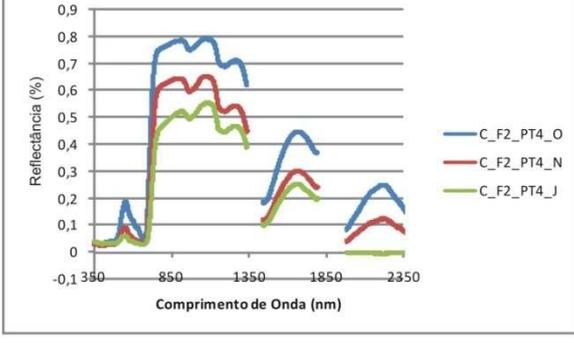
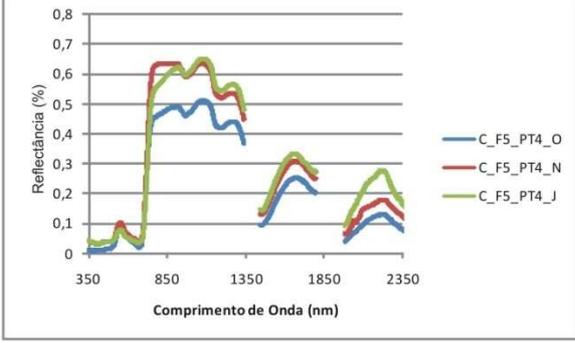
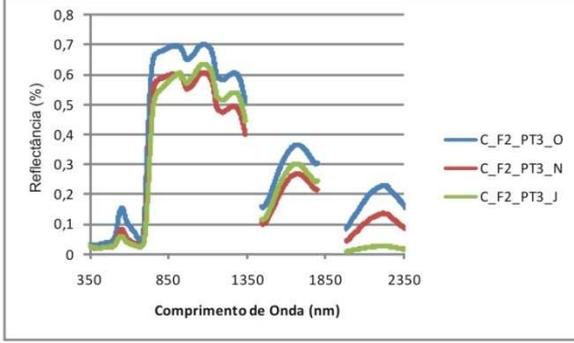
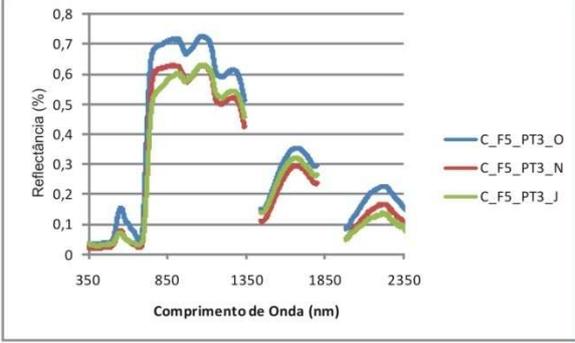
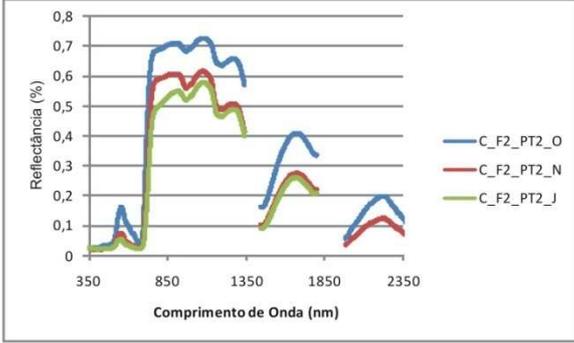
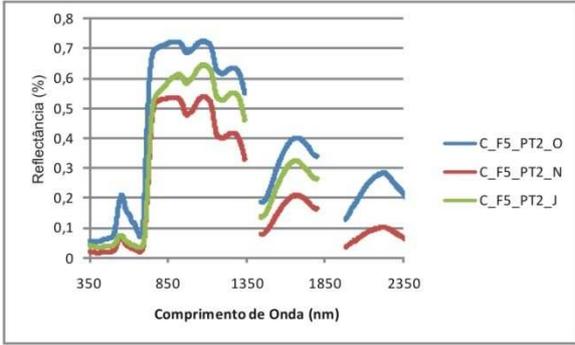
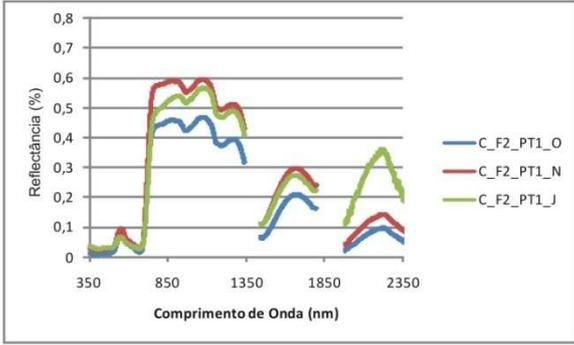
APÊNDICE I

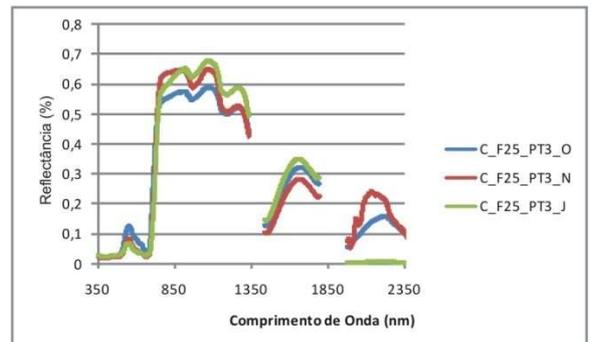
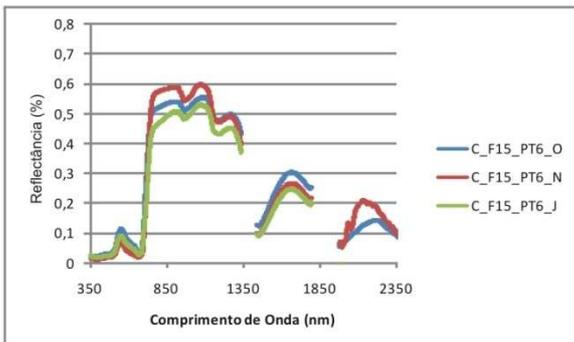
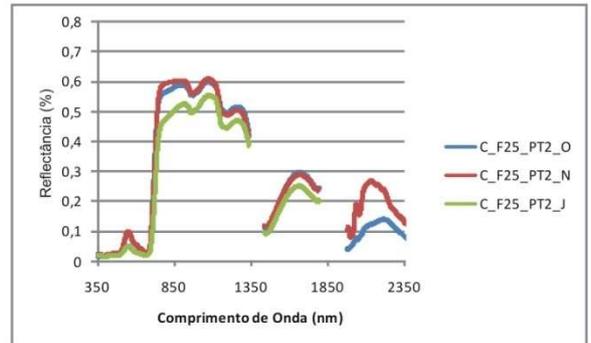
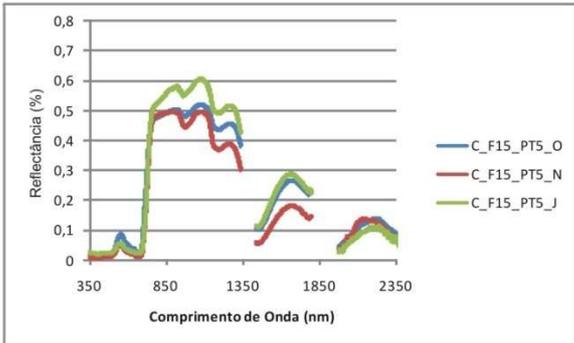
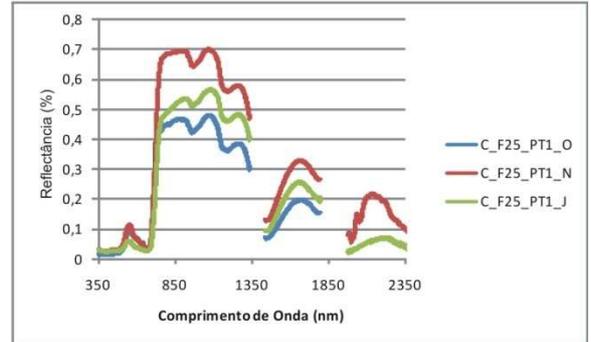
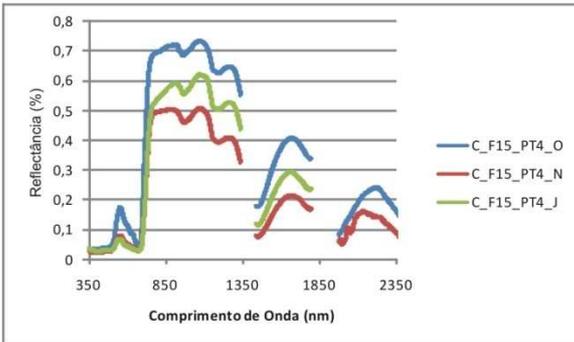
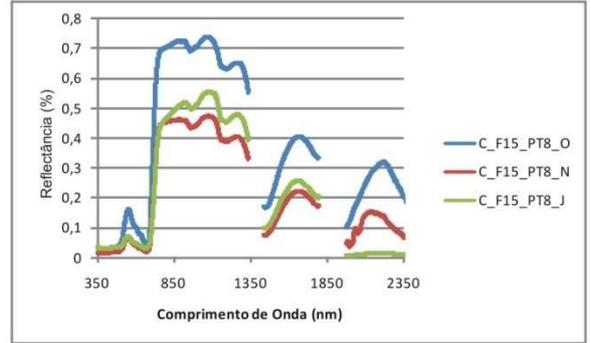
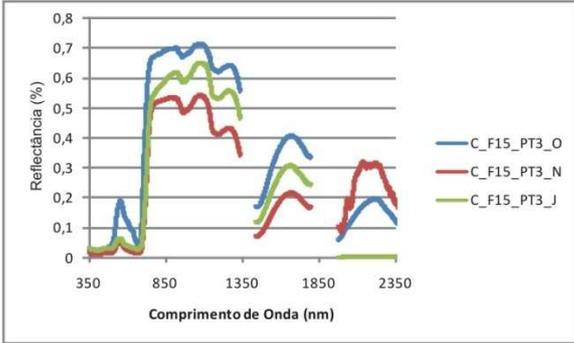
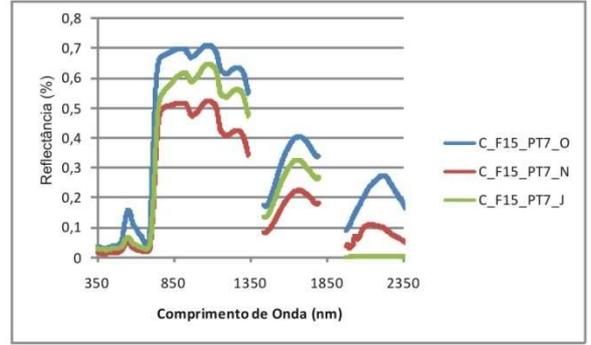
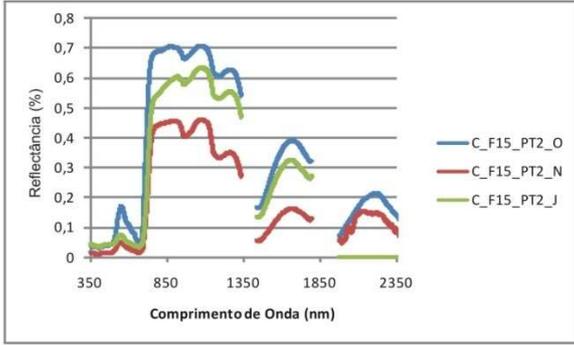
→ Gráficos de todas as plantas amostradas em campo para as safras de 2013/2014 e 2014/2015. Representam a evolução espectral ao longo dos ciclos.

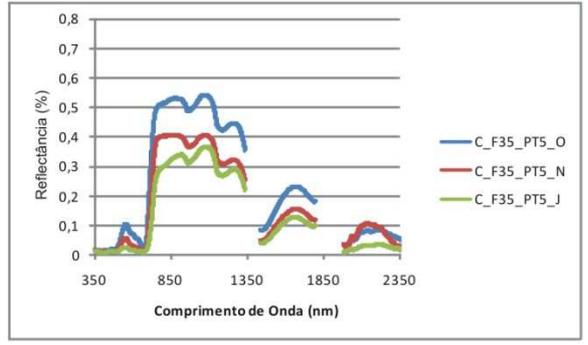
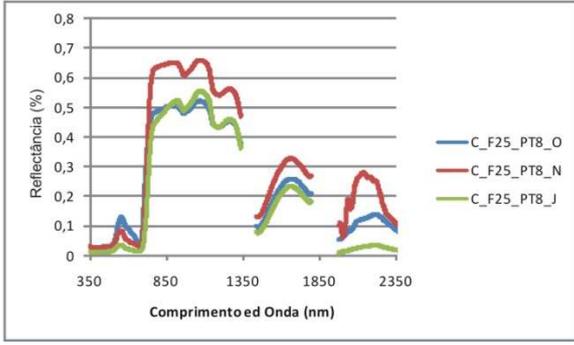
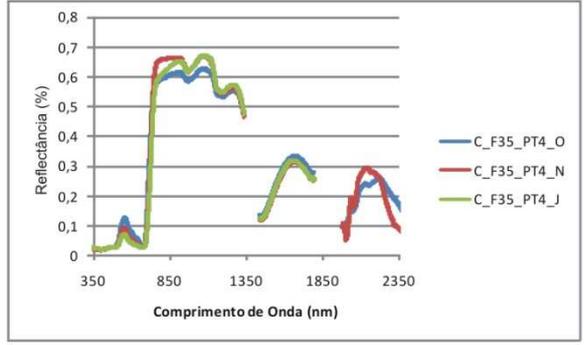
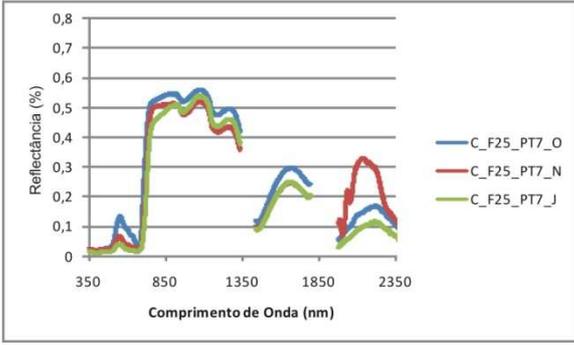
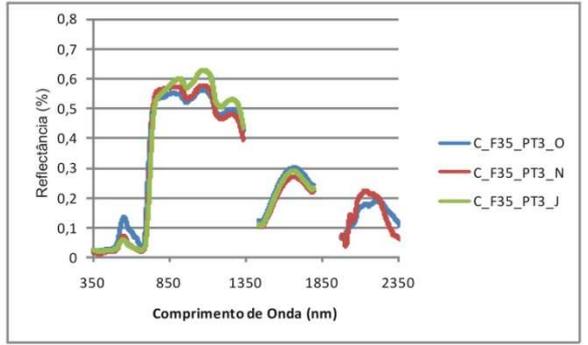
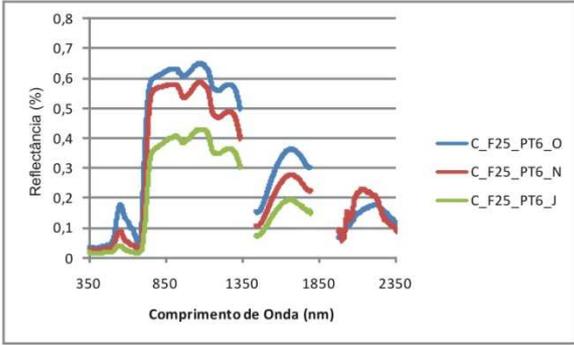
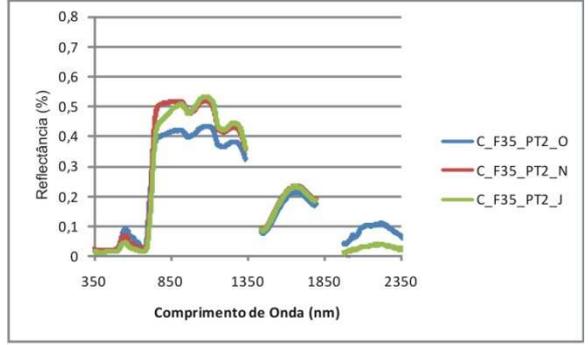
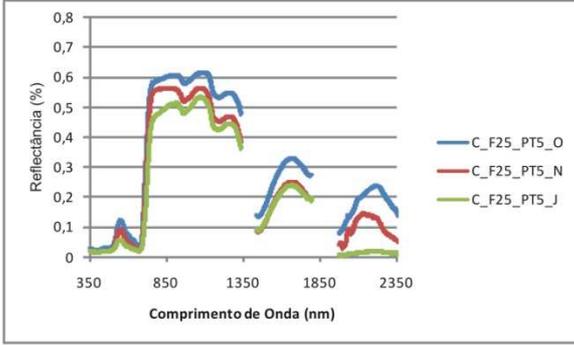
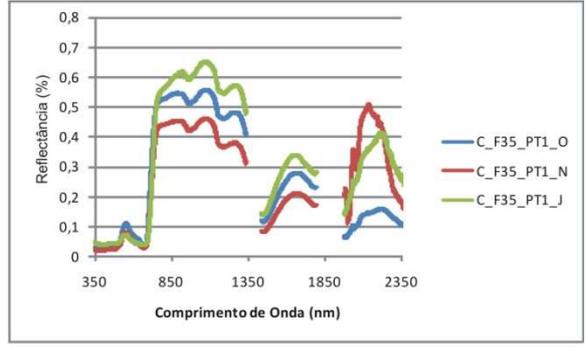
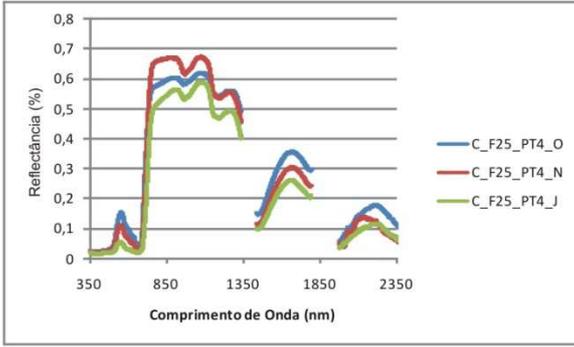
Safra 2013/2014 variedade chardonnay

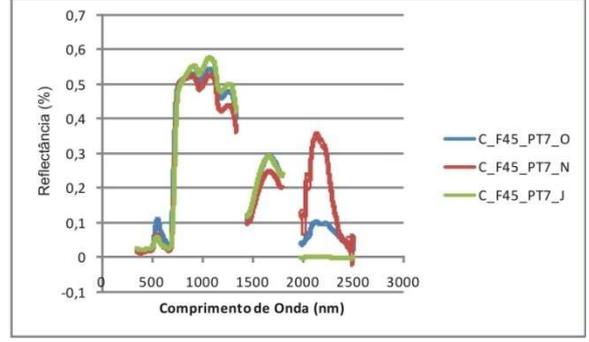
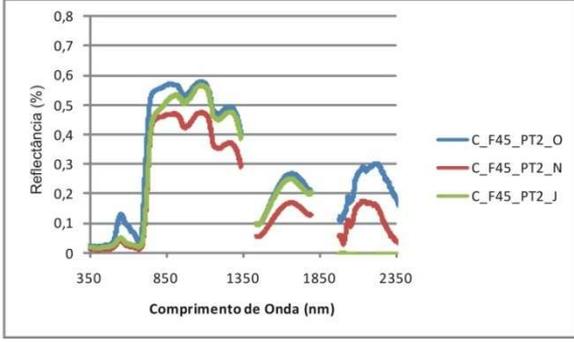
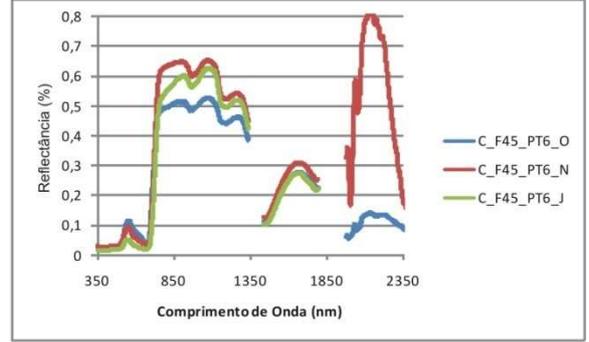
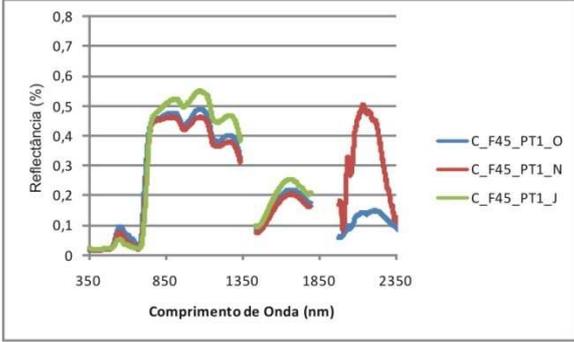
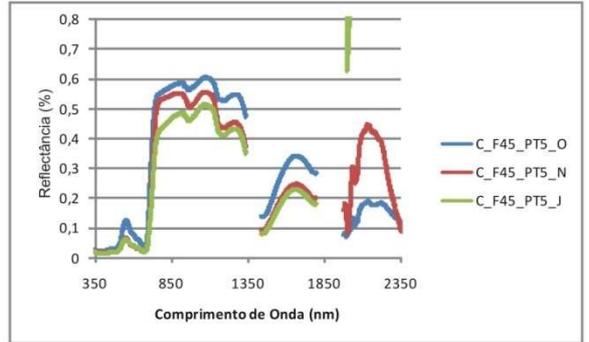
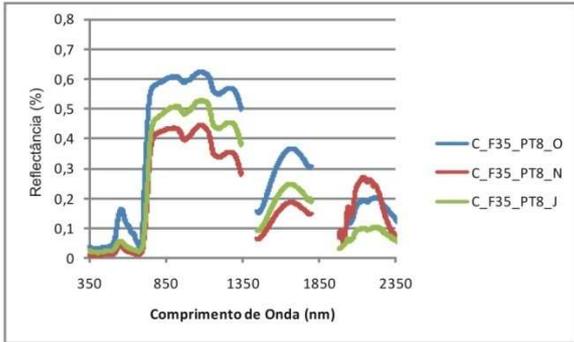
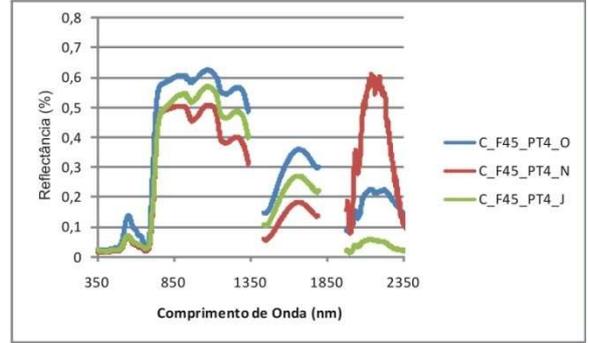
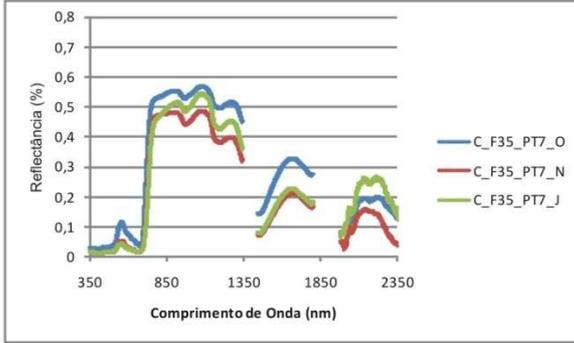
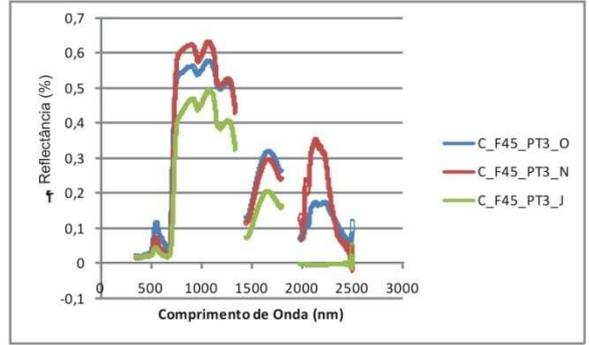
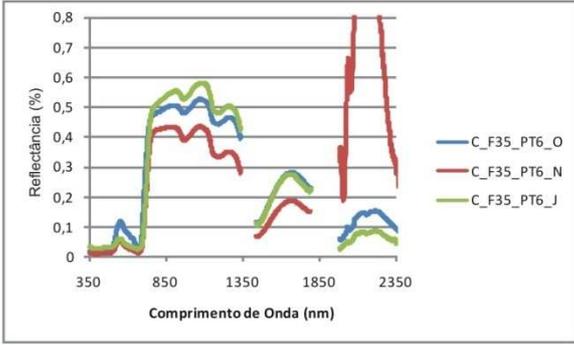
A legenda dos gráficos refere-se: variedade (C=Chardonnay, P= Pinot Noir) fileira da parcela amostrada_planta dentro da fileira_mês de amostragem (O=Outubro, N=novembro, J=janeiro).

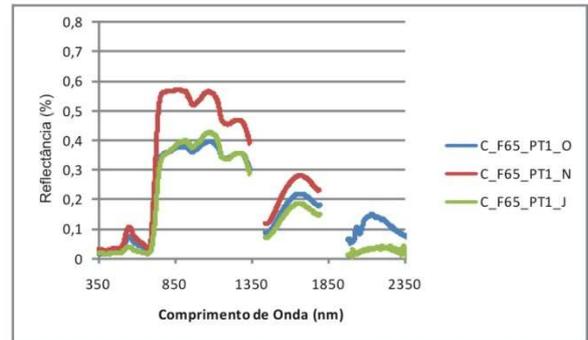
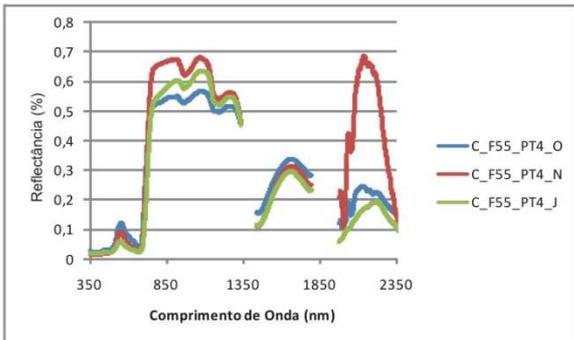
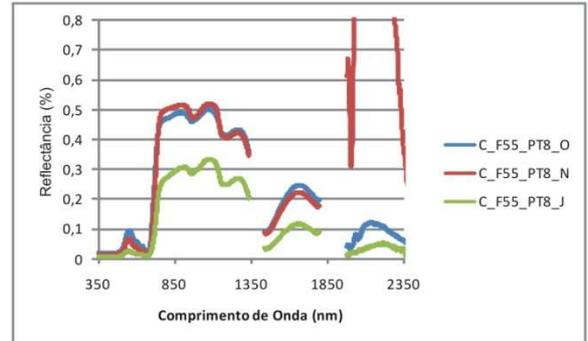
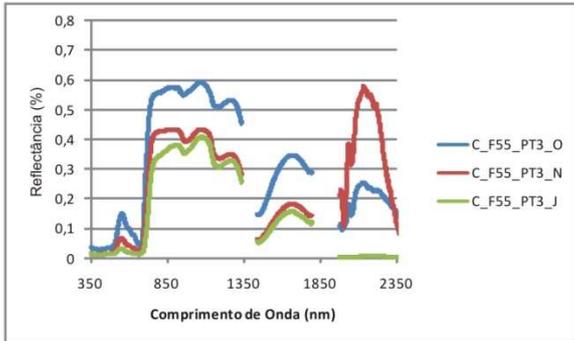
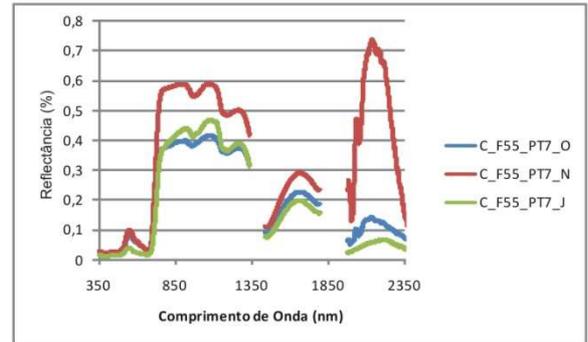
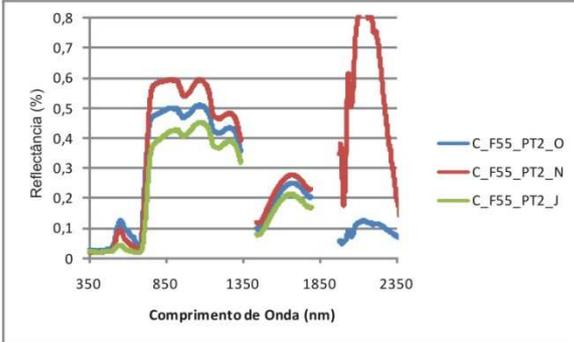
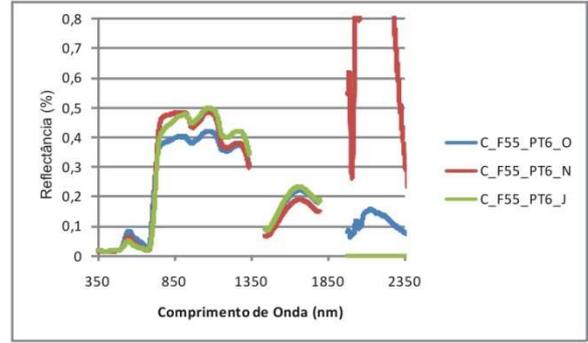
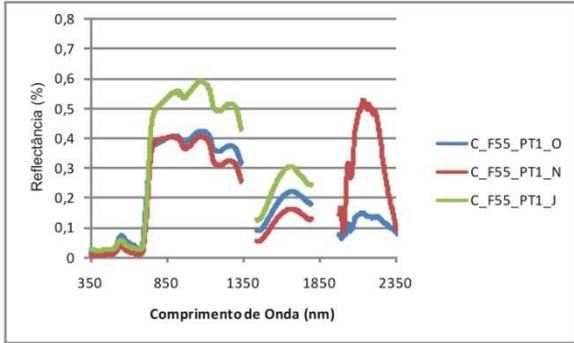
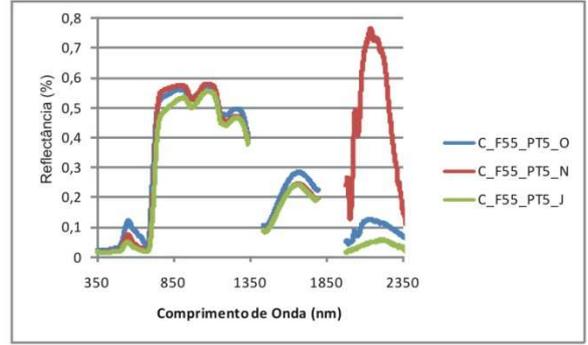
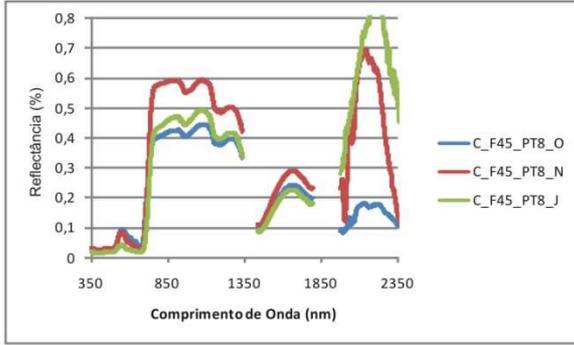


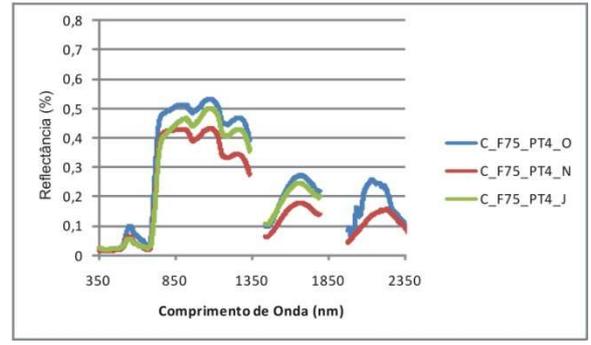
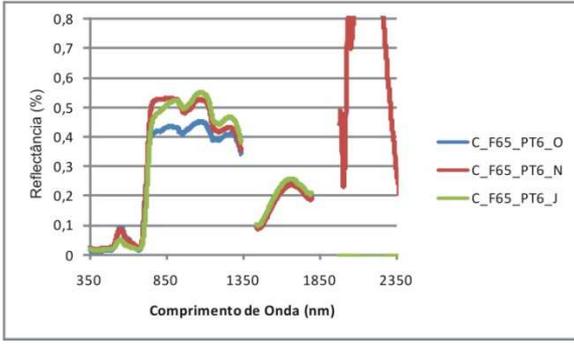
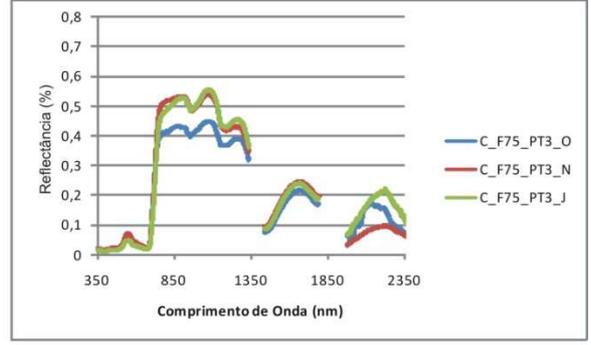
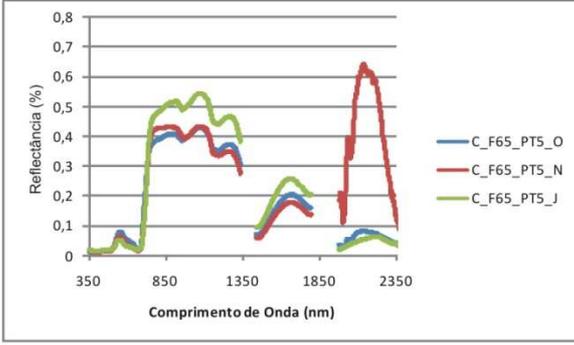
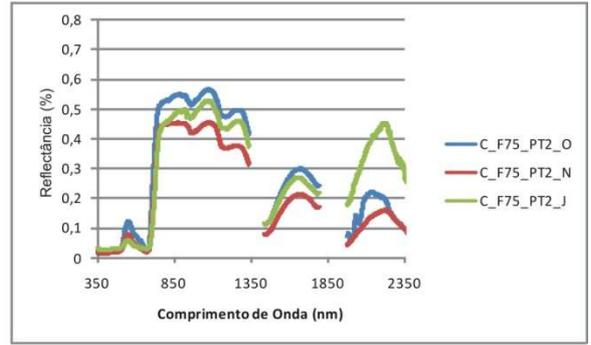
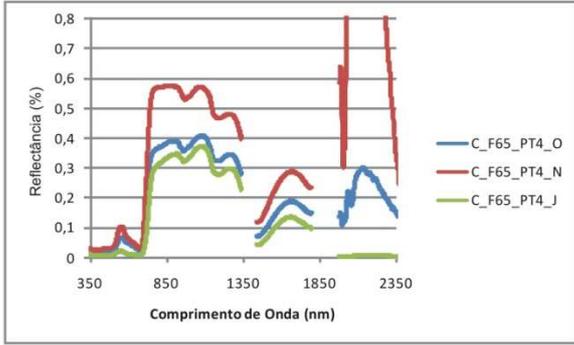
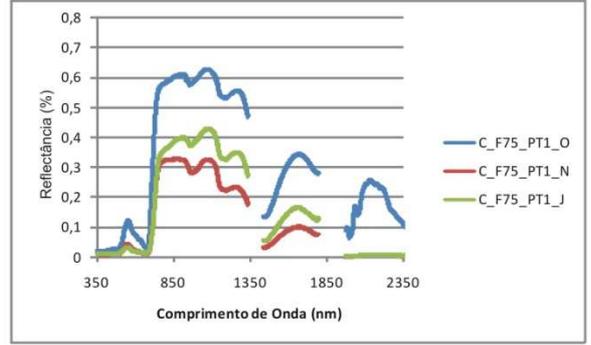
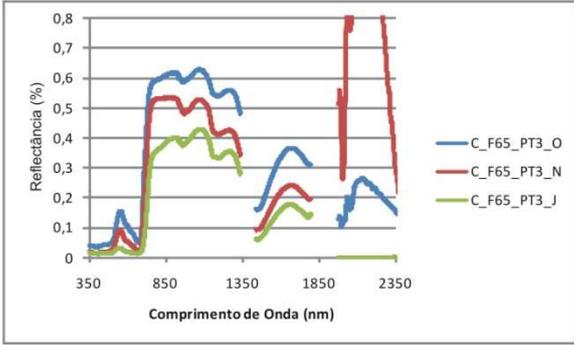
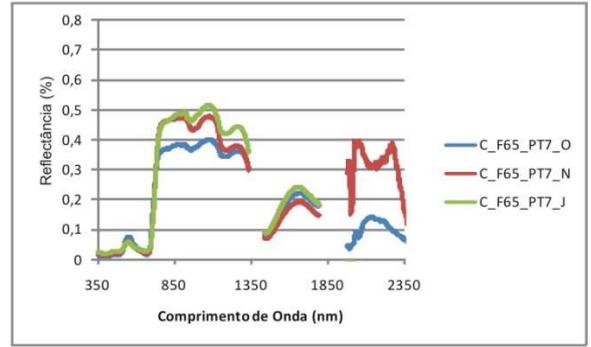
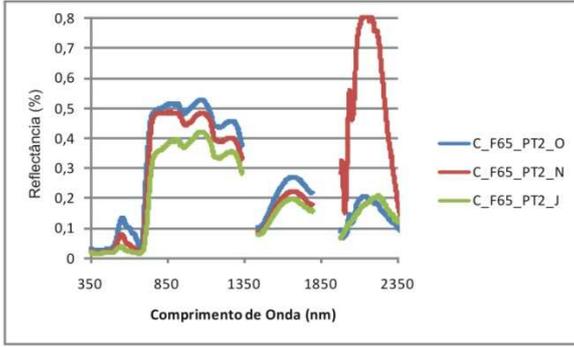


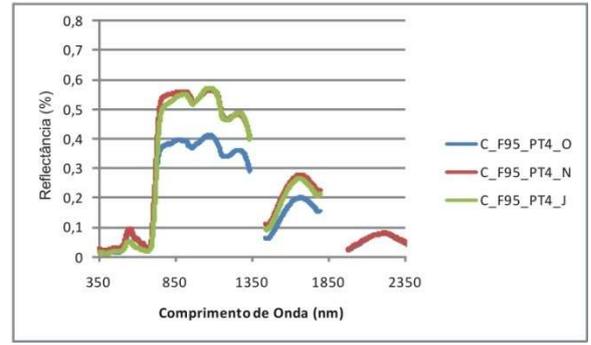
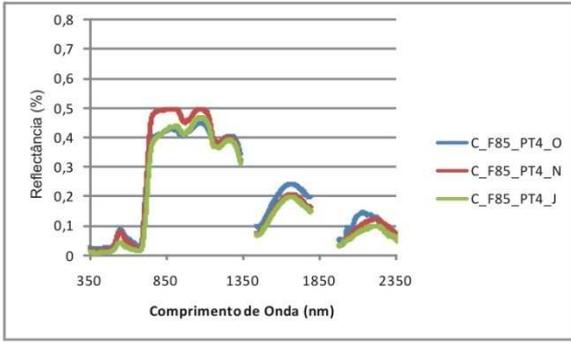
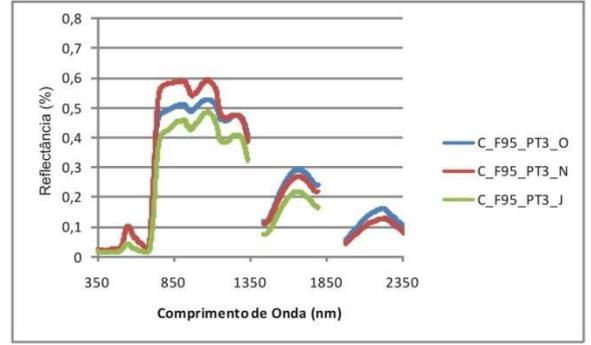
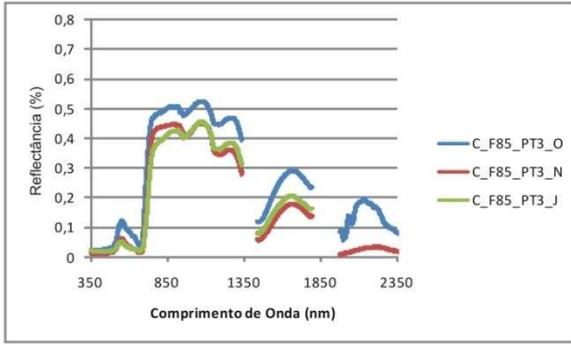
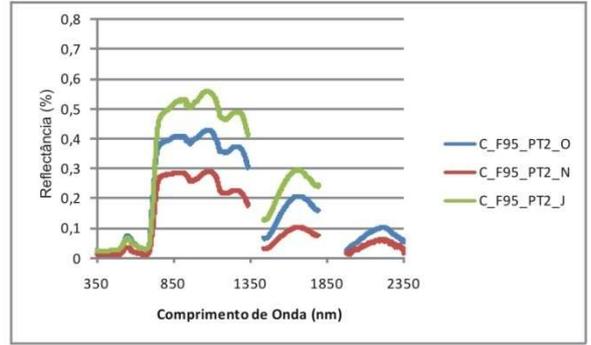
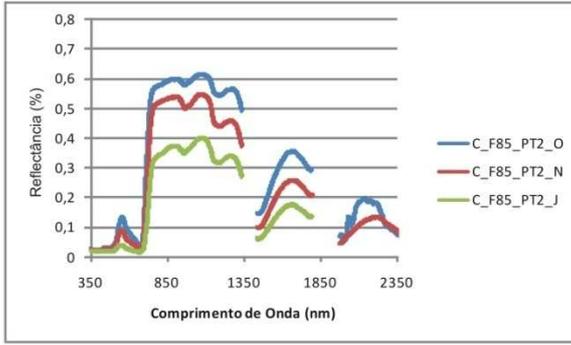
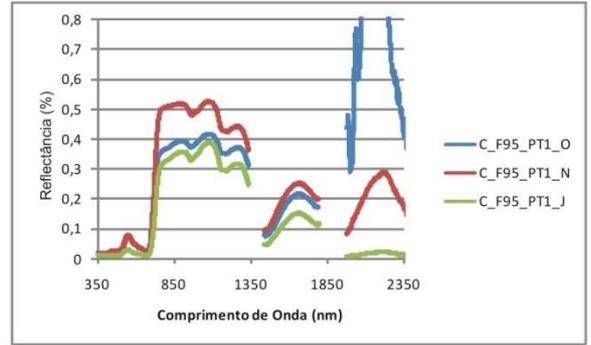
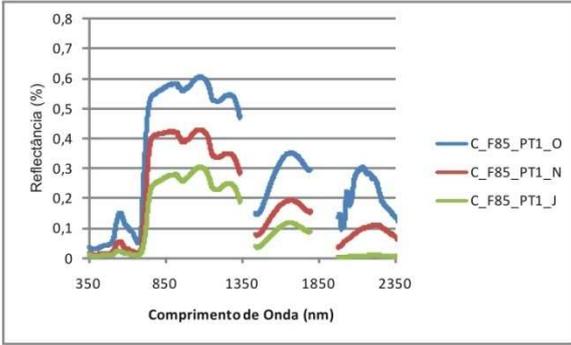
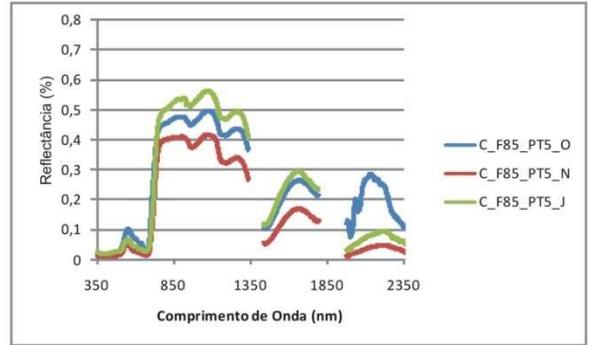
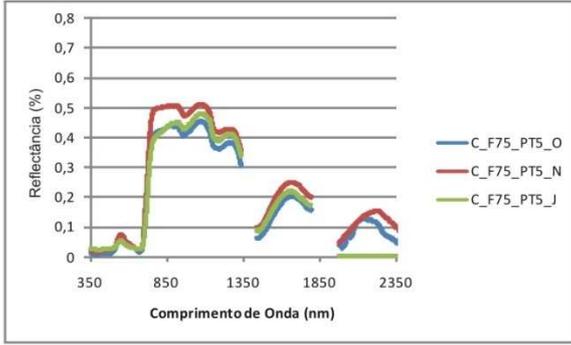






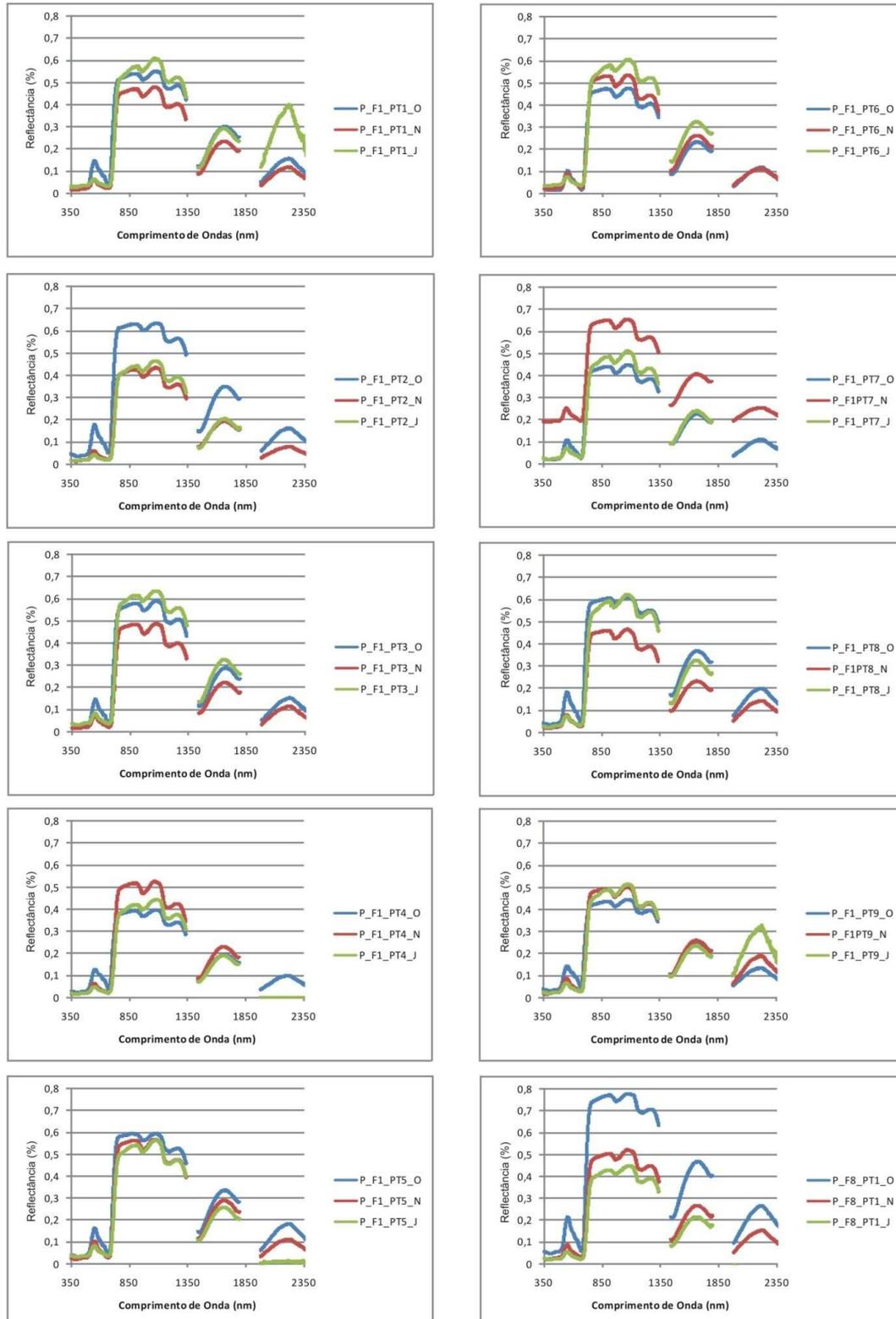


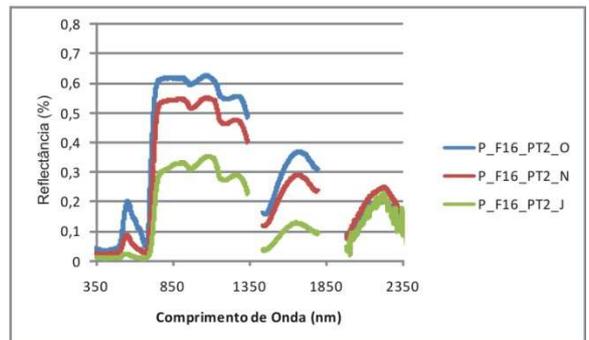
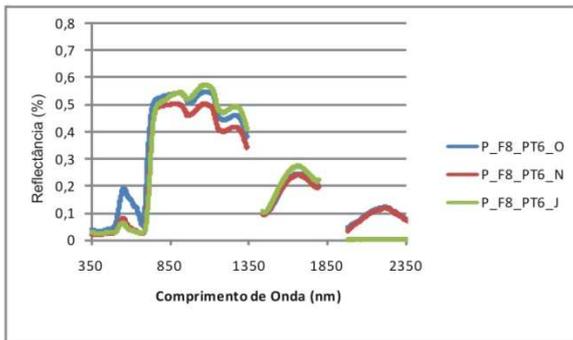
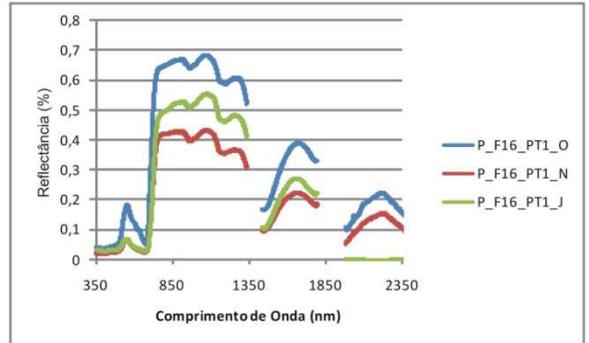
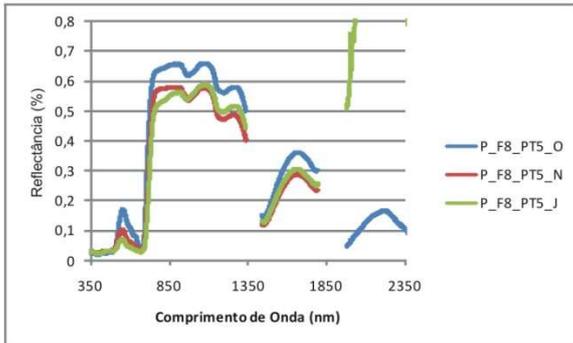
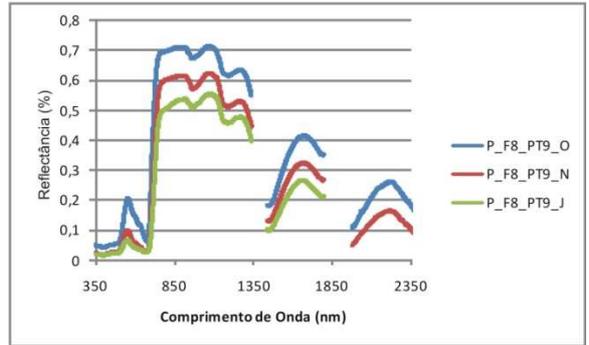
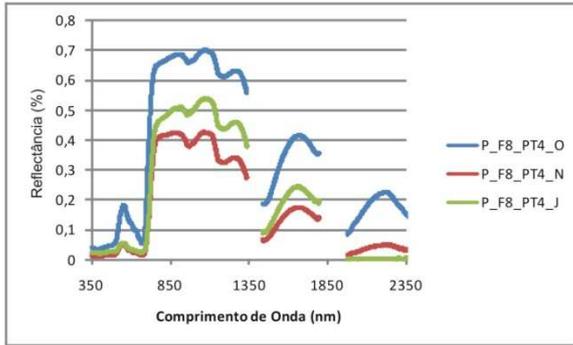
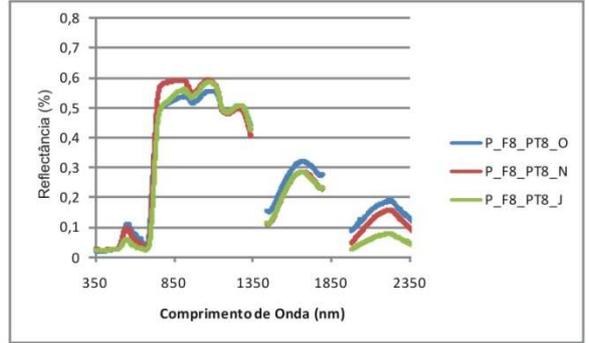
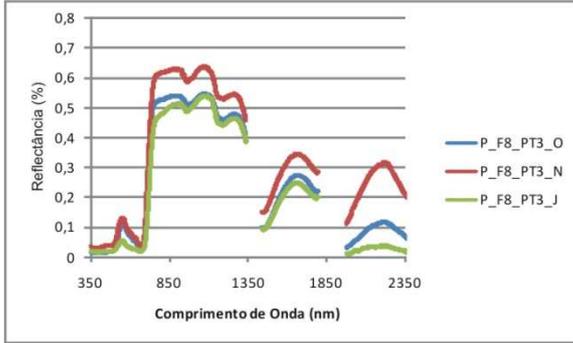
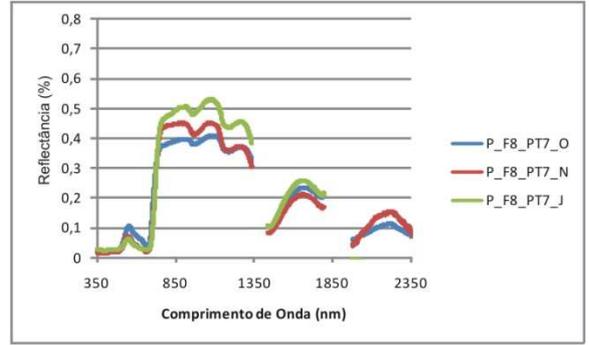
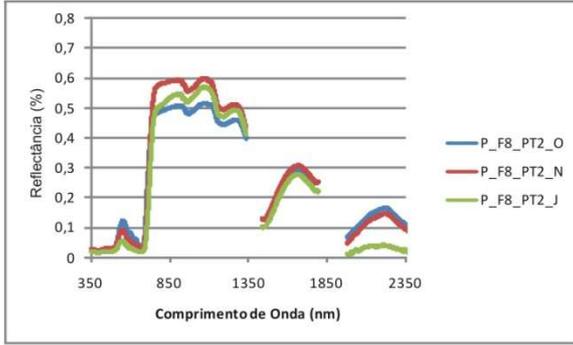


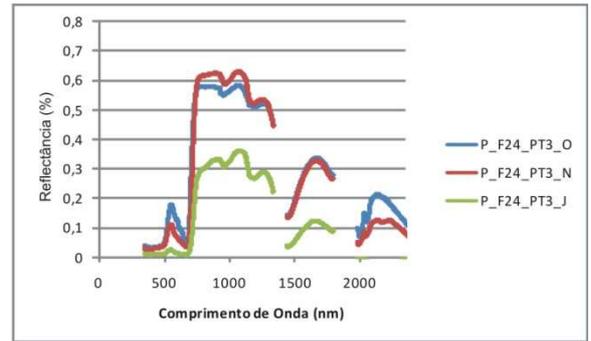
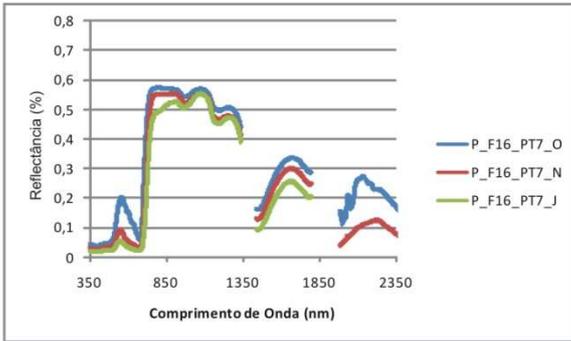
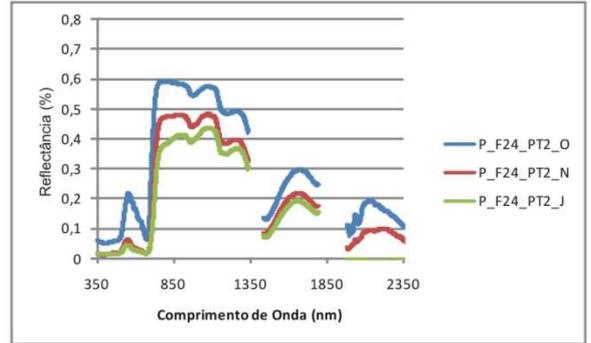
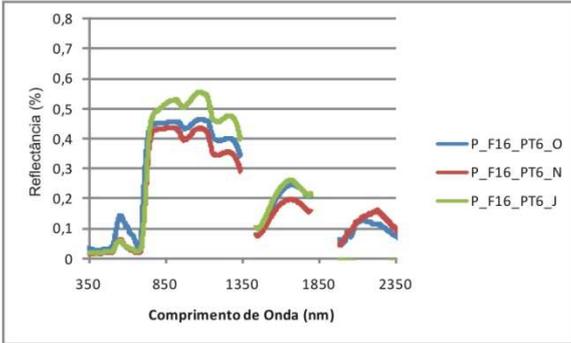
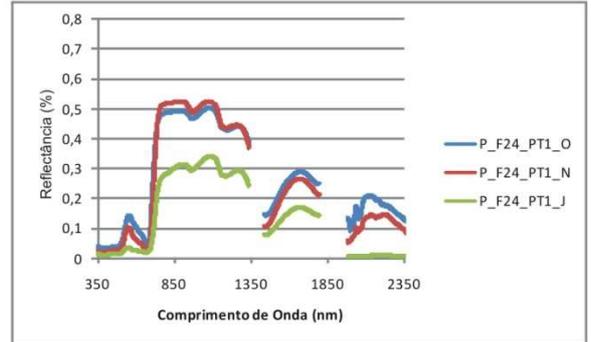
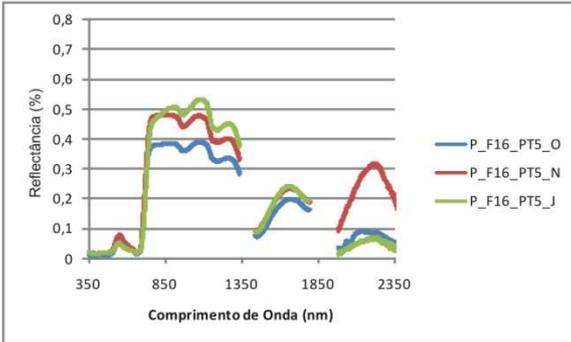
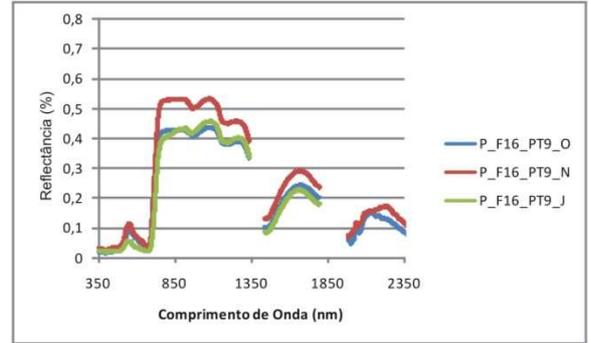
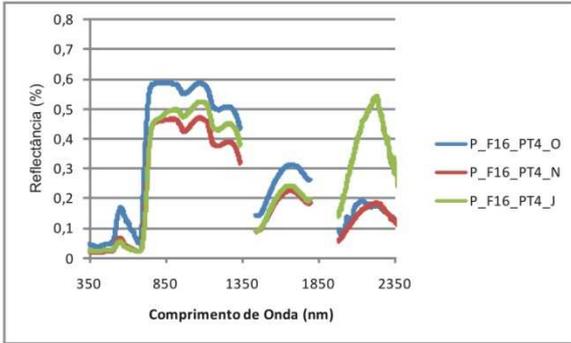
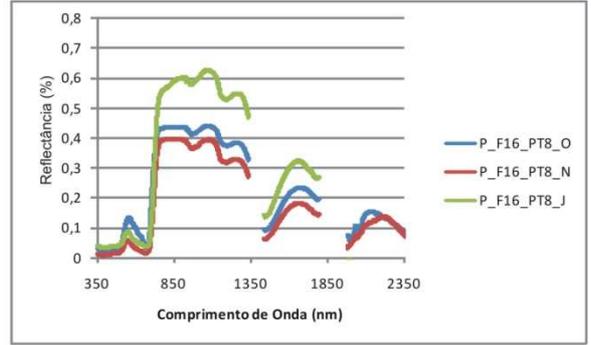
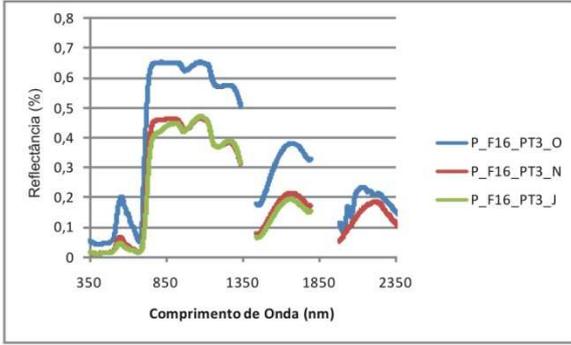


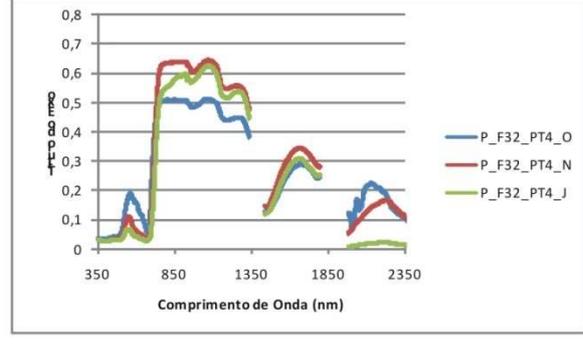
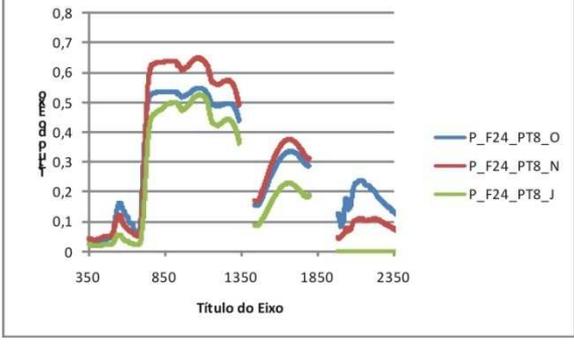
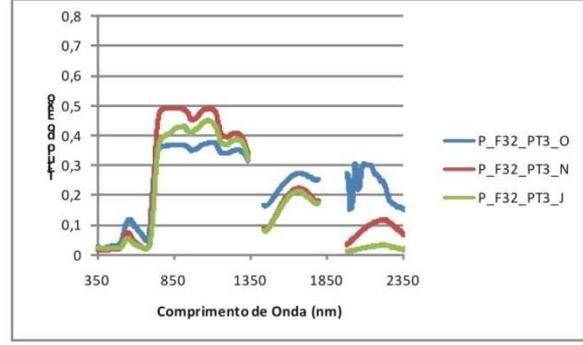
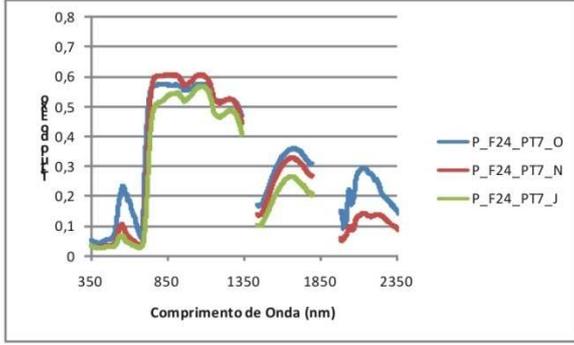
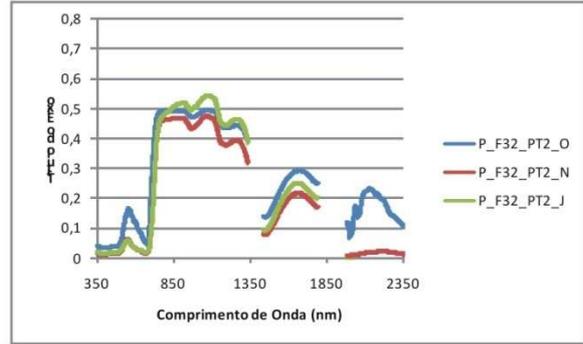
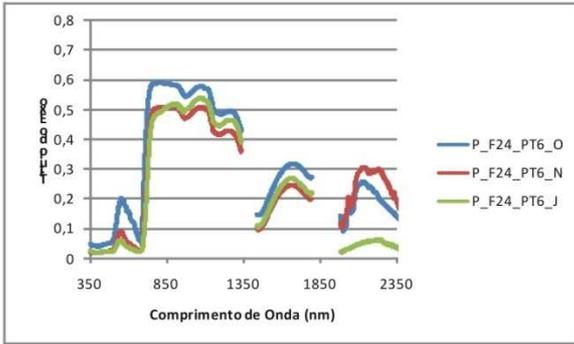
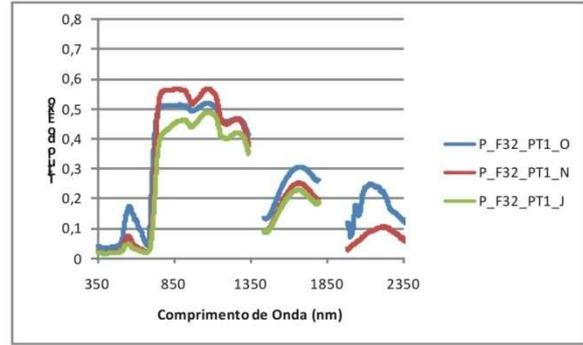
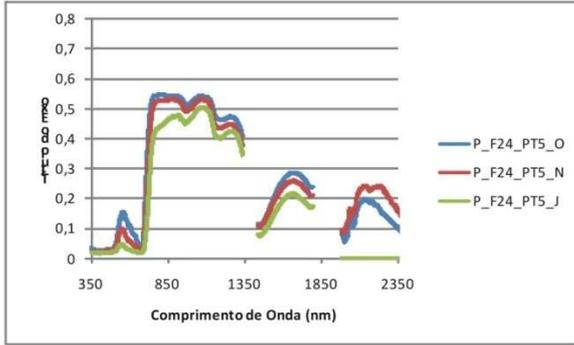
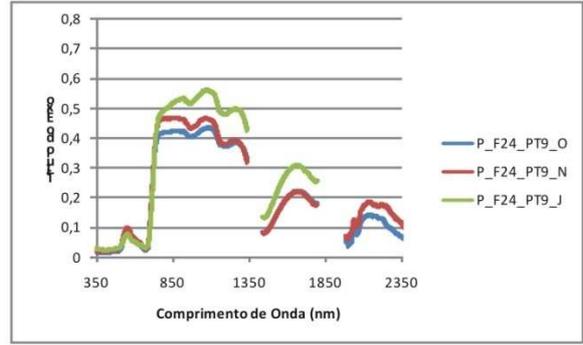
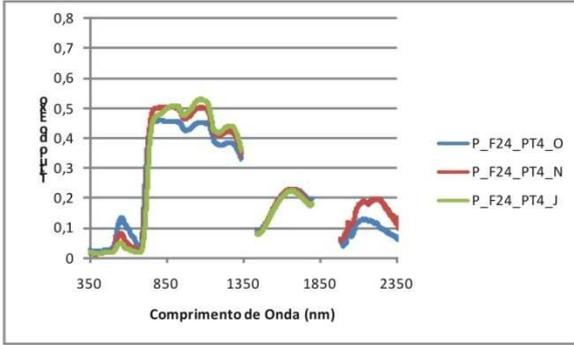
Safra 2013/2014, variedade Pinot Noir

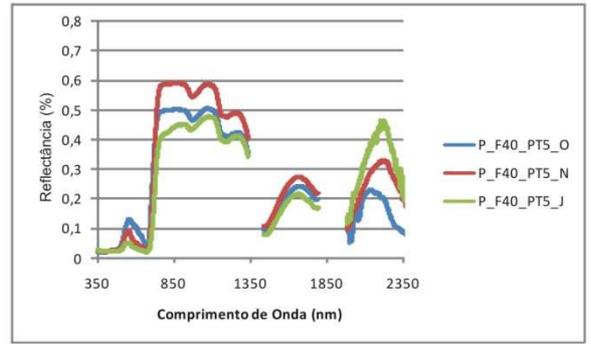
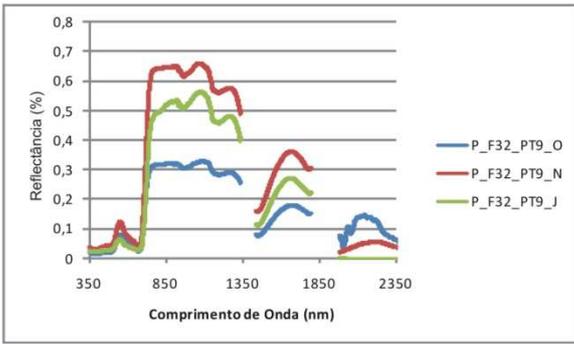
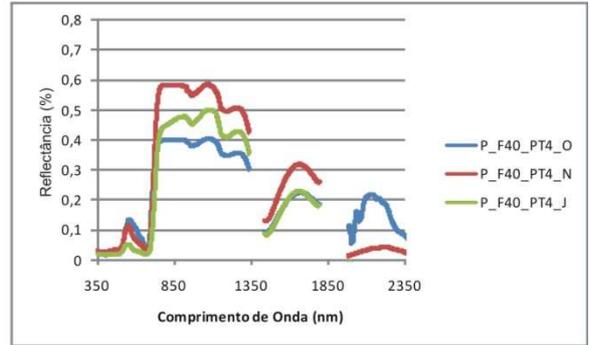
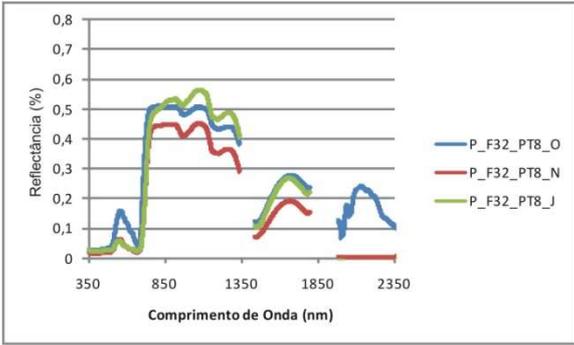
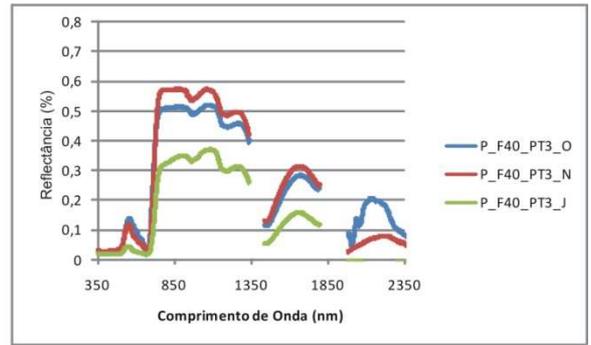
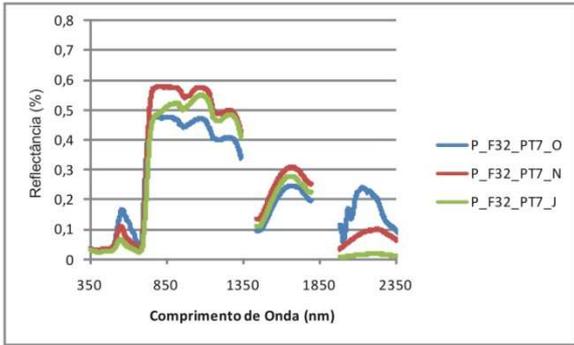
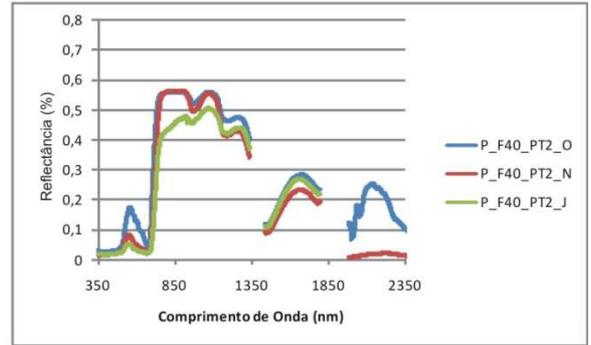
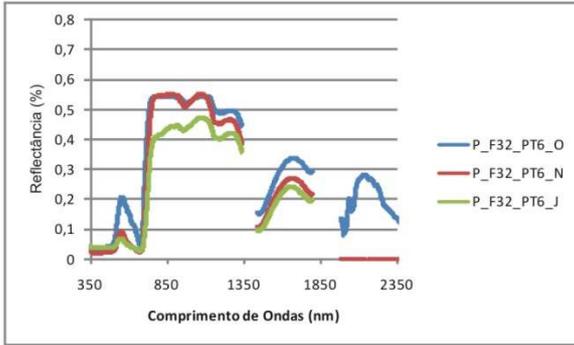
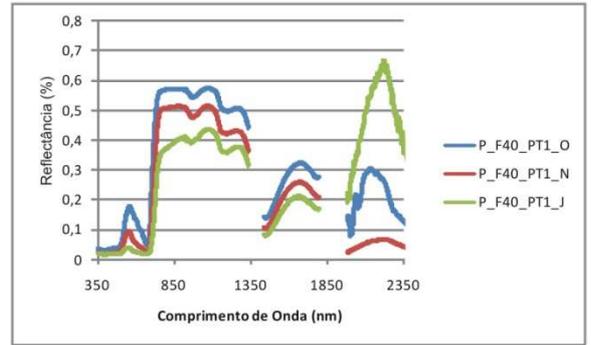
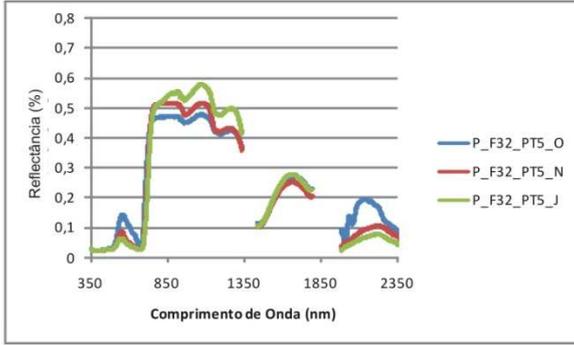
A legenda dos gráficos refere-se: variedade (C=Chardonnay, P= Pinot Noir) fileira da parcela amostrada_planta dentro da fileira_mês de amostragem (O=Outubro, N=novembro, J=janeiro).

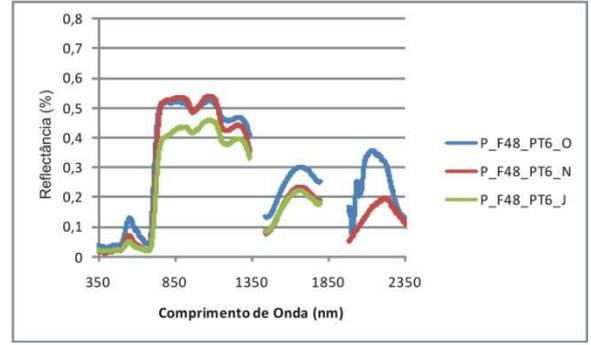
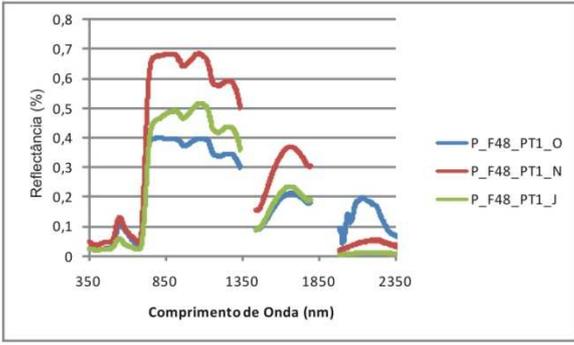
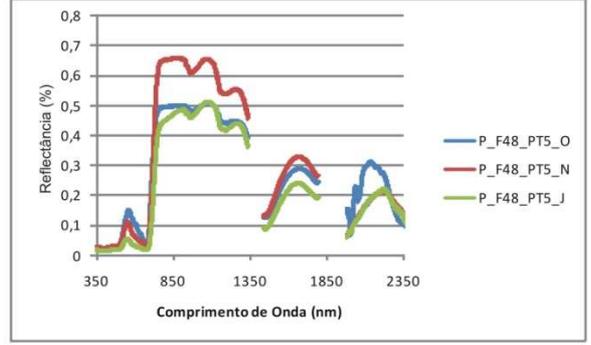
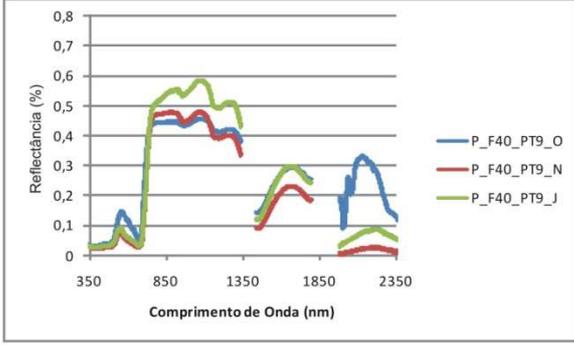
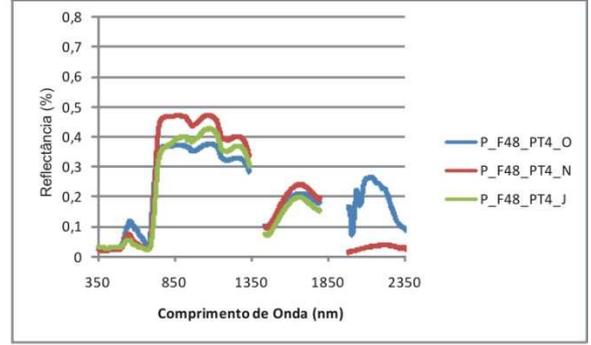
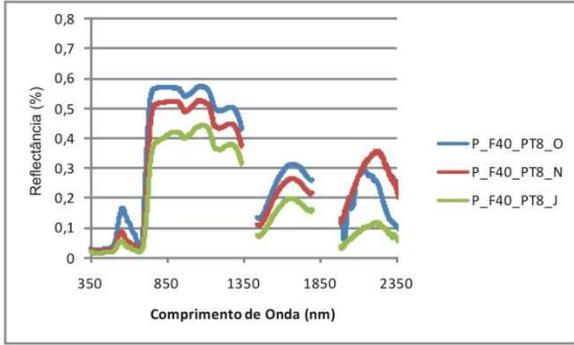
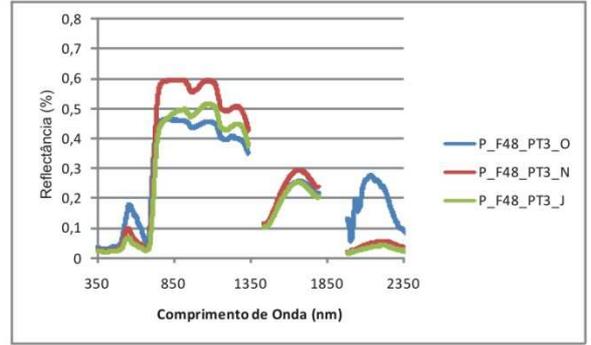
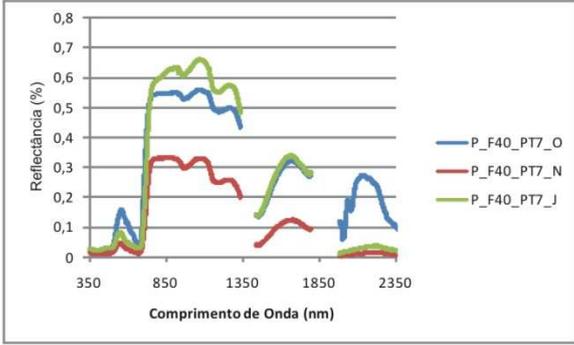
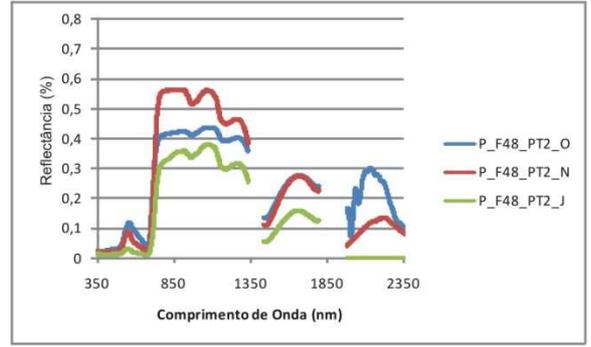
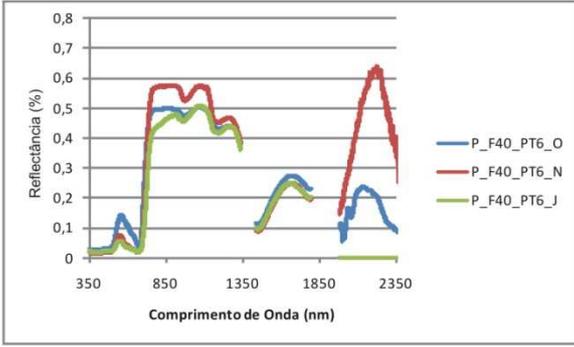


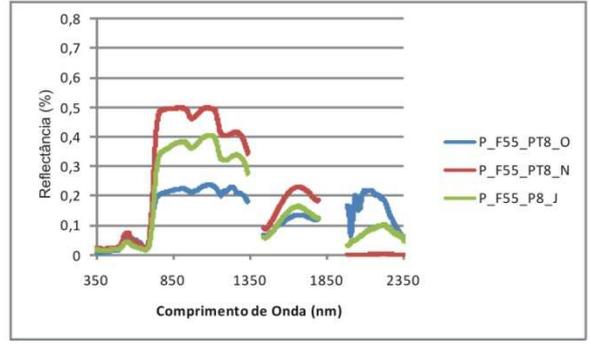
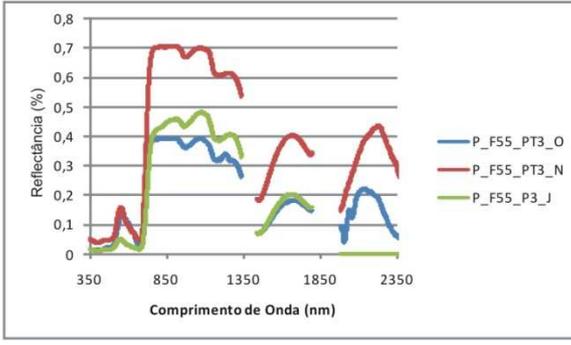
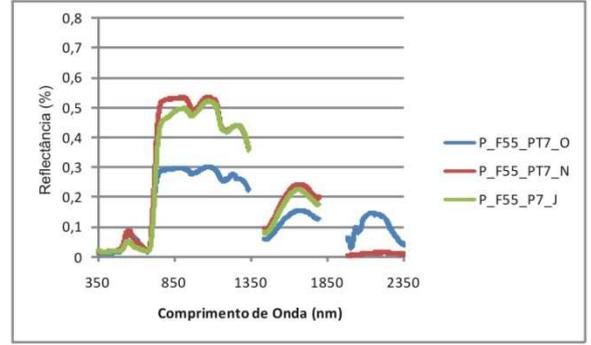
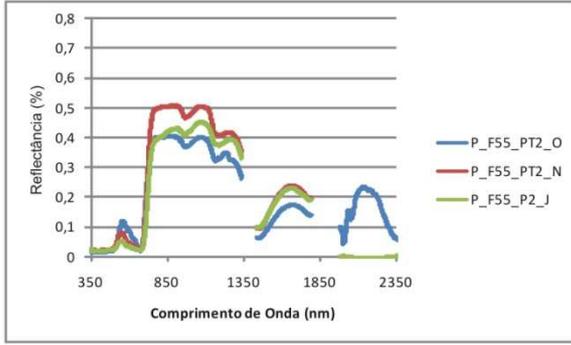
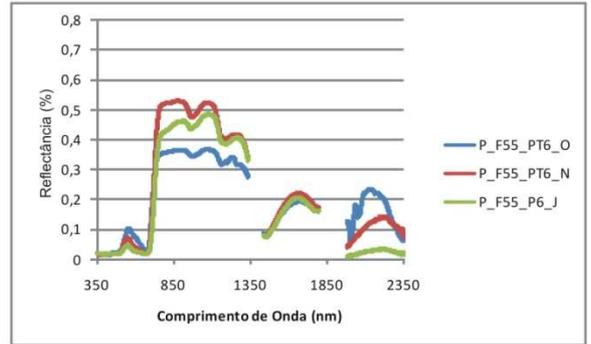
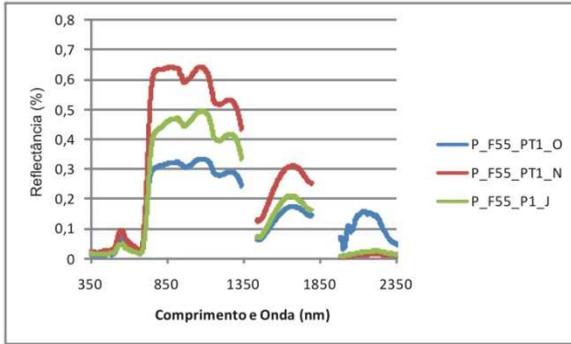
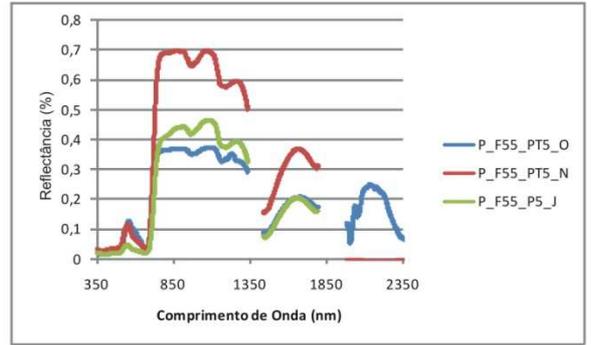
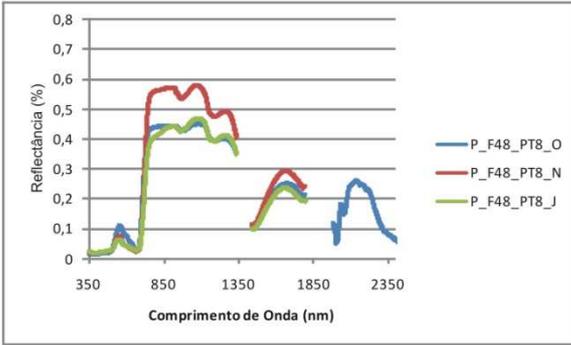
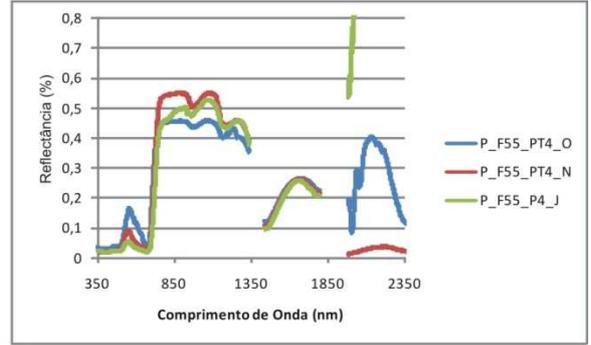
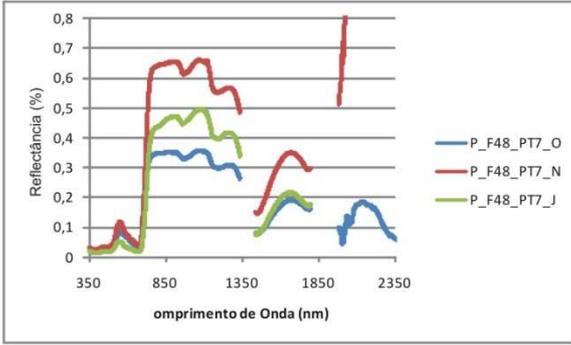






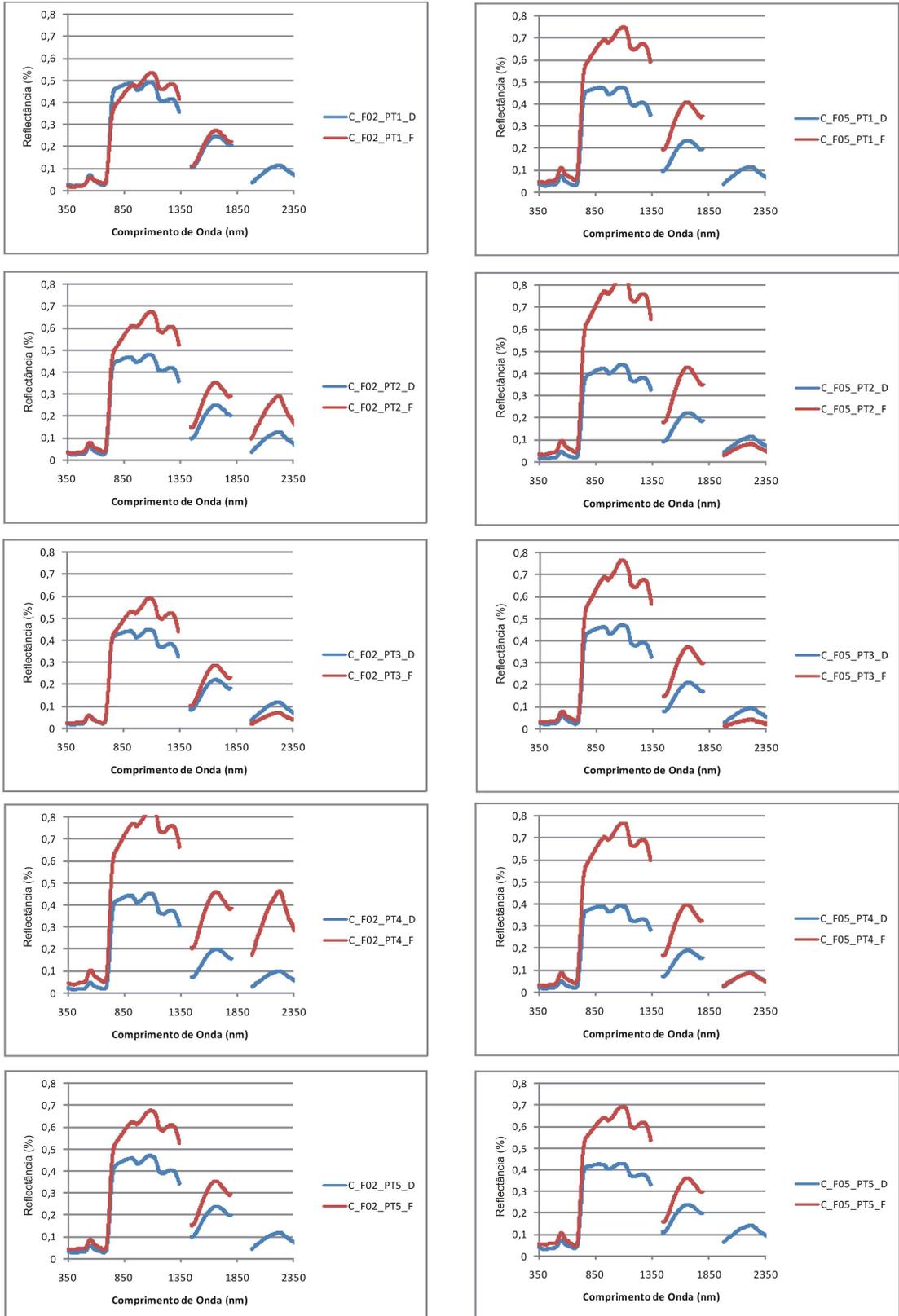


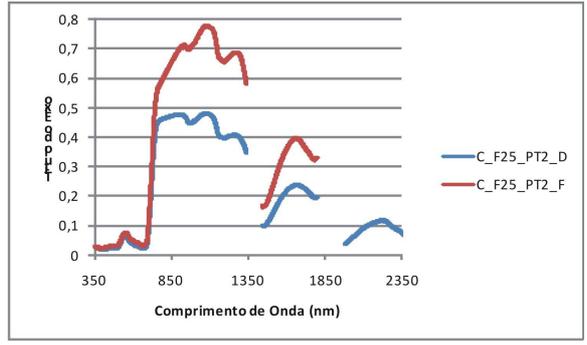
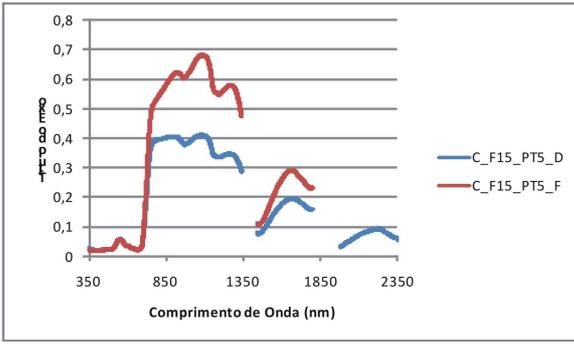
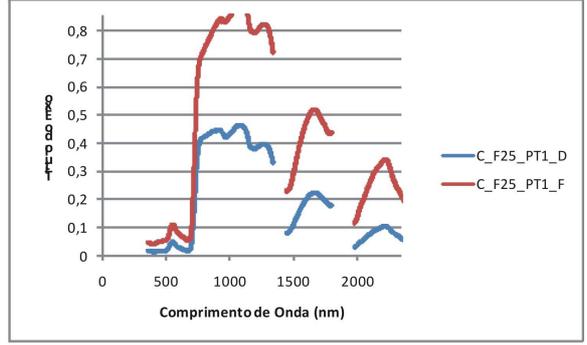
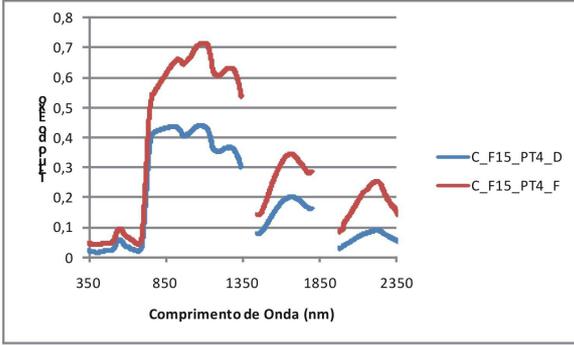
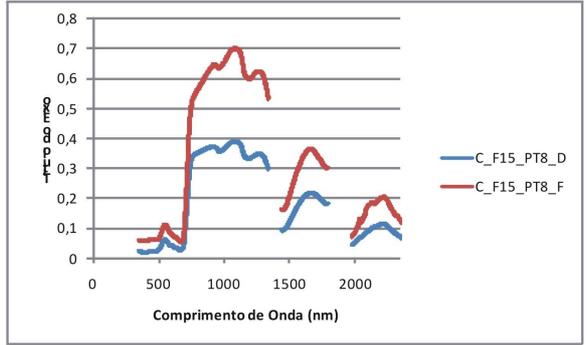
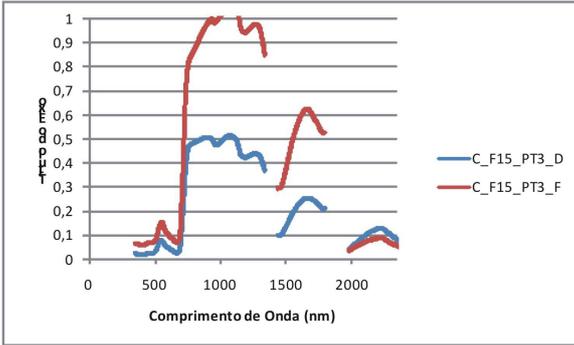
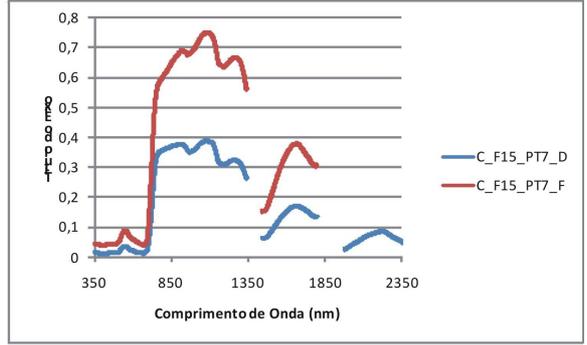
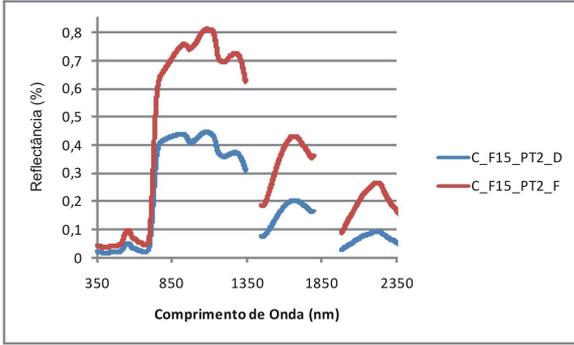
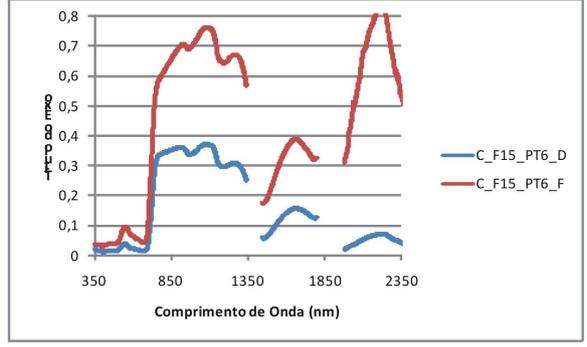
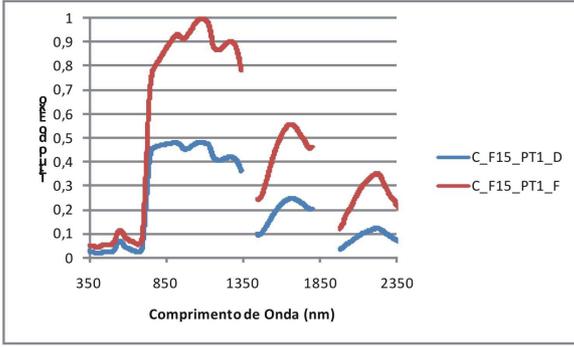


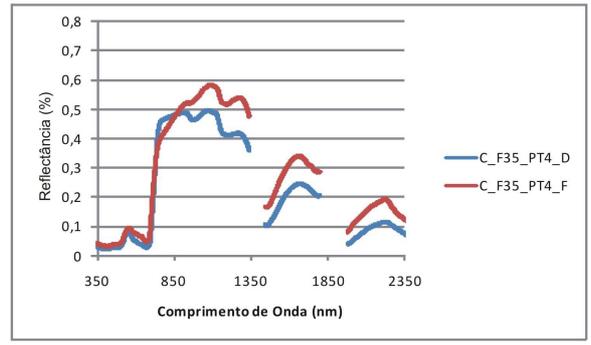
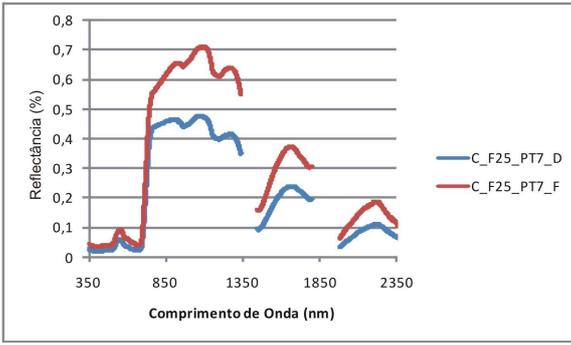
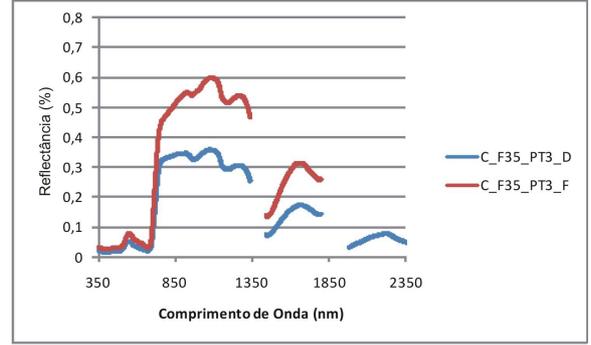
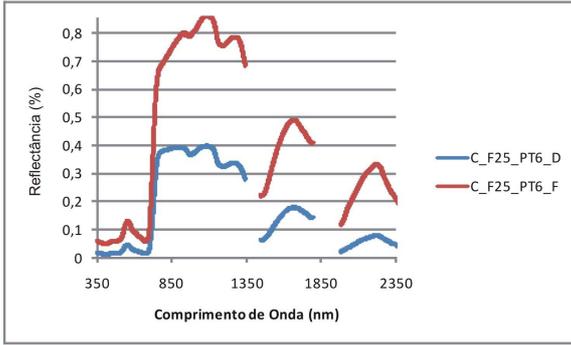
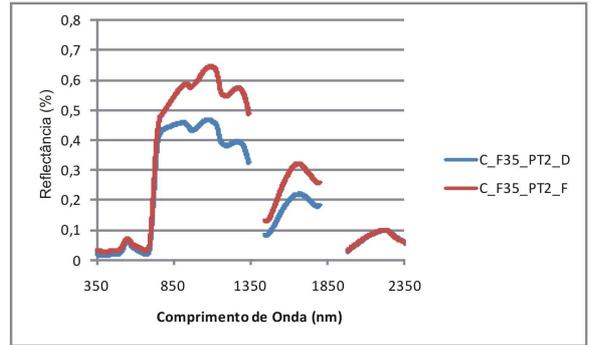
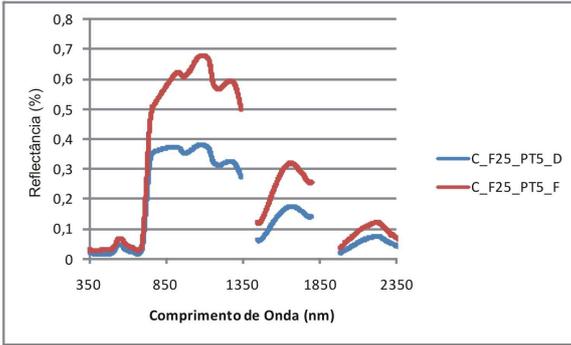
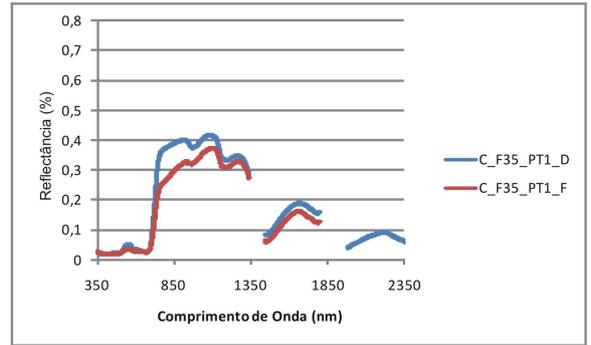
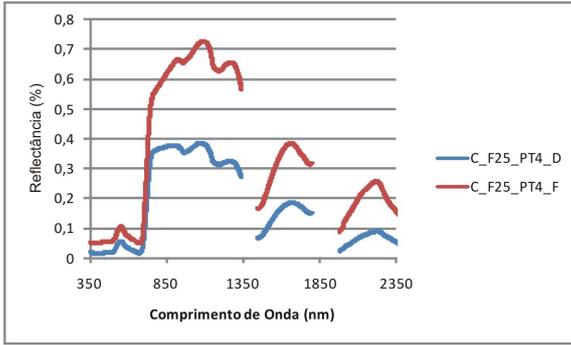
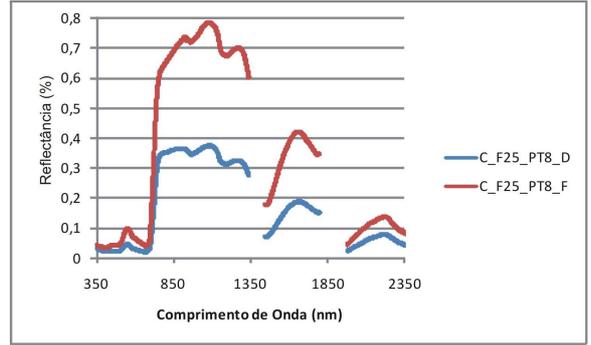
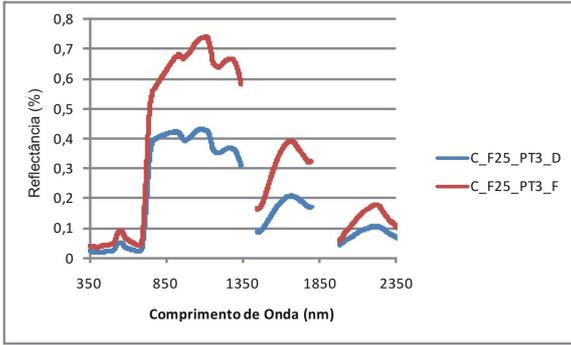


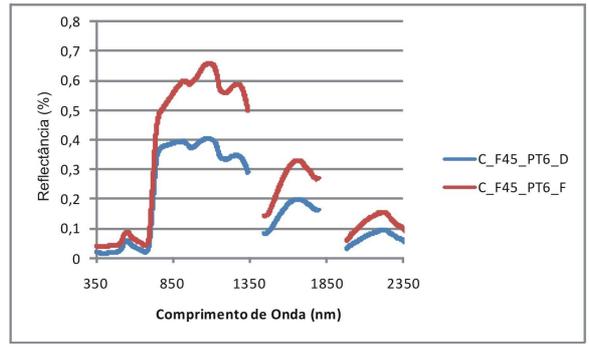
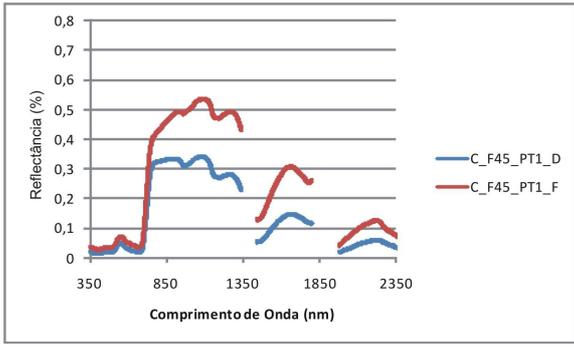
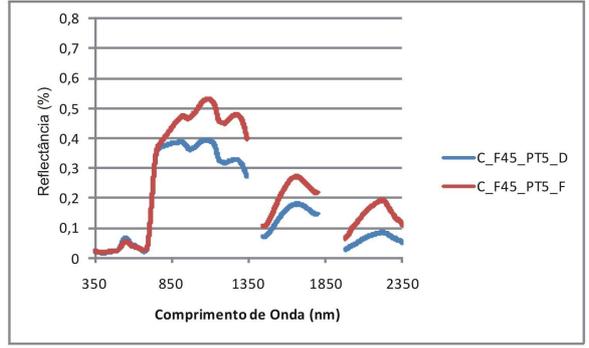
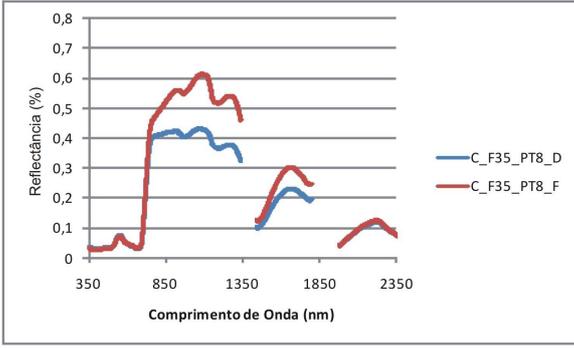
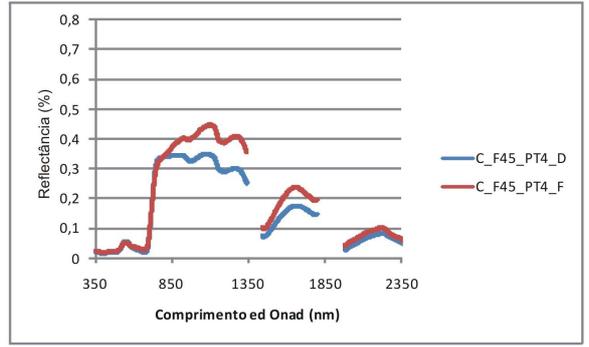
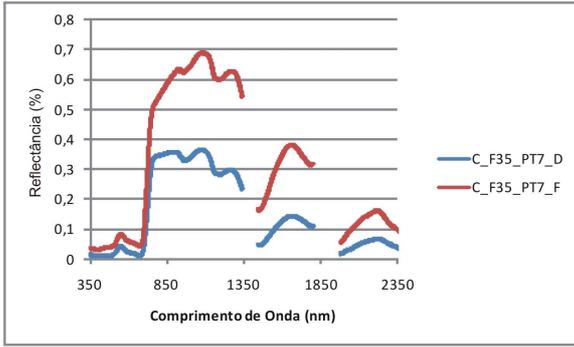
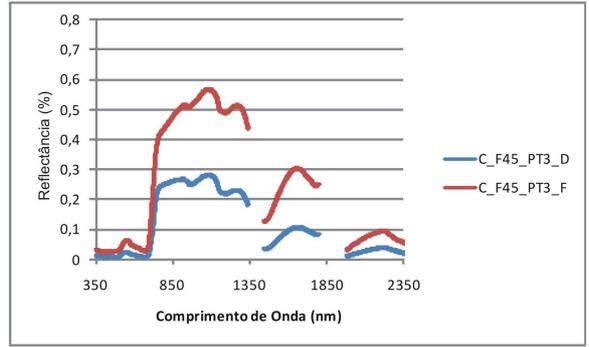
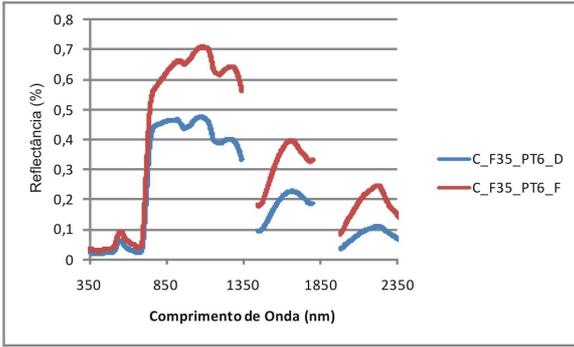
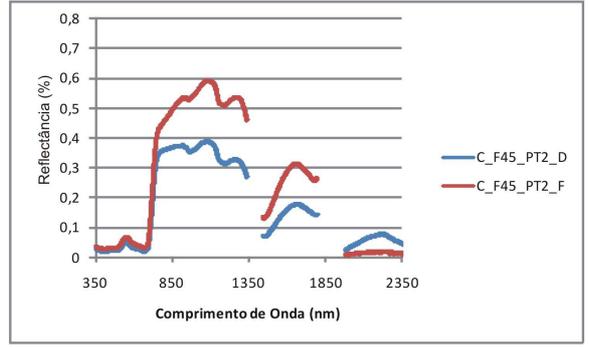
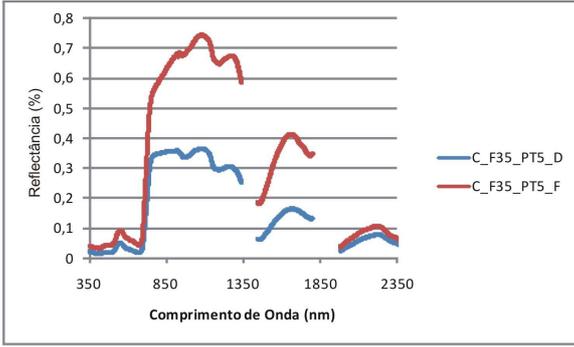
Safra 2014/2015, Variedade Chardonnay

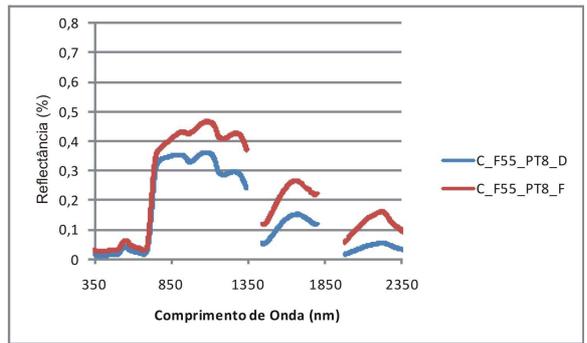
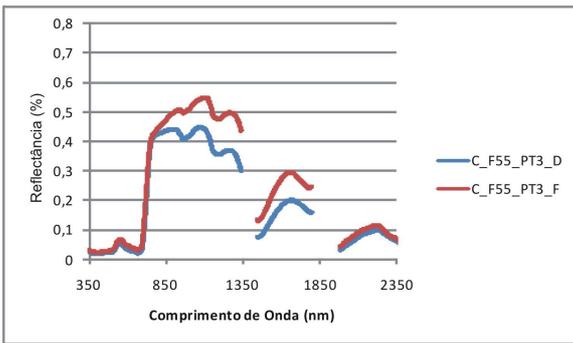
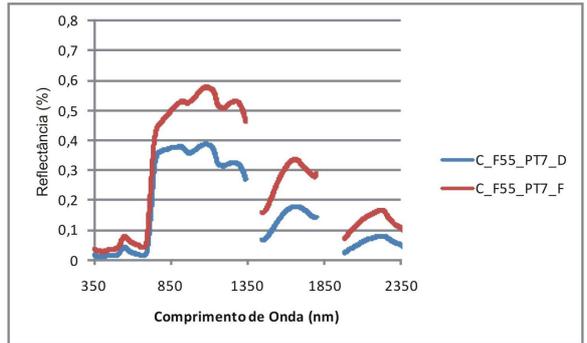
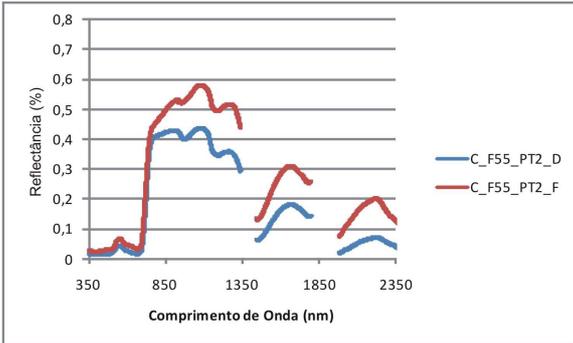
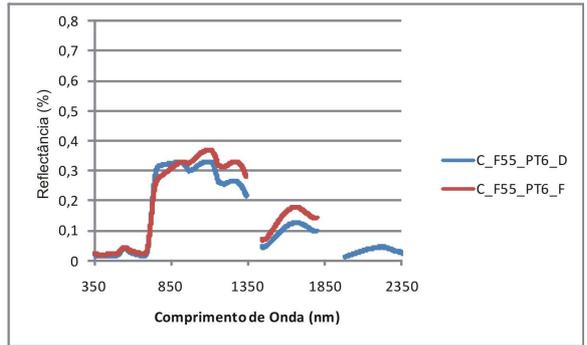
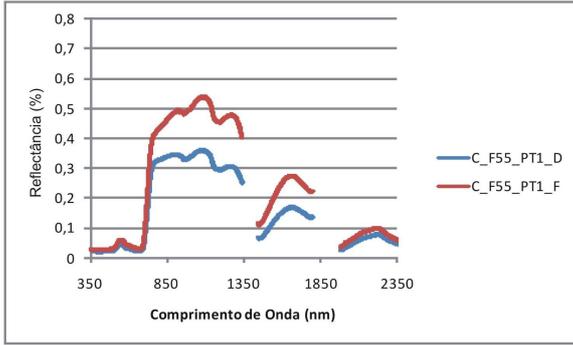
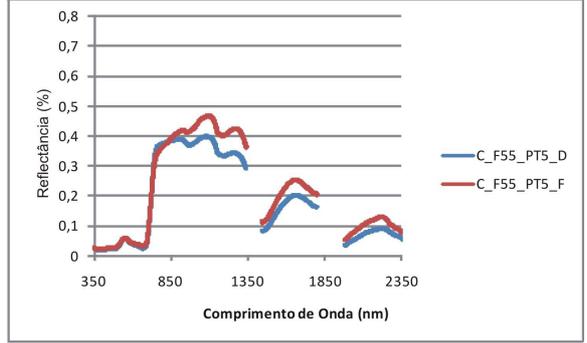
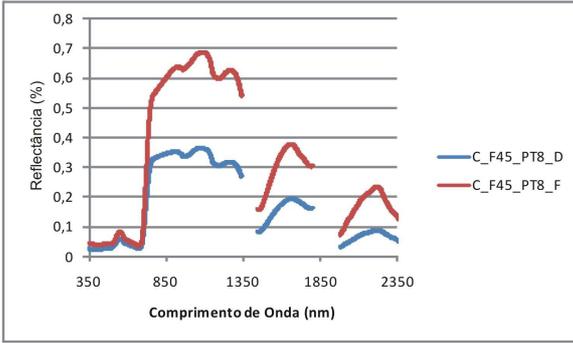
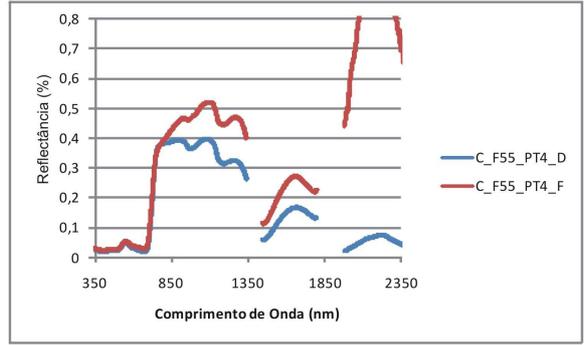
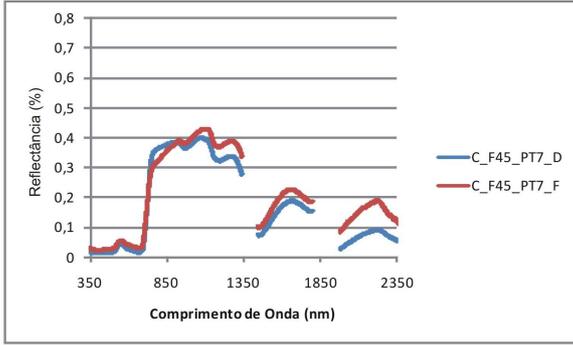
A legenda dos gráficos refere-se: variedade (C=Chardonnay, P= Pinot Noir) fileira da parcela amostrada_planta dentro da fileira_mês de amostragem (D=Dezembro, F=Fevereiro).

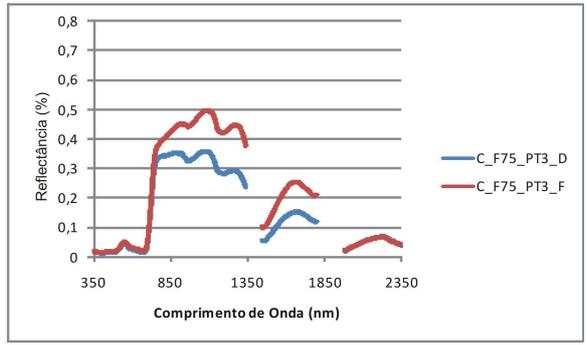
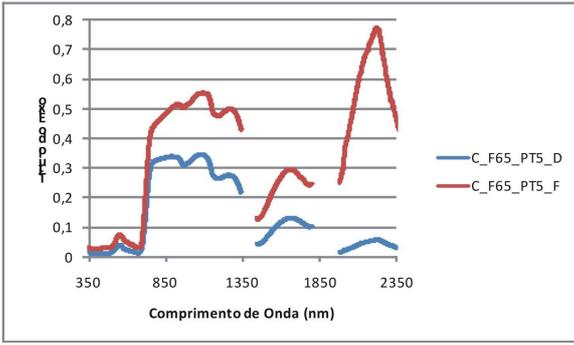
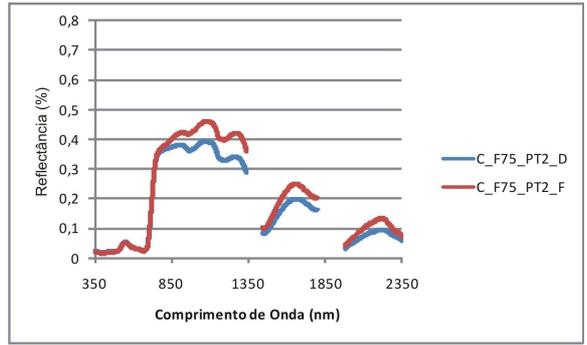
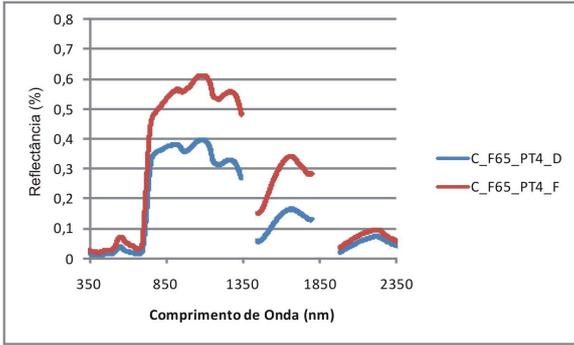
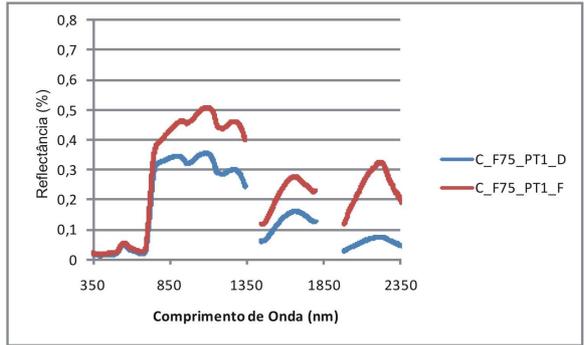
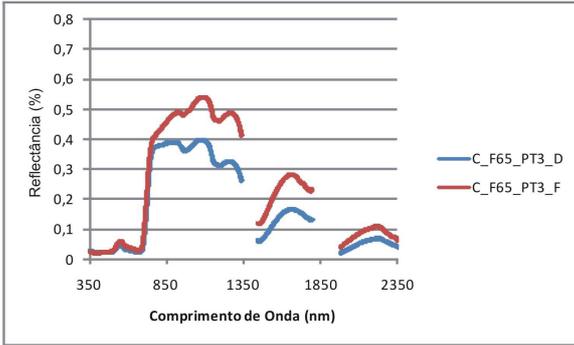
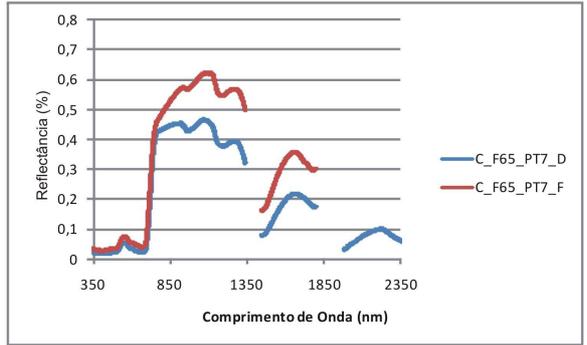
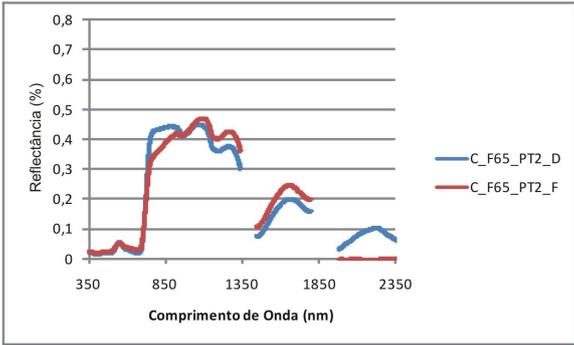
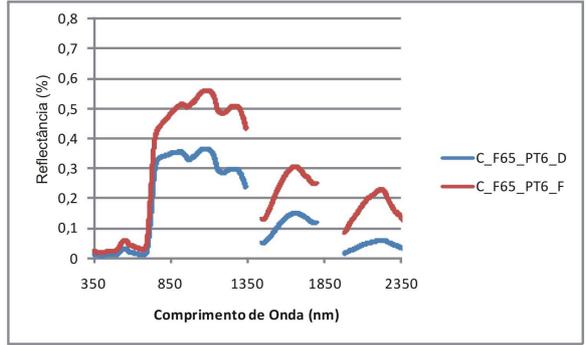
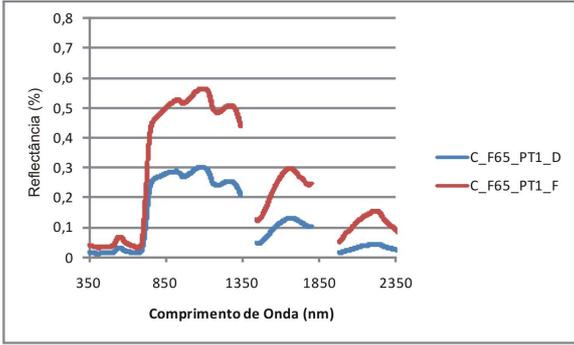


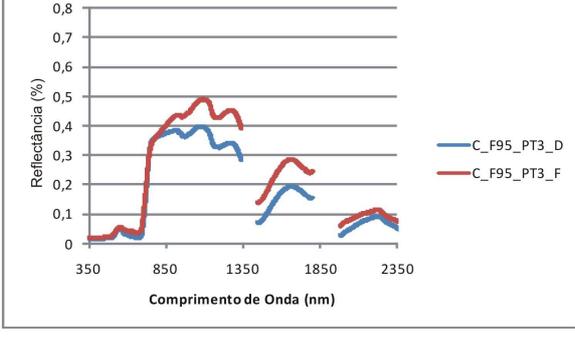
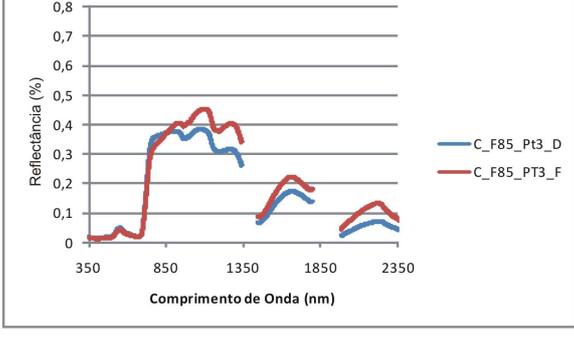
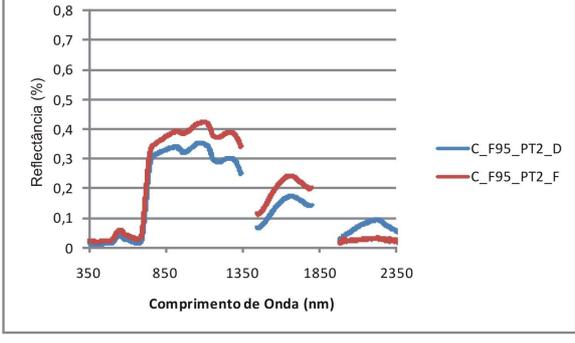
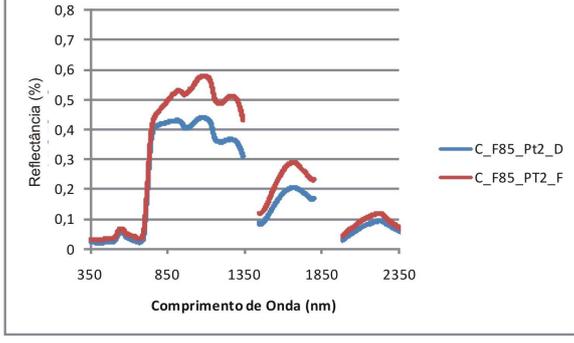
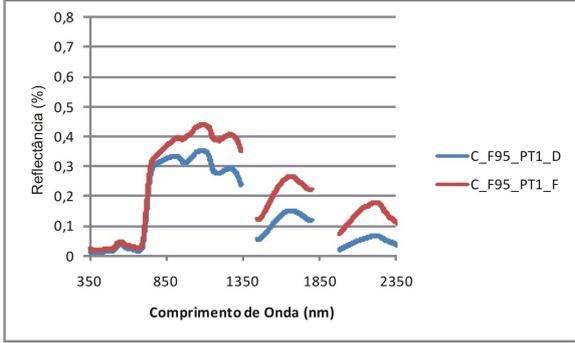
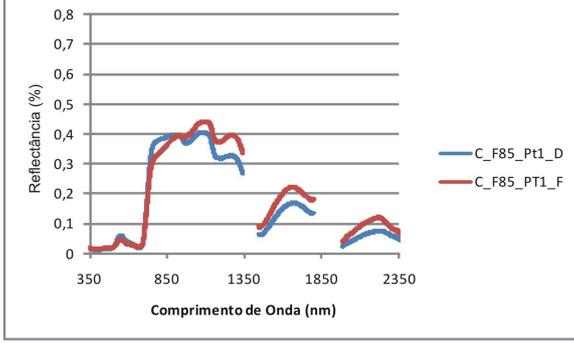
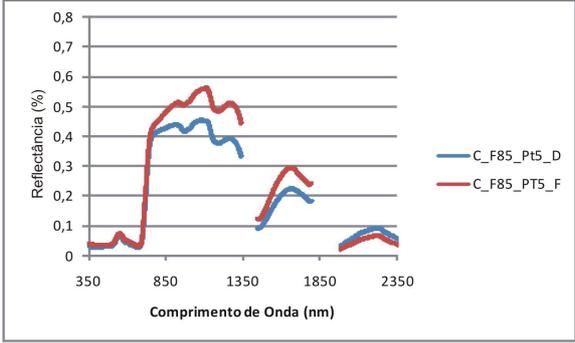
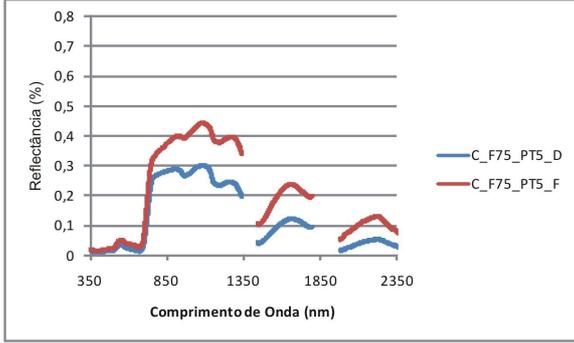
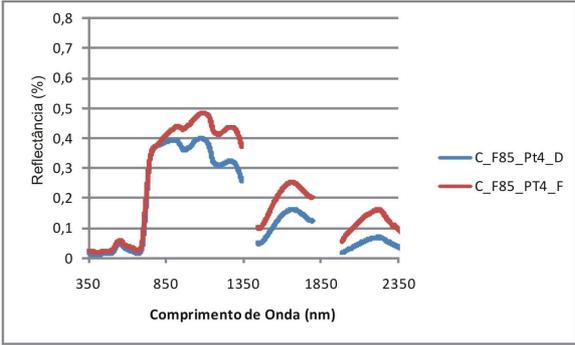
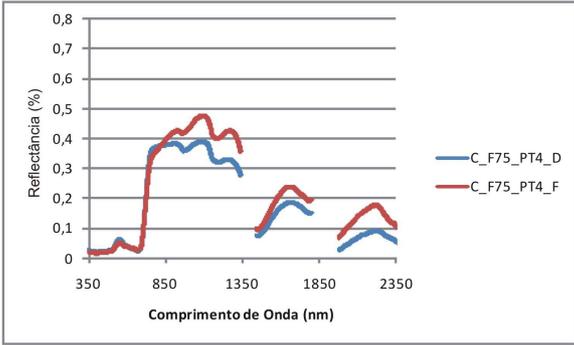


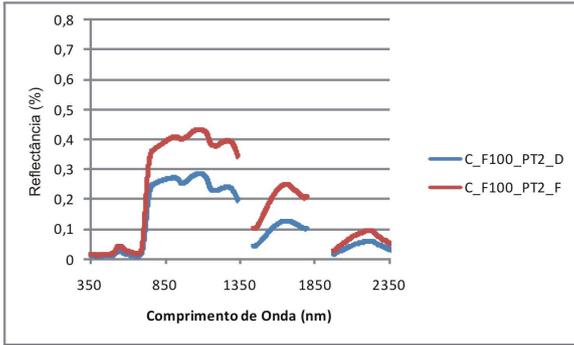
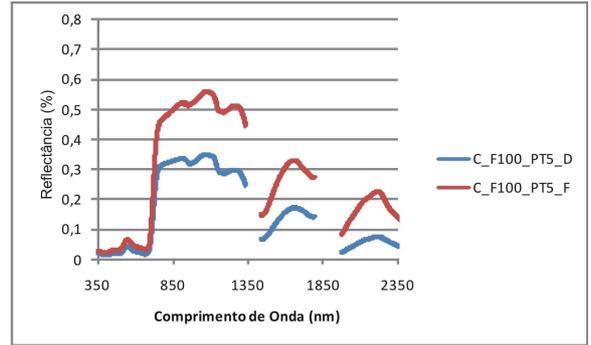
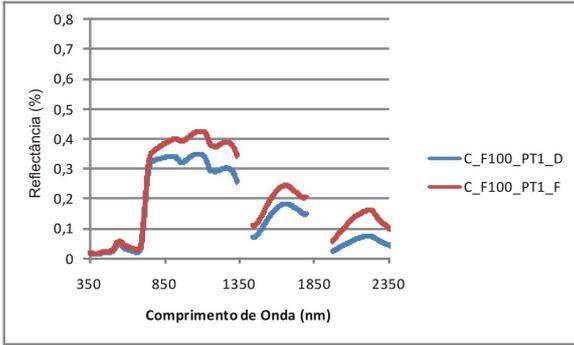
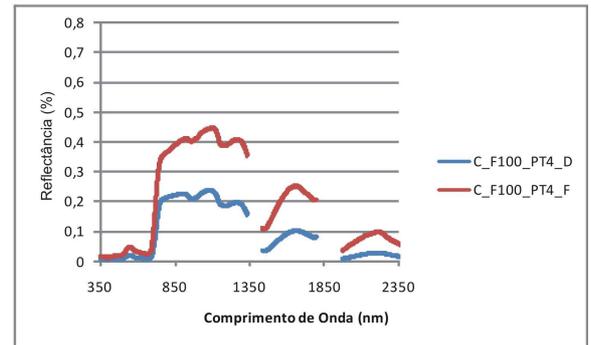
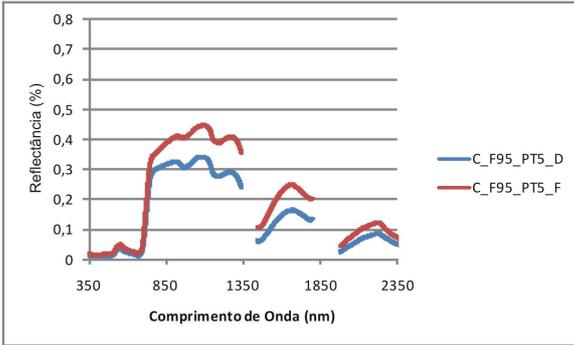
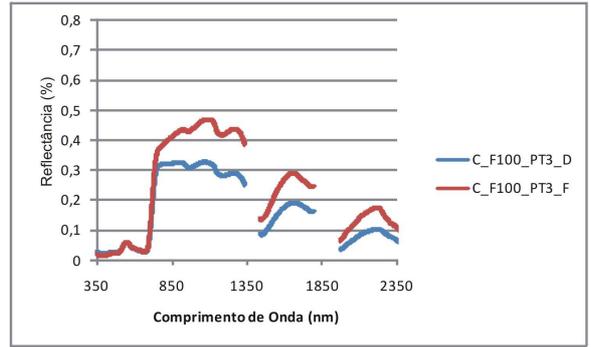
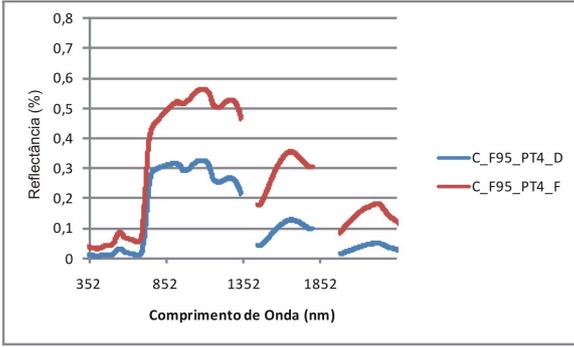












Safra 2014/2015, variedade Pinot Noir

A legenda dos gráficos refere-se: variedade (C=Chardonnay, P= Pinot Noir) fileira da parcela amostrada_planta dentro da fileira_mês de amostragem (D=Dezembro, F=Fevereiro).

