

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

PREVISÃO AGRÍCOLA: UMA NOVA ABORDAGEM

- Uso de scanner aerotransportável e redes neurais -

**Tese submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do
título de Doutor em Engenharia de Produção**

Hugo José Braga



0.236.408-6

UFSC-BU

Orientador: Prof. Edgar Augusto Lanzer - PhD.

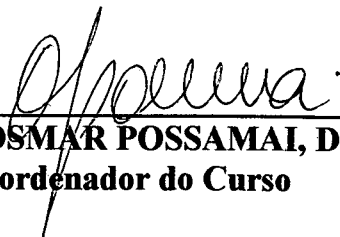
Co-orientador: Prof. Carlos Loch - Dr.

**FLORIANÓPOLIS
Estado de Santa Catarina
Março - 1995**

PREVISÃO AGRÍCOLA: UMA NOVA ABORDAGEM

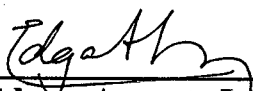
HUGO JOSÉ BRAGA

Esta tese foi julgada adequada para a obtenção do título de DOUTOR EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

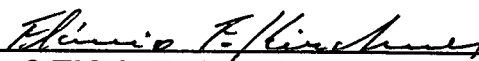


PROF. OSMAR POSSAMAI, Dr.
Coordenador do Curso

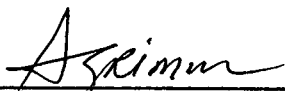
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Edgar Augusto Lanzer - PhD.
Orientador



Prof. Flávio Felipe Kirchner - PhD.
Examinador Externo



Prof. Sadi Sérgio Grimm - PhD
Examinador Externo



Prof. Antonio Roberto Formaggio - Dr.
Examinador Externo



Prof. Carlos Loch - Dr.



Prof. Norberto Hochheim - Dr.
Moderador

À memória de meu pai

A minha mãe

A minha esposa Rosane

Ao meu filho Rodrigo

DEDICO

AGRADECIMENTOS

O autor expressa os mais sinceros agradecimentos:

Aos Professores Edgar Augusto Lanzer e Carlos Loch da UFSC, pela orientação e dedicação no desenvolvimento do presente trabalho, além da amizade e colaboração durante todo o curso.

Ao Prof. Flávio Felipe Kirchner da UFPR, pelo apoio ao trabalho.

Aos demais professores do Departamento de Engenharia de Produção de UFSC, que contribuíram para minha formação profissional.

À Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A. - EPAGRI, e ao CNPq pelo oportunidade e apoio na realização do Curso de Pós-Graduação.

À empresa AERODATA S.A. pela cedência das imagens CASI, aerofotos, equipamentos de restituição aerofotogramétrica digital, GIS/SPANS, sistema de tratamento de imagens digitais ARIES 380 entre outros, bem como pelo apoio recebido, sem os quais este trabalho não teria sido possível.

Às empresas agrícolas POMIFRAI - Fruticultura S.A. e RENAR S.A. de Fraiburgo/SC, pelo apoio no fornecimento dos dados fenológicos e de produção dos seus pomares.

Aos colegas da EPAGRI, Sadi Sergi Grimm, Roque Paulo Kreutz, Nelson Seiffert, Ivan Bacic, Charles Seidel, Maria de Loudes Mello e Ivo Reis, pelas sugestões e apoio recebido.

A minha esposa (Nane) e filho Rodrigo que souberam suportar com resignação os momentos mais difíceis da realização deste trabalho e a minha incapacidade de dar-lhes tempo e atenção merecidas.

À todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desse trabalho.

SUMÁRIO

pág.

LISTA DE TABELAS

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE ABREVIATURAS

RESUMO

ABSTRACT

1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - Definição do problema e relevância do assunto	1
1.2 - Novo enfoque de previsão agrícola	10
1.3 - Objetivos do estudo	11
2 - FUNDAMENTOS TEÓRICOS: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 - Modelos de estimativa de fenofases	13
2.1.1 - Disponibilidade térmica	14
2.1.2 - Unidades de frio/ Horas de frio	22
2.2 - Modelos de estimativa de rendimentos e de safras	25
2.3 - Redes Neurais	38
2.3.1 - Estrutura básica e operação de redes neurais	38
2.3.2 - Classificação das redes neurais	41
2.3.3 - Rede neural - <i>Back Propagation</i>	42
2.3.4 - Aplicações das redes neurais	43
2.4 - Determinação ou estimativa das áreas cultivadas: Uma visão espacial.	44
2.5 - Caracterização da propriedade agrícola e uso do Sistema Geográfico de Informações - GIS	49
2.6 - Características gerais da cultura da macieira	54
2.6.1 - Exigências edafoclimáticas	54
2.6.2 - Fenologia e colheita	56
2.6.3 - Capacidade de produção de macieiras	57
3 - ÁREA DE ESTUDO	59

	pág.
3.1 - Localização	59
3.2 - Dados básicos do município e área de estudo	59
3.3 - Clima	60
3.4 - Solos	60
3.5 - Estrutura fundiária e uso do solo	61
3.6 - Rede viária	62
4 - MATERIAL E MÉTODOS	63
4.1 - Material	63
4.2 - Métodos	69
4.2.1 - Modelos numéricos de previsão das fenofases da macieira	69
4.2.1.1 - Modelos propostos para estimativa da plena floração	70
4.2.1.2 - Modelos propostos para data provável de colheita	72
4.2.2 - Modelos numéricos de previsão de rendimentos e de safras	77
4.2.2.1 - Modelos numéricos de previsão de rendimentos	78
4.2.2.2 - Modelos numéricos de previsão de safras	80
4.2.3 - Restituição aerofotogramétrica da área de estudo	81
4.2.4 - Digitalização dos temas básicos da área de estudo	82
4.2.5 - Processamento, correção e classificação das imagens digitais - CASI	84
4.2.6 - Comparação dos resultados obtidos pelas imagens classificadas e a realidade do campo: uso do GIS	89
4.2.7 - Visualização espacial dos modelos numéricos	90
4.2.8 - Análise espectral de <i>pixels</i> selecionados de pomares típicos da área de estudo	91
5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	92
5.1 - Modelos numéricos de previsão de fenofases	92
5.1.1 - Modelos propostos para previsão da plena floração	92
5.1.2 - Modelos propostos para estimativa de início de colheita	102
5.2 - Modelos numéricos de previsão de rendimentos	104
5.3 - Validação dos modelos de previsão	106
5.4 - Previsão da safra - 93/94	112
5.5 - Restituição aerofotogramétrica	116
5.6 - Mapas temáticos gerados	116
5.7 - Imagens digitais classificadas - CASI	141
5.8 - Comparação dos resultados entre imagens classificadas versus a realidade (verdade) do campo	148
5.8.1 - Análise espectral	151
5.8.2 - Distribuição de tonalidades (histogramas)	154

	pág.
5.9 - Análise sobre determinação de áreas cultivadas	160
5.9.1 - Resultados sobre os métodos envolvidos	160
5.9.2 - Comparação entre métodos de determinação de áreas cultivadas	163
5.10 - Visualização espacial da safra - 93/94	164
6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	168
6.1 - Conclusões sobre métodos e modelos de previsão agrícola	168
6.2 - Recomendações sobre métodos e modelos de previsão agrícola	171
6.3 - Conclusões sobre caracterização espacial da propriedade agrícola e cultivos	172
6.4 - Recomendações sobre caracterização espacial da propriedade agrícola e cultivos	173
7 - ANEXOS	175
8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	184
9 - APÊNDICES	

LISTA DE TABELAS

	pág.
2.1 - Unidades de frio em função de intervalos de temperaturas - ° C pelo Método de Utah	23
2.2 - Unidades de frio em função da temperatura - ° C pelo Método Carolina de Norte	24
4.1 - Dados históricos de fenologia e produção da fazenda Bom Futuro em nível de parcelas, P-01, P-02, P-03 , cultivar Fuji.	64
4.2 - Configuração das bandas espectrais do CASI, resolução espacial de 2m x 2m. - Fraiburgo/SC - 05/11/92	67
4.3 - Configuração das bandas espectrais do CASI, resolução espacial de 3,5m x 3,5 m.(pixel). Fraiburgo/SC - 05/11/92	67
4.4 - Padrão a ser adotado para homogeneização das classes (temas) originados das classificações das imagens do CASI	89
5.1 - Modelos polinomiais propostos para previsões fenológicas e de rendimentos. Cultivar Gala - Fraiburgo/SC.	93
5.2 - Modelos neurais e mistos propostos para previsões fenológicas e de rendimentos. Cultivar Gala - Fraiburgo/SC.	94
5.3 - Modelos polinomiais propostos para previsões fenológicas e de rendimentos. Cultivar Golden Delicious - Fraiburgo/SC.	95
5.4 - Modelos neurais e mistos propostos para previsões fenológicas e de rendimentos. Cultivar Golden Delicious - Fraiburgo/SC.	96
5.5 - Modelos polinomiais propostos para previsões fenológicas e de rendimentos. Cultivar Fuji - Fraiburgo/SC.	97
5.6 - Modelos neurais e mistos propostos para previsões fenológicas e de rendimentos. Cultivar Fuji - Fraiburgo/SC.	98
5.7 - Codificação dos estimadores dos modelos propostos	99
5.8 - Temperaturas basais - Tb, TB - e graus-dia que apresentaram menor coeficiente de variação e desvio padrão (dias) para Fraiburgo/SC e São Joaquim/SC. Fenologia: Plena Floração - Início de Colheita ..	100
5.9 - Validação dos modelos polinomiais e neurais propostos para previsão da data de plena floração e início de colheita para cultivar Gala - Fraiburgo/SC.	108
5.10 - Validação dos modelos polinomiais, neurais e misto propostos para previsão de rendimentos (kg/ha) para a cultivar Gala - Fraiburgo/SC...	109
5.11 - Validação dos modelos polinomiais e neurais propostos para previsão da data da plena floração e início de colheita para cultivar Golden Delicious - Fraiburgo/SC.	109

5.12 - Validação dos modelos polinomiais, neurais e misto propostos para previsão de rendimentos (kg/ha) para a cultivar Golden Delicious - Fraiburgo/SC.....	110
5.13 - Validação dos modelos polinomiais e neurais propostos para previsão da data de plena floração e início de colheita para cultivar Fuji - Fraiburgo/SC.	111
5.14 - Validação dos modelos polinomiais, neurais e mistos propostos para previsão de rendimentos (kg/ha) para a cultivar Fuji - Fraiburgo/SC.....	112
5.15 - Estimativa da safra 93/94 para as cultivares Gala e Golden Delicious Área de estudo - Pomifrai/Fraiburgo/SC.	113
5.16 - Estimativa da safra 93/94 para a cultivar Fuji. Área de estudo - Pomifrai/Fraiburgo/SC.	115
5.17 - Área da Fazenda Bom Futuro e da área de estudo, determinadas pelo GIS/SPANS.	133
5.18 - Parcelas da Fazenda Bom Futuro, área de estudo, com suas respectivas áreas ocupadas e calculadas pelo GIS/SPANS.	134
5.19 - Subparcelas da Fazenda Bom Futuro, área de estudo, com suas respectivas áreas ocupadas por pomares, calculadas pelo Gis/Spans.	135
5.20 - Comparação entre o Mosaico de imagens classificadas pelo CASI versus verdade terrestre na identificação de cultivares de maçã.	150
5.21 - Resultados da análise cruzada entre o mapa do contorno do polígono de estudo e do mosaico classificado (r7765432).	163
5.22 - Resultados das regressões lineares entre métodos de determinação das áreas cultivadas no polígono de estudo ao nível de subparcelas.	163

LISTA DE FIGURAS

	pág.
1.1 - Fluxograma metodológico dos objetivos propostos	12
4.1 - Esquema ilustrativo das etapas envolvidas no ARIES -380	85
5.1 - Mapa planimétrico da Fazenda Bom Futuro/área de estudo obtido por restituição aerofotogramétrica digital.	117
5.2 - Mapa altimétrico da Fazenda Bom Futuro/área de estudo obtido por restituição aerofotogramétrica digital.	118
5.3 - Contorno da Fazenda Bom Futuro contendo a área de estudo.	119
5.4 - Contorno da área de estudo ==> Mapa-Base.	119
5.5 - Mapa contendo as 25 parcelas (pomares) cultivadas com fruticul- tura da área de estudo - Fraiburgo/SC.	120
5.6 - Mapa contendo as 276 subparcelas (quadras) cultivadas com fruticultura da área de estudo - Fraiburgo/SC.	121
5.7 - Mapa de vegetação, exceto fruticultura, da área de estudo - Fraiburgo/SC.	122
5.8 - Mapa de drenagem - rios e córregos - da área de estudo/ Fraiburgo-SC.....	123
5.9 - Mapa contendo contruções, açudes, áreas inundáveis da área de estudo. Fraiburgo/SC.	124
5.10 - Mapa de aptidão de uso das terras da área de estudo - Fraiburgo/SC.	125
5.11 - Mapa viário da área de estudo - Fraiburgo/SC.	126
5.12 - Mapa altimétrico da área de estudo com curvas de 10/10m.Fraiburgo/SC.	128
5.13 - Classes de declividade da área de estudo - Fraiburgo/SC.	129
5.14 - Proporção de cultivares de maçã por parcela segundo o número de plantas.Área de estudo - Fraiburgo/SC.	130
5.15 - Proporção de cultivares de maçã por subparcela segundo o número de plantas. Área de estudo - Fraiburgo/SC.	130
5.16 - Classes de áreas cultivadas por parcela com maçã FUJI - Área de estudo. Fraiburgo/SC.	131
5.17 - Idade/ano de plantio dos pomares por parcela da área de estudo - Fraiburgo/SC.	131
5.18 - Produção da cultivar Fuji por parcela - Safra 92/93.	132
5.19 - Número de plantas da cultivar Fuji em produção por parcela - 1993.	132
5.20 - Faixa de vôo CASI - P6G - com resolução espacial de 3,5m X 3,5m sobre pomares da Faz. Bom Futuro/área de estudo, realçadas pela técnica de principais componentes (PCI,PC2,PC3) - Fraiburgo/SC.	142
5.21 - Mosaico das imagens CASI classificadas pelo sistema ARIES 380 da área de estudo. Fraiburgo/SC.	144

5.22 - Mosaico classificado dos pomares da Fazenda Bom Futuro/área de estudo, cultivares Gala, Golden Delicious, Fuji/Granny Smith, Belgolden, Fuji/ Gala/Golden/Outras.	145
5.23 - Mosaico classificado dos pomares da Fazenda Bom Futuro/área de estudo, sobreposto por mapa vetorizado das parcelas - Fraiburgo/SC.....	146
5.24 - Faixa de vôo CASI (P09) com resolução espacial de 2,0m X 2,0m e três bandas originais sobre pomares da Faz. Bom Futuro/área de estudo. Escala aproximada de 1:20.000. Fraiburgo/SC.	147
5.25 - Relação entre a radiância e o comprimento de onda emitidos por pomares de Gala, Belgolden, Fuji e mata nativa da área de estudo - Fraiburgo/SC.	152
5.26 - Relação entre a radiância e o comprimento de onda emitidos por pomares de Gala, Fuji e mata nativa da área de estudo - Fraiburgo/SC...	153
5.27 - Histogramas de áreas de treinamento de pomares contidos na faixa de vôo - P6G, com a distribuição das tonalidades dos <i>pixels</i> entre 0 - 255, bandas espectral 7.	156
5.28 - Histogramas de áreas de treinamento de diversas classes contidas na faixa de vôo P6G, com a distribuição das tonalidades dos <i>pixels</i> entre 0 - 255, banda espectral 7.	157
5.29 - Histogramas de áreas de treinamento de diversas classes contidas na faixa de vôo P6G, com a distribuição das tonalidades dos <i>pixels</i> entre 0 - 255, banda espectral 7.	158
5.30 - Histograma da área de treinamento de açúdes não assoreados, faixa de vôo P6G, com a distribuição das tonalidades dos <i>pixels</i> entre 0 - 255, banda espectral 7.	159
5.31 - Dispersão de pontos (tonalidades 0 - 255) entre as bandas 5 e 7 da Faixa P6G de áreas de treinamento de pomares diversos.Fraiburgo/SC.	159
5.32 - Dispersão de pontos (tonalidades 0 - 255) entre as bandas 5 e 7 da Faixa P6G de áreas de treinamento de temas diversos (classes). Fraiburgo/SC.	160
5.33 - Representação das regressões lineares entre métodos diferentes de determinação das áreas cultivadas no polígono de estudo ao nível de subparcelas.	164
5.34 - Distribuição espacial da safra 93/94 - cultivar Gala - na área de estudo/Fraiburgo-SC.	165
5.35 - Distribuição espacial da safra 93/94 - cultivar Fuji - na área de estudo/Fraiburgo-SC.	166
5.36 - Distribuição espacial da safra 93/94 - cultivar Golden Delicious - na área de estudo. Fraiburgo-SC.	167

LISTA DE ABREVIATURAS

AERODATA S.A. = Empresa de Engenharia de Aerolevantamentos S. A.;

AFF = Associação dos Fruticultores de Fraiburgo/SC;

AgRISTARS = *Agricultural and Resources Inventory Surveys Through Aerospace Remote Sensitive*;

ARIES = Estação de trabalho - *Workstation*;

BH = Balanço Hídrico;

CAD = *Computer Aided Design*;

CADs = Capacidade de água disponível do solo;

Cfb = Clima mesotérmico tipo úmido com verão fresco;

CG = Correção geométrica;

CP = Capacidade de produção;

CASI = *Compact Airborne Spectrographic Imager*;

CTRM = Cadastro Técnico Rural Multifinalitário;

EPAGRI = Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina;

ETP ou ETo = Evapotranspiração potencial ou de referência;

ETR = Evapotranspiração real;

FIBGE = Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;

GAMS = *General Albebric Modeling System*;

GD = Graus-dia;

CF = Crescimento do fruto;

SIG = Sistemas de Informação Geográfica;

GIN = *Green Index Number*;

GIS = *Geographical Information Systems*;

GPS = *Global Positioning System*;

HF = Horas de frio;

I = Insolação;

ICEPA = Intituto Comissão Estadual de Planejamento Agrícola de Santa Catarina;

LACIE = *Large Area Crop Inventory*;

LANDSAT - TM = Satélite americano de recursos da Terra - Mapeador Temático;

MNT = Modelo Numérico de Terreno;

NOAA = National Ocean Atmosphere Administration;

OMM = Organização Mundial Meteorológica;

PC = *Personal Computer*;

SITIM = Sistema de Tratamento de Imagens;

SOYGRO = *Soybean crop model growth simulation - EUA*;

SPANS = *Spatial analysis system*;

SPOT = *Système Probatoire D'Observation de la Terre*;

SR = Sensoriamento Remoto;

TB e Tb = Temperatura basal superior e inferior;

TM = Temperatura média do ar à sombra;

UF = Unidades fototérmicas.

RESUMO

Este trabalho propõe-se a avançar no entendimento de modelos de previsão das principais fenofases de culturas agrícolas perenes (maçã), rendimentos e safras. Para tanto, foram desenvolvidos, testados e comparados modelos de previsão polinomiais contra redes neurais artificiais. Também, a combinação destes modelos pelo uso de programação linear foi testada, buscando minimizar desvios ou erros relativos das previsões.

Paralelamente, desenvolveu-se metodologia de avaliação espacial para a caracterização da propriedade agrícola com o intuito de discriminação de áreas cultivadas, em nível de espécie e cultivares (tipos). Para tanto, utilizaram-se imagens digitais obtidas por *scanner* aerotransportável (CASI - Compact Airborne Spectrographic Imager) e aerofotos de vôo aerofotogramétrico. A área de estudo abrange 920ha, Fazenda Bom Futuro, Fraiburgo/SC.

Os modelos têm fundamentação agrometeorológica com combinação de dados do potencial produtivo da espécie (maçã) e cultivares. As variáveis ou estimadores agrometeorológicos considerados levam em conta o conceito de graus-dia, horas de frio e balanço hídrico. Os modelos são polinomiais de várias ordens, ajustados por regressão múltipla. A rede neural artificial empregada foi a *back-propagation* (NeuralWorks).

Para a integração e a manipulação dos mapas restituídos e digitalizados e dos dados alfanuméricos foi empregado sistema de informações geográficas - GIS (SPANS - Spatial Analyses System), tendo em vista a dinâmica agrícola e a possibilidade de visualização espacial dos resultados. Foram empregadas 8 bandas espectrais do *scanner* entre o visível e o infravermelho próximo (465-790 nm), com resolução espacial de 3,5m X 3,5m (e 2m X 2m), 6 faixas de vôo de 512 *pixels* e recobrimento lateral de $\cong 30\%$. O vôo aerofotogramétrico foi realizado, concomitantemente, com o imageamento digital em 5/11/92. Para a classificação supervisionada e automática da área de estudo, utilizou-se a estação de trabalho ARIES 380 e o método de máxima verossimilhança. Como verdade terrestre, empregou-se o inventário detalhado da área de estudo quanto às parcelas e subparcelas cultivadas, restituição aerofotogramétrica digital e aerofotos. O GIS foi empregado, também, para obtenção dos resultados quantitativos (áreas) pela análise cruzada entre o mosaico de imagens classificadas e o mapa restituído contendo parcelas (25) e subparcelas(276 quadras) com pomares.

Os modelos propostos deixam claro que as variáveis climáticas efetivamente decisivas ao desencadeamento da floração são energéticas, representadas simplificadaamente pela somatória de horas de frio - $\sum HF$, somatória de graus-dia - $\sum GD$, insolação e temperaturas médias mensais. O estimador de graus-dia, isoladamente, teve a maior influência na previsão da data de início de colheita. A maioria dos estimadores dos modelos propostos para plena floração, início de colheita

e rendimento, tiveram comportamento linear, eventualmente quadrático, raiz quadrada ou exponencial.

Os modelos neurais apresentaram um desempenho previsivo, de forma genérica, semelhante aos polinomiais, para as fenofases consideradas, rendimentos e safras. O número de neurônios utilizados na camada oculta (hidden 1), na fase de treinamento da rede, variou entre 2 e 10, correspondendo a 1/2 a 1,5 vezes o número de estimadores de entrada (inputs) mais a saída (output). Neste aspecto, concluiu-se que é possível efetuar-se previsões agrícolas com número relativamente pequeno de repetições, <50 anos/safras, ficando claro que o ajuste dos modelos depende mais da qualidade e representatividade dos dados do que da sua quantidade. A utilização de programação linear proporcionou a geração de modelos mistos (polinomiais + neurais) com erro relativo médio das previsões menor do que os modelos individuais.

Dependendo da cultivar e do modelo, boa previsão pode ser feita com até 120 dias de antecedência, cujo acerto, obviamente, melhora à medida em que se aproxima da época do evento.

As imagens CASI, nas condições deste trabalho, foram capazes de discriminar quatro cultivares (Gala, Golden Delicious, Belgolden e Fuji+Granny Smith), em plantios comerciais de baixa densidade (<1.000 plantas/ha), sistema de condução consorciado e em áreas pequenas (<3ha). Este desempenho comprova o potencial deste sensor na discriminação de pequenas áreas cultivadas (pequenas propriedades), sistemas associados de cultivo de espécies ou cultivares diferentes.

A combinação de mapas precisos (restituídos) e em escala adequada para pequenos cultivos (1:5.000), com imagens classificadas do *scanner*, analisadas de forma cruzada pelo GIS, permitiram segurança e objetividade na análise discriminatória (quantitativa) das áreas cultivadas com macieiras, em nível de cultivares.

ABSTRACT

This work is an attempt to improve models for forecasting phenology phases, yields and productions of perennial crops, apples in particular. Models, using polynomial functions and artificial neural networks, were developed, tested and compared. The combination of the results provided by these two approaches was also performed by the use of linear programming with the purpose of minimizing prediction errors.

A spatial analyses methodology was also developed in order to characterize the farm with the objective of discriminating cultivated areas, in terms of species and cultivars. Digital images, generated by a compact airborne spectrographic imager (**CASI**), and aerophotos from an aerophotogrammetric survey were used for such purpose. The area of study has 920ha and is part of Fazenda Bom Futuro, located in Fraiburgo, SC.

The models have agrometeorological basis combined with the productive potential of each cultivar. The variables used are related to the concepts of degree-days, chilling temperature units and water balance. Several forms of polynomial functions and a back-propagation type of neural network were used.

Considering the dynamics of agriculture and the convenience of visualizing spatial data, a geographic information system (**SPANS - Spatial Analyses System**) was used to integrate and manipulate the maps, restituted and digitized, and the alphanumeric data. Eight spectral bands of the scanner, from the visible to the near infrared (465-790nm), were used with a spatial resolution of 3.5 x 3.5 m, corresponding to six flight lanes of 512 pixels and lateral coverage of 30%. Aerophotogrammetric and spectrographic coverages were performed concomitantly, on november 05, 1992. An **ARIES-380** workstation was used to carry out the supervised and automatic classification of the area of study, adopting the maximum likelihood criterion. A detailed inventory of the farm, including a map showing the orchards, the digital aerophotogrammetric restitution and the aerophotos were used as terrestrial thuth. **GIS** was also used to determine the areas for each class by overlapping the mosaic of classified images and the corrected map showing the orchards (25) and their subdivisions (276).

The models proposed clearly indicate that climate variables linked to energy are decisive for inducing flowering. These variables are expressed as the sum of chilling hours, the sum of degree-days, the number of hours of sunshine and the average monthly temperatures. Degree-days was the

most important factor for predicting harvesting date. In general, a linear type of response was observed for most estimators used for predicting flowering and harvesting dates and yield.

Neural models and polynomial functions had a similar performance in terms of their ability to predict phenological events, yields and production. The number of neurons in the hidden layer 1, during the training phase of the network, varied 2 to 10, corresponding to 0.5 to 1.5 times the number of inputs and outputs. It became clear that the fit of the models depends more on the quality and representativity of the data than on their quantity, indicating that a good forecast can be reached using a relatively small number of replications (less than 50 crop-years). The use of linear programming to combine the results of polynomial and neural models provided a smaller relative error in terms of forecast than the individual models. Depending on the model and cultivar, a good forecast can be provided 120 days before the event. Obviously, the margin of error diminishes as this interval becomes smaller.

CASI images, under the conditions of this work, were able to discriminate four apple cultivars (Gala, Golden Delicious, Belgolden and Fuji + Granny Smith) in commercial orchards with low density (<1000 plants/ha), small areas (<3ha) and consortiated planting system. Such performance demonstrates the potential for using this type of sensor under similar field conditions.

A combination of accurate and adequately scaled (1:5000) maps with classified images from **CASI**, cross-analysed using **GIS**, provide an objective and safe discrimination of cultivated areas, in terms of apple cultivars.

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - Definição do problema e relevância do assunto

Em muitos países as previsões agrícolas constituem hoje em dia o meio mais importante de servir a agricultura, especialmente para a sua planificação. As instituições públicas, empresas agrícolas e outras entidades de planeamento necessitam saber, por exemplo, as datas previstas de ocorrência das fases fenológicas de crescimento das espécies cultivadas, assim como as reservas de umidade do solo, com o objetivo de adotar medidas adequadas de cultivo e de políticas de apoio e organização agrícola. Necessitam saber, também, as datas previstas de maturação e colheita, bem como os rendimentos esperados, com a finalidade de preparar antecipadamente a maquinaria necessária, mão-de-obra disponível, armazenagem, transporte e comercialização, inclusive planeamento de importações e exportações.

Várias pesquisas e trabalhos científicos têm surgido na literatura buscando analisar os efeitos da variabilidade climática sobre a produção vegetal. Dependendo da formação básica do pesquisador envolvido (agrometeorologia, fisiologia vegetal, estatística, economia, engenharia operacional, entre outras), maior ou menor ênfase é dada a determinados elementos de análise do problema. Entretanto, para a caracterização adequada de um modelo, o mesmo deveria abordar os aspectos mais relevantes da interação clima-planta-solo, de forma qualitativa e quantitativa, tendo em vista o resultado final procurado: rendimentos, fases fenológicas, etc. Diferentes aproximações têm sido sugeridas para modelar o impacto da variabilidade meteorológica na produção vegetal. Basicamente, os tipos de modelos podem ser classificados na seguinte forma, segundo **BAIER (1977)**:

- a) - Aproximação estatística ou de regressão múltipla;**
- b) - Aproximação fisiológica e/ou matemática dos processos envolvidos;**
- c) - Simulação, com o uso de computadores e baseada em processos fisiológicos;**
- d) - Aproximações feitas por meio da água disponível no solo, baseando-se em estudos de evapotranspiração real.**

No primeiro caso, também denominados modelos empírico-estatísticos, utilizam uma amostragem de dados de rendimento das colheitas, correspondendo a uma área determinada, do tempo meteorológico e dados de solo procedentes da mesma zona, com o objetivo de produzir estimativas dos coeficientes do modelo, mediante técnicas de regressão. No segundo, são aproximações da produção esperada com base em curva de crescimento vegetal ou índices de

disponibilidade térmica (graus-dia). O terceiro, baseia-se em modelos de simulação de crescimento das espécies cultivadas que descrevem o impacto detalhado da variabilidade meteorológica nos processos físico-biológicos que se processam no interior de uma planta típica ou de folhagem típica. Neste caso, são aplicados em ambientes controlados e em laboratórios com a finalidade de conhecer, em nível fisiológico, o impacto do meio físico sobre os processos metabólicos e de produção final. Não se aplicam, em geral, em propriedades agrícolas ou de forma regional na avaliação da produção. Seu objetivo básico é conhecer ou determinar o comportamento fisiológico frente às condições ambientais e tentar modelá-lo para futuras generalizações. O último item refere-se à estimativa aproximada da produção, baseada em índices de umidade do solo durante a estação de crescimento, em regiões onde a precipitação pluviométrica é o principal fator limitante.

Para a estimativa de fases fenológicas, duas aproximações são mais correntes: a primeira, baseada no princípio de graus-dia ou na previsão climatológica de temperatura; a segunda, relacionando dados meteorológicos ou observações fenológicas de fases anteriores do mesmo ciclo vegetativo, para prever as seguintes com o uso, muitas vezes, de análise de regressão.

Para o desenvolvimento de modelos de previsão de safras, duas informações básicas são fundamentais:

- a) - O modelo ou estimativa do rendimento ou de produtividade agrícola da espécie ou cultivar;
- b) - A determinação ou estimativa da área plantada.

Neste aspecto, as duas informações têm importância singular. Pouco adianta ter-se modelos de rendimento acurados, se a determinação ou estimativa da área plantada é deficiente ou vice-versa. Para atingir-se um modelo ajustado de safras, seus dados carecem de boa metodologia de determinação: simplicidade, exatidão e custo baixo.

Para fins de produção agrícola, os modelos de previsão baseados em princípios agrometeorológicos mais significativos são os referentes às fases de desenvolvimento e maturação das culturas, assim como os que tratam de rendimento das colheitas, disponibilidade de umidade do solo e reservas d'água, condições de frio para os cultivos hibernais, quantificação de irrigação e disponibilidade de calor. Grande parte das técnicas de previsão numérica baseada na agrometeorologia fundamenta-se na relação estatística entre as variáveis dependentes que deverão ser estimadas (rendimento da colheita, data da floração e maturação, etc.) e as variáveis agrometeorológicas independentes (precipitação, temperatura, etc.) ou ainda as variáveis reduzidas (índices de umidade do solo, influência da umidade atmosférica). Este enfoque

estatístico não leva necessariamente a uma fácil explicação das relações de causa e efeito, mas é um enfoque prático para a previsão dos rendimentos. Os coeficientes destes modelos empíricos e a validade das estimativas dependem grandemente da escolha do modelo, das variáveis e da representatividade dos dados utilizados. Os resultados auferidos com tais modelos são, entretanto, variados, dependendo da homogeneidade das condições climáticas e práticas agrícolas representadas pelos dados, ou, se as condições geográficas e de solo são adequadamente ponderadas nas equações.

A explosão, desde a década de 50, do uso de funções polinomiais tornou-se quase como um padrão para descrever a resposta das culturas à aplicação de fertilizantes, água de irrigação e demais fatores atmosféricos, particularmente entre profissionais e cientistas das áreas de agronomia, economia e agrometeorologia. As vantagens de sua utilização prendem-se ao fato de serem fáceis de estimar, terem flexibilidade e possibilidade de exibir uma fase de decréscimo de rendimento (fatores adversos). Entretanto, a principal crítica contra as estimativas polinomiais, é que seus parâmetros não têm significação biológica em muitos casos. Também, contradizem o princípio de não substituição entre elementos ou fatores essenciais em processos fisiológicos.

Das estimativas ou previsões com base em variáveis agrometeorológicas atualmente em uso, a mais importante sob o aspecto econômico é provavelmente a previsão agrometeorológica dos rendimentos das colheitas. O desenvolvimento desses métodos tem feito rápidos avanços nos últimos 15-20 anos, tendo sido aplicados para os principais cultivos em inúmeros países. Entre os países mais avançados que utilizam a previsão dos rendimentos das colheitas, figuram o Canadá, Alemanha, Índia, Japão, EUA e a Ex-URSS. A maioria das previsões operativas dos rendimentos das colheitas tem sido estabelecida para os cultivos anuais de cereais devido à sua função na produção mundial de alimentos e também por sua importância econômica no comércio internacional. Além disso, têm-se elaborado com êxito modelos de previsão para a soja, linho, beterraba-açucareira, cana-de-açúcar e outras de importância regional. Entretanto, tratando-se de cultura perene, os resultados são variados, conforme modelos de previsão para café desenvolvidos por LIU e LIU (1987b). Neste aspecto, culturas perenes onde práticas culturais (podas, raleio de frutos e flores) são rotineiras, modelos baseados apenas em variáveis agrometeorológicas não parecem ser suficientes para descrição do processo produtivo. Haveria outros regressores ainda não testados que poderiam dar bons resultados? Será que a introdução de variáveis que descrevem o potencial de produção (metragem da copa, número médio de frutos por planta) da espécie e tipo (cultivar) para cada condição local e safra, associadas com variáveis agrometeorológicas, não melhoraria substancialmente os modelos previsores?

Grande parte dos modelos desenvolvidos para a previsão de rendimentos não é operacional, ou seja, limita-se ao local de experimentação, sem possibilidades de generalização e, portanto, de reduzida utilização prática. Apesar da utilização de modelos polinomiais por mais de 40 anos, persiste a sua utilização generalizada em busca de melhores e mais representativos estimadores. O que se tem buscado melhorar continuamente nesses modelos é o entendimento fisiológico dos processos de crescimento e desenvolvimento vegetal, e incorporá-los de forma descritivo-numérica aos mesmos, melhorando, desta forma, os estimadores dos modelos, sejam eles polinomiais ou não. Tal procedimento pode ser notado em trabalho recentemente conduzido por **GRIMM et al (1993)**.

Em vista que o desenvolvimento de modelos clima-rendimento baseado em programas ou sistemas computacionais e sua implementação em sistemas de informações agroclimáticas são importantes para o planejamento e elevação da produtividade agrícola, pesquisadores têm tentado introduzir novas teorias e metodologias diversas. A utilização da teoria de inferência nebulosa (conjuntos difusos) na previsão de safras, usando um banco de regras montado a partir de séries históricas de produtividade e de variáveis climáticas é um bom exemplo, conforme trabalho de **SILVA et al (1981)**. No entanto, nem sempre o ano imediatamente anterior é o mais adequado para servir de base para a estimativa, o que dificulta a utilização desta técnica.

Nos últimos anos, com o advento dos satélites ambientais operando de forma sistemática, considerável atenção tem sido dada ao desenvolvimento de modelos de rendimento, com a participação de dados de sensoriamento remoto. Imagens de satélites têm revolucionado muitos aspectos de levantamentos de grandes superfícies da terra, para uma variedade de aplicações, gerando desde **modelos espectrais**, **modelos de albedo (refletividade)**, até **modelos termais completos**. Dados espectrais de satélites representam um potencial observável alternativo para uso em estimativas de rendimentos. Em anos mais recentes, esforços têm sido direcionados na construção de modelos de rendimento baseados sobre dados espectrais de satélites ambientais, como: **Landsat**, **Spot**, **NOAA**, **MOS1**, entre outros. Pesquisadores de diversas partes do mundo têm trabalhado por anos seguidos, na estimativa de **índices de área folhar**, com dados espectrais de satélites, como um *input* para estimativa da evapotranspiração ou para *input* para modelos de rendimento de grandes áreas (trigo, cana-de-açúcar, soja). Trabalhos por longos anos consecutivos têm sido conduzidos para estabelecer relações entre informações espectrais de satélites, determinações de campo, propriedades agronômicas sobre superfícies cultivadas, como eventual *input* em modelos de estimativa de rendimentos. Normalmente, tais técnicas têm sido utilizadas para grandes culturas, notadamente cereais, em plantações de grande extensão de cultivo com relevo pouco pronunciado. **RUDORFF e BATISTA (1990)**, neste aspecto, propuseram um Modelo Espectral-Agrometeorológico, com ajustamentos polinomiais, para

estimativa do rendimento da cana-de-açúcar, numa área global de 40.000ha. Embora a combinação de dados espectrais (modelo de índice de vegetação) com dados agrometeorológicos (modelo agrometeorológico) tenha proporcionado estimativas melhores do que tais modelos isolados, ainda explica pouco (r^2 de 50% - 69%). Estes resultados enfatizam a necessidade de se buscar novos estimadores e com desempenho mais favorável. Haveria algo não testado que consiga melhorar as previsões agrícolas? Acredita-se que sim. A nova técnica de redes neurais, talvez, tenha boas possibilidades neste aspecto.

Nos últimos anos, tem surgido também uma nova técnica denominada **redes neurais** que juntamente com **sistemas especialistas**, ambos fazendo parte da inteligência artificial, têm sido propalados como o maior avanço tecnológico desde o descobrimento do transistor, conforme **LAWRENCE (1992)**. Redes neurais artificiais são grupos altamente interconectados de neurônios que processam informações em paralelo. Redes neurais (ou neuronais) artificiais são formadas de centenas ou milhares de neurônios simulados que são conectados de forma similar como os neurônios do cérebro, as quais são capazes de aprender de maneira similar às pessoas. Um simulador de rede neural é um programa (conjunto de instruções computacionais) que cria um modelo de neurônios e de conexões entre eles e então treina tal modelo. Na atualidade, há vários simuladores comercialmente disponíveis que simplificam grandemente a modelagem de redes neurais. O método de rede neural de maior sucesso e utilização generalizada denomina-se **Back-Propagation** e foi desenvolvido em 1985/86. Possui um esquema de aprendizagem supervisionado pelo qual uma camada de neurônios da rede neural de propagação para frente (“feed forward”) é avaliada continuamente e treinada para tornar-se uma máquina de comparação padrão. A rede aprende tendo um erro local de sinal propagado de volta durante o treinamento, daí o nome. O treinamento da rede pode ser pensado como uma função de minimização de erro, ou seja, quando o erro é minimizado a rede está treinada. As redes neurais têm sido aplicadas em várias áreas do conhecimento nos últimos anos. Entre elas podemos enumerar: previsões financeiras, análise e processamento de sinais, controle de processos, robótica, reconhecimento de padrões (dados digitais de imagens de satélites, sinais de retorno de sonares do fundo do mar), filtros de ruídos, reconhecimento da fala, diagnósticos médicos e de decisões de negócios, entre outras.

Neste contexto, questões ficam evidentes, tendo em vista a flexibilidade que as redes neurais atuais possuem para estruturar e esquematizar modelos: não poderiam ajustar melhor os *inputs* previsores de rendimentos ou de safras? Qual o tamanho mínimo da série de dados necessária para treinar adequadamente a rede? Ou qual o número de neurônios da camada oculta (*hidden*) seria adequado para o ajustamento da rede previsora? A utilização de redes neurais pode ser um importante passo na busca de melhores ajustamentos nas previsões de fases fenológicas

relevantes de culturas diversas, além de estimativa de rendimentos baseada em dados de potencial de produção (inerente à cultura) e das condições climáticas reinantes que antecedem à colheita.

Outra informação fundamental para a composição dos modelos de previsão de safras diz respeito à determinação ou **estimativa da área cultivada**. Neste aspecto reside um dos principais problemas da estimativa da produção, tendo em vista o caráter dinâmico e sazonal dos cultivos. Muitas vezes, em diversos países, as safras são avaliadas de forma indireta e por métodos puramente qualitativos, isto é, subjetivamente. É comum o uso de informações sobre o volume de crédito agrícola para plantio tomado pelos produtores ou pela conjuntura socioeconômica e comercial reinante como critério de estimativa de safra em curso. Também, a série temporal de safras passadas pode ser considerada. Neste aspecto, em muitos casos, as metodologias de **séries temporais** (modelos autorregressivos - **AR**, médias móveis - **MA**, modelos mistos - **ARMA** e **ARIMA** - Autorregressivo-integrado-médias móveis) poderiam ser aplicadas. Entretanto, grande parte das séries históricas de dados de safras é pequena, pouco confiável, apresentando não-estacionaridade (média e variância variáveis no tempo), dificultando sua previsão. Também, a ocorrência de fatores ambientais extremos (ventos fortes, granizo, temperaturas extremas, estresse hídrico), pode frustrar, em certos anos, tais estimativas.

A estimativa de áreas plantadas poderia ser efetuada com o uso de processos tradicionais de medição topográfica, fotogrametria e sensoriamento remoto. Os dois primeiros processos, embora precisos geometricamente falando, são de custo elevado e execução demorada, tendo em vista a dinâmica e a extensão agrícola. Os dados de sensoriamento remoto orbital, nos últimos anos, têm sido utilizados nos mais diferentes campos da geociência e, principalmente, na agricultura, especialmente no caso de uso da terra, ou seja, na discriminação das espécies e culturas vegetais. Em muitas aplicações de técnicas de sensoriamento remoto em atividades como agricultura, florestas, mineração, entre outras, necessita-se uma resolução espectral melhor do que a atualmente disponível nas fotografias aéreas ou sensores a bordo de satélites, neste caso ainda com baixa resolução espacial. Também, a resolução temporal deve ser considerada, pois, em muitas regiões, o problema de nebulosidade tem prejudicado o imageamento da superfície terrestre, reduzindo as possibilidades de discriminação de cultivos em fases fenológicas propícias. Este fato é tanto mais notório quando se pensa em utilizar dados de sensoriamento remoto no meio rural com estruturas fundiárias de pequenas propriedades, relevo acentuado, plantios diversificados por propriedade e sistemas de produção consorciados. Deste modo, a caracterização adequada das áreas cultivadas, por espécie e cultivares, torna-se problemática para a previsão de safras. Os atuais sensores a bordo de satélites fornecem coberturas de grandes áreas a custos baixos, mas possuem limitações quanto às suas capacidades espectrais e em muitos casos

espaciais também (tamanho do pixel), não permitindo o detalhamento e a precisão necessária aos monitoramentos intensivos dos recursos naturais e agrícolas.

Nos últimos anos, uma nova geração de sensores aerotransportáveis (*scanners*) foi desenvolvida para atender às necessidades de imagens com alta resolução espacial e principalmente espectral. Um destes sensores, de segunda geração, de imageamento espectroscópico, chamado *Compact Airborne Spectrographic Imager - CASI*, foi desenvolvido por empresa canadense, segundo **TRINO (1993)**. O CASI é um equipamento portátil e flexível que pode ser usado em laboratório e no campo. A flexibilidade diz respeito à capacidade que o equipamento tem em selecionar e definir bandas espectrais permitindo utilizá-lo para verdade terrestre, ou na definição da seleção de bandas espectrais ótimas para outros satélites e sistemas aerotransportáveis. Suas imagens são registradas em fita cassete digital de capacidade de **2.2 Gbytes**. O peso do sistema é de **55kg** e o tamanho é o de um computador **PC**. O CASI foi projetado para produzir imagens digitais desde o espectro visível (**430nm**) ao infravermelho próximo (**870nm**), com grande sensibilidade, grande resolução espacial e espectral e uma amplitude dinâmica em termos espaciais, ser compacto e facilmente transportável, de fácil montagem em uma gama de aeronaves de pequeno porte, de fácil operação e baixo custo. Pode operar no modo espacial (até **15** bandas programáveis) e no modo espectral (amostras de pixels com 288 intervalos de **1.8 nm**). A real utilidade e o potencial discriminante de alvos destes novos sensores não são conhecidos totalmente em termos práticos e em condições ambientais variadas.

Assim, uma nova questão é colocada em dúvida: será que as imagens digitais geradas por sensores aerotransportáveis atuais permitem a discriminação de cultivos em pequenas extensões, plantios diversificados e separação de cultivares (tipos) de uma mesma espécie vegetal?

Em um futuro próximo, espera-se o desenvolvimento e operação de sensores orbitais com maior resolução espacial (**3 a 5 m**), com sistemas baseados em varredura eletrônica (melhor geometria), melhor resolução espectral, radiométrica (**10** bandas espectrais) e temporal, com obtenção de imagens estereoscópicas e com sistemas de captação da energia eletromagnética passiva e ativa (microondas). Tais perspectivas foram levantadas detalhadamente por **FAGUNDES (1987)** e antecipam aproveitamentos futuros de resultados alcançados com o uso de *scanners* aerotransportados de utilização atual.

Para a correta avaliação quantitativa da discriminação de cultivos, espécies e cultivares, por sensores aerotransportáveis ou orbitais, no entanto, há a necessidade de um referencial confiável e detalhado, ou seja, de cartas básicas nas quais as alterações ou projeções da evolução físico-

espacial possam ser georreferenciadas com precisão. Neste aspecto, informações de campo e fotografias aéreas são fundamentais e imprescindíveis para a configuração precisa e detalhada de mapas topográficos, com a ajuda de pontos de apoio terrestre, da aerotriangulação e processos de restituição aerofotogramétrica numérica ou digital. Dependendo do número de mapas (temas) gerados por estes processos e sua abrangência em nível municipal ou regional, viabiliza-se a implantação do **cadastro técnico multifinalitário**.

Para a adequada manipulação, visualização e análise dos dados espaciais obtidos por sensores remotos digitais e mapas precisos, a utilização de **sistemas de informações geográficas - GIS** torna-se fundamental. Desta forma, o **SIG** ou **GIS**, é um sistema georreferenciado com topologia associada, partindo de mapas básicos e compatíveis, onde as diversas cartas temáticas poderão ser correlacionadas. Este sistema permite que informações provenientes de vários conjuntos de dados espaciais possam ser justapostos e representados de forma gráfica ou digital, podendo posteriormente ser usados para análise visual ou por modelos analíticos. Atualmente, pesquisadores do mundo todo têm buscado a integração de sistemas de informações geográficas com dados de sensoriamento remoto, objetivando a planificação agrícola, o cadastro técnico rural e o levantamento dos recursos naturais. O **GIS**, então, pode integrar numa mesma base de dados (mapas com precisão), imagens diversas, sejam de satélites ou obtidas de outras fontes, com modelos numéricos de terreno, combinando as várias fontes de informações por meio de algoritmos de manipulação para gerar e produzir novas imagens ou mapas georreferenciados.

Do exposto até aqui, pode-se verificar as dificuldades e limitações dos métodos atuais de previsão agrícola, possíveis saídas para estudos futuros e numerá-los de forma resumida:

a) - Normalmente, os métodos e modelos em uso para previsão de rendimentos e de safras são direcionados para plantios extensivos, notadamente cereais;

b) - Os modelos de rendimentos atuais ou são por demais abrangentes, baseados em dados estatísticos globais de produção passadas (**FIBGE**), sem grandes comprovações quantitativas, ou usam dados experimentais de difícil generalização;

c) - Regiões com plantios em pequenas extensões (propriedades < 100ha) ou apresentando relevo mais ondulado (15-25% declividade), com cultivos perenes (laranja, maçã, café, etc) não têm merecido a atenção devida dos pesquisadores na elaboração de modelos operacionais de previsão agrícola. Além disso, culturas perenes, onde há interferência no processo produtivo pelo

homem (podas, raleios de flores e frutos por métodos mecânicos ou químicos), as variáveis climáticas isoladas não são suficientes para estabelecer relações matemáticas ou empírico-estatísticas para a definição adequada destes modelos. Assim, modelos que levem em conta características das culturas, como potencial de produção (número médio de frutos/planta, metragem da copa) da espécie e cultivar para cada safra específica, além das variáveis ambientais (solo, clima), devem ser considerados e podem torná-los de aplicação prática. Qual modelo daria melhor ajustamento: polinomial ou redes neurais?

d) - A discriminação de áreas cultivadas com base em sensores remotos orbitais tem sido também utilizada para grandes culturas, não apenas pela sua importância socioeconômica, mas principalmente pela dificuldade técnica de diagnosticar áreas com plantios em pequena escala com grande variabilidade espectral. Entretanto, em muitos casos, culturas de menor extensão, principalmente fruticultura, têm um alto valor socioeconômico agregado. Será que os sensores atuais (scanners) aerotransportáveis têm possibilidades de discriminar cultivos em nível de cultivares (tipos), nestas condições ?

e) - Em vários estudos denota-se a utilização de imagens orbitais, mas no entanto, sem a utilização de cartas básicas (topográficas, fundiárias) precisas e em escala adequada sobre as quais as modificações captadas da superfície terrestre possam ser georreferenciadas. Este fato é tanto mais notório quanto menores as áreas cultivadas, diversificadas e de relevo variado. Neste aspecto, a utilização de mapas básicos componentes de cadastros técnicos rurais ou o desenvolvimento deles torna-se fundamental quando se pensa em utilizar metodologias quantitativas de previsão de safras. Também, a integração de sensoriamento remoto orbital ou aerotransportado com sistema de informações geográficas - GIS é importante na medida em que torna o processo de previsão mais dinâmico, ágil e com visão espacial da ocupação do solo agrícola.

A relevância do assunto nos parece transparente uma vez que os modelos de previsão de fenofases, de rendimentos agrícolas e de safra, atualmente em uso, não apresentam resultados adequados nem permitem um monitoramento dinâmico da produção agrícola. Este fato é mais notório quando se particulariza para regiões de pequenas propriedades, plantios consorciados e de relevo pronunciado. Também, até este momento, não encontramos referências do uso de imagens digitais de *scanners* aerotransportáveis na discriminação de espécies agrícolas em nível de cultivares e nem do uso de redes neurais na previsão agrícola, particularmente em espécies perenes.

1.2 - Novo enfoque de previsão agrícola

Tendo em vista os problemas encontrados nos métodos atualmente em uso para a previsão agrícola, principalmente para culturas não extensivas e perenes, formulou-se um fluxograma para auxiliar no entendimento global do modelo a ser enfocado. Assim, a **FIGURA 1.1 (pg. 12)**, nos proporciona uma idéia geral dos diversos processos e etapas envolvidas no novo enfoque proposto para a implementação da previsão agrícola.

Os modelos envolvidos possuem base agrometeorológica com combinação de dados do potencial produtivo da espécie e cultivar e levando em conta fases fenológicas importantes (data da floração, de colheita), dados de rendimento e produção total de séries históricas de áreas em produção. As variáveis agrometeorológicas consideradas estão dentro do conceito de graus-dia, horas de frio, balanço hídrico, entre outros, que dão significação lógica e compreensível para os resultados apresentados pela cultura. Os modelos propostos são polinomiais, de várias ordens, ajustamentos pela técnica de regressão múltipla. Também, utiliza-se de rede neural artificial, ***Back-Propagation***, para ajustamentos das variáveis predictoras e como modelo de comparação alternativa.

Para a caracterização e discriminação das espécies e cultivares, quanto à área ocupada, empregam-se imagens digitais captadas por *scanner* aerotransportado. Como verdade terrestre, utilizam-se fotografias aéreas do mesmo período das imagens digitais, dados de campo (plantas/mapas fundiários existentes) e sobretudo restituição fotogramétrica digital e confecção de mapas precisos e em escala adequada da área de estudo. Também, comparam-se as áreas discriminadas por esta metodologia com outra utilizada pelos produtores e órgãos encarregados pela previsão local. Para a integração e manipulação de todas os dados alfanuméricos ou dos mapas digitalizados, emprega-se o **sistema de informações geograficas - GIS**. Assim, a dinâmica das safras pode ser acompanhada em tempo quase real, com a combinação destas diversas técnicas e modelos de previsão, sob uma ótica espacial e dimensionadas de acordo com o interesse do usuário, isto é, em nível da empresa agrícola, do município e do Estado.

Para a implementação deste estudo, dados de séries históricas de rendimento, produção total e dados fenológicos de cultura perene são necessários. Além disso, ter disponível vôo aerofotogramétrico recente, concomitante com imagens digitais obtidas por aeronave das áreas agrícolas envolvidas. Também um inventário preciso de toda a área de estudo, quanto ao manejo, uso e tipo de solo, práticas agrícolas adotadas, entre outras informações do processo produtivo é necessário. Neste aspecto, em nosso meio, a única cultura que reúne todas estas características é a da maçã. Também, a importância socioeconômica da maçã no contexto da fruticultura mundial é nítida quando se verifica o montante de dólares no comércio internacional desta pomácea, ou

seja, superado apenas pela banana e laranja mais tangerina, segundo a **INTERNATIONAL FRUIT WOLD (1985)**. Em nível de Brasil, Santa Catarina é o maior produtor (60% da produção) com, aproximadamente, 500.000t. na safra **1992/1993**. A região de Fraiburgo/SC, contribui com mais de **40%** da produção nacional.

Embora o montante expressivo de produção desta região, os produtores convivem com a falta de uma metodologia adequada para a previsão dos rendimentos e de safras, seja em nível de pomar, propriedade ou mesmo regional. Conforme dados e informações prestadas pelos produtores de Fraiburgo, como a Empresa Renar, Pomifrai Fruticultura e pela **AFF**, na safra de **1992/1993**, a diferença entre a previsão e a colheita final, superou a **50%**, tendo casos em nível de pomar em **80%**. Esta diferença significativa implica em problemas diversos de administração da produção, desde a falta de mão-de-obra e câmaras frigoríficas para estocagem do produto até, e principalmente, na comercialização da produção. Em nível governamental, tais previsões advém de levantamentos junto às empresas produtoras, sofrendo da mesma deficiência.

Os resultados deste trabalho deverão ser de interesse de empresas públicas e privadas dedicadas às atividades do meio rural, instituições governamentais de acompanhamento de safras e órgãos de arrecadação tributária.

1.3 - Objetivos do estudo

O principal objetivo deste estudo é avançar no entendimento de modelos que visem melhorar a previsão de fenofases importantes de culturas agrícolas, rendimentos e safras.

Os objetivos específicos são:

- a)** - Testar e comparar modelos de previsão polinomiais contra redes neurais de estádios fenológicos importantes de cultura perene, como floração e início de colheita, bem como de rendimentos e produção total (safra). Também tentar a combinação de modelos previsores polinomiais e neurais pelo uso de programação linear, buscando minimizar desvios ou erros relativos;
- b)** - Desenvolvimento de metodologia de análise espacial para a caracterização da propriedade agrícola com o intuito de discriminação das áreas cultivadas, em nível de espécie e cultivares, a partir de imagens digitais obtidas por *scanner* aerotransportável e de aerofotos obtidas de vôo fotogramétrico.

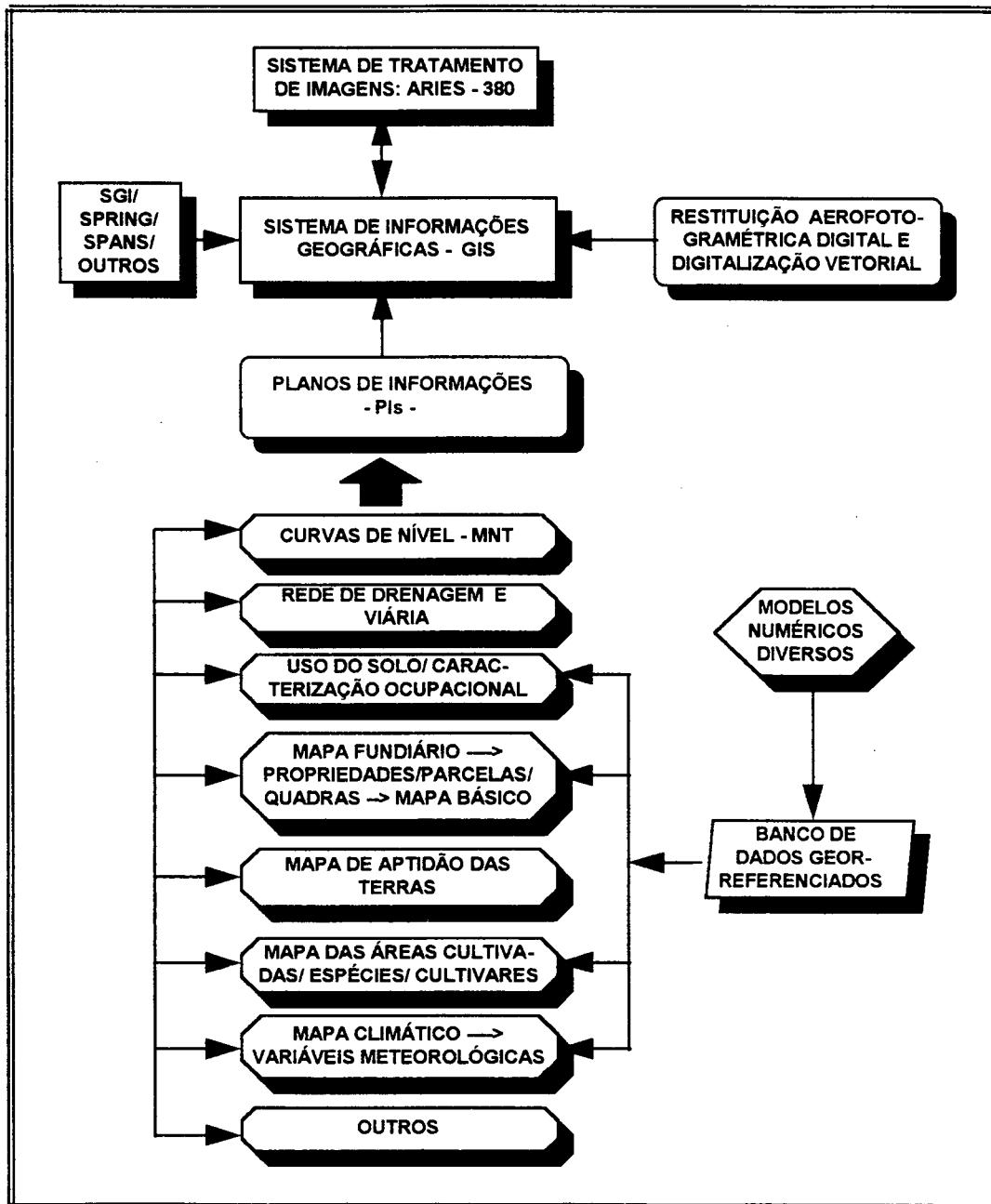


FIGURA 1.1 - Fluxograma metodológico dos objetivos propostos para a presente pesquisa.

2 - FUNDAMENTOS TEÓRICOS:REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Objetivando racionalizar e melhorar a abordagem do assunto, subdividiu-se em tópicos básicos com detalhamento de métodos numa visão histórica, problemas não equacionados e possíveis saídas para estudos.

Tópicos básicos:

- * modelos de estimativa de fenofases;
- * modelos de estimativa de rendimentos;
- * redes neurais;
- * determinação ou estimativa das áreas cultivadas: uma visão espacial;
- * caracterização da propriedade agrícola e uso do Sistema Geográfico de Informações - GIS (integração de dados);
- * Características gerais da cultura da macieira.

2.1 - Modelos de estimativa de fenofases: somas térmicas e horas de frio

Métodos e modelos agrometeorológicos, biometeorológicos ou bioclimáticos, nada mais são que estudos ou formas de análises qualitativas e quantitativas da ação dos elementos ambientais sobre o desenvolvimento vegetal. As condições que possuem influência decisiva no crescimento e/ou desenvolvimento vegetal são: temperatura (do ar e do solo), fotoperiodismo, radiação solar, precipitação pluviométrica (disponibilidade de água no solo). Devido ao número elevado de fatores ambientais aliados à complexidade das interações envolvidas em qualquer estudo planta-clima, a grande maioria dos estudos fenológicos tem sido conduzida pela comparação do desenvolvimento vegetal com um simples elemento ambiental, notadamente temperatura média do ar (**BRUNINI 1975**). Inúmeros trabalhos de pesquisa têm sido conduzidos neste sentido, relacionados à temperatura do ar ou do solo ou o fotoperiodismo com desenvolvimento e/ou crescimento vegetal, tais como: **ROBERTSON (1968)**, **DAMARIO e PASCALE (1971)**, **BRUNINI et al (1976)**, **BERLATO e SUTILI (1976)**, **HARDING et al (1976)**, **LUCCHESI et al (1977)**, **ALTHOFF et al (1987)**.

Porém, a demanda de água também deve ser considerada para que as plantas apresentem um bom desenvolvimento e tenham uma produção econômica. A demanda de água pelas culturas é imposta pelas condições ambientais (temperatura, radiação solar, déficit de saturação atmosférica, vento, etc.), da disponibilidade de água em nível radicular, além de fatores inerentes à

própria estrutura e fisiologia da planta (área foliar, sistema radicular, mecanismos de abertura estomática, etc.).

2.1.1 - Disponibilidade térmica

Historicamente, os estudos das interações clima-planta iniciaram-se com **RÉAUMUR, R. A. F.** em 1735, com a construção da escala termométrica e sugerindo que " *a somatória da temperatura média, para uma fase do desenvolvimento das plantas, é constante para cada espécie vegetal*", conforme **KISH (1967)**. Esta somatória de temperatura ficou conhecida como **constante Réaumur de fenologia**. Somente em 1834, **BOUSSINGAULT** sugeriu a utilização do "produto da temperatura média, acima de 6 graus centígrados e o período considerado", segundo **ROBERTSON (1968)**. Tal produto foi denominado **Graus-Dia - GD**.

O conceito de graus-dia, também denominado **unidades térmicas**, assume que existe uma temperatura base, abaixo da qual a planta não se desenvolve, e se o fizer é em escala muito reduzida. Pressupõe, também, uma relação linear entre acréscimo de temperatura e desenvolvimento vegetal. Cada espécie vegetal ou cultivar possui uma temperatura base, podendo este valor variar com a idade da planta. Várias formulações ou modelos foram sugeridos para o cômputo dos graus-dia, necessários para que o vegetal atinja um certo estágio do seu ciclo de desenvolvimento, como: **LYNDSEY e NEWMAN (1956)**, **HOLMES e ROBERTSON (1959)**, **ARNOLD (1960)**, **BROWN (1969)**, **OMETTO (1981, p.135)**. De uma maneira geral e simplificada, a expressão utilizada para o somatório dos graus-dia ou unidades térmicas pode ser assim expressa:
$$GD = \sum_{i=di}^{df} (T_i - t_b)$$

Onde: **GD** = graus-dia; **di** = data inicial da fase de estudo; **df** = data final da fase de estudo; **T_i** = temperatura média diária - (° C); **t_b** = temperatura base da fase de estudo - (° C).

Esta teoria pressupõe que temperaturas noturnas e diurnas têm a mesma importância para o crescimento das plantas e que a influência de outros fatores, tais como: fotoperiodismo, umidade do solo são desprezíveis em relação à temperatura. Também não diferencia uma combinação de primavera quente e verão frio de uma primavera fria e verão quente. Também não considera a oscilação térmica diurna, mais significativa do que o valor médio diário. Dá maior peso às temperaturas mais elevadas (>27° C) as quais podem, em muitos casos, ser até prejudiciais, **BROWN (1960)**, citado por **MOTA (1981a, p.164)**. Desta forma, **GILMORE e ROGERS (1958)**; **GUNN e CHRISTENSEN (1965)**, propuseram a adoção de temperatura máxima para o crescimento como forma de contornar os efeitos deprimentes de temperaturas mais altas. Assim, uma variedade de equações foi proposta na tentativa de suplementar as deficiências abordadas, alterando o modelo inicialmente proposto, embora em muitos estudos este tenha se mostrado

eficiente, tais como: **BROWN (1969)**, **BRUNINI et al (1976)**, **ALTHOFF et al (1987)**, **VIEIRA et al (1992)**, **BARNI e BERLATO (1993)**, **PEDRO JÚNIOR et al (1993)**, **VOLPE (1993)**, **SILVA e COSTA (1993)**, **SOUZA (1993)**.

Diante destes fatos, **OMETTO (1981)** apresentou modelo para o somatório diário de graus-dia ou unidades térmicas, considerando a temperatura mínima (**T_b**) e máxima basal (**T_B**). Ao valor da energia mínima que aciona os dispositivos metabólicos da planta, chamou de temperatura basal mínima (**T_b**), ou seja, somente estados energéticos acima deste limite são propícios ao crescimento e desenvolvimento do vegetal estudado. O nível energético máximo, acima do qual a planta estanca suas atividades metabólicas, é chamado de temperatura máxima basal (**T_B**) e que compreende o limite superior de suporte energético para aquela planta. Portanto, os valores de temperatura do ar inferiores ao mínimo basal e os superiores ao máximo basal, são retirados do cálculo de graus-dia por constituírem-se de valores deficitários, no caso de mínimo, e excessivos, no caso de máximo. As expressões seguintes, definem o modelo proposto, sempre considerando o tempo unitário:

* Expressão 1 : $GD = (T_M - T_m) / 2 + (T_m - T_b)$; Condição: $T_b < T_m; T_B > T_M$;

* Expressão 2 : $GD = (T_M - T_b)^2 / 2 (T_M - T_m)$; Condição: $T_b \geq T_m; T_b < T_M;$
 $T_B > T_M$;

* Expressão 3 : $GD = 0$; Condição: $T_b > T_M; T_B > T_M$;

* Expressão 4 : $GD = (2 (T_M - T_m)(T_m - T_b) + (T_M - T_m)^2 - (T_M - T_b)^2) / 2 (T_M - T_m)$;

Condição: $T_b < T_m; T_B < T_M$;

* Expressão 5 : $GD = 1/2 \{((T_M - T_b)^2 - (T_M - T_B)^2) / (T_M - T_m)\}$;

Condição: $T_b > T_m; T_B \leq T_M$;

Onde: **T_b** = temperatura mínima basal - (° C), dependendo da espécie vegetal, cultivar e fase fenológica; **T_B** = temperatura máxima basal - (° C), dependendo da espécie vegetal, cultivar e fase fenológica; **T_M** = temperatura máxima diária do ar - (° C) ; **T_m** = temperatura mínima diária do ar - (° C).

Graus-dia, compreende um valor numérico aproximadamente constante para cada estágio fenológico, e pela somatória dos valores diários, determina-se quando esse estágio fenológico está completado. Depois de realizado para um ou dois anos, têm-se a previsão dos anos subseqüentes da marcha dos valores de graus-dia, possibilitando dessa maneira prever a data da maturação ou

da colheita da cultura, **BRAGA e BIASI (1987)**. Este critério de análise também é aplicado em ciclos de insetos predatórios com previsão de desenvolvimento e atividades dos mesmos, **MILANEZ (1983)**.

Desde a década de 40, tem surgido na literatura a combinação das somas térmicas com outras variáveis climáticas (insolação, precipitação, etc.) e astronômicas (comprimento do dia) objetivando tornar tais modelos mais gerais, precisos e operativos para diversas culturas. Desta forma, tendo em vista a dependência que certas espécies e cultivares possuem ao fotoperiodismo, como trigo, soja e alho, alguns pesquisadores incorporam às somas térmicas tal elemento climático aos seus modelos: **GESLIN (1944)**, **PASCALE e DAMARIO (1954)**, **PASCALE(1955)**, **VILLA NOVA et al (1984)**, **BRAGA e BIASI (1987)** e **GRIMM et al (1993)**.

Tal combinação entre temperatura do ar e duração do período diurno (comprimento do dia) denominou-se de **graus-dia base luz ou unidades fototérmicas - UF**, segundo **OMETTO (1981)**. A expressão mais simples pode ser assim definida:

$$UF = \sum_{i=di}^{df} (T_i - t_b) L ;$$

Onde : **UF** = unidades fototérmicas; **di** = data do início do estudo da fase fenológica; **df** = data do final do estudo da fase fenológica; **T_i** = temperatura média diária (° C); **t_b** = temperatura mínima basal da fase em estudo - (° C); **L** = duração do período diurno (**horas**).

PRIMAULT(1969) desenvolveu **índices biometeorológicos** para várias cultivares de milho da Suíça, conforme a expressão básica seguinte:

$$U = \sum_{j=di}^{df} (T - t_b) + iI + pP_k ;$$

Onde: **U** = índice biometeorológico ou valor numérico, representando a influência aditiva dos elementos do clima sobre o desenvolvimento vegetal; **di** = data de início da fase fenológica em estudo; **df** = data final da fase fenológica em estudo; **T** = temperatura média diária - (° C); **t_b** = temperatura mínima basal - (° C); **I** = insolação diária totalizada (**horas**); **P** = precipitação pluviométrica (**mm**), considerando-se um valor máximo de armazenamento de água no solo (**k**); **i, p** = valores ponderados da influência da insolação e da precipitação sobre o desenvolvimento vegetal.

Paralelamente, nas últimas décadas, têm surgido estudos combinando a metodologia de graus-dia com modelos polinomiais de várias ordens para estimativa de taxas de crescimento e desenvolvimento vegetal diversos. Neste contexto, **ROBERTSON (1968)**, desenvolveu um

modelo para relacionar a taxa diária de desenvolvimento (r) e o grau de maturidade (M), em função do fotoperíodo (L) e a temperatura do ar (T), da forma seguinte:

$$r = d_M / d_t = F_1 L * F_2 T ;$$

Integrando-se a equação acima, entre um período fenológico ($S1$) e outro ($S2$), têm-se:

$$\int_{S1}^{S2} r d_t = M = \int_{S1}^{S2} F_1 L * F_2 T d_t ;$$

Tendo em vista que M não pode ser observado numericamente, ele foi aproximado para o valor estocástico de 1, para cada fase fenológica específica. Assim:

$$\int_{S1}^{S2} F_1 L * F_2 T d_t = 1 ;$$

O autor, por meio de processo iterativo, chegou à seguinte solução para a expressão:

$$\sum_{S1}^{S2} \{ [a_1(L - a_0) + a_2(L - a_0)^2] [b_1(T_1 - b_0) + b_2(T_1 - b_0)^2] +$$

$$[c_1(D - c_0) + c_2(D - c_0)^2] [d_1(T_2 - d_0) + d_2(T_2 - d_0)^2] \} = 1$$

Onde : T_1 = temperatura máxima diária - ($^{\circ}$ C); T_2 = temperatura mínima diária - ($^{\circ}$ C);

D = duração do período noturno (horas); a_0, a_1, a_2, \dots coeficientes relativos a cada cultura e para cada fase fenológica.

ROBERTSON (1968) e WILLIAMS(1974) aplicaram tal modelo para estudos das fases fenológicas da cultura de trigo e cevada nos EUA. Também, nesta abordagem, **CUTFORTH e SHAYKEWICH (1990)** conduziram estudo comparativo de três modelos de estimativa de fenofases de híbridos sobre condições de campo de vários locais a sudoeste de Manitoba/Canadá. O objetivo deste estudo foi desenvolver um modelo termal que pudesse ser interativamente ajustado para dados de campo o qual deveria ser independente da duração da fase. Os modelos foram os seguintes:

a) - Modelos de desenvolvimento térmico:

O "corn heat units"- **CHU** e o graus-dia - **GDD**, conforme **BROWN (1969)**, foram calculados de temperaturas máximas e mínimas diárias (T_{MAX}, T_{min}), conforme equações:

a.1) - $GDD = [(T_{MAX} + T_{min})/2] - 10 ;$

Onde: $T_{MAX} = 30$ para $T_{MAX} > 30^{\circ}$ C e $T_{min} = 10$ para $T_{min} < 10^{\circ}$ C.

a.2) - $CHU = (X + Y)/2 ;$

Onde:

$$X = 1.8 (T_{min} - 4.4) ; \implies T_{min} \geq 4.4^{\circ} C ;$$

$$X = 0 ; \implies T_{min} < 4.4^{\circ} C ;$$

$$Y = 3.3 (T_{MAX} - 10) - 0.083 (T_{MAX} - 10)^2 ; \implies T_{MAX} \geq 10^{\circ} C$$

$$Y = 0 ; \implies T_{MAX} < 10^{\circ} C ;$$

b) - Modelo de temperatura interativa (IT):

Tal modelo foi modificado de **LANDSBERG (1977)**, pelos autores, para condições de campo, ou seja:

$$R = A (T - T_1)(T_2 - T)^B ;$$

Onde:

$A = T_{MAX} / [(T_0 - T_1)(T_U - T_0)^B]$; $B = (T_U - T_0) / (T_0 - T_1)$; $T_1; T_0; T_U$ = temperaturas basais, inferior, ótima e superior; T = temperatura observada; R_{MAX} = taxa máxima à T_0 ; R = taxa de desenvolvimento/acumulação ou resposta curvilínea em relação à temperatura; $T_1; T_U$ definem as temperaturas-base abaixo e acima das quais a taxa, R , é igual a zero. A equação pode ser rearranjada para taxa de desenvolvimento relativa (R_R), por procedimentos de ajustamentos iterativos:

$$R_R = R / R_{MAX} = [(T - T_1)(T_U - T)^B] / [(T_0 - T_1)(T_U - T_0)^B] ; \dots\dots\dots (*)$$

Simple procedimento iterativo foi desenvolvido para ajustar a equação(*) para os dados de campo, assumindo ter duas funções de resposta T (temperatura):

Uma para a mínima diária, T , $R_R(T_{min})$, ou seja, R_R calculada pela equação (*) com $T = T_{min}$, e outra para a máxima diária. Ambas equações têm temperaturas cardeais diferentes. Taxas diárias de desenvolvimento relativo (R_D) foram calculadas com a média de $R_R(T_{min})$ e $R_R(T_{MAX})$:
 $R_D = [R_R(T_{min}) + R_R(T_{MAX})] / 2$;

As taxas diárias de desenvolvimento relativo foram calculadas sobre a duração da fase de crescimento em estudo: $R_T = \sum_{i=1}^n R_D$; Para uma dada combinação de temperaturas, a taxa diária de desenvolvimento relativo acumulado - R_T , para cada 12 estações-ano de dados de campo foi determinado o coeficiente de variação para os 12 R_T foram calculados. Tal processo foi repetido, várias vezes, buscando pela combinação de temperaturas cardeais ou basais que resultassem num menor CV para R_T . O modelo de temperatura iterativo (IT) permitiu mais acurada estimativa da duração das fases fenológicas avaliadas, apresentando-se independente da duração da fase de crescimento, contrário dos modelos **CHU** e **GDD**. O modelo, no entanto, não é satisfatório para taxas de maturação de híbridos, mas pode ser usado para propósitos de simulação de modelos. Devido a natureza iterativa do modelo (IT), são requeridos extensivos testes para refinar a técnica e coeficientes. Os coeficientes do modelo devem restringir-se apenas à área geográfica da área de estudo. O autores sugerem, também, que um resultado mais realístico poderia ser obtido com o uso da temperatura do ar e com dados de disponibilidade de umidade (água).

Recentemente, mas ainda dentro do princípio de taxas de desenvolvimento vegetativo, **GRIMM et al (1993)** desenvolveram trabalho de pesquisa cujo objetivo foi a determinação de parâmetros para a previsão da data de florescimento de soja, para os mais diversos climas do

continente americano e como parte do modelo fisiológico denominado **SOYGRO**. A data de florescimento é predita pela acumulação de uma taxa diária de desenvolvimento, a qual depende do período de duração da noite e da temperatura até atingir uma base, um limite. A taxa de desenvolvimento diário é computada por uma relação multiplicativa de duas funções: uma que é a variação da taxa de desenvolvimento com duração da noite sobre condições otimizadas de temperatura e a outra, descrevendo a variação com a temperatura sobre duração da noite otimizada. O conjunto de dados usados para cada cultivar possuía de **39 a 115** observações, combinando diferentes locais, anos e datas de semeaduras, entre as latitudes de **18° 03' a 45° 25" N**. Muitos modelos de taxas de desenvolvimento foram comparados, entre eles podemos destacar: **Linear-platô, Exponencial Inversa com Platô, Logístico e Regressão Linear Múltipla**. O modelo Linear-Platô, tanto para os efeitos de duração da noite como de temperatura, proporcionou melhores resultados de ajustamento e produziu os resultados mais consistentes. A raiz quadrada do erro entre dados observados e estimados de florescimento variou entre **3,45 a 5,28** dias. O coeficiente de correlação entre o número de dias observados e simulados da semeadura ao florescimento variou de **0,987 a 0,841**, com uma tendência crescente das cultivares tardias para as de maturação precoce. Assumiu-se, neste trabalho, ter 8 dias fisiológicos da semeadura ao final da fase juvenil para todas as cultivares. Durante este período uma escala termal, baseada simplesmente na temperatura foi usada. Conforme **HERKETH et al (1973)**, citado pelos autores, a taxa de desenvolvimento vegetativo é determinada de acordo com uma função "spline" com três segmentos lineares, onde quatro parâmetros (**To, T1, T2 e T3**) definem os pontos críticos. **To = 6° C**, significa que abaixo desta temperatura a taxa de desenvolvimento é nula. **T1 = 30° C**, a qual significa que entre **To** e **T1** a taxa aumenta linearmente de zero para valores próximos de um dia termal por dia do calendário. **T2** é igual a **35° C** e, junto com **T1**, define um platô onde a taxa de desenvolvimento é constante e igual a um. **T3** é igual a **45° C**, significando que acima desta temperatura a taxa de desenvolvimento decresce linearmente de **T2** para **T3**. Pela integração da taxa de desenvolvimento pelo tempo, iniciando na data da semeadura, o final da fase juvenil ocorre quando 8 dias termais são atingidos. Do final da fase juvenil até o florescimento, uma relação multiplicativa é usada para computar a taxa de desenvolvimento como uma função da temperatura e a duração da noite:

$$R(t) = F(N)F(T) ;$$

Onde:

R(t) = taxa de desenvolvimento, em dias fototérmicos, no dia t;

F(N)= função de duração da noite; **F(T)** = função da temperatura. **F(N)** e **F(T)** foram computados diariamente e assumem valores entre **0** e **1**. A função linear-platô adotada para **F(N)** foi:

$$\begin{aligned}
 F(N) &= 0 && \text{se } N \leq N_{\text{MIN}} ; \\
 F(N) &= (N - N_{\text{MIN}}) / (N_{\text{OT}} - N_{\text{MIN}}) && \text{se } N_{\text{min}} < N < N_{\text{OT}} ; \\
 F(N) &= 1 && \text{se } N \geq N_{\text{OT}} ;
 \end{aligned}$$

Onde: N = duração da noite, em horas; N_{MIN} = duração mínima de luz abaixo da qual não há desenvolvimento para o florescimento; N_{OT} = duração da noite otimizada. A taxa relativa de desenvolvimento é 1, se a duração da noite for $\geq N_{\text{OT}}$. A função linear-platô para $F(T)$, também foi utilizada:

$$\begin{aligned}
 F(T) &= 0 && \text{se } T \leq T_{\text{MIN}} ; \\
 F(T) &= (T - T_{\text{MIN}}) / (T_{\text{OT}} - T_{\text{MIN}}) && \text{se } T_{\text{MIN}} < T < T_{\text{OT}} ; \\
 F(T) &= 1 && \text{se } T \geq T_{\text{OT}} ;
 \end{aligned}$$

Onde: T = temperatura horária - °C; T_{MIN} = temperatura mínima abaixo da qual não há desenvolvimento em direção à floração; T_{OT} = Temperatura ótima. A taxa relativa de desenvolvimento é 1 se a temperatura for $\geq T_{\text{OT}}$. Quando $F(N)$ e $F(T) = 1$, o progresso relativo de desenvolvimento é máximo, ocorrendo então um dia fototérmico durante um dia do calendário. Iniciando no final da fase juvenil, os dias fototérmicos - $R(T)$ - são acumulados até atingir o limiar (base) - THF . Neste tempo, o florescimento foi previsto ocorrer. Daí os parâmetros estimados neste trabalho para previsão do florescimento da soja são $N_{\text{MIN}}, N_{\text{OT}}, T_{\text{MIN}}, T_{\text{OT}}$ e THF . Um programa computacional denominado **PHFIT**, em linguagem **FORTRAN**, foi usado para estimar os parâmetros para cada cultivar, usando dados diários do tempo (temperatura) e dados observados das datas de semeadura e florescimento. O método **SIMPLEX** foi usado para determinar a direção de busca e minimizar a soma dos quadrados dos erros entre datas de floração observadas e simuladas.

Apesar dos bons resultados auferidos neste trabalho pelos autores, o modelo Linear-platô privilegia temperaturas mais altas no modelo, pois toda temperatura igual ou superior à temperatura ótima tem taxa de desenvolvimento igual a 1, se o fotoperíodo também é favorável. Também não foram considerados excessos e deficiências hídricas no modelo, possíveis causadores de alterações do ciclo fenológico.

Mesmo com todo o avanço tecnológico dos últimos anos, notadamente a computação e disponibilidade de *softwares* diversos, continua a utilização de métodos e princípios básicos de modelagem do desenvolvimento vegetal do início do século, ou mesmo anterior. Isto nos leva a concluir que para cada tipo de vegetal ou cultura existe método mais simples ou complexo que pode explicar com relativa exatidão o seu relacionamento com o ambiente natural. O tipo de modelo a ser utilizado, fisiológico-matemático, empírico-estatístico, depende das informações

disponíveis sobre o desenvolvimento vegetal, dos dados agrometeorológicos disponíveis, da precisão requerida e dos recursos financeiros, materiais e humanos existentes.

Por estas razões, os princípios e métodos baseados em graus-dia e suas derivações são ainda utilizados com sucesso na atualidade. Assim, a metodologia de índices meteorológicos desenvolvida por **PRIMAULT (1969)** é utilizada com muito sucesso para diversas culturas, entre elas para o arroz por **BRUNINI (1971)**, **BRUNINI et al (1976)**, **CAMARGO et al (1984)**, bem como da época de maturação ou colheita da videira, cultivar *niagara rosada*, na região de Jundiaí/SP por **PEDRO JUNIOR et al (1993)**.

Outro ponto importante a considerar neste tópico, diz respeito aos métodos utilizados para a determinação dos pontos cardeais, tais como temperaturas mínimas e máximas de desenvolvimento vegetal, entre outras. Existem diversos procedimentos, mais simples e aproximados ou mais complexos, na determinação das temperaturas basais, mínimas (**T_b**) ou máximas (**T_B**) ou mesmo de outro fator climático ou não (solo), neste caso referidos como pontos cardeais. Assim, **ARNOLD (1959)** desenvolveu método baseado numa equação de regressão, na qual a temperatura é a variável dependente. O desenvolvimento relativo (**dr**) é calculado pela expressão: $dr = 100/num$. Onde **num** = duração média da fase. O método da menor variabilidade, citado por **BRUNINI (1971)**, preconiza a adoção de valores hipotéticos de temperatura-base ou outro ponto cardinal, e executa-se a função-objetivo, seja, graus-dia ou outra qualquer que se queira com base nos valores atribuídos inicialmente. Após, determina-se os desvios-padrão de cada um dos valores assumidos na série de repetições (plantios). Aquele que originar o menor desvio padrão ou coeficiente de variação, expresso em graus-dia, ou outra unidade, dentro da série de plantios, é considerado o valor da temperatura basal. Metodologias semelhantes foram utilizadas por **CASTONGUAY, Y. et al (1984)**. Estes autores aplicaram uma comparação de técnicas estatísticas na elaboração de modelos de previsão fenoclimáticas para espécies arbustivas indicadoras. Os métodos estatísticos usados foram o coeficiente de variação - **CV** e o desvio padrão - **DP** na determinação das temperaturas basais de desenvolvimento, bem como a data inicial do seu somatório, de forma a obter a menor variação de graus-dia dos modelos.

Neste mesmo aspecto, **MILDE e SGRILLO (1993)** aplicaram tal metodologia para estimativa das temperaturas basais e da constante térmica (**GD**) de cada fase de desenvolvimento do fruto do cacaueteiro em Itabuna/Bahia, após terem estimado os períodos de duração médios das diferentes fases. Também correlacionaram por meio de análise de regressão múltipla, as variáveis meteorológicas que mais significativamente se relacionaram com o desenvolvimento dos frutos do

cacaueiro, com relação à duração das diferentes fenofases. A pesquisa dos autores teve como objetivo maior dispor de modelos numéricos que permitissem efetuar a **Previsão de Safras do Cacaueiro**. Outros procedimentos estatísticos existem para auxiliar na estimativa do desvio padrão dos parâmetros das funções com segurança, com o uso dos procedimentos da **máxima verossimilhança (maximum likelihood)**, conforme descrito por **LANZER et al (1987)**, **PARIS e KNAPP (1989)** e **GREENE (1993, p.114)**.

2.1.2 - Unidades de frio/Horas de frio

As espécies frutíferas de folhas *caducas* (maçã, pêra, pêssego, ameixa) apresentam, durante o inverno, uma fase denominada repouso, na qual as plantas não têm desenvolvimento perceptível, ou seja, não crescem vegetativamente, nem florescem. Esta condição fisiológica, devido à adaptação da planta às condições ambientais do local de origem, é interrompida por exposição a baixas temperaturas, sendo por isso, tais plantas denominadas criófilas.

A quantidade de frio requerida para quebrar este repouso invernal é muito diferente, segundo as espécies e cultivares, **BRAGA e STECKERT (1987)**. Segundo **MOTA (1957)**, invernos com frio insuficiente para atender às exigências das espécies determinam anomalias fenológicas, cujo resultado final é a redução dos rendimentos e da longevidade. Assim, pode-se citar a queda de gemas frutíferas, atraso na brotação e floração, grande percentagem de gemas vegetativas e floríferas dormentes, ocorrência de florescimento irregular e prolongado.

Conceitualmente, entende-se por horas de frio o somatório do número de horas iguais ou inferiores a um determinado valor de temperatura, durante um período de tempo. Este somatório é requerido por uma certa cultivar para que saia de sua condição de repouso. Durante esta fase ocorre a formação de hormônios, que se localizam nas gemas, para posterior utilização no desenvolvimento de ramos vegetativos ou reprodutivos. Estes hormônios, promotores e inibidores de crescimento, por meio de um balanço hormonal favorável, ou seja, uma concentração de hormônios promotores superiores aos inibidores, determinam a quebra de dormência. A degradação dos hormônios inibidores de crescimento é dada pela ação de horas de frio sob uma temperatura-base específica para a espécie e cultivar.

Para o cômputo das horas de frio, em geral, utiliza-se o valor de $7,2^{\circ} \text{C}$ (45°F), segundo estudos de **NIGHTINGALE e BLAKE (1934)**, citados por **MOTA (1957)**, os quais demonstram que abaixo desta temperatura os ramos de pessegueiro e macieira deixaram de

crescer. Define-se este limite de temperatura de desenvolvimento como **temperatura-base**. Este valor é utilizado universalmente para a determinação de horas de frio, ainda que esta temperatura base não seja aplicável a todas as espécies e cultivares criófilas. É, porém, considerado apropriado aos estudos relativos às exigências em frio dessas espécies. Pelo fato de certas variedades possuírem menores necessidades de baixas temperaturas para completarem a dormência, costuma-se utilizar também a temperatura base de 13^o C. Na últimas décadas, porém, diversos pesquisadores têm demonstrado que temperaturas abaixo de limites estanques como 7,2^o C ou 13^o C, não possuem o mesmo peso no acúmulo de horas de frio, **EREZ e LAVEE (1971)**, **RICHARDSON et al (1974)** e **SHALTOUT e UNRATH (1983)**. Estes limites são utilizados somente como índices, abaixo dos quais as horas de frio são acumuladas, servindo de parâmetro comparativo entre regiões.

EREZ e LAVEE (1971) observaram que, sob condições controladas, a temperatura de 6^o C contribui mais para o repouso completo de duas cultivares de pêsegos que qualquer outra, sugerindo, a partir destes estudos, que temperaturas entre 3^o e 8^o C contribuem em cerca de 90% como horas de frio realmente efetivas para estas cultivares. A partir daí, surgiu o **Método de Utah (Utah chill-unit model)**, conforme **RICHARDSON et al (1974)**. Tal método consiste, basicamente, na aplicação da **TABELA 2.1**.

TABELA 2.1 - Unidades de frio em função de intervalos de temperaturas - (° C), pelo método de Utah.

TEMPERATURA - ° C	UNIDADES DE FRIO
< 1,4	0,0
1,5 a 2,4	0,5
2,5 a 9,1	1,0
9,2 a 12,4	0,5
12,5 a 15,9	0,0
16,0 a 18,0	-0,5
> 18	-1,0

Este modelo foi elaborado pela necessidade de uma formulação que se aplicasse de igual maneira a anos com diferentes regimes de temperatura, o que não ocorre com os métodos que utilizam o somatório no número de horas de frio de uma determinada temperatura basal. **SHALTOUT e UNRATH (1983)**, desenvolveram método semelhante ao de Utan, denominado Modelo Carolina do Norte, adaptado para cultivares de maçã. Possui uma curva de resposta mais suave entre a temperatura observada e o cômputo de unidades de frio, conforme **TABELA 2.2**.

**TABELA 2.2 - Unidades de frio em função da temperatura - ° C,
pelo Método Carolina do Norte.**

TEMPERATURA - ° C	UNIDADES DE FRIO
-1,1	0,0
1,6	0,5
7,2	1,0
13,0	0,5
16,5	0,0
19,0	-0,5
20,7	-1,0
22,1	-1,5
23,3	-2,0

A utilização de metodologia de acumulação de horas de frio, conforme citado anteriormente, pode ser extremamente útil na composição de modelos que objetivam a previsão de datas fenológicas importantes como da floração de plantas criófilas. Além do fato de demonstrarem a adaptabilidade destas espécies ao ecossistema, embora **COUVILLON e EREZ (1985)** tenham afirmado que o período de dormência não termina abruptamente e a brotação pode ocorrer com o mínimo crescimento na acumulação de somas térmicas (graus-dia), influenciadas pelo frio pós-dormência ou pelo efeito de produtos químicos para quebra de dormência.

Neste aspecto, **HARDING et al (1976)**, promoveram trabalho de pesquisa para a previsão de estágios de florescimento de 4 cultivares de maçã em Kent/UK, com o uso de dados meteorológicos. Um modelo, baseado em regressão linear múltipla, foi desenvolvido partindo-se de médias de temperaturas médias mensais de dezembro a fevereiro; de média de temperatura do solo a 30cm para março e média diária de insolação para março. A regressão explicou 99% da variação para os anos de 1960-72 e estimou as datas de florescimento completo para 1973 e 1974, estimando com exatidão para o primeiro caso e com dois dias de atraso para o segundo. Apesar dos resultados alcançados por este trabalho, deve-se admitir que as reais causas e efeitos não foram estabelecidos. Os mesmos, utilizando o mesmo modelo, estimaram as datas de florescimento para 1975, quando um inverno muito brando foi seguido de um mês de março nebuloso, provocando diferenças superiores a 10 dias nas estimativas. Sugerem que um simples parâmetro tal como a média da temperatura de dezembro pode ser inadequado como uma indicação de fator de frio de inverno. Tal fato deixa claro a necessidade da definição de um fator que melhor defina a exigência de frio pelas variedades, além da extensão do trabalho para outras regiões climáticas e outras cultivares. De maneira geral, o trabalho pode concluir que é possível estimar-se as fases de florescimento da maçã (10%, 50% florescimento e 90% queda das pétalas)

com boa precisão a partir de 3 a 8 semanas antes, usando dados meteorológicos, como temperatura e insolação.

Mais recentemente, **EBERT et al (1986)**, propuseram as primeiras experiências com modelos de unidades de frio (chill-units) no sul do Brasil. Para tanto utilizaram três modelos básicos, de forma comparativa, para três locais de Santa Catarina (Videira, Caçador e São Joaquim), ou seja:

- a) - Modelo Tradicional de acumulação de horas de frio abaixo de $7,2^{\circ}\text{C}$, determinadas com a ajuda de termógrafos e pelo método proposto por **ANGELOCCI et al (1979)**. As temperaturas horárias necessárias para o cálculo das unidades de frio não estavam disponíveis em todos os locais. Assim, foi desenvolvido programa computacional para estimativa das temperaturas horárias, como base nas temperaturas registradas às 21:00h e da máxima e mínima diária, de forma interpolativa;
- b) - Modelos de unidades de frio de Utah, conforme descrito por **RICHARDSON et al (1974)**;
- c) - Modelo Carolina do Norte, conforme **SHALTOUT e UNRATH (1983)**;

Os autores, baseados em pesquisas conduzidas por **EREZ e LAVEE (1971)**, os quais afirmam que a acumulação de frio é suscetível a um efeito antagônico de altas temperaturas somente por poucos dias, modificaram os dois últimos modelos, de forma que altas temperaturas resultassem em acumulação negativa de frio somente até 96 horas após a última unidade de frio positiva ter sido registrada. Desta forma, as unidades de frio acumuladas foram consideradas constantes até que novas unidades de frio positivas ocorressem. O número de horas abaixo de $7,2^{\circ}\text{C}$ foi registrado a partir do mês de abril (outono). O cálculo das unidades de frio foi iniciado nos outros dois modelos, quando a máxima acumulação negativa foi atingida, conforme descrito por **RICHARDSON et al (1974)**. Uma conclusão importante extraída dos resultados desta pesquisa é que, mesmo aplicando-se produtos de quebra de dormência, o adiantamento do início da brotação nem sempre difere das plantas não tratadas. Quando ocorreu, foi menos de 5 dias (adiantamento). Os autores concluíram, ainda, que o uso dos modelos de unidades de frio ao invés do tradicional monitoramento abaixo de $7,2^{\circ}\text{C}$ parece vantajoso em climas com invernos moderados, como o sul do Brasil. O modelo Carolina do Norte parece ser melhor ajustado para as condições do sul do Brasil do que o de Utah.

2.2 - Modelos de estimativa de rendimentos e de safras

As espécies e cultivares de interesse agrícola, entre outras, mantém um inter-relacionamento estreito com o clima/tempo meteorológico e o solo. Os resultados desta interação determinam a

sua adaptação a um determinado ecossistema e a manifestação de suas diversas fases fenológicas, bem como o rendimento e a produção final (safras). Mesmo em ambientes onde a cultura agrícola tem plena adaptação, a variabilidade do crescimento e desenvolvimento de cada ciclo está relacionada, principalmente, com a oscilação do tempo meteorológico.

A previsão do tempo para períodos de longa duração, meses ou estações, não está ainda disponível para ser utilizada em modelos de previsão agrícola. Por esta razão, cientistas e pesquisadores de vários países, há muitas décadas, têm-se utilizado da previsão ou prognósticos agrometeorológicos para prever datas fenológicas e resultados de produção de culturas diversas. A **previsão agrometeorológica** também pode ser denominada de **previsão agrícola, de produção ou safra** e se utiliza de dados meteorológicos de passado recente e atuais para prognosticar a performance de produção futura. Não se utiliza, portanto, de valores meteorológicos extrapolados para o futuro. A previsão agrícola, desta forma, tal como um método, é baseada em dois princípios:

- a) - na continuidade da inércia da produção em curso (geral sanidade e condições) e seu meio ambiente;
- b) - na dependência da inércia da produção presente sobre as condições em curso e passadas do tempo meteorológico.

Em muitos países as previsões agrometeorológicas são, no momento, o mais importante meio de servir a agricultura, especialmente para a planificação da produção agrícola. Várias pesquisas e trabalhos científicos têm surgido na literatura buscando analisar os efeitos da variabilidade climática sobre a produção vegetal. Muitas técnicas de previsão agrícola são baseadas sobre as relações estatísticas existentes entre *variáveis dependentes* a serem estimadas (rendimentos, datas de florescimento, etc.) e *variáveis agrometeorológicas independentes* (precipitação, temperatura, etc.) ou *variáveis derivadas* (índices de umidade no solo, estresse hídrico, etc.). Não há explicação de causa e efeito, as quais permanecem como assunto para mais pesquisas. O método não é transferível de uma região para outra, uma vez que variáveis agrometeorológicas são espacialmente homogêneas, somente sobre limitadas áreas com o mesmo tipo de solo, relevo, clima, práticas de cultivo, etc. Assim, o modelo previsivo (relações lineares ou quadráticas) varia de uma região para outra. Para superar esta inconsistência de variação, um entendimento minucioso do inter-relacionamento físico-biológico deveria ser conhecido (por exemplo: como a produção de matéria seca da planta depende de processos básicos como a assimilação de CO_2 , respiração e transpiração). Isto necessitaria de observações adicionais de elementos ambientais (por exemplo: CO_2 , fluxo de calor e vapor d'água) muitas vezes com a

necessidade de uma maior precisão de medida. Em muitos eventos, recursos financeiros e humanos impediriam estas observações como dados de entradas (inputs). Desta forma, as técnicas de previsão empírico-estatísticas permanecem úteis.

Segundo **BAIER (1977)**, a utilidade das equações estatísticas representando o relacionamento do tempo meteorológico-cultura agrícola tem sido demonstrada especialmente em quatro campos de aplicações:

- a) - determinação da produção esperada sobre grandes regiões;
- b) - análises agroclimáticas da produção de culturas;
- c) - avaliação da resposta da cultura em função dos elementos do tempo meteorológico;
- d) - determinação do impacto da variabilidade climática natural ou provocada sobre a produção das culturas.

As técnicas de estimação da produção têm sido e são ainda vitais para a previsão de fontes globais de alimentos. Segundo a **OMM (1982)**, eventuais deficiências na previsão de previsões agrometeorológicas dependem de:

- a) - quão bem as observações iniciais representam as condições regionais;
- b) - quão homogêneas são as condições regionais (clima, características de solo, etc);
- c) - quão acuradas são as próprias observações;
- d) - quão sensível o modelo é em relação às variações das variáveis meteorológicas previsoras.

Para o desenvolvimento de modelos de previsão de safras , duas informações básicas são fundamentais:

- a) - O modelo ou estimativa do rendimento ou de produtividade agrícola da espécie ou cultivar;
- b) - A determinação ou estimativa da área plantada.

Neste aspecto, as duas informações têm importância singular. Pouco adianta ter-se modelos de rendimento exatos se a determinação ou estimativa da área plantada é deficiente ou vice-versa. Para atingir-se um modelo ajustado de safras, seus dados carecem de boa metodologia de determinação, serem simples, precisos e acurados e de custo baixo.

Os modelos empírico-estatísticos são utilizados, na sua maioria, nas previsões correntes e operativas dos rendimentos das colheitas e nas previsões de produção de caráter nacional ou

regional, segundo **McQUIGG (1975)**, **GROBECKER(1975)** citados pela **OMM (1982)**. A maioria das previsões operativas dos rendimentos das colheitas tem sido estabelecida para os cultivos anuais de cereais devido à sua função na produção mundial de alimentos e também por sua importância econômica no comércio internacional. Também, têm-se elaborado com êxito modelos de previsão para soja, linho, beterraba-açucareira, cana-de-açúcar e outras culturas de importância regional. Alguns destes trabalhos podem ser analisados conforme relação temporal seguinte.

As relações tempo meteorológico-rendimento de colheitas estabelecidas por **THOMPSON**, nos EUA, para o trigo (1962, 1969a), milho (1969b) e soja (1970) são típicas dos muitos modelos de regressão que têm sido desenvolvidos e utilizados com finalidades práticas para certos cultivos e regiões. **McQUIGG (1975)** dá a seguinte versão simbólica do modelo empregado por **THOMPSON**:

$$Y = A + \sum_{i=1}^2 B_i F_i(\text{ano}) + \sum_{i=1}^N C_i (X_i - \bar{X}_i) + \sum_{i=1}^N D_i (X_i - \bar{X}_i)^2$$

Onde: Y é o rendimento estimado em um Estado; N é o número de variáveis meteorológicas; $F_i(\text{ano})$ representa funções lineares de distintos períodos de tempo. O "tempo meteorológico normal" prevalece se todas as diferenças $(X_i - \bar{X}_i) = 0$, conforme **OMM/1982**.

O Centro de Avaliação Climática e Ambiental de Columbia, Missouri/EUA efetuou várias modificações no modelo de **THOMPSON**, tratando de melhorar a possibilidade de estimativas de safras no Estado, nas regiões das grandes planícies com relação ao trigo de primavera e de inverno, **McQUIGG (1975)**, citado pela **OMM(1982)**. Nestas modificações foram incluídos o ÍNDICE DE ARIDEZ calculado a partir da precipitação pluviométrica média e da evapotranspiração potencial pelo modelo de **THORNTHWAITE** e um índice derivado das somas térmicas que excedem a um determinado limite térmico.

Desde 1962, no Canadá tem-se estudado a relação que existe entre o rendimento de safras de trigo das pradarias canadenses e os fatores meteorológicos, conforme **WILLIANS E ROBERTSON (1965)**, citados pela **OMM(1982)**. No transcurso dos anos este trabalho foi ampliado para outros cultivos e outras variáveis além do tempo meteorológico. Assim, **BAYER e WILLIANS (1974)** utilizaram relações lineares e quadráticas da evapotranspiração potencial (ETP), em regiões de cultivo do Canadá, além das relações correspondentes a precipitação mensal e acumulada. Modificações posteriores a este modelo foram introduzidas, com detalhamentos sobre tipo e textura dos solos, topografia, entre outros.

Na ex-URSS, as estimativas agrometeorológicas começaram em 1964 para os principais cultivos. **ULANOVA (1975)**, citado pela **OMM (1982)**, utilizou a seguinte equação para estimar o rendimento do trigo de inverno nas terras negras ou terras chamadas "**chernozem**".

$$Y = a_0 + b_1 X_1 + b_2 X_1^2 + b_3 X_2 + b_4 X_2^2 + b_5 X_3 + b_6 X_3^2 + b_7 X_4 + b_8 X_4^2$$

Onde:

Y é o rendimento médio do trigo de inverno (kg/ha) com relação a cada campo ou região de produção; **X₁, X₂, X₃,...** = variáveis meteorológicas; **a₀, b₁, b₂, b₃,...** = coeficientes da regressão múltipla.

Na **ÍNDIA**, foram efetuadas pesquisas para determinar a influência da precipitação pluviométrica, sua distribuição e a temperatura do ar sobre as safras de trigo (**Y**). **GANGOPADHYAYA e SARKER (1965)**, citados pela **OMM (1982)** definiram equações para cinco estações, situadas em diferentes regiões, a partir de dados correspondentes a 15 anos, sendo sua equação para Niphad a seguinte:

$$Y = 33,3653a + 129,4836b + 399,6994c - 12,1895d + 3334,5233e - 933,6088f$$

Onde os valores da distribuição da precipitação (**a,b,c,d,e,f**) se referem a determinados períodos de desenvolvimento do trigo.

Muitos autores têm usado diretamente os dados de precipitação, balanço hídrico mensal, temperatura, insolação, evaporação, umidade relativa e informações fenológicas. Assim, **REIS et al (1972)** efetuaram uma extensa análise econômica da produção agrícola na região Centro-Sul do Brasil, incluindo as culturas de amendoim, arroz, feijão, milho, soja e trigo. Apresentam modelos econométricos para cada cultura usando deficiência e excesso hídricos, temperatura do ar, precipitação e ocorrência de geadas. Outros autores, também, utilizaram diretamente este tipo de dados agrometeorológicos, com modelos polinomiais e ajustamentos por mínimos quadrados, **CHEN e FONSECA (1980)**, **CELASCHI e ALMEIDA (1981)**, **LIU e LIU (1981)**, **MOTA e SILVA (1980)**, **MOTA (1981b)**, **CHANG (1981 e 1985)**, **SILVA et al (1986)** entre outros.

Nos últimos anos, alguns modelos alternativos aos polinomiais e/ou com a inclusão de variáveis não meteorológicas têm surgido. Assim, **SILVA et al (1981)**, propuseram a utilização da teoria de inferência nebulosa (conjuntos difusos) no problema de previsão de safras, usando um banco de regras montado a partir de séries históricas de produtividade e de variáveis climáticas. A cultura utilizada foi o milho do Estado de São Paulo. Para tanto, critérios, métodos e algoritmos

são propostos para, dado um conjunto de regras históricas anuais (variáveis climáticas \implies produtividade), manipular estas regras, segundo a regra de inferência "modus ponens modificado", gerando um vetor de possibilidades que dará várias alternativas da produtividade do ano que se quer estimar. Os resultados obtidos foram encorajadores, no sentido de que se obtiveram erros percentuais baixos, na comparação entre a produtividade estimada e a real, para alguns anos-base. Continua, entretanto, em aberto, o problema de identificar a priori qual ano anterior deve servir de base para a estimativa. Observaram que a produtividade vem mostrando um desempenho crescente, com flutuações possivelmente devido à melhora nas técnicas agrícolas. Por causa das flutuações anuais, no entanto, nem sempre o ano imediatamente anterior seria o mais adequado para servir de base para a estimativa.

MOTA (1983b), desenvolveu modelos combinando dados agrometeorológicos e tendência tecnológica aplicada ao processo produtivo ao longo dos anos, os quais podem ser utilizados para previsão do rendimento das culturas de soja e milho com 60 dias de antecedência da época da colheita, bem como para o desenvolvimento da projeção da probabilidade de rendimentos. O objetivo deste trabalho foi demonstrar que, com a série histórica de dados meteorológicos e de rendimentos disponíveis no Brasil é possível desenvolver modelos de tempo meteorológico-rendimento para estimativa de produção, em anos favoráveis ou não, com suficiente antecedência para proporcionar planejamento e tomada de decisões agrícolas adequadas. Os modelos desenvolvidos, em última análise, baseiam-se em procedimentos de regressão múltipla, tais como:

Para rendimento da soja:

$$Y = 1254,54 - 6,86 X_1 + 95,19 X_2 \implies R^2 = 0,79;$$

Para rendimento do milho:

$$Y = 1541,61 - 4,21 X_1 + 86,81 X_2 \implies R^2 = 0,80.$$

Onde:

X_1 = índice de estresse hídrico (MOTA, 1981b);

X_2 = índice de mudança tecnológica;

O índice de mudança tecnológica foi obtido por intermédio de uma expressão polinomial cúbica:

$$Y_T(t) = A_0 + A_1(t - tn) + A_2(t - tn)^2 + A_3(t - tn)^3$$

Onde: A_0, A_1, A_2, A_3 = constantes numéricas; $Y_T(t)$ = tendência não linear de rendimento da cultura (kg/ha); tn = é o ano equi-espacado para cada série temporal. Para o valor mínimo de $Y_T(t)$, o valor do índice de mudança tecnológica foi considerado igual a 1, e aumentava, unitariamente para cada 100 kg/ha de incremento dos valores de $Y_T(t)$.

Os modelos foram testados para previsão das colheitas de (1976-1978), com dados meteorológicos das estações de São Luís Gonzaga/RS e Santa Cruz do Rio Pardo/SP, como teste independente. Os dados de rendimentos foram obtidos de publicações oficiais do FIBGE (1942-1978), de soja e milho, dos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Mato Grosso do Sul. O índice de estresse hídrico foi aplicado com sucesso para a região sul do Brasil, respondendo em 88% da produção nacional de milho e 95% da produção nacional de soja, onde os rendimentos de milho e soja foram descritos pelas condições de solo e tempo meteorológico. As tendências não lineares observadas, durante os anos, nos rendimentos de milho e soja no sul do Brasil são devidas à introdução de técnicas de produção de culturas, tais como: variedades de alto rendimento, fertilizações efetivas, mecanização agrícola e controles químicos. Entretanto, os desvios nos rendimentos das culturas nos últimos anos foi devido, principalmente, pelas flutuações climáticas. O índice de estresse hídrico foi realizado por modelo simplificado de balanço hídrico, com base do cálculo de evapotranspiração, segundo PENMAM (1948).

GRIMM (1986), comparou vários modelos de estimativa de rendimentos para as culturas de milho, trigo, milho para silagem, algodão e beterraba açucareira, com dados experimentais de vários Estados do Oeste dos EUA, período de 1969-1972, contemplando diversos tipos de solos e condições climáticas. No trabalho, o autor submeteu a um rigoroso teste de hipóteses as formas polinomiais contra um **modelo de não-substituição** entre fatores na previsão do rendimento das culturas em resposta a irrigação e ao nitrogênio.

As equações polinomiais utilizadas têm a forma:

a) **QUADRÁTICA:**

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 W + \alpha_2 N + \alpha_{11} W^2 + \alpha_{22} N^2 + \alpha_{12} WN + \varepsilon$$

b) **TRÊS MEIOS (3/2):**

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 W + \alpha_2 N + \alpha_{11} W^{1.5} + \alpha_{22} N^{1.5} + \alpha_{12} WN + \varepsilon$$

c) **RAIZ QUADRADA:**

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 W + \alpha_2 N + \alpha_{11} W^{.5} + \alpha_{22} N^{.5} + \alpha_{12} W^{.5} N^{.5} + \varepsilon$$

Onde: Y = rendimento da cultura; W = quantidade de água de irrigação usada; N = quantidade aplicada de nitrogênio; α_s = coeficientes de regressão.

Estas formas de equações polinomiais foram as mesmas utilizadas por HEXEM e HEADY (1978), citadas pelo autor, para representar resposta das culturas ao nitrogênio e à água. A especificação básica para o **modelo de não-substituição entre fatores**, consistiu em assumir uma resposta linear com uma abrupta transição para um platô máximo. Este modelo linear-platô incorpora os princípios da "**Lei do Mínimo**" proposta por von Liebig, em 1840. Segundo esta lei, o rendimento de uma cultura é determinado pelo fator mais limitante. À medida que se aplica

doses crescentes deste fator, o rendimento aumenta até atingir um platô, onde outro fator passa a ser limitante. O modelo de não-substituição, ou de fator não substituível, foi expresso da seguinte forma:

$$Y = \min[f_1(W, \theta_1), f_2(N, \theta_2)] + \varepsilon$$

Sendo: $f_1(W, \theta_1) = \alpha_0 + \alpha_1 W$, se $0 \leq W \leq W_p$;

$f_1(W, \theta_1) = m$, se $W_p \leq W \leq a$;

$f_2(N, \theta_2) = \beta_0 + \beta_1 N$, se $0 \leq N \leq b$;

$f_2(N, \theta_2) = m$, se $N_p \leq N \leq b$;

Onde: Y é o rendimento da cultura; W é a quantidade de água de irrigação aplicada;

N é a quantidade de nitrogênio aplicada; m é o rendimento máximo quando água e nitrogênio não são limitantes; a , b correspondem ao máximo nível de água e nitrogênio aplicado, respectivamente; W_p e N_p são os nós de junção dos segmentos de retas para água e nitrogênio; α_s , β_s são os coeficientes de regressão; ε = é um erro aleatório.

Uma vez que este tipo de resposta da cultura representa a "lei do Mínimo", formulada por **Justus von Liebig**, denominou-se de **Modelo de von Liebig** ou de **Modelo Linear-Platô**. A metodologia para estimar os "nós" de junção linear, W_p e N_p , foi aquela desenvolvida por **LANZER, PARIS e GREEN (1979)**, baseado em método de estimação da **máxima verossimilhança (maximum likelihood)**, com algumas alterações procedidas por **ACKELLO-OGUTO (1982)**, buscando a minimização das somas dos quadrados do erro, a partir de valores iniciais (aproximados) para os nós. Para a solução deste problema, foi aplicado um programa com algoritmo não linear, desenvolvido por **MURTAGH e SAUDERS (1980)**, conforme **GRIMM (1986)**.

As equações ajustadas para as cinco culturas apresentaram coeficientes de regressão significantes ao nível de 1% , entre dados observados e estimados, indicando clara resposta das cinco culturas às aplicações de água e nitrogênio. Para as equações polinomiais, os resultados foram variados, com níveis de significância de 5% na melhor das hipóteses.

Embora os resultados deste estudo sejam promissores como uma nova abordagem na estimativa de rendimentos de culturas, sua aplicação prática na previsão de rendimentos ou safras, de forma mais genérica, fica difícil. Um dos empecilhos diz respeito à disponibilidade de dados detalhados que o modelo requer em condições operacionais de produção agrícola.

LIU e LIU (1987a) desenvolveram dois modelos de previsão de safras de soja no Estado de Minas Gerais, combinando dados meteorológicos de fases fenológicas importantes e índice de tendência tecnológica. Os modelos eram polinomiais com ajustamento dos coeficientes por

0-236-408-6

regressão linear múltipla. O modelo simples foi construído baseado nos dados meteorológicos de três estações (Paracatu, Furnas e Uberaba) e o modelo integrado pela composição de três modelos das microrregiões: Chapadões do Paracatu, Mata da Corda e Uberaba. Os resultados mostram que ambos modelos funcionaram bem nas previsões de produtividade de soja no período de 1972 a 1986. O modelo simples teve erro médio de 5,9% e o modelo integrado de 6,9%.

LIU e LIU (1987b) também desenvolveram três modelos de previsão de safra de café no Estado de Minas Gerais. No processo de construção dos modelos levaram em consideração os fatores climáticos que incluem as interações entre si e as interações do sistema solo-clima-atmosfera, tais como a evapotranspiração potencial, excesso e déficit hídrico. O modelo simples, com R^2 de 0,88, o erro variou de 0,3 a 30,9% com uma média de 11,4%. O modelo Bienal para anos pares, com R^2 de 0,972, o erro variou de 0,4 a 9,5% com média de 2,9% e para ímpares, R^2 de 0,988, com erro que variou de 0,3 a 7,9% e média de 2,2%. O modelo composto, com erro que variou de 1,5 a 68,2% e média de 15,8%. Foram utilizados dados para a construção do modelo de 1964 a 1983 e de 1984 a 1986 para a avaliação dos mesmos. Segundo os autores, este estudo no Brasil foi um dos primeiros a tentar desenvolver modelos de previsão de safra para cultura permanente (café). Este trabalho, embora tenha demonstrado a influência do tempo meteorológico sobre a safra de cultura perene, deixa transparecer uma variabilidade dos valores previstos de um ano para outro bastante grande. Será que a introdução de variável no modelo que retratasse o potencial de produção (carga média de frutos/planta ou área) de cada ano desta espécie não melhoraria os resultados?

Os modelos apresentados, na sua grande maioria, pertencem ao tipo denominado empírico-estatístico que usam uma amostragem de dados de rendimento de uma região e uma amostragem de dados de clima, solo, fenologia e tecnologia da mesma área para produzir estimativas dos coeficientes do modelo, usando algum tipo de técnica de regressão. Nestes modelos empírico-estatísticos, uma ou várias variáveis que representam o clima e a tendência dos rendimentos tem sido relacionadas com o rendimento de algum tipo de cultura. As variáveis "independentes" têm sido a precipitação, a temperatura ou variáveis agrometeorológicas derivadas, como índices de tensão hídrica ou de prejuízos por baixas ou altas temperaturas. Os coeficientes de ponderação destas equações são necessariamente obtidos de maneira empírica usando processos estatísticos padronizados, como análise de regressão múltipla. Este enfoque estatístico não leva necessariamente a uma fácil explicação das relações de causa e efeito, mas é um enfoque mais prático para a previsão dos rendimentos. Os coeficientes destes modelos empíricos e a validade das estimativas dependem grandemente da escolha do modelo, das variáveis e da representatividade dos dados utilizados. Segundo **MOTA (1983a)**, se as condições climáticas e práticas agrícolas são bastante homogêneas na área representada pelos dados, ou, se as condições

geográficas e de solo são adequadamente ponderadas nas equações, pode-se esperar que os coeficientes e as estimativas de rendimentos tenham significação prática.

A explosão, desde a década de 50, do uso de funções polinomiais tornou-se quase como um padrão para descrever a resposta das culturas à aplicação de fertilizantes, água de irrigação e demais fatores atmosféricos, particularmente entre profissionais e cientistas das áreas de agronomia, economia e agrometeorologia. A utilização desta técnica é respaldada, muitas vezes, pela sua boa capacidade de previsão, quando valores elevados de coeficientes de determinação (R^2) são atingidos. Segundo MASON (1956), são as seguintes suas vantagens: fáceis de estimar, flexibilidade, possibilidade de exibir uma fase de decréscimo de rendimento (fatores adversos). Entretanto, a principal crítica contra as estimativas polinomiais é que seus parâmetros não têm significação biológica, em muitos casos. Também, contradizem o princípio de não substituição entre elementos ou fatores essenciais em processos fisiológicos.

Outro aspecto que merece reflexão diz respeito aos modelos que levam em consideração dados históricos de rendimentos ou de safras. Em muitos países, tais dados são obtidos de forma indireta, sem metodologia adequada, sem o conhecimento acurado da área plantada. Desta forma, embora os resultados possam ter significância estatística, muitas vezes não refletem a realidade.

Nos últimos anos, com o advento dos satélites ambientais operando de forma sistemática, considerável atenção tem sido dada ao desenvolvimento de modelos de rendimento, com a participação de dados de sensoriamento remoto. Imagens de satélites têm revolucionado muitos aspectos de levantamentos de grandes superfícies da terra, para uma variedade de aplicações, gerando desde **modelos espectrais**, como os de TUCKER et al (1980 e 1981); **modelos de albedo (refletividade)**: PEARSON e MILLER (1972), IDSO et al (1978), até **modelos termais completos** como: IDSO et al (1977), WALKER e HATFIELD (1979), BARNETT e THOMPSON (1982), HATFIELD(1983), RUDORFF e BATISTA (1990), THUNNISSEN e NIEUWENHUIS (1990) e MAJUMDAR (1991).

Dados dos satélites LANDSAT foram usados com sucesso desde 1975, como no programa LACIE (**Large Area Crop Inventory-EUA**) para estimar plantações de trigo nas grandes planícies dos EUA, segundo MACDONALD e HALL (1980), bem como no Programa AgRISTARS (**Agricultural and Resources Inventory Surveys Through Aerospace Remote Sensing/EUA**). O uso de dados espectrais orbitais na estimativa de rendimento de culturas é também uma atrativa perspectiva, uma vez que rendimentos estão relacionados com o vigor da cultura a qual, por sua vez., está relacionada à resposta espectral da cultura medida pelo sensor do satélite. Dados espectrais de satélites representam um terceiro potencial observável (após

temperatura e precipitação globalmente disponíveis), proporcionando informação adicional, para uso em estimações de rendimentos. Em anos mais recentes, esforços têm sido direcionados na construção de modelos de rendimento baseados sobre dados espectrais de satélites ambientais, como: **Landsat, Spot, NOAA, MOS1**, entre outros.

Pesquisadores de diversas partes do mundo têm trabalhado por anos seguidos, na estimativa de **índices de área folhar**, com dados espectrais de satélites, como um *input* para estimativa da evapotranspiração ou como *input* para modelos de rendimento de grandes áreas (trigo, cana-de-açúcar, soja). Trabalhos têm sido conduzidos por longos anos, também, para estabelecer relações entre informações espectrais de satélites, determinações de campo, propriedades agronômicas sobre superfícies cultivadas, como eventual *input* em modelos de estimativa de rendimentos. Por exemplo, **THOMPSON e WEHMANEN (1979)** desenvolveram o **GIN (GREEN INDEX NUMBER)** com dados do satélite **LANDSAT** para monitorar condições de seca para trigo, milho e soja na maioria das regiões de cultivo dos **EUA**. O valor do **GIN** representa a % de resolução elementar do **LANDSAT-MSS (56m x 80 m ~ 0.5 ha)** em um segmento de amostragem de **9,3 x 11,1km**, com índice (greenness) maior que **15**, valor este representando vegetação verde saudável. Como sugestão, os autores sugerem a utilização de outros satélites com resolução mais grosseira, mas com cobertura mais freqüente do que o **LANDSAT(16 dias)**, como por exemplo o **NOAA**.

BARNETT e THOMPSON (1982), executaram estudo com o uso de **GIN**, com **219** segmentos de amostragens, no Texas, Oklahoma, Nebraska, Kansas, Colorado, South Dakota, North Dakota e Montana - **EUA**, com trigo de inverno, com dados adquiridos do Landsat - MSS, durante diversas vezes na estação de crescimento, permitindo trabalhar a resposta espectral como uma função do tempo. Uma relação linear foi encontrada, neste trabalho, entre o **GIN** e o rendimento até valores de **GIN** de **40 a 50**, cobrindo casos de estresse moderado. Valores de **GIN** por segmentos amostrais, foram combinados com modelo agrometeorológico de rendimento, em nível municipal, onde a cultura de trigo de inverno de **1978 (Texas)** foi utilizada. O modelo combinado resultante, explicou mais significativamente a produção observada de rendimento do que o modelo agrometeorológico sozinho. O modelo esquemático combinado era:

$$Y = a + by + cGIN$$

Onde: **a, b, c**, = coeficientes de regressão; **Y** = rendimento estimado em nível municipal; **y** = modelo agrometeorológico em nível municipal; **GIN** = índice de vegetação (green index number) em nível municipal.

Semelhante trabalho foi conduzido por **HATFIELD (1983)**, com o objetivo de avaliar a utilidade de medidas de reflectância espectral na definição de estágios de desenvolvimento críticos para trigo e sorgo granífero e utilizar as somas de temperaturas do ar (somadas térmicas) da superfície cultivada, sobre este período, como uma medida do nível de estresse e, portanto, o rendimento final. Tanto para o sorgo granífero como para o trigo uma relação linear foi achada entre rendimento e dias acumulados de estresse (stress-degree-day) sobre o período reprodutivo, definido pelo índice de vegetação. Entretanto, os dados de sorgo granífero não se ajustaram, em todos os anos, com a mesma relação linear devido as diferentes práticas culturais. Concluiu-se, que o índice vegetativo máximo deveria ser usado para definir o potencial de rendimento de colheita, conforme encontrado durante o estágio reprodutivo. Uma relação linear foi definida entre o rendimento relativo de colheita para este rendimento potencial de colheita e o somatório de dias de estresse. Esta técnica forneceu um método para definir o intervalo de acumulações de dias de estresse e sua aplicabilidade como um modelo de rendimento generalizado.

Nesta mesma linha, **RUDORFF e BATISTA (1990)** apresentaram um **Modelo Espectral-Agrometeorológico** para estimativa do rendimento da cana-de-açúcar para Lençóis Paulista/SP, com 130 campos amostrais, numa área global de 40.000ha. Dados de Produção de quatro anos de cultivo foram analisados. Rendimentos (t/ha) do primeiro ano de cultivo (83/84) foram comparados por processo de regressão contra dados espectrais e agrometeorológicos daquele mesmo ano e usados para prever o rendimento do ano seguinte (84/85). As previsões dos rendimentos dos anos seguintes até 87/88 foram desenvolvidas similarmente, incorporando todos os dados dos anos anteriores. As estimativas de rendimentos obtidas por estes modelos, explicaram 69%, 54% e 50% (R^2) da variação do rendimento das safras de 1984/85, 1985/86 e 1986/87, respectivamente. A exatidão da estimativa de rendimento baseada somente nos dados espectrais (modelo de índice de vegetação) e somente dados agrometeorológicos (modelo agrometeorológico) deu resultados mais pobres que a combinação do modelo espectral-agrometeorológico. O modelo agrometeorológico foi baseado em **DOOREMBOS e KASSAN (1979)**, como função das condições climáticas e disponibilidade de água no solo. O modelo pode ser assim expresso:

$$(1 - Y_e / Y_m) = k_y (1 - ET_a / ET_m)$$

Onde: Y_e, Y_m = rendimento estimado e máximo, respectivamente; k_y = fator de resposta de rendimento; ET_a, ET_m = evapotranspiração atual e máxima, respectivamente. O **Modelo de Índice de Vegetação** foi obtido por meio de regressão linear entre o rendimento observado (Y) sobre o índice de vegetação (RVI). O índice de vegetação foi obtido pela seguinte relação:

$$RVI = MSS4/MSS2$$

Onde: RVI = índice de vegetação (taxa);

MSS4, MSS2 = reflectância (fração decimal) do satélite Landsat-MSS banda 4 e 2, respectivamente.

O Modelo espectral-agrometeorológico proposto pelos autores é o seguinte:

$$Y = a_0 + a_1 RVI + a_2 Y_e$$

Onde: **Y** = rendimento da cana-de-açúcar (t/ha) estimada pelo modelo proposto; **RVI** = índice vegetativo (taxa); **Y_e** = estimativa de rendimento pelo modelo agrometeorológico; **a₀, a₁, a₂** = coeficientes de regressão.

Modelos de rendimentos com a introdução de índices de vegetação baseados em relações de refletividade de sensores orbitais têm sido utilizados para cultivos extensivos, necessitando de repetições rotineiras dentro do ciclo vegetal de interesse. Também, são mais utilizados para definir períodos de estresse hídrico. Para cultivos em pequenas propriedades, de forma diversificada, tal metodologia, por si só, torna-se insuficiente para avaliar a interação complexa entre tempo/clima-planta-solo. Mesmo com a utilização de sensores baseados em aeronaves de baixa altitude, sua disponibilidade temporal é complicada e de custo elevado, quando se pensa em monitoramento periódico objetivando modelos de rendimento operacionais.

Para ter sucesso os modelos agroclimáticos necessitam mais do que de computadores. Necessitam a obtenção de dados históricos (meteorológicos e de rendimentos) das regiões agrícolas e do conhecimento dos agrossistemas. Estes precisam ser integrados na simulação matemática ou estatística envolvida na modelagem da influência do clima na agricultura. Além do conhecimento dos tipos de solo, sua retenção de umidade e outras características do ambiente, são necessários dados meteorológicos diários (precipitação pluvial, temperatura do ar, insolação, entre outros) em tempo real para os modelos. **MOTA (1983a)** afirma que também são necessárias informações de satélites ou aeronaves sobre as mudanças nas características do ambiente, especialmente as áreas cultivadas, incidência de enchentes, doenças e pragas.

Muitos cientistas e pesquisadores têm desenvolvido diversos modelos de estimativa de safras nos últimos anos. Entretanto, a sua utilização é pequena em termos operacionais em tempo adequado. Para que possam ser operacionais, há necessidade de estabelecer bancos de dados meteorológicos históricos e de rendimento das culturas e de dados meteorológicos e ambientais em tempo real, por meio de estações meteorológicas de superfície, satélites meteorológicos e ambientais e radares meteorológicos operacionais de forma integrada.

Para que os modelos numéricos de previsão de safras despertem interesse, devem além de buscar a exatidão, ser operacionais e em tempo real. Neste contexto, as informações das áreas

efetivamente plantadas são fundamentais ao modelo, sendo portanto, imprescindível dispor de imagens de satélites ambientais (**LANDSAT, SPOT**), sensores (*scanners*) aerotransportados ou mesmo a combinação deles, além de imagens de vôos fotogramétricos convencionais e de acordo com as condições agrícolas e ambientais.

2.3 - Redes neurais

O cérebro humano é uma rede biológica complexa de centenas de bilhões de células especiais chamadas neurônios. Estes neurônios enviam informações para frente e para trás entre eles, por meio de **conexões**. O resultado disso é a inteligência de aprendizagem, análises, predição e reconhecimento. Redes neurais (ou neuronais) artificiais são formadas de centenas ou milhares de neurônios simulados que são conectados de forma similar como os neurônios do cérebro, os quais são capazes de aprender de maneira similar às pessoas.

Redes neurais artificiais são grupos altamente interconectados de neurônios que processam informações em paralelo. Um simulador de rede neural é um programa (conjunto de instruções computacionais) que cria um modelo de neurônios e de conexões entre eles e então treina tal modelo. Há vários simuladores comercialmente disponíveis que simplificam grandemente a modelagem de redes neurais.

Redes neurais e sistemas especialistas, ambos fazendo parte da inteligência artificial, têm sido propalados como o maior avanço tecnológico desde o descobrimento do transistor, **LAWRENCE (1992)**. Para o ano 2000, será comum o uso deles em itens de nossas casas. Em um nível fundamental, todas as redes neurais aprendem por associação. Por exemplo, uma rede neural pode aprender a identificar uma maçã pela associação de entradas (inputs) como, vermelha, arredondada, pequena e vegetal, com a saída (output) maçã (Fuji ou Gala). Os neurônios em uma rede neural (artificial) são usualmente organizados em três camadas básicas: de entrada (input), oculta (hidden) e de saída (output). Ocasionalmente, mais de uma camada oculta (hidden) é usada. Há diferentes caminhos para o aprendizado das redes neurais. O mais popular método de aprendizado é por exemplos e repetições, também chamada de **propagação para trás (back-propagation)**.

2.3.1 - Estrutura básica e operação de redes neurais

Há vários tipos de redes neurais, mas todas têm três coisas em comum. Podem ser descritas em termos de seus neurônios individuais, as conexões entre elas (topologia) e suas regras de

aprendizado. Estes três termos constituem o modelo de rede neural. Uma rede neural artificial construída com a tecnologia atual tem muito poucas conexões comparadas com as existentes no cérebro, conforme **BEALE E JACKSON (1990)**. Embora o reconhecimento padrão ótico possa ser uma exceção, muitos problemas podem ser solucionados com uma rede neural artificial com menos de 500 neurônios e **30.000** conexões. É provável que o cérebro também tenha redes muito menores no seu limite de tamanho que solucionam partes de problemas, com redes de maior nível que carregam as partes em conjunto.

Neurônios artificiais são também chamados de elementos de processamento (**PE's**), nós, unidades ou células. Cada neurônio recebe o sinal de saída de vários outros neurônios. Um neurônio calcula sua própria saída (output) pela soma dos pesos de suas entradas (inputs), gerando um **nível de ativação** e passando-o por meio de uma saída (output) ou **função de transferência**. A força ou poder de conexão é chamada de **peso**. O conjunto de pesos de uma rede inteira é denominada de **matriz de pesos**. Neurônios processam entradas (inputs) e produzem saídas. Cada neurônio toma como entrada as saídas de outros neurônios. Uma vez dentro do neurônio, os pesos (sinais de entrada) são somados numa rede de valores - **net_i**. Em muitos modelos eles são simplesmente adicionados juntos. A equação seguinte é básica para todas as redes neurais:

$$\text{net}_i = \sum_{j=1}^n w_{ij} * o_j;$$

Onde, o valor do sinal da rede para o neurônio **i** é igual à soma dos pesos vezes o sinal de entrada (**o_j**) para todas as entradas (inputs) do neurônio **i** a partir do neurônio **j**, iniciando na saída do neurônio **J = 1** até **J = n**. Ou seja, significa adicionar sobre todos os sinais que entram para o neurônio (**i**), levando a força de conexão (pesos) de cada sinal em conta. O neurônio calcula sua saída definindo o somatório de pesos das suas entradas (**net_i**) e aplicando uma função de ativação com a qual produz um nível de ativação (**a_i**) no interior do neurônio. A ativação é passada através de uma saída ou função de transferência (**f_i**), a qual produz a saída atual para o neurônio (**i**) para o tempo - **t**, (**o_i(t)**). Um simples sinal de saída em um tempo particular é representado como **o_i(t)**. O conjunto de todas as saídas em um tempo particular é escrito como **o(t)**.

Uma rede neural aprende pela mudança de suas respostas alterando as entradas (inputs) de forma associativa. Isto é, elas aprendem que pares de coisas andam juntos. Por exemplo, verde vai com **ir** e vermelho vai com **pare**. As regras de aprendizado são fundamentais para a rede neural. Elas determinam como os pesos são adquiridos, como a rede ganha experiência. Há muitas regras de aprendizagem. Algumas das mais bem conhecidas são: a regra de **Hebb**; a regra **Delta** e a regra de propagação para trás (**Back Propagation**). A regra de Hebb pode ser assim definida:

$$\Delta w_{ij} = \eta a_i o_j ;$$

Onde: Δw_{ij} é a mudança no peso da conexão do neurônio j para o i ; a_i é a ativação do neurônio i ; o_j é a saída (output) do neurônio j ; η é a taxa de aprendizado.

A taxa de aprendizado especifica o tamanho da correção da rede quando a saída está errada durante o treinamento. Se as conexões (pesos) são mudadas muito drasticamente durante o treinamento, a rede pode levar muito tempo para aprender ou pode não aprender bem. A regra **Delta**, também conhecida como quadrado médio mínimo (**Least Mean Square - LMS**), a qual é uma variação da regra de Hebb. É a melhor regra de aprendizado para uso com neurônios lineares. Isto permite associações arbitrárias para serem aprendidas, desde que as entradas (inputs) sejam todas linearmente independentes. Foi desenvolvida em 1960 (Stanford University) e expressa que se há uma diferença entre a saída atual e a saída desejada (padrão) durante o fase de treinamento, então os pesos são alterados para reduzir a diferença. A quantidade de mudança dos pesos é igual ao erro sobre a saída, vezes os valores das entradas (inputs), vezes a taxa de aprendizagem, conforme a expressão:

$$\Delta w_{ij} = \eta (T_i(t) - a_i(t) o_j(t)) ;$$

Onde: Δw_{ij} é a mudança nos pesos da conexão do neurônio j para o i ; T_i é a entrada de treinamento ou resposta correta; t é um tempo específico; a_i é a ativação para o neurônio i ; o_j é a saída do neurônio j ; η é a taxa de aprendizagem (0.01 a 1.0).

Muitas redes usam algumas variações desta fórmula para treinamento. A regra Delta Generalizada ou Back Propagation é uma variação da regra Delta para redes com camadas ocultas. Assim, as equações seguintes descrevem o algoritmo *Back-propagation*:

$$\Delta w_{ij,k}^n = \eta \delta_{j,k} O_{i,k-1} ; \quad w_{ij,k}^{n+1} = w_{ij,k}^n + \Delta w_{ij,k} ; \quad \delta_{j,k} = \left(\frac{dO}{dZ} \right)_{i,k} (O_{i,k} - O_{i,k}^T) ;$$

para $i = 1, 2, \dots, I$; $j = 1, 2, \dots, J$ e $k = K$. Onde os índices i e j são usados para identificar um peso particular (w) e k para identificar a camada e n ou $n+1$ denota o passo de ajustamento; $w_{ij,k}^n$ é o peso da conexão do neurônio i na camada $k-1$ para o neurônio j na camada k no passo n ; η é a taxa de aprendizagem (0.01 a 1.0); $O_{i,k}$ é a saída do neurônio i na camada k ; $O_{i,k}^T$ é o valor correto para $O_{i,k}$. Nota-se que o algoritmo acima somente pode ser aplicado para a última camada ($k=K$) de neurônios, uma vez que é requerido o conhecimento do valor verdadeiro de saída. Para as camadas ocultas não há valores de saída de referência e, desta forma, $\delta_{j,k}$ têm de ser obtidos de outra maneira. O nome *Back-propagation* é derivado do fato que os valores de $\delta_{j,k}$ são propagados de volta através da rede. A equação para camadas ocultas é modificada para: $\delta_{j,k} = \left(\frac{dO}{dZ} \right)_{i,k} \left(\sum_j \delta_{j,k} w_{ij,k} \right)$; para $k = 1, 2, \dots, K-1$. Para atingir um ajustamento mais rápido no algoritmo *back-propagation* tem sido incluída uma constante de *momentum*.

O método do *momentum* tem a intenção de ajudar a rede no sentido de enganar locais estreitos, se existirem, na superfície de erro, evitando-os pulando rapidamente de um lado para

outro. Consiste em adicionar uma característica autorregressiva ao algoritmo, tendo assim uma "memória" de ajustamentos prévios. Para tanto, uma pequena modificação no algoritmo é necessária para adicionar um novo termo que é proporcional ao ajustamento do peso do período anterior, da forma seguinte: $\Delta \mathbf{w}_{j,k}^{n+1} = \eta (\delta_{j,k} \mathbf{O}_{i,k-1}) + \alpha (\Delta \mathbf{w}_{j,k}^n)$; $\mathbf{w}_{j,k}^{n+1} = \mathbf{w}_{j,k}^n + \Delta \mathbf{w}_{j,k}^{n+1}$; onde α é a constante de *momentum* (normalmente 0.9).

Treinar uma rede neural envolve a apresentação repetitiva de um conjunto de dados (pares de fatos). A rede toma cada entrada, faz uma estimativa de saída, compara tal saída contra uma saída padrão (fornecida) e procede correções nas conexões internas, se a estimativa está incorreta. O teste da rede é essencialmente o mesmo que treiná-la, exceto pelo fato de ser usado um conjunto de dados não usados anteriormente, e correções não são feitas quando a rede está errada. Caso os resultados se apresentem adequados, a rede está pronta para ser usada (rodada). Se não, necessitar-se-á maior número de dados ou melhores, ou ainda redefinir a rede. Pode-se reservar de 5 a 10% dos dados da série (inputs) para testar a rede treinada. Treinar com 90-95% dos dados a rede. Rodar a rede, consiste em usá-la com novos conjuntos de dados do mesmo assunto e condições, após conveniente treinamento e teste. Rodar uma rede treinada é consideravelmente mais rápido, pois são necessárias somente informações de entrada de dados (sem necessidade de saídas desejadas, padrões). Neste caso, as saídas padrões (conhecidas) não são avaliadas e correções não são feitas.

2.3.2 - Classificação das redes neurais

Atualmente, há duas principais idéias sobre a arquitetura das redes neurais. Algumas possuem um sistema de propagação para trás (feedback) e outras não. De forma resumida podemos dizer que se a saída de um neurônio não é dependente de algum de seus valores prévios, então a rede é dita ser de propagação para frente (feed forward). Os sinais somente têm uma direção e as saídas são dependentes de sinais que recebem de outros neurônios. Não têm retornos (voltas) no sistema. Uma vez treinada, esta rede sempre produz a mesma resposta para a mesma entrada.

As redes neurais também podem ser classificadas pela função de transferência dos neurônios, normalmente em duas classes: modelos lineares e não lineares. Os modelos iniciais usavam funções de transferência lineares. A saída de um neurônio linear é diretamente relacionada com o valor de ativação (a). Multiplica-se o valor de ativação por um número (the gain) para obter a saída. A saída do sistema pode ser representada usando álgebra linear. Assim, dando-se um conjunto de

entradas (inputs), as saídas serão iguais ao conjunto de pesos vezes as entradas. Funções de transferência lineares, em muitos casos, não são úteis em problemas muito complexos que não podem ser resolvidos por simples multiplicação. Nos modelos não lineares, a saída de um neurônio é uma função não linear de soma. A saída de um neurônio não linear pode ter um complicado relacionamento com o valor de ativação. As redes neurais podem, também, ser classificadas pelos **algoritmos de aprendizagem**, os quais são usualmente supervisionados ou não.

Uma rede **supervisionada** tem sua saída comparada com respostas bem conhecidas durante o treinamento. A saída é aceita quando atinge um nível de precisão desejado. Numa aprendizagem supervisionada, um sinal errado é alimentado de volta através da rede. Ele altera os pesos, evitando repetir o mesmo erro novamente. Aprendizado associativo pode ser supervisionado ou não. O padrão de associação é usualmente aprendizado supervisionado. Auto-associação, o qual completa padrões parciais, é usualmente aprendizado não supervisionado. **Aprendizado supervisionado é a mais elementar forma de adaptação.** Ela requer "a priori" de como o resultado deve ser. Isto é, deve existir um professor ou treinador envolvido na orientação correta das saídas. Um sistema **não supervisionado** não têm acesso a cada informação correta, devendo aprender por um mecanismo de estímulo-reação similar ao aprendizado de uma linguagem por uma pessoa. Ou seja, ouvindo palavras repetidamente em situações similares, as pessoas fazem associações entre palavras e idéias. Não há professor envolvido no treinamento, ao contrário, a rede é exposta apenas ao número de entradas. Para a organização do comportamento próprio exibido pelas redes neurais não supervisionadas, envolvem métodos de competição, corporação ou ambos.

2.3.3 - Rede neural - *Back-Propagation*

Back-Propagation é um esquema de aprendizagem supervisionado pelo qual uma camada de neurônios da rede neural de propagação para frente (feed forward) é avaliada continuamente e treinada para tornar-se uma máquina de comparação padrão. A rede aprende tendo um erro local de sinal propagado de volta durante o treinamento, daí o nome. A rede é treinada com a utilização de pares de valores de entrada/saída (padrões). Os pesos são mudados assim que a rede produzir a saída, proporcionando com isso a entrada (input) para o par (caso houver diferença com o valor de saída esperado). O treinamento da rede pode ser pensado como uma função de minimização de erro, ou seja, quando o erro é minimizado a rede está treinada. As variáveis independentes usadas são os pesos. O erro sobre uma saída de neurônio para um padrão particular é definido como a diferença entre o alvo de saída (desejado) e a saída atual. O erro total sobre um padrão é a soma

dos erros sobre todos os neurônios de saída para o padrão. O erro total para todos os padrões é a soma dos erros sobre cada padrão. O mais simples método para determinar o erro mínimo, é conhecido como o Método do Gradiente descendente. Ele implica no movimento de um pequeno passo abaixo do gradiente do local (slope), como o caminho percorrido por um esquiador descendo a montanha até atingir a base, conforme demonstrado no **APÊNDICE A**. *Back-Propagation* é útil porque proporciona uma explanação matemática da dinâmica da aprendizagem, sendo muito seguro e consistente em aplicações variadas.

O método *Back-Propagation* foi simultaneamente inventado por três grupos de pessoas, em **1985/86**, conforme **LAWRENCE (1992)**. De maneira a demonstrar o algoritmo de aprendizagem usando o método *Back-Propagation*, bem como a matemática empregada, exemplos podem ser vistos no **APÊNDICE A**.

2.3.4 - Aplicações das redes neurais

As redes neurais têm sido aplicadas em centenas de áreas de conhecimento, nos últimos anos. Entre elas podemos enumerar: previsões financeiras, análise e processamento de sinais, controle de processo, robótica, classificações diversas, reconhecimento de padrões (dados digitais de imagens de satélites, e sinais de sonares de retorno do fundo dos mares), filtros de ruídos, reconhecimento da fala (soletração correta), diagnósticos médicos, diagnósticos e decisões de negócios, reconhecimento e classificação de células cancerosas, identificação e localização de falhas em concreto, reconhecimento e decodificação de estruturas químicas, sugere formas para melhorar o paladar de cervejas fabricadas.

Outros trabalhos procuram demonstrar o potencial das redes neurais, tais como: **HEPBER et al (1990)** procederam comparação do uso de rede neural (**ANN back-propagation**) e da classificação supervisionada de máxima verossimilhança para a classificação de imagens de satélites, usando um conjunto mínimo de dados para treinamento. Neste caso a rede neural apresentou desempenho superior ao processo de classificação convencional, quando utilizado um mínimo conjunto de treinamento. **XU e YIN (1990)** aplicaram a tecnologia de redes neurais como um suporte à decisão do planejamento recursos florestais na tentativa de trazê-la para a atenção de analistas e planejadores desta área. Neste aspecto, analistas de recursos naturais demonstram uma falta de consciência, considerando o potencial desta técnica para o planejamento do uso do solo e administração de problemas.

Sem dúvida, a utilização de redes neurais, principalmente as de propagação para frente, parece ser uma metodologia extremamente útil para se treinar conjuntos de informações visando a previsão agrícola e, conseqüentemente, a planificação da produção. A disponibilidade de pacotes computacionais com variadas estruturas de redes neurais existentes no mercado atualmente, direcionadas para microcomputadores e de fácil aprendizagem, poderão integrar programas de acompanhamento de safras desde o nível de propriedade agrícola até sistemas regionais. O importante neste contexto é a modelagem clara e objetiva de sistemas que possam ser difundidos regionalmente no sentido da previsão agrícola de forma operacional e rotineira. Assim, as variáveis previsoras, quer sejam agrometeorológicas, tecnológicas, fisiológicas ou a combinação destas devem ser bem definidas e modeladas adequadamente para seu emprego e difusão geral. Outro aspecto importante também diz respeito ao conhecimento do tamanho das séries de dados ou conjunto de valores necessários para a previsão agrícola adequada com esta tecnologia.

2.4 - Determinação ou estimativa das áreas cultivadas:

Uma visão espacial.

Tendo em vista a dinâmica do uso do solo nas áreas agrícolas é necessário dispor de fonte de dados com cobertura espacial e temporal ágil e que possa acompanhar efetivamente as mudanças da sua superfície. Com o recente avanço tecnológico na obtenção de dados por sensoriamento remoto, via satélites ou *scanners* aerotransportáveis, captados por meio de seus sensores, dispõem-se de informações da superfície terrestre em diferentes comprimentos de onda do espectro eletromagnético. No caso orbital, estes dados são obtidos com uma certa repetitividade a qual depende do satélite em uso e, logicamente, da cobertura de nuvens.

Os dados de sensoriamento remoto orbital têm sido utilizados nos mais diferentes campos da geociência e, principalmente, na agricultura. Especialmente no caso de uso da terra, ou seja, a discriminação das espécies e culturas vegetais, tem sido intensamente pesquisadas e testadas no mundo inteiro, WILLIANS et al (1973), LINZ (1976), SANTOS e NOVO (1977), NOVO (1979), LOMBARDO et al (1980), MOREIRA et al (1986), PINTO et al (1986), PROVESI et al (1986), PEREIRA et al (1988), PINTO et al (1989), RUDOLFF e BATISTA (1990), LOCH e SILVA (1993), BATISTA et al (1993).

A definição ou escolha de um sensor depende da finalidade e objetivos a serem alcançados, ou seja, quanto à capacidade do sensor frente às necessidades técnicas para a discriminação dos

alvos desejados (resolução espacial/espectral). Assim, **PROVESI et al (1986)** procedeu estudo visando analisar o comportamento espectral observado nas bandas do Landsat **TM-2, TM-3, TM-4 e TM-7** das classes de uso da terra encontradas na região de Fraiburgo/SC, abordando de forma detalhada as áreas com pomares de maçã. Utilizou como base cartográfica a folha **CURITIBANOS SG-22-Z-C-1 (IBGE-1973)**, na escala de **1:100000** e o analisador interativo de imagens multiespectrais, **IMAGE - 100 (I-100)**. Como verdade terrestre foram utilizadas aerofotos na escala nominal de **1:25.000**, pancromáticas, de **1978**, com uso da foteointerpretação. Ao se comparar o mapa obtido pela classificação digital de dados Landsat - **TM** e o mapa de verdade terrestre, os autores observaram que a identificação de algumas classes foi bastante satisfatória. Tal é o caso das classes: água, área urbana, pinus, solo preparado e solo limpo. Por outro lado, observaram grandes confusões entre algumas classes, principalmente entre as classes **maçã** e outras tão distintas quanto **matas, pastagens e áreas alagadas**. Adotaram procedimentos de classificação não supervisionada (k- média --> cluster), com definição de 8 classes temáticas. Utilizaram a classificação supervisionada, com o uso do algoritmo **MAXVER** (máxima verossimilhança) para geração das amostras de treinamento e respectivas assinaturas espectrais de cada classe representativa, conforme obtidas pelos procedimentos não supervisionados. Concluíram também, que dentre as classes com cobertura vegetal expressiva, apenas **pinus, pasto limpo e maçã tipo 2**, se distinguiram das demais classes, com leve proximidade entre as duas últimas. A **maçã tipo 3** correspondendo, possivelmente, a pomares com baixa exposição de solo, dada a sua semelhança com classes florestais, enquanto a **maçã tipo 1**, por confundir-se com classes de **pastagens**, deve-se referir aos pomares em formação que apresentam grande proporção de exposição do solo ou cobertura herbácea existente entre as linhas. Sugerem, ainda, que uma análise multitemporal seria aconselhável, procurando explorar os estágios fenológicos da macieira, como forma de melhorar o processo discriminatório.

Em muitas aplicações de técnicas de sensoriamento remoto em atividades como agricultura, florestas, mineração, entre outras, necessita-se uma resolução espectral melhor do que atualmente é disponível nas fotografias aéreas ou sensores a bordo de satélites, neste caso ainda com baixa resolução espacial. Segundo **KIRCHNER et al (1993)**, os atuais sensores a bordo de satélites fornecem coberturas de grandes áreas a custos baixos, mas possuem limitações quanto as suas capacidades espectrais e em muitos casos espaciais também (tamanho do pixel), não permitindo um suficiente detalhamento e precisão necessários aos monitoramentos intensivos dos recursos naturais.

Nos últimos anos, uma nova geração de sensores aerotransportáveis foi desenvolvida para atender às necessidades de imagens com alta resolução espacial e principalmente espectral, **STAENZ (1992)**. Um destes sensores de segunda geração de imageamento espectroscópico

chamado "**Compact Airborne Spectrographic Imager - CASI**, foi desenvolvido por empresa canadense, segundo **TRINO (1993)**. O **CASI** é um equipamento portátil e flexível que pode ser usado em laboratório e no campo. A flexibilidade diz respeito à capacidade que o equipamento tem em selecionar e definir bandas espectrais permitindo utilizá-lo para verdade terrestre ou na definição da seleção de bandas espectrais ótimas para outros satélites e sistemas aerotransportáveis. Suas imagens são registradas em fita cassete digital de capacidade de **2.2Gbytes**. O peso do sistema é de **55kg** e o tamanho é de um computador **PC**, conforme **BORSTAD et al (1989)**. O **CASI**, foi projetado para produzir imagens digitais do espectro visível (**430nm**) ao infravermelho próximo (**870nm**), com grande sensibilidade, grande resolução espacial e espectral e uma amplitude dinâmica em termos espaciais, ser compacto e facilmente transportável, de fácil montagem em uma gama de aeronaves de pequeno porte, de fácil operação e baixo custo. Pode operar no modo espacial (até **15** bandas programáveis) e no modo espectral (**amostras de pixels com 288 intervalos de 1.8nm**). O modo de operação espectral do **CASI** é um sistema singular que permite registrar informações espectrais de até **39** direções de visada. Cada *pixel* de cada direção de visada, contém 288 intervalos(bandas) com uma largura espectral efetiva máxima de **2.2nm**. Neste caso, um canal pancromático da cena é também registrado para proporcionar referência espacial, **BABEY e ANGER (1989)**.

Tal equipamento tem sido utilizado em vários países e áreas de aplicações, tais como:

a) - Oceanografia e pesca: produtividade dos oceanos, florescimento de algas, vegetação aquática; **b) - Florestas:** Vitalidade de reflorestamentos, discriminação de espécies, inventário florestal, estresse, poluição e discriminação de florestas atacadas por pragas e doenças; **c) - Rios e Lagos:** qualidade superficial da água, vegetação aquática, sólidos em suspensão; **d) - "Enforcement":** controle de descargas, estudos de efluentes, detecção de contrabando de culturas; **e) - Agricultura:** Vigor das culturas, doenças, contaminação; **f) - Geobotânica, uso da Terra, estudos de impactos ambientais.**

Inúmeros trabalhos, nos últimos anos, têm sido conduzidos pelo mundo com o uso de *scanner* aerotransportáveis, nas mais diversas áreas da geociências, entre eles o **CASI**, conforme relatados nos trabalhos de: **ROCK et al (1988)**, **RICKMAN et al (1989)**, **ZIBORDI et al (1990)**, **RIGGS e RUNNING (1991)**, **LYON et al (1992)**, **TREITZ et al (1992)**, **LECHIE et al (1992)**, **SOUZA et al (1993)**, **MAILLARD e SÉGUIN (1993)**.

Neste contexto surge uma questão: será que possuem poder discriminatório suficiente para distinguir culturas agrícolas em nível de cultivares, em pequenas propriedades, plantios diversificados e relevo variado (15-25% de declividade)?

Apesar do potencial de resolução destes sensores, tais informações carecem de um referencial confiável e detalhado, ou seja, de cartas básicas nas quais as alterações ou projeções da evolução físico-espacial possam ser georreferenciadas com precisão. Segundo **LOCH e KIRCHNER (1988)**, analisando os mais diversos mapas temáticos, demonstraram a maciça utilização de fotografias aéreas na sua configuração básica, sendo que as imagens de satélites, nesta etapa, servem apenas para orientação geral em termos panorâmicos. Conforme **LOCH (1989,1990)**, as fotografias aéreas convencionais mostram-se como o melhor sensor ou ferramenta, tendo em vista a sua escala, para a implantação do cadastro técnico multifinalitário, composto pelos mais variados mapas temáticos, como o topográfico, de solo, uso do solo, aptidão do solo, geológico, cobertura florestal, viário, zoneamento urbano e rural, etc. Entretanto, as fotografias áreas convencionais apresentam o inconveniente da atualização de dados, levando-se em conta o custo de cada recobrimento aerofotogramétrico periódico, o que prejudica a análise de determinada área em intervalos curtos de tempo. A importância das imagens de satélite reside na sua versatilidade quanto à repetitividade e recobrimento sistemático da terra, aliado ao baixo custo, permitindo desta forma a atualização periódica dos mapas básicos ou temáticos, contidos, por exemplo, no cadastro técnico rural.

Conforme relata **FREITAS (1986)**, as imagens dos satélites atualmente em uso, tais como o **LANDSAT TM - 5**, permitem produzir cartas planimétricas em 1:100.000 ou mesmo para revisão daquelas existentes. Para o **SPOT**, as imagens podem ser utilizadas para fotointerpretação, cartografia e atualização cartográfica nas escalas de 1:100.000 e 1:50.000. A sua banda pancromática com resolução espacial de 10m oferece melhores condições geométricas e permite confeccionar mapas com padrões cartográficos na escala de 1:100.000, com dados levantados na escala de 1:50.000 e para alguns casos de aplicações temáticas em 1:250.000.

Desta forma, para os mapeamentos em nível rural ou urbano (mapeamento cadastral básico), que exigem escalas de 1:10.000, 1:5.000 ou maiores (urbanas) fica evidente a impossibilidade atual do uso isolado destes satélites, mesmo levando-se em conta a melhor resolução espacial do **SPOT (10m., além da estereoscopia)** ou do **LANDSAT TM-5 (30m)**. Quanto aos *scanners* aerotransportáveis atualmente em uso, não foram projetados para obterem estereoscopia com visadas laterais automatizadas, além dos restituidores existentes partirem ainda de imagens (fotos)

diapositivos de pares estereoscópicos (digitalizados ou não). Também, melhorias nos processos de pré-correção e de geometria deveriam ser introduzidas (variação vertical e de rumo da aeronave).

As fotografias aéreas são, entretanto, fundamentais para a configuração precisa e detalhada dos mapas topográficos, com ajuda dos pontos de apoio terrestre, da aerotriangulação e processos de restituição aerofotogramétrica numérica ou digital.

A restituição aerofotogramétrica numérica é uma forma de digitalização vetorial, sendo o arquivo magnético gerado a partir dos movimentos do aparelho de restituição. Na restituição numérica (digitalização fotogramétrica) a carta já é gerada em meio magnético, o que a torna mais precisa que nos processos convencionais de digitalização vetorial (em papel) e por *scanner*, pois eliminam-se tais fases. Neste aspecto, na cartografia digital as informações mapeadas são armazenadas em meio magnético e esta particularidade oferece uma flexibilidade quase ilimitada no manejo destes elementos, permitindo assim a eliminação e inserção de informações e sua plotagem em qualquer escala. A precisão destas plotagens, no entanto, fica vinculada à escala original do mapeamento, **AGUIAR (1991)**. As vantagens da cartografia numérica podem ser sintetizadas pelos seguintes itens:

a)- Geração de gráficos compatíveis com o uso em sistemas geográficos de informação; **b)**- Facilidade muito grande na atualização; **c)**- Maior precisão, pois pode-se fazer medidas euclidianas; **d)**- Flexibilidade muito grande de uso, seja nos níveis, nas plotagens, nas escalas e suas combinações; **e)**- Rapidez e agilidade na utilização; **f)**- Mais prático e relativamente fácil para estabelecer uma relação com o cadastro técnico multifinalitário.

Uma vez configurada a carta topográfica básica, na escala e precisão requeridas ao trabalho, sensores de diversos sistemas poderão ser utilizados para auxiliarem na elaboração dos mais variados mapas temáticos, tais como: fotografias aéreas, imagens de satélites, *scanners* aerotransportáveis ou mesmo fotografias aéreas de pequeno formato - FAPF. A utilização de um ou outro produto dependerá dos objetivos a serem alcançados no trabalho, disponibilidade técnica e financeira. As FAPF, são de baixo custo e podem ser utilizadas no monitoramento periódico do uso do solo, seja rural ou urbano, mesmo considerando a sua precisão geométrica relativa, conforme **DISPERATI (1991)**, **AMORIM e LOCH (1993)**.

As vantagens óbvias dos produtos digitais, como os obtidos dos *scanners* aerotransportáveis, residem na resolução espacial similar às obtidas pelos vôos fotogramétricos, além das facilidades e poder discriminantes dos seus sensores multiespectrais.

A utilização de sensores remotos orbitais para a determinação de áreas cultivadas pode ser observada nos seguintes trabalhos: **MOREIRA et al (1986)**, desenvolveram procedimentos para estimativa de áreas plantadas com trigo usando técnicas amostrais baseadas sobre fotografias

aéreas e dados digitais do **LANDSAT MSS**, na região de Cruz Alta/RS (720 km²). Similar procedimento foi utilizado por **ALONSO et al (1991)** na Espanha, os quais compararam duas metodologias para estimativa de áreas cultivadas, usando imagens do **LANDSAT TM** e dados de campo. **SANTOS et al (1993)**, objetivando a estimativa de áreas cultivadas com arroz irrigado, pelo desenvolvimento de metodologia interpretativa de imagens do satélite **LANDSAT TM**, de forma sistemática e operacional. A área estudada foi no município de ITAQUI/RS com uma superfície de 5.130km². Utilizaram equipamento **SITIM-150**, SGI e o projetor ótico **PROCOM - 2**. Foram interpretadas imagens coloridas em transparência positiva (**3B,4G,5R**) de quatro anos/safra (84/85, 85/86, 86/87 e 87/88) da cultura de arroz irrigado, tendo 3 imagens temporais por safra. A interpretação foi feita em escala 1:50.000, com base nas cartas do Serviço Geográfico do Exército e as áreas calculadas por digitalização. Os resultados demonstraram uma considerável diferença entre as estimativas efetuadas pelos órgãos oficiais, os quais foram sempre menores em relação à obtida pela interpretação das imagens de satélite. A comparação das áreas estimadas pelas imagens de satélite e as obtidas por medidas a campo mostraram um coeficiente de regressão de 0,93, demonstrando, segundo os autores, a boa precisão da metodologia testada e a possibilidade de utilização de forma operacional.

Trabalho mais recente foi conduzido por **SILVA et al (1994)**, utilizando imagens do satélite **LANDSAT TM5**, dados históricos e multitemporais de áreas em produção, integrados por geoprocessamento, objetivando a previsão da quantidade de áreas plantadas por culturas anuais de verão, no município de Guaira (SP).

2.5 - Caracterização da propriedade agrícola e uso do Sistema Geográfico de Informações - GIS => *integração de dados*

O manuseio e interpretação de grandes conjuntos de dados obtidos de forma diversificada têm levado os pesquisadores a utilizarem sistemas computacionais, não somente para armazenamento dos dados, mas que possibilitam a sua análise conjunta ou integrada. Esta situação tornou-se mais crucial nas áreas de recursos naturais, principalmente, as quais utilizavam processamentos digitais de imagens ou mesmo aquelas informações advindas de cartas ou mapas digitalizados vetorialmente, e de dados alfanuméricos que necessitam de referência geográfica para sua utilização. Esta necessidade básica conduziu ao desenvolvimento e operacionalização de *Softwares* denominados de **sistemas de informação geográfica (ou sistemas de informações geográficas) - GIS (geographical information systems - GIS)** inseridos em ambientes computacionais, bastante flexíveis para permitir a entrada de dados em formatos diferentes, como: dados alfanuméricos, dados numéricos dispostos em matrizes (sistema raster), informações

digitalizadas de documentação cartográfica (sistema vetorial - em isolinhas). Podendo, ainda, combinar informações de tipos de fontes diferentes, como: imagens, fotos aéreas, mapas e matrizes numéricas, **PINTO (1991)**, **ASSAD e SANO (1993)**.

A função de um **sistema de informações**, em geral, é para proporcionar habilidades para a tomada de decisões. Conseqüentemente, um sistema de informações é uma cadeia de operações de planejamento, de observação e coleta de dados para armazenamento e análise de dados, para o uso de informações derivadas e como proporcionadores de processos decisórios, segundo **EHLERS et al (1991)**. Um sistema de informação geográfica - GIS, SIG ou SGI é um **sistema de informações** para dados espaciais que são referenciados por coordenadas geográficas. Ele é determinado para aquisição, armazenamento, recuperação, manipulação, visualização, combinação, análise, predição e questionamento de dados espaciais, de acordo com as especificações definidas pelos usuários. Inicialmente, o GIS foi desenvolvido para computadores de grande porte, evoluindo com o avanço tecnológico computacional, para computadores de porte médio e pequenos - PC's, tornando-o uma poderosa ferramenta analítica. Desta forma, o SGI ou GIS, é um sistema georreferenciado com topologia associada, partindo de mapas básicos e compatíveis, onde as diversas cartas temáticas serão relacionadas, conforme **KORTE (1992)** e **MONTGOMERY e SCHUCH (1993)**. Este sistema permite que informações provenientes de vários conjuntos de dados espaciais possam ser justapostas e representadas de forma gráfica ou digital, podendo posteriormente ser usadas para análise visual ou por modelos analíticos.

Conforme **EHLERS et al (1991)**, o termo sensoriamento remoto é restrito aos métodos que empregam a energia eletromagnética como meio para detecção e mensuração de características de alvos, incluindo estudos e análises do campo elétrico, magnético e gravitacional. O sensoriamento remoto digital, como uma forma de informação geográfica, representa mais que uma simples extensão das fotografias aéreas convencionais, requerendo fundamentalmente diferentes abordagens para análise da superfície terrestre. Segundo este autor, para uma verdadeira integração entre GIS e sensorimanto remoto, muitas técnicas e impedimentos científicos ainda necessitam ser superados. Tal integração ao GIS deve proporcionar mais que transferência de dados entre sistemas separados ou revestidos de matrizes (sistema raster). Um dos maiores problemas de integração é causado pela diferença na estrutura usada para aquisição, acesso e armazenamento de dados.

O desenvolvimento e a utilização do GIS e sua integração com outros sistemas de aquisição de dados, como os empregados pelo sensoriamento remoto, a cartografia digital, entre outros é

recente, como pode ser verificado nos trabalhos de **NELLIS et al (1990)**, **FAUST et al (1991)**, **LUNETTA et al (1991)**, **EHLERS et al (1991)**, **Pinto (1991)**. Também a sua utilização tem sido nos mais diversos campos de atuação, como: cadastro técnico rural e urbano, mapeamento topográfico, cartografia temática, engenharia civil, geografia, ciências do solo, fotogrametria, planejamento rural e urbano, sensoriamento remoto, aplicações militares, entre outros, **BURROUGH (1987)**.

Outros trabalhos, como o de **FISHER e LINDENBERG (1989)**, abordaram com propriedade a distinção e o relacionamento entre cartografia, sensoriamento remoto e GIS. **MARSH et al (1990)** utilizaram a integração do SR e GIS para mapeamento do uso do solo agrícola em uma região do Senegal (Matam). **HERNANDES FILHO et al (1991)** procederam à integração de imagens orbitais com dados cartográficos para classificar áreas da Floresta Nacional de Tapajós - Pará/Brasil, com 600.000 ha. A metodologia consistiu na digitalização e posterior integração de mapas de vegetação, cartas topográficas e imagens de satélite, com a utilização integrativa do GIS.

PRICE et al (1992) utilizaram a integração do sensoriamento remoto e GIS para detecção de alterações de vegetação na região oeste dos EUA (Great Basin). **TREITZ et al (1992)** integraram imagens do satélite SPOT com tecnologias de GIS para mapeamento da cobertura e uso do solo na região limítrofe entre zona rural e urbana de Toronto/Canadá. **LIMA et al (1992)** desenvolveram metodologia de utilização de um sistema de informações geográficas - GIS e dados de sensoriamento remoto orbital (Landsat - TM), para gerar mapas de suscetibilidade e de risco de erosão do solo para grandes áreas, tendo o sertão da Paraíba como local de estudo.

FABRI (1992) apresenta uma revisão sobre o uso integrado de técnicas de sensoriamento remoto - SR, GIS e meio ambiente. **WELCH et al (1992)** abordaram a integração do GPS (Global Positioning System), SR e técnicas de GIS para gerenciamento de recursos costeiros da Ilha Sapelo/Georgia - EUA. **WESTMORELAND e STOW (1992)** propõem uma estrutura para analisar dados auxiliares e desenvolvimento de procedimentos para incorporação de dados secundários (auxiliares) para ajudar na identificação interativa de categorias de uso do solo e suas atualizações, com técnicas integradas de GIS e SR, em San Diego/EUA.

LOCH (1993) procedeu análise de uma área típica da estrutura fundiária brasileira, Porto Vitória/PR, objetivando a avaliação ocupacional para fins de reestruturação fundiária. Para tanto, utilizou produtos derivados do cadastro técnico multifinalitário, técnicas de SR e do GIS.

KIRCHNER et al (1993) aplicaram dados digitais obtidos por meio de um scanner aerotransportável - CASI e sua integração com GIS em área de estudo do município de Pinhão/PR, com 200 km². O objetivo foi demonstrar a aplicabilidade dos dados obtidos pelo

CASI e sua intergração com GIS na avaliação do impacto ambiental devido à construção de uma hidroelétrica.

GOMES, E. C. B. et al (1993) desenvolveram estudo objetivando a avaliação da aptidão agrícola das terras com a utilização do GIS numa área de 68.561ha a noroeste do Estado do Ceará. **SCOPEL et al (1993)** propuseram estudo para geração de mapas de erosão potencial com auxílio do SGI na Bacia Hidrogáfica Piloto de Campo do Tenente/PR.

MORELLI et al (1994) apresentaram projeto de um protótipo de previsão de safras de uma pequena parte do painel de amostra de áreas do Estado de São Paulo, município de Guaira, correspondente a quatro folhas na escala de 1:50.000, com a utilização de sistema de informações geográficas - GIS. **SILVA et al (1994)** apresentaram metodologia, utilizando imagens de satélite LANDSAT - TM5, para a obtenção da previsão da quantidade de áreas plantadas por cultura, a partir da integração de dados tabulares multifontes, dados históricos e dados multitemporais em ambiente de geoprocessamento - GIS.

Como é possível perceber, a utilização conjunta de sistemas de informações geográficas e dados de sensoriamento remoto para a planificação agrícola, cadastro técnico rural, uso e aptidão dos solos tem sido objeto de estudos e publicações recentes. Para a caracterização da propriedade agrícola sob o aspecto físico-ocupacional deve concorrer uma série de estudos e levantamentos básicos, desde o topográfico, de solos, aptidão e uso das terras e informações edafoclimáticas gerais para fins de zoneamento agrícola.

Desta forma, o cadastro técnico rural multifinalitário - CTRM seria a metodologia mais adequada para caracterizar a propriedade agrícola. O CTRM, além dos dados informativos e legais da propriedade da terra, funciona como banco de dados para o planejamento dos órgãos governamentais e usuários diversos, tendo como premissa a precisão (cartográfica) de suas informações. Ele deve concentrar o maior número de informações sobre uma área específica, onde poderá beneficiar e informar os mais diferentes usuários. É composto de vários cadastros setoriais, contendo cada um deles um segmento fundamental e temático especializado. Cadastro Técnico é uma excelente ferramenta ou base sobre a qual os mais diversos usuários (engenheiros, profissionais habilitados) podem fazer estudos para a implantação das mais variadas obras, como novas obras, saneamento básico, drenagens, eletrificação, uso da terra, obras de controle à erosão, **BLACHUT (1985), LOCH (1990)**. Para a elaboração e implantação do CTRM, concorre, inicialmente, o uso de fotografias aéreas convencionais, por mostrarem-se mais adequadas, devido principalmente à necessidade de escalas grandes nesta etapa, e básica para processos de restituição e confecção dos mapas topográficos básicos, onde deverão ser referenciados os diversos mapas temáticos caracterizadores das propriedades rurais. O CTRM deve ser composto pelos mais diversos mapas temáticos, como o topográfico, viário, tipos de solos, aptidão do solo,

uso atual do solo, cobertura florestal, geológico, zoneamento rural, infra-estrutura, etc. Assim, na fase de implantação do **CTRM**, há necessidade de ter-se uma carta-base confiável e detalhada, onde os diversos temas (mapas) deverão ser referenciados. Neste ponto residem os fundamentos do cadastro técnico e por consequência a caracterização espacial acurada do meio rural, ou seja, a precisão nas informações. Um dos fatores que desinteressam os planejadores oficiais e usuários em geral é a desatualização cadastral, tendo em vista a dinâmica do meio rural. É neste contexto que a integração dos produtos do sensoriamento remoto orbital, ou suborbital, com os sistemas de informações geográficas pode contribuir enormemente para a viabilização, não somente do cadastro técnico, como também do acompanhamento sistemático em tempo real das atividades agrícolas.

De forma ágil, então, o **GIS** pode integrar, numa única base de dados (mapas com precisão), imagens diversas, sejam de satélites ou obtidas de outras fontes, com modelos numéricos de terreno, combinando as várias fontes de informações por meio de algoritmos de manipulação para gerar e produzir mapeamentos. Tendo em vista o **CTRM** conter um número expressivo de informações numéricas e gráficas e em vista ainda da sua atualização periódica, o **GIS**, é instrumental fundamental, por sua agilidade e capacidade de manipulação de volume expressivo de dados. Podendo integrar-se com imagens digitais provenientes de satélites, *scanner* aerotransportável para a sua atualização. O **GIS** poderá ser o elo de ligação entre as entradas de dados para a caracterização do meio rural (cadastro técnico), tais como mapas, dados estatísticos, dados de campo, informações digitais, concorrendo ainda os produtos oriundos de técnicas de sensoriamento remoto, aerofotos, imagens orbitais e suborbitais (atualização) e as saídas de dados que, em última análise, comporão o cadastro técnico multifinalitário, que descreverão os mais diversos fatores para a caracterização ocupacional das propriedades agrícolas e o planejamento do meio rural como um todo.

Tendo em vista que poucos países dispõem de cadastro técnico rural multifinalitário, como forma de caracterização de propriedades agrícolas, este trabalho testaria metodologias integradas de sensoriamento remoto, **GIS** e o planejamento espacial da propriedade no que diz respeito ao desenvolvimento de modelos numéricos de previsão de fenofases, de rendimentos e safras.

2.6 - Características gerais da cultura da macieira

2.6.1 - Exigências edafoclimáticas

A maior parte das áreas de plantio do sul do Brasil localizam-se em regiões onde as exigências em frio não são plenamente satisfeitas para as cultivares que atualmente vêm sendo plantadas (Gala, Fuji, Golden Delicious). Os fatores que realmente limitam o cultivo da macieira em diferentes áreas, principalmente na região sul-brasileira, são os relativos ao clima. Dentre eles, o mais limitante é a temperatura, a qual é indiretamente influenciada por outros fatores estáticos, como a latitude, altitude, continentalidade, relevo da região e outros, tais como: nebulosidade, ventos e a própria vegetação da região. Não somente as temperaturas de inverno mas também as de primavera e verão poderão influir no desenvolvimento da macieira. Temperaturas de 18 a 23° C são requeridas durante a fase vegetativa. As temperaturas baixas e contínuas durante os meses de inverno são indispensáveis para que a planta reinicie um novo ciclo vegetativo com brotação e floração normais. A temperatura da 2ª e 3ª semanas após a floração influencia a forma dos frutos. Temperaturas elevadas, neste período, induzem a formação de frutos achatados.

Temperaturas amenas durante a noite, geralmente, aumentam o tamanho dos frutos e podem influir favoravelmente no crescimento vegetativo e florescimento. Temperaturas amenas de primavera e verão determinam aumento da acidez e redução na intensidade da coloração e da escaldadura e proporcionam aumento do tamanho dos frutos. Temperaturas elevadas na mesma época provocam redução no período da floração à maturação e também no tamanho dos frutos. A variação de temperatura noturna e diurna favorece a uma melhor coloração dos frutos.

A **precipitação pluviométrica** é um dos fatores climáticos mais importantes para o desenvolvimento da macieira, principalmente no período de setembro a maio. Períodos de estiagem durante o estágio de crescimento dos frutos poderão afetar o tamanho dos mesmos ou também a diferenciação das gemas floríferas para o ano seguinte. A falta de água no solo dificulta a absorção de nutrientes por parte das raízes, reduzindo o crescimento das plantas. Por outro lado, o excesso de umidade pode afetar a sanidade e até a produção se a incidência de moléstias for intensa. Chuvas contínuas durante a floração também afetam a polinização, e, em consequência, a produção. O excesso de umidade no solo diminui a absorção de nutrientes por causar asfixia nas raízes, além de favorecer o surgimento de doenças fúngicas. É recomendável, por este fato, que os pomares apresentem uma pequena inclinação dos terrenos, menor que 20%, para favorecer a movimentação do ar e a drenagem do solo, uma vez adotadas práticas de controle à erosão.

Ventos fortes ou de intensidade média prejudicam os tratamentos fitossanitários, favorecendo a deriva e a evaporação d'água, além de reduzir o seu efeito. Também prejudicam a atividade dos insetos polinizadores quando ocorrem durante o período da floração. A calmaria, por outro lado, favorece o aparecimento de doenças fúngicas pela falta de renovação do ar.

Outro fator climático que poderá influenciar a cultura da macieira é a luz (radiação solar), interferindo na formação de açúcares e na pigmentação da epiderme dos frutos em cultivares de película vermelha (Gala, Fuji). Nas de película verde (Golden delicious, Belgolden) não é aconselhável radiação solar intensa, pois poderá provocar queimadura em frutos ou favorecer o aparecimento de distúrbio fisiológico, chamado escaldadura, durante o período de armazenagem.

Outros fatores climáticos extremos como geadas primaveris tardias (outubro/novembro) provocam uma diminuição das flores, dependendo da sua intensidade, com conseqüências danosas sobre a produção final. Também o granizo, muito freqüente no planalto catarinense, tem provocado prejuízos variados, não só na produção do ano mas também dos anos subseqüentes pelos danos que causam sobre os ramos desta cultura.

Os solos mais adequados para o cultivo da macieira são os profundos, bem drenados e que permitem a livre penetração das raízes. Solos com estas características são predominantes na região de Fraiburgo/SC (Latosolos e Cambissolos). Estes solos, entretanto, necessitam de correção para aumentar a disponibilidade de nutrientes e diminuir os teores de alumínio trocável e aumentar o pH. Tanto no que se refere às características físicas e químicas, os solos do sul do Brasil não constituem fator limitante para o desenvolvimento da cultura da macieira, desde que feitas previamente as correções necessárias, conforme **EMPASC (1986)**.

Das espécies de fruteiras de clima temperado, a macieira é a mais exigente em frio para quebra de dormência. A determinação das necessidades de frio de uma cultivar, em nível de campo, é muito difícil, pois oscilações variadas na temperatura traduzem-se em comportamentos diferenciados das plantas. Assim, oscilações em períodos inferiores a dez dias, com temperaturas superiores a 21° C, podem ter efeito negativo. Na prática, a exigência de frio é determinada pela observação na época de brotação e floração, pois geralmente, as cultivares que florescem antes são menos exigentes em frio.

A condição de dormência se localiza nas gemas, fazendo com que cada gema se comporte como um indivíduo. Desta forma, as exigências em frio podem variar dentro de uma mesma

planta, onde as gemas vegetativas laterais requerem maior quantidade de frio que as gemas floríferas e/ou terminais. A luz é outro fator efetivo na quebra de dormência, porém, poucas informações estão disponíveis. As primeiras investigações mostram o efeito negativo das radiações solares diretas durante o inverno e enfatizam que o efeito do período de frio pode ser aumentado pela formação de nuvens durante o dia, as quais reduzem a radiação solar efetiva e provocam um abaixamento da temperatura. A luz também pode atuar com relação ao nível de inibidores de crescimento, que é maior em dias curtos. Desta forma, plantas expostas às condições de dias longos, apresentam um maior número de gemas abertas, quando comparadas com o fotoperíodo natural.

Para quebra de dormência das fruteiras de clima temperado, o ideal seria a ocorrência de um inverno frio e nublado durante o dia. Nestas condições a planta tem um desenvolvimento normal com estádios fenológicos típicos, segundo **PETRI e PASQUAL (1982)**. A macieira, quando não tem suas exigências em frio satisfeitas, apresenta muitas gemas em estágio dormente, mesmo que as condições ambientais sejam favoráveis ao crescimento. Conseqüentemente, grande parte das gemas laterais, na maioria vegetativas, permanece em repouso. As gemas terminais apresentam uma brotação desuniforme e por um longo período, muitas permanecendo em repouso.

A brotação, em geral, inicia na parte inferior da planta, ocorrendo também a abertura de flores isoladas. É normal, encontrar-se na mesma planta, frutos com um a dois centímetros de diâmetro, flores abertas e gemas dormentes. Pode ocorrer a abertura de flores nos meses de dezembro e janeiro. Embora a floração se estenda por um longo período, a maturação dos frutos ocorre na mesma época. Os frutos provenientes de flores tardias permanecem menos tempo na planta e apresentam tamanho menor e qualidade inferior. Muitos frutos localizados em gemas laterais florescem e frutificam sem emitir folhas nestas gemas, fazendo com que seus frutos logo paralitem o crescimento, apresentando tamanho muito pequeno por ocasião da colheita.

2.6.2 - Fenologia e colheita

O ritmo de desenvolvimento da macieira a partir de meados do outono induz as plantas a entrarem naturalmente em dormência. No entanto, nas condições sul-brasileiras, a brotação e o início do período vegetativo são irregulares, porque não ocorre número de horas de frio suficiente para as cultivares mais plantadas, como: Gala, Golden Delicious, Belgolden, Fuji, entre outras, com exceção da região de São Joaquim/SC (1200-1400m.). Nesta região ocorre um desenvolvimento normal de brotação, caracterizado pelos estádios fenológicos típicos. Cada estágio fenológico é identificado por uma letra e pode estar subdividido em 4 subestádios

identificados por números arábicos. **O estágio de Plena Floração (F2) é atingido quando 70% das inflorescências apresentam uma flor aberta.** Nas demais regiões do Brasil de cultivo de macieira, há necessidade de intervenção (produtos químicos) para a quebra de dormência das plantas para que ocorra uma brotação mais regular. Esta intervenção está relacionada à observação do desenvolvimento fenológico para a interferência temporal conveniente de tratamento.

Para a determinação do ponto de colheita, existe uma série de parâmetros possíveis de serem utilizados, cada qual com vantagens e desvantagens, em função da praticidade e precisão. Entre os parâmetros que servem na indicação do ponto de colheita via indireta, temos os dias após a plena floração, dias após o estágio **T**, soma das temperaturas a partir de 40 dias após a plena floração, entre outros. O número de dias transcorridos desde a plena floração até a colheita é relativamente constante para uma determinada região produtora. Para a cultivar Gala, para Fraiburgo/SC, foram observados 117 ± 5 dias, para Golden Delicious, 141 ± 3 dias, para a Fuji, 175 ± 9 dias. A variação aumenta na medida em que as cultivares são mais tardias (Fuji), **EMPASC (1986)**. **LUTON e HAMER (1983)** estudaram dados meteorológicos de 1959 a 1980, dados de floração e número de dias após a plena floração até a data da colheita recomendada e definiram a equação: $DC = 68,1 + 0,243PF - 3,516T$
Onde: **DC** = Data da colheita; **PF** = Número de dias entre 31 março (30 de setembro hemisfério sul) e plena floração (**PF**); **T** = Temperatura média das médias dos meses de junho, julho e agosto (dezembro, janeiro, fevereiro para o hemisfério sul). Os autores concluíram que com esta equação foi possível prever com 2 a 3 semanas de antecedência a data de colheita, com precisão de 3 dias, sendo considerado, portanto, um método mais objetivo do que os métodos baseados no metabolismo da planta.

2.6.3 - Capacidade de produção de macieiras

O potencial de produção de um pomar de macieiras é o produto de 3 fatores, segundo **WINTER (1988)**: **a)**- Capacidade de produção (**CP**) das plantas expressa em m^2 da silhueta da copa e por ha; **b)**- Peso médio dos frutos (**frutos/kg**); **c)**- Densidade de frutos na copa. A densidade de frutos e o peso médio são influenciáveis pela frutificação efetiva e o raleio efetuado. Já a capacidade de produção (**CP**) do pomar, o fruticultor pode determinar por meio da densidade de plantio, da formação da copa e da altura de plantas. Segundo o autor, a densidade de frutos na copa é dada pelo número de frutos contados por meio de um binóculo, a uma distância de 3 metros da copa. A área determinada pelo binóculo é de $0,36m^2$. Nesta área considera-se todos os frutos até uma profundidade de 60 cm. Geralmente, são feitas 10 contagens por planta, em várias

partes representativas, para compor o valor médio de densidade de frutos na copa. O peso médio dos frutos é influenciado pela cultivar, pelas condições climáticas e pelas práticas culturais como adubação e raleio. Segundo **EBERT et al (1987)**, no que diz respeito às condições climáticas, afirmam que em regiões com maior altitude (>1200 m.) apresentam, geralmente, frutos com maior tamanho e peso que regiões com altitudes inferiores a 1.000 metros.

A **CP** é definida pelo diâmetro médio da copa e pela altura média da copa. A **CP** por ha. é o resultado do produto entre a **CP/planta (médio)** e o número de plantas por ha. Há uma tendência de uma maior ou menor densidade de frutos na copa ser compensada por um menor ou maior peso médio dos frutos. Um aumento acentuado do peso médio acarretará uma diminuição da qualidade e conservação dos frutos. Deixando-se uma densidade de frutos muito elevada haverá uma grande percentagem de frutos pequenos, favorecendo a alternância do crescimento vegetativo das plantas. A **CP** pode ser influenciada pela densidade de plantio, pela formação das plantas (altura) e através do vigor da combinação copa/porta-enxerto. A **CP** de uma planta depende do vigor da combinação copa/porta-enxerto e das condições de crescimento, como fertilidade do solo, disponibilidade de água, raleio nos 4 e 5 anos iniciais, manejo do pomar e duração do ciclo vegetativo. A duração da fase de crescimento da **CP** é proporcional ao vigor da planta, isto é, quanto maior for o crescimento de uma planta, maior o tempo que ela demorará para atingir a fase de plena **CP**.

Outro fator que determina a velocidade do incremento da **CP** por unidade de área é o número de plantas por ha. Nos plantios mais recentes (modernos) limita-se o crescimento das macieiras por meio do uso de porta-enxertos menos vigorosos e, também, através do arqueamento e da poda verde. Estas medidas permitem densidades de plantio de até 3.000 plantas/ha, obtendo-se assim mais cedo a capacidade máxima de produção. Em pomares de alta densidade (acima de 1.250 plantas/ha) o desenvolvimento natural das plantas é interrompido pela limitação de espaço. Das cultivares principais a Fuji é a cultivar de maior **CP/planta** ($3,41 \text{ m}^2 \pm 0,67$) e por ha ($2.670 \text{ m}^2 \pm 4,17$) no estado de Santa Catarina, seguida da Gala e Golden Delicious, segundo **EBERT et al (1987)**. Resultados de pesquisa demonstraram que a cultivar Fuji é mais suscetível ao problema de alternância de produção do que as cultivares Gala e Golden delicious. A pesquisa recomenda que para a cultivar Fuji sejam deixados 80 a 100 frutos/ m^2 de silhueta de copa e para as cultivares Gala e Golden Delicious 100 a 120.

3 - ÁREA DE ESTUDO

3.1 - Localização

A área escolhida para o trabalho de pesquisa compreende parte do município de Fraiburgo/SC ($-50^{\circ} 43'$, $-50^{\circ} 59'09''$, $-27^{\circ} 00'$ e $-27^{\circ} 08'37''$), localizado no vale do Rio do Peixe e inserida dentro da **Fazenda Bom Futuro** de propriedade da Agroindústria **Pomifrai - Fruticultura S/A**. A referida Fazenda com superfície total de 2.274ha, situa-se a leste da sede municipal, da qual definiu-se 920 ha, como **Área de Estudo** ($-50^{\circ} 54'15.25''$ e $-50^{\circ} 50'37.52''$ de Longitude oeste; $-27^{\circ} 00'50.21$ e $-27^{\circ} 03'32.72''$ de Latitude sul).

A escolha desta região para estudo deveu-se, também, ao recente vôo aerofotográfico em 5/11/92, com a utilização concomitante do "Scanner" **Aerotransportado - CASI (Compact Airborne Spectrographic Imager)** de procedência canadense, conforme acordo firmado entre a **AERODATA S/A** e as empresas canadenses **ITRES RESEARCH LTD.**, **DIPIX TECHNOLOGIES INC.**, **INTERA TYDAC TECHNOLOGIES INC.**, em 24/07/91, conforme **TRINO (1993)**. O referido vôo teve a abrangência de 120km² a leste da sede municipal de Fraiburgo/SC. Com a ajuda das fotografias aéreas obtidas nesse mesmo vôo e da Associação dos Fruticultores de Fraiburgo/SC - **AFF**, concluiu-se pela discriminação da Fazenda Bom Futuro de propriedade da empresa **POMIFRAI - FRUTICULTURA S/A**, como área da pesquisa em apreço.

A Fazenda Bom Futuro tem sua principal atividade dedicada ao cultivo da maçã, tendo também um pequeno pomar com kiwi e peras. Após análise detalhada da mesma, definiu-se uma área de, aproximadamente, 920ha, na qual concentra-se a grande maioria dos pomares implantados. A **FIGURA 5.3 (pg - 119)**, apresenta mapa de localização da Área de Estudo.

3.2 - Dados básicos do município e área de estudo

Fraiburgo/SC possui área territorial de 395km², com relevo ondulado a levemente acidentado, apresentando cotas altimétricas variando de 790 a 1160m, com concentração entre 900 e 1000m. Região basáltica com planalto de superfície fortemente dissecado.

A população residente é de 26667 pessoas, com densidade demográfica de 68 habitantes/km² (Fonte: FIBGE-1991). Na época da colheita da maçã, a população total do município chega a 40.000 pessoas, devido à mão-de-obra temporária nesta época do ano. Na sede municipal concentra-se 74% da população total.

3.3 - Clima

A região de Fraiburgo/SC, segundo a classificação climática de **KÖEPPEN**, possui clima do grupo **C** - mesotérmico, tipo úmido (**f**) e subtipo **b** - verão fresco: **Cfb**.

O clima da região é determinado pelos seus fatores relativamente estáticos, como: latitude, altitude, longitude, continentalidade, relevo, tipo de superfície, radiação solar e outros fatores dinâmicos, caracterizados por influência de massas de ar. A circulação atmosférica é controlada pelos sistemas de massas de ar tropical e polar, regulada pelos fenômenos resultantes do choque das mesmas, a frente polar. Atuam sobre esta região, as seguintes massas de ar: Tropical Atlântica (**Ta**), Polar Atlântica (**Pa**), Tropical Continental (**Tc**), Equatorial Continental (**Ec**). As massas Tropical Atlântica e Polar Atlântica predominam alternadamente em todas as estações do ano, segundo **NIMER (1979)**.

3.4 - Solos

O município de Fraiburgo/SC, apresenta os seguintes solos predominantes, segundo **SANTA CATARINA (1986)**:

a) - Terra Bruna Estruturada intermediária para Terra Roxa Estruturada Distrófica e Álica - (TBRd2).

Apresenta horizonte **A** proeminente e moderado, textura argilosa média (35%), fase pedregosa e não pedregosa. Relevo ondulado (8-20%) e forte ondulado (20-45%). Apresentam mais o **Cambissolo Eutrófico e Distrófico**, com argila de atividade baixa (**Tb**), horizonte **A** chernozêmico e proeminente, textura argilosa (35- 60%), fase pedregosa. Apresentam ainda **Solos Litólicos Eutróficos e Distróficos**, com horizonte **A** chernozêmico e **A** proeminente, textura média (35%) e argilosa (35- 60%), fase pedregosa, material de origem basáltica, relevo forte ondulado (20-45%).

b) - Terra Bruna Estruturada Intermediária para Terra Roxa Estruturada Distrófica e Álica - (TBRd3).

Com horizonte A proeminente, textura argilosa (35-60%), relevo ondulado (8 a 20%). Apresenta mais **Terra Bruna Estruturada Distrófica e Álica** com horizonte A proeminente, textura argilosa (35-60%), fase pedregosa e não pedregosa. Apresenta ainda **Cambissolo Bruno Distrófico**, com argila de atividade alta (Ta) e argila de atividade baixa (Tb), com horizonte A proeminente e moderado. Textura argilosa (35-60%), fase pedregosa e não pedregosa, relevo ondulado (8- 20%) e forte ondulado (20-45%).

c) - Latossolo Bruno Intermediário para Latossolo Roxo Álico - (LBRa2).

Horizonte A proeminente, textura argilosa média (<35%). Apresenta mais o **Latossolo Bruno Intermediário para Latossolo Roxo Húmico Álico**, textura argilosa média (<35%), mais o **Latossolo Bruno Álico**, horizonte A proeminente, textura argilosa média e mais **Terra Estruturada Intermediária para Terra Roxa Estrutura Álica**, horizonte A proeminente, textura argilosa média e relevo ondulado (8-20%).

A área de estudo, parte da Fazenda Bom Futuro, possui o solo Latossolo Bruno Intermediário para Latossolo Roxo Álico - LBRa2, como predominante, e, em menor escala, a Terra Bruna Estruturada Intermediária para Terra Roxa Estruturada Distrófica e Álica - TBRd3. Em reduzidas áreas apresenta solo Gley pouco Húmico (áreas inundáveis).¹

3.5 - Estrutura fundiária e uso da terra

O município possui 586 estabelecimentos rurais, dos quais 493 (84%) detêm 11.218ha ou 22% da área total, com áreas menores do que 100ha. 93 estabelecimentos, 15,8%, detêm 78,18% das terras entre 100ha e 5000ha, totalizando 40216 ha. 21 estabelecimentos possuem 23.429ha, 45% do total. Dos 596 estabelecimentos rurais, 485 deles são utilizados pelo próprio proprietário. 338 dos estabelecimentos dedicam-se a agricultura (24.104ha), 145 a pecuária (11.637ha), 18 a

¹ Álico, solos com saturação de alumínio $\geq 50\%$ ($AL \geq 50\%$);

Húmico, solos com cores escuras, horizonte superficial espesso, altos teores de carbono orgânico ($\geq 1\%$ para latossolos húmicos até 1m. de profundidade);

Distrófico: solos com saturação de bases $< 50\%$ (V%);

Eutrófico: solos com saturação de bases $\geq 50\%$ (V%);

Ta e Tb, argila de atividade alta e baixa: Solos que apresentam capacidade de troca de cations da fração argila ≥ 24 me/100g. de argila e < 24 me/100g. de argila, respectivamente, após redução da contribuição da M.O (correção do carbono);

Horizonte A chernozênico: estrutura desenvolvida (> 30 cm), saturação de bases (V%) $\geq 50\%$, com predominância de Ca_2^+ ;

Horizonte A proeminente: semelhante ao chernozênico, mas com V% $< 50\%$;

Cerosidade: são filmes muito finos, constituindo revestimentos ou superfícies brilhantes na faces das unidades estruturais, poros, canais. Resultam de movimentação, segregação ou rearranjo de material coloidal inorgânico ($< 0,002$ mm). Apresentam aspecto lustroso e brilho graxo.

agropecuária(2.161ha), 39 a avicultura (2.253ha) e 36 a extração vegetal e silvicultura (11.251ha), **INSTITUTO CEPA (1991)**. A cultura mais importante para o município é a da maçã. Está em primeiro lugar tanto em área plantada como em importância socioeconômica. Esta cultura tornou Fraiburgo/SC conhecido nacional e internacionalmente. Possui 5.569ha de plantios com maçã, de um total de 13.483,4ha existentes em Santa Catarina, sendo o maior produtor catarinense, com plantios conduzidos de forma tecnicada, **HENTSCHKE (1991)**. Também, detém a maior capacidade de armazenamento e frigorificação de maçãs de Santa Catarina, com controle atmosférico avançado. Outras atividades de importância referem-se à pecuária, silvicultura e extração vegetal.

Embora tratando-se de propriedades de grande porte, o cultivo da maçã ocorre em parcelas pequenas com menos de 10ha, com concentração de pomares (**quadras**) com menos de 3,0ha. O sistema de condução dos pomares é de forma variada, ou seja, plantios mistos, em filas com cultivares diferentes, com idades diversas, tendo como consequência um padrão de refletividade espectral variado. Se por um lado este fato dificulta a discriminação das espécies e cultivares existentes, por outro permite uma ótima oportunidade para se testar os sensores digitais existentes frente a realidade da agricultura catarinense, ou seja, de pequena extensão de cultivos e de forma consorciada.

3.6 - Rede viária

Fraiburgo/SC está a 446km da capital catarinense. É servido por duas rodovias asfaltadas que cortam o município passando pela sua sede. Também possui uma densa malha rodoviária municipal, sem pavimentação asfáltica, mas com boas condições de trafegabilidade. Existe uma densificação de estradas vicinais e viradouros que cortam as propriedades agrícolas, principalmente as que se dedicam à fruticultura, de forma surpreendente. Tais estradas e caminhos são extremamente importantes para o escoamento da produção das maçãs, sendo que muitos deles delimitam as parcelas (pomares) ou subparcelas (quadras).

4 - MATERIAL E MÉTODOS

4.1 - Material

A área de estudo, parte da Fazenda Bom Futuro, tem sua principal atividade dedicada ao cultivo da maçã, possuindo também um pequeno pomar com kiwi e pêra. Com a ajuda de técnicos da empresa Pomifrai, efetuou-se um inventário global de dados disponíveis da Fazenda, tais como:

- a)- Dados históricos de produção da fazenda, desde 1980, em nível de parcelas (**25 parcelas com 276 subparcelas ou quadras**), conforme exemplificado na **TABELA 4.1** para os pomares **P-01 (Quadra 1 a 9)**, **P- 02 (Quadra 1 a 10)** e **P- 03 (Quadra 1 a 8)**, cultivar Fuji;
- b)- Número de plantas/parcela e subparcela e por cultivar, conforme **TABELA 4.1**, em nível de parcelas, **P- 01, P- 02, P- 03**;
- c)- Número médio de frutos/planta/parcela, deixados após o raleio(novembro), conforme **TABELA 4.1**;
- d)- Idade dos pomares, **TABELA 4.1**;
- e)- Tratos culturais, sistema de produção por unidade de cultivo;
- f)- Áreas plantadas, espaçamentos utilizados e rendimento evolutivo;
- g)- Solos, informações detalhadas da fazenda por parcela: profundidade, textura, estrutura, fertilidade (adubação), correção do solo, entre outras;
- h)- Controle de pragas e doenças: critérios adotados;
- i)- Dados fenológicos das cultivares: data de floração, critério adotado, data da colheita, critério adotado, conforme **TABELA 4.1**;

TABELA 4.1 - Dados históricos, fenológicos e de produção da fazenda Bom Futuro em nível de parcelas, P-01, P-02 e P-03, cultivar Fuji.

Parc/ Pom.	Ano/ Safra	Idad. Anos	Núm. plant.	Área (ha)	Plena Flor.	Início Colh.	Frut/ Plan.	Frut/ m ²	Prod. (kg)	Rend. kg/ha	Kg/pl.	Gram/ fruto	Frut/ kg
P-01	80/81	5	6093	9,20					109300	11880	17,94		
P-01	81/82	6	6093	9,20					332800	36174	54,62		
P-01	82/83	7	6093	9,20					98700	10728	16,20		
P-01	83/84	8	6093	9,20					178000	19348	29,21		
P-01	84/85	9	6093	9,20									
P-01	85/86	10	6093	9,20	15/10	05/04	357	23,64	332620	36154	54,59	152,9	6,5
P-01	86/87	11	6093	9,20	18/10	14/04	295	19,54	218135	23710	35,80	121,4	8,2
P-01	87/88	12	6093	9,20	27/10	22/04	370	24,50	450285	48944	73,90	199,7	5,0
P-01	88/89	13	5988	8,98	26/09	27/03	452	30,14	559831	62342	93,49	206,8	4,8
P-01	89/90	14	5981	8,97	23/10	05/04	398	26,54	331341	36939	55,40	139,2	7,2
P-01	90/91	15	5989	8,99	04/10	22/03	474	31,58	321626	35776	53,70	113,3	8,8
P-01	91/92	16	5962	8,94	08/10	23/03	413	27,54	331818	37116	55,66	134,8	7,4
P-01	92/93	17	5981	8,97	17/10	26/03	524	34,94	589812	65754	98,91	188,2	5,3
P-01	93/94	18	6003	9,00	21/10	25/03	258	17,18	132735	14741	22,11	85,8	11,7
P-02	80/81	5	7702	11,63					98500	8469	12,79		
P-02	81/82	6	7702	11,63					375800	32312	48,79		
P-02	82/83	7	7702	11,63					152400	13104	19,79		
P-02	83/84	8	7702	11,63					224000	19260	29,08		
P-02	84/85	9	7702	11,63									
P-02	85/86	10	7702	11,63	15/10	07/04	310	20,53	332640	28602	43,19	139,3	7,2
P-02	86/87	11	7702	11,63	17/10	22/04	295	19,54	325290	27970	42,23	143,2	7,0
P-02	87/88	12	7702	11,63	27/10	28/04	395	26,16	556764	47873	72,29	183,0	5,5
P-02	88/89	13	7371	11,06	28/09	29/03	541	36,06	830839	75121	112,72	208,3	4,8
P-02	89/90	14	7343	11,06	20/10	06/04	414	27,49	391455	35394	53,31	128,8	7,8
P-02	90/91	15	7354	11,04	05/10	20/03	477	31,77	481865	43647	65,52	137,4	7,3
P-02	91/92	16	7311	10,97	08/10	23/03	307	20,46	313976	28621	42,95	139,9	7,1
P-02	92/93	17	7371	11,06	17/10	23/03	674	44,92	826924	74767	112,19	166,4	6,0
P-02	93/94	18	7456	11,18	21/10	25/03	160	10,68	95629	8554	12,83	80,1	12,5
P-03	80/81	5	6275	9,40					113400	12064	18,07		
P-03	81/82	6	6275	9,40					277400	29510	44,21		
P-03	82/83	7	6275	9,40					89000	9468	14,18		
P-03	83/84	8	6275	9,40					194000	20638	30,92		
P-03	84/85	9	6275	9,40									
P-03	85/86	10	6275	9,40	15/10	07/04	391	26,10	325500	34628	51,87	132,7	7,5
P-03	86/87	11	6275	9,40	19/10	27/03	295	19,69	183252	19495	29,20	99,0	10,1
P-03	87/88	12	6275	9,40	26/10	12/04	290	19,36	397360	42272	63,32	218,4	4,6
P-03	88/89	13	6436	9,40	28/09	29/03	452	30,15	545587	56538	84,77	187,5	5,3
P-03	89/90	14	6347	9,65	24/10	10/04	374	24,91	331870	34824	52,29	139,8	7,2
P-03	90/91	15	6394	9,53	04/10	22/03	436	29,04	401307	41803	62,76	144,0	6,9
P-03	91/92	16	5831	9,60	07/10	23/03	331	22,08	229745	26287	39,40	119,0	8,4
P-03	92/93	17	6364	8,74	17/10	24/03	696	46,38	766312	80242	120,41	173,0	5,8
P-03	93/94	18	6117	7,55	22/10	25/03	188	12,56	95920	10449	15,68	83,2	12,0

j) - Estações meteorológicas locais e regionais/ dados meteorológicos:

j.1) - Estação meteorológica de Fraiburgo/SC (Liberata), administrada pela Estação de Avisos Fitossanitários (EPAGRI/SAA), distante 7 km da Fazenda Bom Futuro . Latitude de $-27^{\circ} 03'$, Longitude de $-50^{\circ} 56'$ e altitude de 1145m.

Período disponível: 1973 em diante.

Dados disponíveis (horários e diários): temperaturas máximas e mínimas diárias, temperatura mínima de relva, temperatura e umidade relativa horária (termohigrógrafo), precipitação diária, umidade relativa diária (psicrômetro), intempéries (ventos fortes, geadas, granizo), horas de frio ($\leq 7,2^{\circ} C$), insolação (até 1982).

Problemas: A série de dados vem sofrendo diminuição de quantidade de variáveis observadas, bem como de sua qualidade. Nos últimos 10 anos, apenas uma observação dos dados foi feita diariamente. Dados de insolação deixaram de ser coletados. Portanto, variáveis de temperatura e umidade relativa horárias estão disponíveis apenas em histogramas, cujas cotações geram aproximações.

j.2) - Estação Meteorológica de Lebon Régis (Radar Meteorológico).

Administrada pela Associação dos Fruticultores, distando, aproximadamente, 15km da Fazenda Bom Futuro, Latitude de $-26^{\circ} 59' 08''$, Longitude de $-50^{\circ} 52' 30'$, altitude de 1040m.

Período disponível: julho de 1990 até a atualidade.

Dados disponíveis (horários e diários): temperaturas máximas e mínimas diárias, temperatura mínima de relva, temperatura e umidade relativa horária (termohigrógrafo), precipitação diária, umidade relativa diária (psicrômetro), intempéries (ventos fortes, geadas, granizo) Possui anexo à estação, radar meteorológico com objetivo principal de controle de granizo..

Problemas: A série de dados, embora de boa qualidade, não contempla o período total de estudo.

j.3) - Estações meteorológicas de empresas privadas (Pomifrai, Vin. Fraiburgo)

Dados disponíveis: precipitação pluviométrica diária, temperatura do ar.

j.4) - Estação meteorológica da Estação Experimental de Videira - EPAGRI/SAA, Latitude de $-27^{\circ} 00'$, Longitude de $-51^{\circ} 09'$, altitude de 774m , distando, aproximadamente, 25km da fazenda Bom Futuro:

Período: junho de 1970 até os dias atuais.

Dados disponíveis (diários, horários e de registro contínuo): temperatura do ar e do solo, precipitação pluviométrica, umidade relativa, insolação, horas de frio, evaporação, velocidade e direção do vento, insolação, radiação solar, intempéries (granizo, geadas, secas, ventos fortes).

j.5) Estação Meteorológica da Estação Experimental de Caçador - EPAGRI/SAA, Latitude de $-26^{\circ} 46'$, Longitude de $-51^{\circ} 00'$, altitude de 960m., distando, aproximadamente, 30km da área:

Período: desde 1961;

Dados disponíveis (dados diários, horários e de registro contínuo): temperatura do ar e do solo, precipitação pluviométrica, umidade relativa, insolação, horas de frio, evaporação, velocidade e direção do vento, radiação solar, intempéries (granizo, geadas, secas, ventos fortes).

Além destas estações utilizaram-se dados meteorológicos da estação de São Joaquim/SC - EPAGRI/SC, quando da análise dos dados fenológicos de macieiras conduzidos na experimentação agrícola daquela região. Possui dados completos sobre as condições meteorológicas, pois é utilizada para a previsão do tempo (sinótica);

l)- Mapas/plantas da Fazenda contendo parcelas e subparcelas com localização e medidas aproximadas, confeccionadas com auxílio de procedimentos de levantamentos topográficos, sem referenciamento geográfico ou UTM, básico para a caracterização fundiária e para uso do solo;

m)- Também foram obtidas séries históricas de dados de produção, número médio de frutos/planta, dados fenológicos de pomares da Empresa RENAR S/A (Fraiburgo/SC), bem como da Estação Experimental de Caçador/SC - EPAGRI/SAA e da Estação Experimental de São Joaquim/SC - EPAGRI/SC, ANEXOS A, B e C. Tais séries objetivam auxiliar na determinação dos modelos previsivos, tendo em vista, falhas e interrupções da série histórica de dados da Fazenda Bom Futuro, bem como para a ampliação da interação solo/clima/planta e para validação dos modelos.

Além destes dados, conta-se com os seguintes:

a)- Cartas topográficas na escala de 1:100.000, elaboradas pela Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - FIBGE, folhas Curitibaanos SG -22-Z-C-1 e Lebon Régis SG-22-Z-A-4, de 1973;

b)- Material aerofotográfico: fotografias aéreas pancromáticas (preto e branco) na escala nominal de 1:18.800, obtidas em vôo realizado em 05/11/92 pela empresa Aerodata S/A;

c)- Material digital de vôo fotogramétrico: imagens obtidas concomitantemente às aerofotos de 05/11/92, com o uso do *scanner* aerotransportável CASI (Compact Airborne Spectrographic Imager) disponíveis em fitas cassete de 8 mm (2 Gbytes). Em tal vôo, no município de

Fraiburgo/SC (Latitude de $-27^{\circ} 04'$, Longitude de $- 49^{\circ} 55'$), 11 faixas foram executadas na direção norte-sul com comprimento de 14km, totalizando 120km^2 , proporcionando um *pixel* de 2m x 2m. Altitude do vôo, 2530m. (8300 ft), velocidade de 210 km/h, com a configuração espectral conforme a TABELA 4.2.

TABELA 4.2 - Configuração das Bandas Espectrais do CASI, resolução espacial de 2m x 2m. Fraiburgo/SC - 05/11/92.

BANDA	COMPRIMENTO DE ONDA (nm)	
	início	final
1	500,8	589,2
2	610,5	680,2
3	781,4	801,4

No mesmo dia e condições foram executadas 7 faixas de vôo de 14km de comprimento na direção norte-sul, simultaneamente com aerolevanteamento fotográfico e utilização do CASI, com 8 bandas espectrais, proporcionando uma resolução espacial (*pixel*) de 3,5m x 3,5m. Altitude do vôo, 3.658m (12.000 ft); velocidade da aeronave 210km/h. A configuração das bandas espectrais estão discriminadas na TABELA 4.3.

TABELA 4.3 - Configuração das bandas espectriais do CASI , resolução espacial 3,5m x 3,5m (*pixel*) - Fraiburgo/SC - 05/11/92

BANDA	COMPRIMENTO DE ONDA (nm)	
	início	final
1	463,8	502,5
2	548,4	555,0
3	598,1	605,2
4	678,4	682,0
5	710,7	714,3
6	736,0	739,6
7	746,9	750,5
8	785,0	788,6

Duas faixas de vôo sobre Fraiburgo/SC foram obtidas também no modo espectral, aproximadamente às 11:30h da manhã, sobre a área de estudo. Onze direções de visadas foram efetuadas com um espaçamento de 16 *pixels* cada uma. A resolução espacial foi de 2m x 8m. Os dados espectrais do CASI foram radiometricamente corrigidos para 16 bits. Cada *pixel*, neste modo espectral, em cada direção de visada, contém 288 intervalos espectrais (bandas) com largura

de 1.8 nm. Também foi gerada uma banda pancromática da cena para proporcionar referência espacial;

d)- Computador PC 486/50 MHZ com 700Mb de memória em disco, para pré-processamento (Roll Correction e radiometria);

e)- Estação de Trabalho (workstation standalone) ARIES-380, para processamento e classificação de imagens **CASI** entre outras. Possui **CPU Micro-Vax 3800**, com 700Mb de armazenamento em disco, 3MIPS, 16Mb de memória principal, processador matricial de 8Mb de memória e 20MIPS para visualização em vídeo e processamentos mais complexos. Possui, ainda, unidade de fita com capacidade de 6250 BPI, monitor de alta resolução de 17", impressora matricial e um "bit pat". O **ARIES - 380**, é um pacote completo de processamento de imagens, incluindo processos de classificação supervisionada e não supervisionada, realce de imagens, geocorreção, mosaicagem, etc.;

f)- Computador PC - 486/50MHZ/250Mb memória em disco, 8Mb de RAM, para geoprocessamento com a utilização de Sistema Geográfico de Informação - **GIS/SPANS (Spatial Analysis System) versão 5.2**. O referido GIS é de procedência canadense, o qual opera sobre sistema operacional **OS/2 (IBM)**. O sistema **GIS/SPANS** ou **GIS/PMSPANS** é constituído de 3 "softwares" ou módulos básicos:

- **Módulo de digitalização próprio** =====> **TYDIG**, apesar de importar e converter arquivos de inúmeros "softwares" tipo **CAD** (Computer Aided Design), como o Microstation, o Autocad, Maxidata, entre outros;

- **Módulo principal** =====> **SPANS/GIS**.

Abrange as principais funções de um GIS, desde a importação/exportação de arquivos vetoriais/raster, criação de mapas em formato "quadtree" (tipo de raster que otimiza o espaço de armazenamento), visualização, organização, combinação, análise, modelagem/previsão e questionamento de dados georreferenciados;

- **Módulo de saída** =====> **SPANS MAP**.

Trata-se de um "software" voltado à visualização dos mapas produzidos pelo **PMSPANS/GIS**, edição de "slides", sistema estatístico com histogramas e, principalmente, permite a junção de banco de dados produzidos por planilhas eletrônicas como Lotus 1,2,3, Dbase III/IV, referenciadas às áreas de estudo;

g)- Mesa digitalizadora "Van Gogh" da Digigraph: Formato: **A1 (630mm x 930 mm)**; resolução: 0,025, função do sistema de medida selecionado; Precisão: $\pm 0,25\text{mm}$; proximidade: 12mm; Interface serial: **RS232 C**; velocidade de comunicação selecionável até 19.200bauds, por meio de microchaves;

h)- "Plotter" HP GL/2 Language - DRAFT Master RX.

Oito penas, resolução: 0,025mm; velocidade máxima da pena de 110cm/sec; peso:73kg; tamanho de papel variável com máximo de 841mm x 1189mm;

i)- Restituídor Digital AVIOLYT WILD BC2, acoplado a um Microcomputador **PC-386/33 MHZ, 4Mb de RAM** e adaptado ao **CAD "Microstation"** da Intergraph, V. 3.0;

j)- Computador PC - 486/50MHZ/250 Mb memória em disco/**4Mb de RAM** com **CAD "Microstation"** para correção e edição final das plantas/mapas planimétricos, altimétricos e planialtimétricos básicos originados da restituição digital;

l)- Computador PC - 386/40MHZ/4Mb de RAM com co-processador e *softwares* diversos (**Neuralworks, Statgraph, MSworks, MSWord, Powerpoint, Windows, Sisagro, entre outros**) para desenvolvimento de modelos de previsão.

4.2 - Métodos

A abordagem dos métodos empregados neste estudo segue a esquematização já apresentada no fluxograma da **FIGURA 1.1 (pg. 12)**. Nele pode-se observar que o gerenciamento central de todas as informações existentes e as geradas pelos modelos (imagens, dados alfanuméricos) convergem para o Sistema Geográfico de Informações - **GIS**. Os diversos subsistemas, ou etapas, deste fluxograma são detalhados nos itens subsequentes deste capítulo.

4.2.1 - Modelos numéricos de previsão das fenofases da macieira

Os modelos numéricos desenvolvidos neste trabalho baseiam-se, fundamentalmente, em conceitos da bioclimatologia, agrometeorologia e na inteligência artificial (redes neurais), ou seja, modelam relações entre o desenvolvimento vegetativo da maçã, por intermédio de estádios fenológicos relevantes, com variáveis meteorológicas básicas (temperatura, insolação,...) ou derivadas (balanço hídrico, somas térmicas, horas de frio,...). Normalmente, as condições

ambientais que possuem influência decisiva no crescimento e/ou desenvolvimento vegetal são: temperatura do ar e do solo, fotoperíodo, radiação solar, precipitação pluviométrica, além das características edáficas (fertilidade, textura, estrutura, profundidade, ...). No caso da área de estudo deste trabalho, levou-se em consideração nos modelos apenas as variáveis relacionadas com a planta (macieiras) e o tempo/clima. Os fatores ou variáveis edáficas, fitossanitárias entre outras, individualmente, não foram consideradas pelo fato de serem otimizadas pelos produtores envolvidos, pois são plantios tecnificados de empresas agrícolas que exploram esta cultura.

Devido ao número elevado de fatores ambientais, aliados à complexidade das interações envolvidas entre o tempo meteorológico/clima - planta, a grande maioria dos estudos fenológicos tem sido conduzida pelo relacionamento de poucas variáveis ambientais. Neste caso, notadamente, a temperatura do ar e a precipitação. No caso da macieira, o início da floração tem estreita relação com o frio invernal recebido, aliado às condições térmicas e de insolação da primavera. Assim, dentro deste contexto, são propostos os modelos seguintes. Inicialmente, com ajuda de modelos polinomiais, caracterizam-se as relações entre estágio fenológico e quais variáveis climáticas e condições possuem significância estatística (nível de significância < 10%) e atingimento de valores mais elevados de coeficientes de determinação (regressão múltipla) e, após, emprega-se inteligência artificial, via redes neurais, para treinamento e ajustamento de modelos.

4.2.1.1 - Modelos propostos para estimativa da plena floração

O estágio fenológico de plena floração - F2, ocorre quando 70% das inflorescências da planta apresentam pelo menos uma flor aberta. A floração F, foi considerada como função de quatro fatores bioclimáticos, ou seja, $F = f(\text{HF}, \text{GD}, \text{I}, \text{TM})$, da seguinte forma:

a) - Modelos polinomiais

a.1) - Linear

$$F = a_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_4 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{14} X_1 X_4 + b_{23} X_2 X_3 + b_{24} X_2 X_4 + b_{34} X_3 X_4 + \varepsilon \quad (01)$$

Onde:

F = data da plena floração (séries históricas de Fraiburgo, Caçador e São Joaquim e convertidas de forma contínua durante o ano - calendário Juliano);

$X_1 = \sum \text{HF}$ = somatório de horas de frio por dois métodos e compreendendo quatro períodos: 1º maio --- 31 julho;

1° maio --- 15 agosto;

1° maio --- 31 agosto;

1° maio --- 15 setembro.

Os métodos para o cômputo de horas de frio são os seguintes:

- 1) - Modelo tradicional de acumulação de horas de frio abaixo de 7,2° C, determinadas com a ajuda de termógrafos e pelo método proposto por ANGELOCCI et al (1979), para períodos e locais que não possuem tal equipamento, baseando-se em temperaturas diárias observadas em três horários (9:00, 15:00 e 21:00 h);
- 2) - Modelo Carolina do Norte, proposto por SHALTOUT e UNRATH (1983) e modificado por EBERT et al (1986). Tal método possui uma curva de resposta entre temperaturas observadas e as horas de frio correspondentes. O cômputo das horas de frio iniciou-se em maio, somadas algebricamente, de forma contínua diariamente. Após 96 horas (quatro dias) de ocorrência contínua de valores negativos de horas de frio (temperaturas elevadas), não mais foram subtraídas dos valores previamente acumulados.

$X_2 = \sum GD \implies$ Somatório de graus-dia ou somas térmicas, para os meses de julho, agosto e períodos de maio-julho e maio-agosto. O método de graus-dia utilizado, foi aquele preconizado por OMETTO (1981), após a definição das temperaturas basais inferior (T_b) e superior (T_B) definidas pelo método da menor variabilidade citado por BRUNINI (1971) e CASTONGUAY (1984). A fase fenológica considerada, neste caso, é da plena floração-início de colheita, devido as plantas estarem dormentes na fase anterior.

$X_3 \implies$ Corresponde a somatória da insolação, em horas e décimos, determinada com auxílio de heliógrafo para os períodos de 1 a 31 julho, de 1 a 31 agosto, 1 de agosto até 15 de setembro, 1 a 30 de setembro de cada ano;

$X_4 \implies$ Temperaturas médias dos meses de julho, agosto e setembro, como forma simplificada de cálculo de energia para a planta;

$\varepsilon \implies$ erro aleatório.

a.2) - Raiz quadrada

$$F = a_0 + b_1 X_1 + b_{11} X_1^{0.5} + b_2 X_2 + b_{22} X_2^{0.5} + b_3 X_3 + b_{33} X_3^{0.5} + b_4 X_4 + b_{44} X_4^{0.5} + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{14} X_1 X_4 + b_{23} X_2 X_3 + b_{24} X_2 X_4 + b_{34} X_3 X_4 + \varepsilon$$

..... (02)

a.3) - Quadrática

$$F = a_0 + b_1 X_1 + b_{11} X_1^2 + b_2 X_2 + b_{22} X_2^2 + b_3 X_3 + b_{33} X_3^2 + b_4 X_4 + b_{44} X_4^2 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{14} X_1 X_4 + b_{23} X_2 X_3 + b_{24} X_2 X_4 + b_{34} X_3 X_4 + \varepsilon \quad (03)$$

a.4) - Exponencial

$F = b X_1$; Onde: $b = \text{EXP} (a_0 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_4 + \varepsilon)$ ou na forma de logaritmo neperiano temos:

$$\ln F = a_0 + b_1 \ln X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_4 + \varepsilon \quad (04)$$

Onde: X_1, X_2, X_3, X_4 = variável já definida em a.1, mas que na verdade tornam-se múltiplas devido aos períodos considerados;

$b_1, b_2, b_3, b_4, b_{12}, b_{22}$ coeficientes de regressão; ε = erro aleatório.

b) - Modelos provenientes da aplicação de redes neurais

Para o desenvolvimento destes modelos, utilizou-se a rede neural de propagação para frente, "Back Propagation", contida no *software NeuralWorks Explorer, versão 4.0*, da **NeuralWare Inc.** A NeuralWorks ou Nworks é o centro de uma coleção de produtos que proporcionam um completo e atualizado ambiente disponível de rede neural para desenvolvimento e uso prático. As entradas (inputs) utilizadas na rede, bem como a saída (output), são as mesmas propostas para os modelos polinomiais. O número de neurônios usados na camada oculta (hidden 1), corresponde em geral, de 1/2 a 1,5 vezes as entradas e saída (uma só) da rede. A regra de aprendizagem é a **Delta**, com a função de transferência **Sigmóide**.

4.2.1.2 - Modelos propostos para data provável de colheita

As variáveis para definir a data provável de colheita (**C**) estão relacionadas com somas térmicas ou graus-dia (**GD**) do período invernal (maio-julho) e da data da plena floração até final de novembro, dezembro ou 15 e 31 de janeiro; somatório da relação evapotranspiração real e evapotranspiração potencial ou de referência (**ETR/ETP**), meses de dezembro, janeiro, fevereiro; o somatório das horas de insolação (**I**) dos meses de outubro até janeiro. Também propõe-se a utilização de variáveis denominadas *dummies (manequins)* para ajustar possíveis diferenças climáticas entre pomares e locais (Fraiburgo, Caçador, S. Joaquim/SC). Para o ajustamento matemático dos modelos propõe-se a utilização de polinômios e de redes neurais. São utilizadas

datas observadas de início de colheita na região de Fraiburgo/SC, Caçador/SC e São Joaquim/SC, sem entrar em detalhes e critérios de maturação fisiológica.

a) - Modelos Polinomiais

a.1) - Linear

$$C = a_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_4 + b_5 X_5 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{14} X_1 X_4 + b_{23} X_2 X_3 + b_{24} X_2 X_4 + b_{34} X_3 X_4 + \varepsilon \quad (05)$$

a.2) - Raiz quadrada

$$C = a_0 + b_1 X_1 + b_{11} X_1^{0.5} + b_2 X_2 + b_{22} X_2^{0.5} + b_3 X_3 + b_{33} X_3^{0.5} + b_4 X_4 + b_{44} X_4^{0.5} + b_5 X_5 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{14} X_1 X_4 + b_{23} X_2 X_3 + b_{24} X_2 X_4 + b_{34} X_3 X_4 + \varepsilon \quad (06)$$

a.3) - Quadrática

$$C = a_0 + b_1 X_1 + b_{11} X_1^2 + b_2 X_2 + b_{22} X_2^2 + b_3 X_3 + b_{33} X_3^2 + b_4 X_4 + b_{44} X_4^2 + b_5 X_5 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{14} X_1 X_4 + b_{23} X_2 X_3 + b_{24} X_2 X_4 + b_{34} X_3 X_4 + \varepsilon \quad (07)$$

a.4) - Exponencial

$C = b X_1$; Onde: $b = \text{EXP} (a_0 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_4 + b_5 X_5 + \varepsilon)$ ou na forma de logaritmo neperiano temos:

$$\ln C = a_0 + b_1 \ln X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_4 + b_5 X_5 + \varepsilon$$

Onde: C = data provável de colheita, em dia do ano (calendário Juliano);

X_1 = corresponde ao somatório térmico ou graus-dia, conforme descrito por **OMETTO (1981)**, após definidas as temperaturas basais inferior (T_b) e superior (T_B) para as cultivares de maçã e ajustadas pela metodologia utilizada por **BRUNINI (1971)** e **CASTONGUAY (1984)**, da plena floração até **30/11, 31/12 e 15/01** para a cultivar Gala, **30/11, 31/12, 15/01 e 31/01** para a Golden Delicious e Fuji.

X_2 = Somatória da relação entre evapotranspiração real - **ETR** e evapotranspiração potencial ou de referência - **ETP** para os períodos de dezembro, janeiro e fevereiro. A relação $\text{ETR/ETP} = 1$, significa que toda demanda evaporativa do solo e da planta (vegetação) foi satisfeita pela precipitação pluviométrica armazenada no solo, ao nível radicular. Caso contrário, a planta foi submetida a um processo de estresse hídrico, tanto maior quanto menor a relação referida. Este fator, é uma forma simplificada, climatológica, de estimar a disponibilidade hídrica para a planta (maçã);

- X_3 = Somatório da insolação, em horas e décimos, determinado por meio de heliógrafo para os períodos mensais de outubro até janeiro, computados mensalmente ou em conjunto (novembro-dezembro, dezembro-janeiro);
- X_4 = Somatório graus-dia, período de 1º maio - 31 julho, pela mesma metodologia descrita para X_1 , como forma de dimensionar a disponibilidade térmica do período outono-inverno e indiretamente a disponibilidade de frio para quebra de dormência e, conseqüentemente, a uniformidade na floração;
- X_5 = Variáveis *dummies* (0 ou 1), compensação de pomares e locais diferentes;
- $b_1, b_2, b_3, b_4, b_{12}, b_{22}$ = coeficientes de regressão;
- ε = erro aleatório. As variáveis estimadoras X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 são múltiplas considerando-se os períodos envolvidos.

Para a estimativa da evapotranspiração potencial ou de referência, utilizou-se da expressão mundialmente conhecida de PENMAN (1948), com alterações adaptativas regionais, conforme BRAGA (1982), SILVA e BRAGA (1987).

$$\text{Equação geral: } ETP = (S/(S+Y))RL + (Y/(S+Y))Ea \quad \dots \quad (08)$$

Onde:

ETP = Evapotranspiração potencial ou de referência (mm/dia);

(S/S+Y)RL =====> Termo "ENERGIA";

S = coeficiente angular da curva que relaciona tensão de saturação de vapor e temperatura do ar (T), em mmHg/ ° C, assim definida:

$$S = (18795 \cdot 10^{7,5T/(237,5+T)}) / (237,5+T)^2;$$

Y = Constante psicrométrica, mmHg/° C, assim expressa:

$$Y = Cp \cdot P / 0,622 \cdot L$$

Sendo:

P = pressão atmosférica em mmHg (estação meteorológica local);

Cp = calor específico do ar úmido em cal/g. ° C;

Cp = 0,241 cal/g. ° C;

L = calor latente de vaporização d'água;

L + 597,3 - 0,566*T;

Adotou-se para esse caso:

A = Cp/0,622*L = 80 10⁻⁵ C ==> p/ psicrômetro comum;

A = Cp/0,622*L = 66 10⁻⁵ C ==> p/ psicrômetro aspirado;

Y = A*P em mmHg/ ° C;

RL = saldo de radiação (energia líquida disponível) - mm;

RL = **ROC** - **ROL**;

ROC = radiação de onda curta (saldo) - mm;

ROL = radiação de onda longa (saldo) - mm;

ROC = **RG**(1 - r);

RG = radiação global determinada pelo actinógrafo -cal/cm² - ou estimada por meio da radiação extraterrestre (**Q_o**) e insolação máxima teórica (**N**);

r = poder refletor da superfície vegetada, considerada igual 0,25 conforme **MONTEITH (1959)**;

RG = **Q_o** (a + b*n/N), sendo que:

a e **b** = constantes para cada local e época do ano, determinadas para Santa Catarina por **BRAGA et al (1987)**;

n = insolação observada (h e décimos) via heliógrafo;

N = insolação máxima teórica, definida por equação astronômica:

N = (2 hp)/15 dado em horas e décimos;

Q_o = 916,7R² {senl*senD(hp*3,1416/180)+cos(l)*cos(D)*sen(hp)}

Onde:

hp = ângulo horário no pôr-do-sol;

l = latitude local, considerando o sinal algébrico;

D = declinação solar, considerando o sinal algébrico, definida por meio de equações astronômicas;

R = raio vetor unitário = **RM/R1**;

RM e **R1** = distância terra-sol média e do dia considerado, respectivamente.

$$R^2 = 1,00011 + 0,034221\cos N + 0,00128\sen N + 0,000719\cos 2N + 0,000077\sen 2N;$$

Sendo:

N = dia do ano;

N = (275 m)/9 - (m+9)/6 + I -30 ==> ano não bissexto;

N = (275 m)/9 - (m+9)/12 + I - 30 ==> ano bissexto;

I = dia do mês (de 1 até 31);

m = mês do ano (de 1 até 12);

hp = arc.cos{(cosZ - sen l * sen D)/cos l * cos D};

Sendo:

$$Z = \text{ângulo zenital} = 90^\circ 50'$$

D = declinação solar, definida por:

$$\text{sen } D = 0,39782 * \text{sen } L \implies L = \text{longitude solar};$$

$$L = M + 1,916 * \text{sen } M + 0,020 * \text{sen } 2M + 282,634;$$

$$M = 0,9856 * T - 3,289 \implies M = \text{anomalia média solar};$$

T = tempo aproximado do fenômeno em dias, tal como

0 jan; 0 UT (local considerado);

$$T = N + (12 - F) / 24 \implies (\text{para as 12 h do dia});$$

F = longitude do local em horas (graus/15);

N = dia do ano, definido acima.

$$ROL = - \varepsilon \delta T^4 (0,56 - 0,092 \sqrt{e}) (0,1 + 0,9n/N);$$

Sendo: ε = emissividade, aproximadamente = 1;

δT^4 = emissão teórica de um corpo negro à temperatura média do ar, em $^\circ K$, onde δ é a constante de STEFAN-BOLTZMANN e corresponde a $1,171008 * 10^{-7} \text{ cal } * \text{cm}^2 * \text{dia}^{-1} * K^{-4}$;

ea = pressão parcial de vapor d'água do ar, em mmHg, dado por:

$ea = UR/100 * es$, onde UR é a umidade relativa média do ar, em %, e es é a pressão máxima de vapor, em mmHg, expressa pela seguinte equação:

$$es = 4,5825 * 10^{\{7,5 * T / (237,5 + T)\}}, \text{ onde } T = \text{Temperatura média do ar} - ^\circ C;$$

$Y/(S+Y) * Ea \implies$ Termo aerodinâmico

Ea = poder evaporante do ar à sombra, em mm;

$Ea = 0,35(1 + 0,54V)(es - ea)$, onde:

V = velocidade do vento a 2 metros de altura, em m/s;

$V = V_x * \ln(Z/Z_0) / \ln(Z_x/Z_0)$, em m/s \implies equação logarítmica adotada para transformar velocidade do vento a 2 metros de altura em função de outras, tomadas em diferentes alturas:

Z = altura que se deseja \implies 2 metros;

Z_0 = altura da rugosidade, ou parâmetro rugoso;
= 0,01 m (*Paspalum notatum L.*);

Z_x = altura do anemômetro que se dispõe, em metros;

V_x = velocidade que dispõe na altura Z_x , em m/s;

es e $ea \implies$ já definidos anteriormente.

A estimativa da evapotranspiração real é efetuada de forma indireta, isto é, por meio de uma contabilidade entre entradas e saídas de água no solo, denominada de **BALANÇO HIDRICO**. A metodologia adotada neste trabalho para o referido cálculo, segue o princípio básico de **THORNTHWAITE e MATHER (1955)**, com algumas modificações para torná-lo de forma seriada. O desenvolvimento de forma seriada, isto é, o período escolhido (diário, pentadal, decendial) guarda relação com o seu precedente. Na interrupção do cálculo de um período para outro, caso típico de mudança do ano, deve ser observado, para a alimentação inicial do cálculo, o valor do armazenamento de água do solo do período anterior, bem como o valor do negativo acumulado (coluna) para que o **BH** continue seriado. Conforme modificações introduzidas por **BRAGA (1982)**, no modelo de **BH** original, é possível o seu cálculo para qualquer capacidade de água disponível - **CAD**, entre 0 e 400mm. A **CAD** significa a quantidade de água que fica disponível para as plantas, armazenadas no solo, entre o ponto de murchamento e a capacidade de campo. Serão utilizados 125mm, como armazenamento máximo de água no solo. Tal valor está baseado na capacidade de retenção dos solos da região de estudo e para uma profundidade média do sistema radicular de 1,25 metro, **POLA E BIASI (1993)**. O balanço hídrico será realizado de forma seriada e por período diário.

O modelo de **BH** adotado apresenta uma diminuição da água disponível do solo de forma exponencial, isto é, à medida que vai havendo um secamento da água contida no solo (reservatório), tanto mais difícil para a planta torna-se a sua extração, provocando falta de água nos tecidos da planta para proporcionar adequado metabolismo dos seus sistemas. Tal fato, dependendo da seriedade da demanda atmosférica por água, provoca estresse para a planta ou cultura, com conseqüências sobre a produção final. Os elementos climáticos necessários ao cálculo da **ETR**, **ETP** e **BH**, são os seguintes: temperatura média do ar - ($^{\circ}$ C), precipitação pluviométrica (**mm**), umidade relativa - (%), insolação (**n**) em horas e décimos, velocidade do vento - (**m/s**), pressão atmosférica - (**mmHg**), radiação solar global medida ou estimada pela insolação - (**cal/cm².dia**). Para a estimativa tanto da **ETP** quanto da **ETR** utiliza-se o sistema agrometeorológico para microcomputador - **SISAGRO**, conforme **SILVA e BRAGA (1987)**.

b) - Modelos derivados de redes neurais

Para o desenvolvimento destes modelos, segue a mesma abordagem do item 4.2.1.1 - b.

4.2.2 - Modelos numéricos de previsão de rendimentos e de safras

4.2.2.1 - Modelos numéricos de previsão de rendimentos

As variáveis estimadoras destes modelos são de duas fontes: a primeira está relacionada à densidade de frutos caracterizada pelo número médio de frutos deixados para produzir por planta (**carga de frutos**) após o processo de raleio manual ou químico, efetuado nos meses de outubro ou novembro de cada ano. Para a capacidade de produção (**CP**), condicionada pelo vigor do conjunto de plantas de um pomar foi considerada a idade e variáveis *dummies*, em função da não existência de estimador mais adequado (**m² da silhueta da copa e por pomar - ha**); a segunda fonte está relacionada ao **crescimento do fruto (CF)**, função das condições ambientais e da espécie considerada. Então, o **CF** é função das condições climáticas, fertilidade do solo, correção e adubação do solo, controle fitossanitário e número de frutos /planta deixados após o raleio.

Como já nos reportamos, as condições edáficas como textura, estrutura, profundidade, drenagem, adubação corretiva e de manutenção, entre outras, são otimizadas pelos produtores, desde a escolha do solo mais adequado. O controle fitossanitário, pragas e doenças, também possui um procedimento uniformizado com aplicações sistemáticas de produtos químicos.

Desta forma, consideraram-se nestes modelos apenas as variáveis climáticas mais relevantes, como promotoras das condições de crescimento dos frutos, tais como: horas de frio, graus-dia e insolação do período outono-inverno, disponibilidade de água entre a plena floração e a colheita, temperaturas médias mensais, insolação e **ETR/ETP**. A seleção das variáveis foram obtidas pelo uso de regressão múltipla, levando-se em conta o nível de significância estatística de cada variável no modelo e a sua combinação no atingimento de valores mais elevados do coeficiente de determinação. O tamanho (peso do fruto) também é função do número de frutos deixados na planta após o raleio. No entanto, como trata-se de plantios tecnificados, sua carga é deixada sempre em limites suportáveis, de acordo com a cultivar e seu vigor. Neste caso ainda, o número de frutos/planta compõe o modelo na parte inicial.

Desta forma, a produtividade ou rendimento (**Kg/ha**) é função do potencial de produção (**carga de frutos e CP**) das cultivares de maçã envolvidas e pelas condições dinâmicas do tempo meteorológico/clima da região em apreço.

a) - Modelos polinomiais

a.1) - Linear

$$Y = a_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + \dots + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + \dots + b_{mn} X_m X_n + \epsilon \quad (09)$$

Onde:

Y = Rendimento ou produtividade em **Kg/ha**;

- X_1 = Número médio de frutos por planta, representativos da densidade de frutos existentes. Tal informação é obtida por amostragem aleatória em, aproximadamente, 2,5% das plantas do pomar. Neste caso, o número médio de frutos por planta será transformado em frutos por metro quadrado de superfície cultivada, para compensar o espaçamento envolvido em cada pomar;
- X_2 = Idade das plantas (**variáveis dummies 0 ou 1**), como indicadoras da capacidade de produção - CP. A utilização desta variável, decorre do fato de não estar disponível a CP propriamente dita, definida pela metragem quadrada da silhueta da copa;
- X_3 = Somatória da relação **ETR/ETP** dos meses de dezembro, janeiro e fevereiro;
- X_4 = Temperatura média dos meses de outubro, novembro e dezembro - ($^{\circ}$ C);
- X_5 = Insolação dos meses de agosto, agosto-15/setembro, setembro, outubro, novembro, dezembro, bem como somatórias entre tais meses - (**horas e décimos**);
- X_6 = Somas de horas de frio - \sum HF, computadas nos períodos de maio-julho, maio-15/agosto, maio-31/agosto, pelos dois métodos propostos em 4.2.1.1;
- X_7 = Somatório de graus-dia nos meses de julho, agosto e maio-julho, pelo método e condições propostas no item 4.2.1.1.

a.2) - Raiz quadrada

$$Y = a_0 + b_1 X_1 + b_{11} X_1^{0.5} + b_2 X_2 + b_{22} X_2^{0.5} + \dots + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + \dots + b_{mn} X_m X_n + \varepsilon$$

(10)

a.3) - Quadrática

$$Y = a_0 + b_1 X_1 + b_{11} X_1^2 + b_2 X_2 + b_{22} X_2^2 + \dots + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + \dots + b_{mn} X_m X_n + \varepsilon$$

(11)

a.4) - Exponencial

$$Y = b X_1;$$

$$\text{Onde: } b = \text{EXP} (a_0 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + \dots + b_{23} X_3 X_3 + b_{24} X_2 X_4 + \dots + b_{mn} X_m X_n + \varepsilon);$$

Ou na forma de logaritmo neperiano temos:

$$\ln Y = a_0 + b_1 \ln X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + \dots + b_{23} X_3 X_3 + b_{24} X_2 X_4 + \dots + b_{mn} X_m X_n + \varepsilon$$

(12)

Onde:

$Y, X_1, X_2, X_3, X_4 \dots$ = variáveis definidas em a.1. Tais variáveis estimadoras são múltiplas, considerando-se os períodos que cada uma utiliza.

$b_1, b_2, b_3, b_4, b_{12}, b_{22} \dots$ = coeficientes de ajustamento polinomial; ε = erro aleatório.

b) - Modelos derivados de redes neurais

Para o desenvolvimento destes modelos, segue a mesma abordagem do item 4.2.1.1 - b.

c) - Modelos mistos: polinomiais e neurais

Objetivando melhorar a performance dos modelos previsivos polinomiais e neurais, combinaram-se aqueles mais eficientes com a utilização de **programação linear**. Desta forma, por meio da programação linear minimizaram-se os desvios ou erros relativos dos modelos polinomiais e neurais com a utilização do sistema **GAMS (General Algebraic Modeling System) versão 2.25** e metodologia adaptada de **NARULA et al (1993)**. Os modelos mistos tiram partido da eficiência individual de cada modelo, seja polinomial ou neural, combinando a participação proporcional de cada um na formulação final da previsão. Os modelos mistos, neste trabalho, foram direcionados somente para as previsões de rendimentos.

4.2.2.2 - Modelos numéricos de previsão da produção ou safras

Uma vez definido o rendimento das cultivares por planta, parcela (pomar) ou unidade de área (ha), a determinação do modelo ou equação final de estimativa da produção ou da safra torna-se mais simples na medida que a área cultivada é conhecida. Assim, temos: $S = A * Y$

Onde:

S = produção de frutas por cultivar (kg), Gala, Fuji ou Golden Delicious, ou mesmo o conjunto de cultivares;

A = área cultivada definida (ha) com a ajuda da restituição aerofotogramétrica, do *scanner* aerotransportável ou mesmo pelo espaçamento utilizado e o número de plantas. Este último é o método utilizado pelos produtores da região de Fraiburgo/SC. Neste aspecto, surge uma oportunidade de comparar tais sistemas de medida ou estimativa da área cultivada, tendo-se a área medida com base na restituição aerofotogramétrica;

Y = rendimentos estimados pelos modelos - kg/ha.

4.2.3 - Restituição aerofotogramétrica da área de estudo

Em função da falta de precisão e de um sistema de referenciamento geográfico das plantas/mapas da fazenda Bom Futuro, além de sua desatualização, tornou-se imprescindível a elaboração de mapa/planta-base adequada à pesquisa em apreço. Esta etapa é fundamental, pois sobre tal base são georreferenciados todos os resultados do trabalho, desde a localização dos pomares (parcelas, subparcelas) efetuada por processos de digitalização vetorial até o processamento, classificação e geocorreção das imagens digitais geradas pelo CASI e manipuladas pelo **ARIES-380**, bem como a sua transferência para o **GIS/SPANS**. Os resultados obtidos pela classificação dos pomares, via imagens do **CASI**, necessitam de um padrão confiável e preciso de comparação espacial (medida), **verdade terrestre**.

Para tanto, lançou-se mão de restituição aerofotogramétrica da área de estudo, com **920ha**, aproximadamente. Assim, com auxílio do restituidor digital **Aviolyt Wild BC2**, acoplado a microcomputador - **PC 386/33MHZ/4 Mb RAM** e adaptado ao **CAD (Computer Aided Design) "Microstation"** da Intergraph - **V. 3.3**, elaborou-se as plantas/mapas planimétricas, altimétricas e planialtimétricas, contendo, basicamente, **6** planos de informações, quais sejam: rios/açudes/áreas inundáveis, estradas/caminhos/viradouros, tipos de vegetação, áreas cultivadas, construções/áreas com solo exposto e curvas de nível/cotas altimétricas.

Após o processo de restituição propriamente dito, o arquivo digital foi plotado em papel para as etapas de verificação, correção e edição final. Nas etapas de edição foi utilizado **PC - 486/50MHZ/250 Mb** memória em disco/**4 Mb de RAM** e o **CAD "Microstation"** da Intergraph - **V.3.3**, para correções e ajustes finais.

As aerofotos utilizadas na restituição foram as do vôo efetuado em **05/11/92** pela **AERODATA S/A**, na escala nominal de **1:18.800**, com geração de mapas na escala de **1:5.000**. O apoio terrestre, no que diz respeito aos pontos geográficos básicos, foi extraído a partir de pontos notáveis das cartas topográficas, Folhas Lebon Régis (**SG-22-Z-A-4**) e Curitiba (**SG-22-Z-C - 1**) da **FIBGE** de **1973**, na escala de **1:100.000**. O sistema geográfico da elaboração destas cartas foi o Sul-Americano **1969 - SAD/69**, Elipsóide de Referência Internacional de **1967**, Datum Horizontal - Córrego Alegre/MG, Datum Vertical - Marégrafo de Imbituba/SC, Projeção **UTM - Meridiano Central 51° W GR**. Desta forma, foram selecionados pontos suficientes sobre o perímetro voado (**120 km²**) de Fraiburgo/SC, no contorno da Fazenda Bom Futuro, básicos para aplicação do **modelo de aerotriangulação** da **AERODATA S/A**, para a geração de pontos derivados, necessários para o georreferenciamento dos mapas básicos da área de estudo (**920ha**).

A utilização dos pontos de apoio básicos a partir das cartas topográficas na escala de 1:100.000, embora criticável em termos metodológicos, foi a opção de menor custo e possível naquele momento, não comprometendo os resultados pretendidos, ficando, no entanto, a precisão dos trabalhos vinculada àquela das cartas (0,2 mm/1:100.000 ==> 20m).

4.2.4 - Digitalização dos temas básicos da área de estudo

A partir dos mapas planialtimétricos gerados pelo processo ou etapa de restituição digital, tendo em vista a sua precisão, escala apropriada e confiabilidade espacial, geraram-se diversos **mapas temáticos** da Fazenda Bom Futuro/Área de estudo, utilizando basicamente dois processos:

a) - Digitalização via módulo **TYDIG/SPANS** dos temas seguintes, a partir de escala de **1:10.000**:

a.1) - Contorno da Fazenda Bom Futuro contendo a área de estudo;

a.2) - Contorno da área de estudo: mapa-base para aplicações diversas no **GIS/SPANS**;

a.3) - Mapa das parcelas (**25**) cultivadas com fruticultura da área de estudo;

a.4) - Mapa das subparcelas (**276 quadras**) com fruticultura da área de estudo;

Os itens **a.3** e **a.4**, são fundamentais pois todo o georreferenciamento de informações relativas aos pomares estará vinculado a estas bases, e compõe a estrutura fundiária da fazenda (mapa fundiário);

a.5) - Mapa de vegetação, exceto pomares;

a.6) - Mapa de drenagem(rios) ;

a.7) - Mapa de construções/solo desnudo ;

a.8) - Mapa de açudes e áreas sujeitas a inundação ;

a.9) - Mapa de Aptidão de Uso das Terras;

a.10) - Mapa viário (estradas/caminhos/viradouros);

b) - Importação de arquivo de pontos com as cotas altimétricas (curvas de 5 em 5m) restituídas (Microstation/Intergraph) após conversão das curvas de nível geradas.

Os mapas acima relacionados foram importados para o **GIS/SPANS**, de forma vetorial ou em forma de arquivo de pontos, os quais passaram a originar os mapas no formato *quadtree*. A partir destes mapas iniciais, gerou-se uma série de outros (derivados) por meio de funções de

modelagem existentes no **GIS/SPANS** e com a utilização de informações alfanuméricas (banco de dados) existentes sobre a fazenda Bom Futuro/área de estudo, tais como:

- 1) - Área ocupada pelas cultivares de maçã (Gala, Golden, Fuji) em nível de parcelas e subparcelas;
- 2) - Produção das cultivares de maçã/parcela - safra 92/93;
- 3) - Idade/ano de plantio das cultivares de maçã/parcela;
- 4) - Proporção de cultivares de maçã existentes por parcela e subparcela;
- 5) - Altimetria com curvas de 5/5m ou 10/10m;
- 6) - Classes de declividade diversas;
- 7) - Modelos numéricos de terreno - MNT (tridimensionais) com recuperação por *slides* (p/ análise e visualização);
- 8) - Modelos de previsão de safra, por cultivar, com resultados georreferenciados e espacialmente representados na fazenda Bom Futuro/área de estudo;

Estes diversos mapas foram gerados para serem impressos em papel por meio de "Plotter" ou de impressoras matriciais, a laser ou jato de tinta.

O **GIS/SPANS** permite, também, a análise e questionamento de informações georreferenciadas, por meio das funções de análise, questionamento e modelagens. A partir delas foi possível executar e obter relatórios diversos sobre:

*** Análise de áreas:**

Definiu-se as áreas contidas em polígonos, como parcelas e subparcelas dos pomares e por cultivar de maçã, úteis na definição quantitativa das áreas cultivadas e para comparação de dados obtidos pela discriminação pelo **CASI**;

*** Cruzamento entre mapas:**

- Parcelas (pomares) x imagens (mosaico classificado);
- Subparcelas (quadrantes cultivadas) x imagens (mosaico classificado);
- Mapa fundiário/mapa de vegetação x imagens (mosaico);
- Mapa de parcelas e subparcelas x imagens (mosaico).

4.2.5 - Processamento, correção e classificação das imagens digitais - CASI.

Após a obtenção das imagens pelo CASI, da área de estudo, foram passadas pelos processos de pré-processamento e processamento propriamente dito. Na etapa de pré-processamento lançou-se mão de computador PC - 486/50MHZ/8 Mb de RAM, com *software* específico (**ROLLCOR da Itres Research**) para correções radiométricas e de rolamento da aeronave (**Roll Correction**), com transformação do formato BIP para o formato BSQ. As imagens foram, então, convertidas para o formato VAX/VMS e transferidas para o sistema de tratamento e processamento de imagens ARIES-380, para as etapas de realçamento de imagens, classificações temáticas e geocorreção. A FIGURA 4.1, apresenta esquema ilustrativo das etapas envolvidas nos processos de correção, tratamentos e classificações do ARIES - 380.

Após as imagens terem sofrido as pré-correções, foram submetidas a um sistema de realçamento pela técnica de **componentes principais**. A análise por componentes principais é uma técnica matemática que manipula os eixos de um dado conjunto de feições/imagens de forma a produzir um novo conjunto de feições os quais representam a maior variância para uma dada dimensão (banda). O objetivo desta técnica é de reduzir o número de dimensões espectrais (bandas) requeridas para fornecer dada quantidade de informação, resultando em nova feição/imagem que mais efetivamente descreve o conjunto de dados.

Em outras palavras, tal técnica proporciona a redução do número de bandas de imagens a serem inspecionadas visualmente e no auxílio da classificação de forma supervisionada, quando da escolha das **áreas de treinamento** (amostras de temas que se quer discriminar na imagem) e das **assinaturas espectrais** (distribuição gaussiana das tonalidades, 0-255, contidas nos pixels) das áreas de treinamento escolhidas.

A escolha das áreas de treinamento definidas para as imagens da fazenda Bom Futuro/área de estudo, baseou-se, também, em dados contidos em plantas e relatórios da fazenda, fotografias aéreas e inspeções de campo.

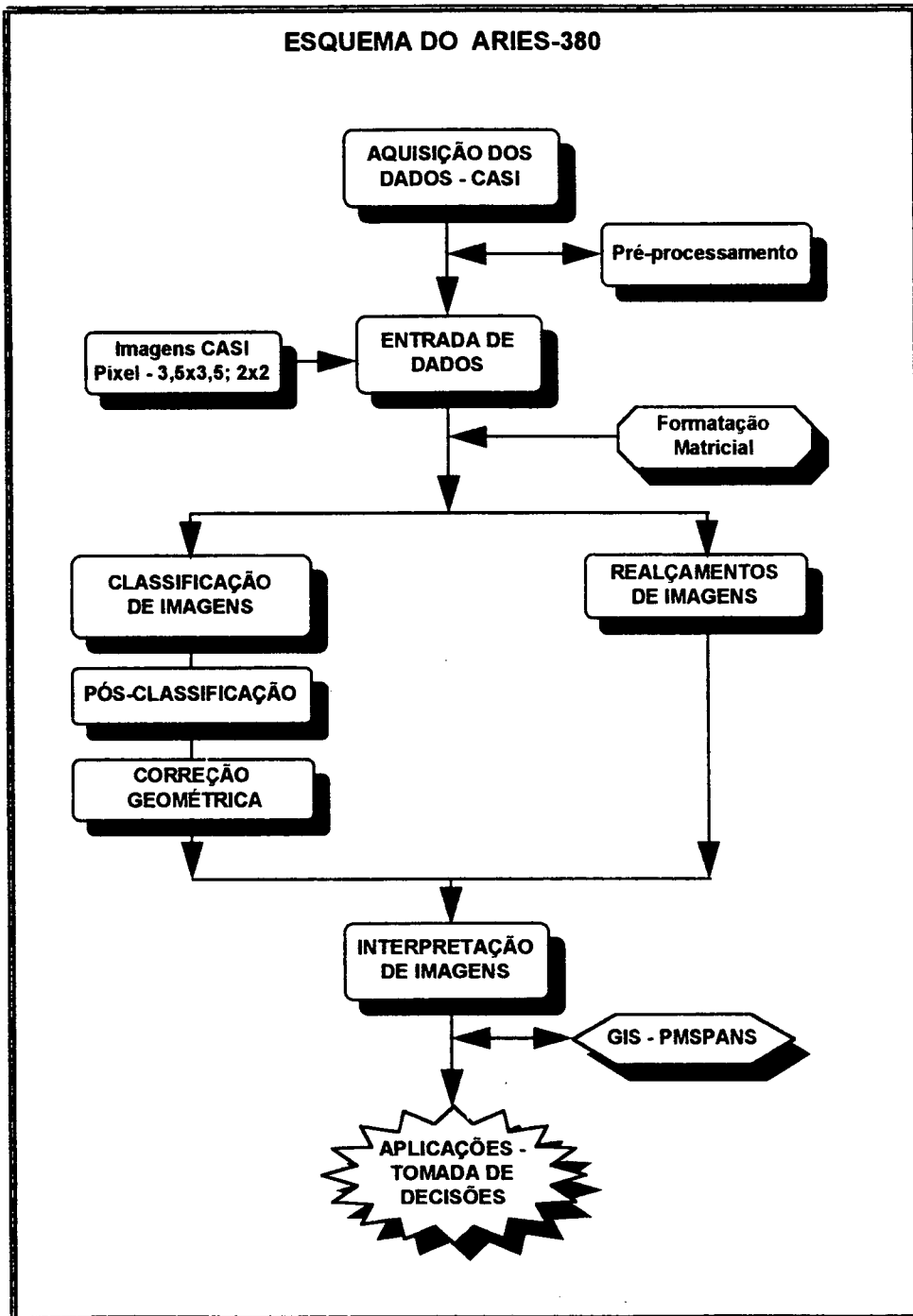


FIGURA 4.1 - Esquema ilustrativo das etapas envolvidas no ARIES - 380

a) Classificação Supervisionada:

Uma vez definidas as áreas de treinamento, ou seja, polígonos de cada classe de interesse, foram geradas as assinaturas espectrais correspondentes e o sistema ARIES-380 generalizou os resultados para toda a área da imagem em análise (cena - faixa de vôo sobre a área de estudo), apresentando o resultado, de forma colorida, conforme o número de temas selecionados. O processo classifica todas as "cores" de cada área de treinamento em uma assinatura espectral.

Estas assinaturas são as bases pelas quais a imagem é classificada. Tão logo todas as áreas de treinamento e assinaturas espectrais foram obtidas da imagem em análise e salvas como arquivos sobre disco, o processo de classificação foi iniciado.

Existem vários métodos para classificação de imagens, mas o mais largamente utilizado devido a sua acuracidade e geral aplicabilidade é o da **máxima verossimilhança**. A classificação é feita pelo cálculo da média e desvio padrão dos valores dos *pixels* (tonalidades de 0 a 255) em cada área de treinamento para cada banda do conjunto de imagens. Então, o sistema pode comparar os valores digitais para cada *pixel* da cena contra estas estatísticas e determinar o *pixel* para a classe a qual ele mais se aproxima. Coletivamente, a média e o desvio padrão (e as matrizes de variância-covariância) para cada área de treinamento são chamadas de uma assinatura espectral e devem ser diferentes das demais para evitar confusão na classificação. Para tanto, uma forma de contornar tal problema é incluir muitos canais (bandas) da mesma cena nas assinaturas estatísticas.

b) - Classificação não-supervisionada.

Nesta técnica, o analista tem pouco controle sobre a separação entre classes, nem precisando se preocupar com a homogeneidade das amostras. O sistema ARIES 380, gera um histograma n-dimensional (n-bandas) da imagem (cena) e busca pelos locais denominados "picos máximos". Estes "picos", presentes no histograma, representam tipos diferentes de superfície (reflectância), indicadores de possíveis classes. O sistema, em seguida, combina picos de máxima dentro de múltiplas classes (até 32) de paralelepípedos (bins) e gera assinaturas gaussianas e executa a classificação de **máxima verossimilhança**. Um dos principais objetivos da construção do histograma n-dimensional, é reduzir o número de combinações para um valor operacional que produzirá os principais agrupamentos (clusters) de valores espectrais. Uma das vantagens desta técnica é que ela não requer, do analista, um conhecimento prévio da área de estudo, podendo sim auxiliar na classificação supervisionada na escolha das áreas de treinamento que definirão os temas

em estudo (classes). Também, proporciona uma classificação completa da cena em tempo bem reduzido e com um mínimo de classes, quando comparado com a classificação supervisionada.

Neste trabalho, efetuou-se uma classificação não supervisionada de toda a Fazenda Bom Futuro/área de estudo, utilizando-se das 8 bandas espectrais do CASI, com resolução espacial de 3,5m x 3,5 m. Tal classificação foi comparada, quanto aos seus resultados discriminatórios, com a classificação supervisionada, procurando definir qual das duas técnicas se aplica melhor à área de estudo e mesmo para auxiliar na escolha mais adequada das áreas de treinamento e assinaturas espectrais da classificação supervisionada. A metodologia aplicada, neste caso, baseou-se nos dados de **verdade terrestre (de campo)**, definidas pelos pomares existentes (restituídos com precisão) e pelo uso de fotointerpretação das aerofotos na escala de **1:18.800** existentes da área, além de checagens a campo.

Também, efetuou-se classificação supervisionada e não supervisionada, com o uso das imagens CASI, com 3 bandas e resolução espectral de 2m x 2m. Este procedimento teve por escopo comparar os resultados, com base na verdade terrestre, com aqueles resultados de classificações utilizando imagens CASI, 8 bandas e resolução espacial de 3,5m x 3,5m. Neste caso, a análise envolveu apenas uma faixa de vô, sobre a área de estudo, devido ao volume de trabalho envolvido e a disponibilidade de equipamentos. Também, agregou-se às 3 bandas originais existentes, imagens derivadas pelo uso da **razão entre bandas, diferença e diferença sobre a soma de bandas**. Este procedimento teve a finalidade de aumentar o poder discriminante destas imagens (3 bandas apenas).

c) - Correção Geométrica da Imagens - CG.

A função dos programas de correção geométrica é reorganizar os *pixels* da imagem em relação a determinado sistema de projeção cartográfica. A CG de uma imagem envolve dois passos. Primeiro, o registro da imagem usando pontos de controle. O segundo passo é para calcular os valores apropriados da intensidade (níveis de cinza) para os *pixels* no novo sistema de coordenadas, via caminho da reamostragem. A transformação de um sistema de coordenadas da imagem para outro requer duas etapas. A primeira define pontos comuns entre a imagem que vai ser reamostrada (slave) e a imagem que contém as coordenadas que se quer (master). Com os pontos comuns, um modelo matemático é construído para descrever a transformação. Tais modelos incluem equações de transformação polinomiais de 1ª, 2ª e 3ª ordem. Em outras

palavras, para esta reformatação, pontos de controle no terreno são necessários, os quais podem ser identificados facilmente numa base cartográfica precisa e compatível e na cena a ser corrigida geometricamente. Os pontos de controle são localizados nas imagens (slave), por suas coordenadas x , y , e, na base (master) por suas coordenadas geográficas (longitude, latitude, UTM). A função que relaciona a posição do ponto x , y com a sua respectiva posição geográfica é determinada pelo método dos mínimos quadrados. O número de pontos de controle necessários está diretamente relacionado à precisão desejada para o processo e a sua localização precisa deve ser assegurada. Aqueles pontos que em determinado processo apresentaram desvios elevados em relação ao modelo de geocorreção estabelecido (polinômios) pelo sistema, foram eliminados, reamostrados e o processo reiniciado até ajustamento adequado.

São três os principais métodos utilizados para a reamostragem dos valores dos *pixels* para a nova imagem geocorrigida:

a) - Alocação de vizinho mais próximo (Nearest Neighbour): O valor do nível de cinza a ser atribuído ao *pixel* corrigido (z) terá o mesmo valor do nível de cinza (contraste) do *pixel* que se quer encontrar mais próximo da posição ocupada por z . É um processo rápido, de fácil implementação, não alterando os valores originais de cinza (contraste). Entretanto, podem ocorrer descontinuidades geométricas (lacunas de ordem de $1/2$ "pixel" na imagem corrigida);

b) - Interpolação bilinear: o valor do nível de cinza a ser atribuído ao *pixel* z é determinado a partir do valor dos 4 *pixels* vizinhos. Possui maior precisão geométrica, desaparecendo as descontinuidades do método anterior. Entretanto, requer maior número de cálculos para determinar o valor de cada *pixel* de imagem corrigida. Altera o valor original dos níveis de cinza (contraste);

c) - Convolução cúbica: o nível de cinza a ser atribuído ao *pixel* z é determinado a partir de cálculos realizados numa matriz de 16 *pixels* na sua vizinhança. Melhora a visualização da imagem geometricamente corrigida. Requer, no entanto, maior tempo de computação e provoca a degradação da qualidade radiométrica dos dados.

Com relação aos pontos de controle da Fazenda Bom Futuro/área de estudo, foram obtidos após a restituição do mapa das subparcelas cultivadas, preciso e na escala adequada (1:5000/1:10000), digitalizado, vetorizado e após rasterizado e transferido para o sistema ARIES-380, para a geocorreção pelo método **imagem (slave) para imagem (raster)**.

4.2.6 - Comparação dos resultados obtidos pelas imagens classificadas e a realidade do campo: uso do GIS

Uma vez as imagens do CASI terem sido classificadas, analisadas, pós-classificadas e geocorrigidas pelo sistema ARIES-380, foram transferidas para o GIS/SPANS. As imagens obtidas pelo CASI são em faixas, de 512 *pixels* (colunas), com 1000 - 1750 metros, dependendo do tamanho do *pixel* (altura do vôo), foram classificadas uma a uma. Para uma visão geral sobre a área de estudo, foi necessário juntá-las, num processo de mosaicagem. A mosaicagem implica na sobreposição e ajustamento de imagens, obtidas por faixas, após terem sofrido processo de classificação e reclassificação para padronização de classes temáticas e geocorreção. Como a classificação individual por faixa gerou classes diferenciadas, foi preciso reclassificar todas as faixas com um esquema de classificação único, antes de serem mosaicadas. Tal tarefa foi efetuada pelo sistema ARIES-380. A TABELA 4.4 apresenta um esquema de classificação utilizado neste trabalho para padronização das classes discriminadas pelas classificações (supervisionadas ou não).

Tendo em vista o processo classificatório, supervisionado ou não, atingir facilmente mais de 30 classes (temas) em função do número de bandas utilizadas, aliado ao fato do sistema criar arquivos com um máximo de 8 temas (classes) discriminadas, pode-se notar a dificuldade ou trabalho exaustivo que tal tarefa propiciou.

TABELA 4.4 - Padrão a ser adotado para homogeneização das classes (temas) originados das classificações das imagens do CASI.

CLASSE	DISCRIMINAÇÃO
I	Pomar tipo I - Predominância da cultivar Fuji ou da Fuji + Granny Smith;
II	Pomar tipo II - Predominância da cultivar Gala (> 80%);
III	Pomar tipo III - Predominância da cultivar Belgolden/Golden;
IV	Pomar tipo IV - Predominância da cultivar Golden Delicious
V	Pomar tipo V - Pomares diversos - Gala/Fuji/Golden - kiwi, pêra, etc.;
VI	Vegetação tipo I - Mata nativa I (mais exuberante) e/ou reflorestamento;
VII	Vegetação tipo II - Mata nativa II (menos exuberante/secundária);
VIII	Vegetação tipo III - Capoeirão;
IX	Vegetação tipo IV - Capoeira (mais fraca, mais jovem);
X	Vegetação tipo V - Capim, capineira, gramado;
XI	Solo I - Solo desnudo, estradas, caminhos com ou sem grama/capim;
XII	Solo II - Solo desnudo, açudes com sedimentação, áreas com sedimentos;
XIII	Solos ou áreas inundáveis;
XIV	Açudes, rios, áreas com água.

Após as imagens terem sido reclassificadas quanto ao número de temas (classes), como forma inclusive de redução de arquivos de imagens, foram transferidas para o GIS/SPANS e

transformadas do formato raster para o formato de mapa (**quadtree**). Na sequência sofreram um processo de sobreposição (**overlay**) por faixa e temas (**classes**), pois cada imagem podia ter no máximo 8 temas (**no sistema ARIES-380**), para obtenção de um mapa classificado único por faixa. Daí, as faixas classificadas foram unidas (**join**) para formarem o **mosaico classificado da Área de Estudo**. A partir do mosaico, uma série de análises, questionamentos e modelagens (combinações de mapas) foram efetuadas objetivando comparar a classificação procedida com a verdade terrestre ou realidade do campo, sempre com o uso ferramental do **GIS/SPANS**. Como o **GIS/SPANS** continha os diversos mapas digitalizados provenientes da restituição cartográfica e de temas derivados contendo informações sobre o uso do solo, produção, número de plantas (maçã), idade, espaçamento, entre outras, obtidas *in loco*, tornou-se viável a comparação com os resultados classificatórios contidos no mosaico.

Desta forma, tais mapas e relatórios puderam ser obtidos:

- a) - Área dos pomares/cultivar em nível de parcela ou subparcela versus dados obtidos de banco de dados e georreferenciados nas mesmas unidades;
- b) - Diferença obtida na discriminação pelo **CASI** frente aos dados de campo, por pomar e cultivar, de forma qualitativa e quantitativa (área ocupada);
- c) - Verificação da possibilidade real do uso da área cultivada por macieiras e por cultivar discriminada na classificação no modelo de previsão de safras;
- d) - Outros mapas derivados foram obtidos por cruzamentos diversos, úteis ao planejamento da propriedade e uso do solo, inclusive para futuros aprofundamentos desta pesquisa, tais como:
 - Classes de declividade x pomares implantados (mosaico classificado);
 - Classes de altitude x pomares implantados (mosaico classificado);
 - Modelo digital do terreno x imagem classificada (mosaico);
 - Parcelas/subparcelas x imagem classificada (mosaico);
 - Aptidão de uso x imagem classificada (mosaico).

4.2.7 - Visualização espacial dos modelos numéricos

Após o desenvolvimento dos modelos numéricos de previsão de fenofases, de rendimento e safras das cultivares de maçã, puderam ser integrados ao **GIS/SPANS**, por meio de funções de modelagem existentes. Tais incorporações têm a finalidade de representar espacialmente referidas previsões, ou seja, quantificando e representando os prognósticos em nível de pomar (parcela/subparcela). Para as safras em curso (vindouras), a exatidão dos prognósticos dependerá, fundamentalmente, dos ajustamentos auferidos pelos modelos, frente à qualidade dos dados (**estimadores**) existentes para o seu desenvolvimento.

Tendo em vista o número variado de estimadores que compõem os modelos previsores, ou seja, dados estes que deverão ser georreferenciados (variáveis meteorológicas, número médio de frutos/m², variáveis *dummies*) optou-se, para este trabalho, pela entrada das previsões finais geradas por outros sistemas (NetWorks, Statgraph). Tal procedimento objetivou sobretudo a simplificação dos procedimentos para a representação espacial das previsões, notadamente de safras.

Para tanto, introduziram-se no GIS/SPANS dados georreferenciados dos totais previstos por unidade de produção (parcelas) pelos modelos propostos, na forma de tabelas.

4.2.8 - Análise espectral de *pixels* selecionados de pomares típicos da área de estudo

A partir de duas faixas de vôo espectral (CASI) realizadas sobre Fraiburgo/SC, efetuou-se uma análise espectral de pomares típicos das cultivares Gala, Fuji e Golden Delicious. Tal vôo espectral permitiu a obtenção de *pixels* com 288 bandas espectrais com intervalo de 1.8 nm, os quais descrevem o comportamento espectral dos alvos selecionados (macieiras, mata, capoeira). Desta forma, foi possível criar histogramas entre o comprimento de onda (nm) e a radiância da superfície selecionada (**pixel**) em $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{nm}$, com a ajuda de *software* específico (SPECAL da ITRES RESEARCH).

Este tipo de análise espectral é fundamental para a verificação de quais as bandas, ou a região, do espectro possui maior potencial discriminante dos alvos pesquisados (pomares). Na verdade, esta análise espectral deveria ser o primeiro passo a ser dado na direção da seleção de quais as bandas do espectro eletromagnético (**visível ao infravermelho próximo**) a serem empregadas no vôo espacial (**até 15 bandas - CASI**). Também informam, por consequência, quais culturas ou cultivares não podem ser discriminadas devido à semelhança de resposta espectral.

5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 - Modelos Numéricos de Previsão de Fenofases

5.1.1 - Modelos Propostos para Previsão da Plena Floração - Data

Os modelos mais significativos obtidos para a previsão da data da plena floração podem ser vistos nas TABELAS 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6 para as cultivares Gala, Golden Delicious e Fuji. As variáveis independentes ou estimadores foram codificados, para todos os modelos deste trabalho, de X1 a X54, conforme TABELA 5.7. Este procedimento teve como objetivo simplificar a apresentação dos modelos e sua discussão.

Definiram-se, conforme metodologia proposta, as temperaturas basais ou cardeais para as três cultivares, calculadas a partir de dados térmicos (diários e horários) e fenológicos das duas regiões básicas de produção de maçãs de Santa Catarina: Fraiburgo e São Joaquim. Os resultados obtidos para as temperaturas basais inferior (**Tb**) e superior (**TB**) encontram-se na TABELA 5.8, onde pode-se denotar uma aproximação bastante grande entre as temperaturas basais inferiores (**Tb**) das duas regiões e cultivares correspondentes. Tendo em vista os dados fenológicos para o cálculo das temperaturas basais serem mais precisos para a região de São Joaquim (Estação Experimental), bem como os dados meteorológicos (Estação Meteorológica sinótica nacional a menos de 1km de distância dos pomares), optou-se para este trabalho, das temperaturas basais definidas para a região de São Joaquim/SC como sendo as mesmas para Fraiburgo/SC. Este fato teve como escopo a simplificação dos cálculos, considerando ainda que os dados meteorológicos para Fraiburgo têm sido derivados da Estação Meteorológica de Caçador/SC, distante 30km da área de estudo. A não utilização dos dados meteorológicos coletados em estações mais próximas à área de estudo, deveu-se à descontinuidade da série, falta de dados e inconsistência de valores observados. Adotou-se ou fixou-se a temperatura basal superior - **TB**, para todas as cultivares em 30° C., também como forma de simplificação metodológica e mesmo porque nestas regiões produtoras, devido ao posicionamento geográfico e à altitude, as temperaturas dificilmente atingem valores extremos (>30° C.). Desta forma, as temperaturas basais ou cardeais (**Tb**, **TB**), utilizadas foram de 1° e 30° C para a cultivar Gala, 2° e 30° C para a Golden Delicious e de 5° e 30° C para a Fuji, respectivamente e principalmente para a previsão da data de início de colheita.

Pela análise dos diversos modelos de previsão propostos, constantes das TABELAS 5.1 a 5.6, pode-se observar que fazem parte de dois conjuntos de dados. O primeiro, abrangendo dados fenológicos e meteorológicos apenas da região de Fraiburgo/SC, de forma polinomial e neural. O

segundo, abrangendo modelos compostos (*), com dados conjuntos das regiões de Fraiburgo/SC e São Joaquim/SC.

TABELA 5.1 - Modelos polinomiais propostos para previsões fenológicas e de rendimentos. Cultivar Gala - Fraiburgo/SC.

MODELO	COEFICIENTES E ESTIMADORES	N.	R ²	DP	EM (abs)	ERM (%)	MD (abs)	N. Sign. (%)	Previsão (dias)
	Data da Plena Floração (Juliana)								
F1	336,13 + 1,168X10 - 0,562X12 - 1,2755X13 + + 0,6668X15 - 0,1059(X16) ²	21	0,8729	2,85	2,12		4,8	<5	60 a 89
F2	358,59 + 1,1864X10 - 0,6868X12 - 1,3143X13 + + 0,838X15 - 0,1552(X16) ² /1000 + 0,705(X17X30)/100	21	0,9276	2,14	1,51		2,8	<1	30 A 59
F3	370,93 + 1,208X10 - 0,6987X12 - 1,3349X13 + 0,8378X15 - 0,173(X16) ² /1000 + 0,4144(X18X30)/1000	21	0,9386	1,98	1,29		2,9	<0,1	14 a 43
F4 *	64,56 + 3,6808(X6) ⁵ + 0,1729X11 - 0,3388X14 + + 0,2082X15	48	0,8151	3,37	2,82		5,3	<2	20 a 57
F5 *	4,1055 + 0,175345LogX6 + 0,000612X11 - 0,001233X14 + + 0,000691X15	48	0,8348		2,6		6,1	<0,2	20 a 57
	Data de Início da Colheita (Juliana)								
C1	162,20 - 0,049X44 - 0,1947X12 + 0,2196X15	21	0,8641	2,51	2,02		3,9	<2	56 a 78
C2	185,90 - 0,0372X45 - 0,2269X12 + 0,2677X15 + + 0,315X20 - 0,0498X22	21	0,9329	1,77	1,25		3,6	<4	26 a 48
C3 *	81,18 - 0,0411X44 - 12,0592X41 - 13,0114X42	48	0,9011	4,01	3,18		9,3	<0,1	51 a 95
C4 *	132,15 + 0,06178X44 - 0,10224X45 + 0,0426X26 + - 0,0885X22	48	0,9436	3,03	2,26		6,9	<0,1	20 a 65
	Rendimento (kg/ha)								
R1	-18362,78 + 45,7118X11(X1) ⁵ - 3,61*X14X33(X1) ⁵ + + 343,8304X34(X1) ⁵	27	0,9558	2772	1984	6,7	5906	<0,1	28 a 48
R2	73519,77 + 9047,1841(X1) ⁵ + 569,1069(X40/100) ⁵ + - 509,67X3 + 470,5222X4 - 145,1452X6 + 257,7402X7 + - 128,89X8 - 246,57X10	27	0,9385	3211	2094	8	6296	<10	57 a 79
R3	-17708,41 + 209,0585X11 - 16,8213X14X33 + 1844,687X1 + - 13,5405(X1) ²	27	0,9546	2758	1990	7,6	5509	<5	57 a 79
R4	71685,74 + 9256,1278X1 ⁵ - 72,8785X14 - 3627,56X41 + - 8122,1978(X33X34)/2 + 4468,3084X34	27	0,9527	2815	1985	7,5	6324	<2	26 a 48
R5 *	83222,54 + 1107,0222X1 + 0,165,0170X3 - 270,5671X4 + + 152,9991X5 - 208,1184X12 + 284,4970X15 - 135,0775X18	48	0,9424	7795	5604	17,4	17890	<7	50 a 95
R6 *	9,135302 + 0,934593LogX1 + 0,001699X3 - 0,003126X4 + + 0,001625X5 - 0,003409X12 + 0,004091X15 - 0,001697X18	48	0,9598		4840	10,7	16828	<7	50 a 95
R7 *	7,543714 + 0,968524LogX1 - 0,000605X12 - 0,001948X18 + + 0,046262X34	48	0,9567		5594	11,6	19587	<5	20 a 65
R8 *	8,654782 + 0,927422LogX1 + 0,002006X3 - 0,003538X4 + + 0,001614X5 - 0,003138X12 + 0,003408X15 + - 0,000015X18X19 + 0,005229X19	48	0,9625		4342	9,7	13637	<7	50 a 95
<p>X1.....Xn = estimadores descodificados na TABELA 5.7; N. = número de safras/anos usados nos modelos; R² = coeficiente de determinação; DP = desvio padrão = ((S(Y-Y*)²)/N)^{0,5}; EM = erro médio = S Y-Y* /N; ERM = erro relativo médio = (S Y-Y* /Y)/N; MD = maior desvio absoluto; N.Sign. = nível de significância do pior estimador; Previsão (dias) = antecipação da previsão em dias; * = modelos compostos com dados de Fraiburgo/SC e São Joaquim/SC.</p>									

TABELA 5.2 - Modelos neurais e mistos propostos para previsões fenológicas e de rendimentos. Cultivar Gala - Fraiburgo/SC.

MODELO	ESTIMADORES \Rightarrow entradas da rede	N.	N.N.	R ²	DP	EM (abs)	ERM (.%)	MD (abs)	Previsão (dias)
Data da Plena Floração (Juliana)									
NWF1	X10,X12,X13,X15,(X16 ²)/1000 e Y1	21	4	0,7536	3,86	2,90		8,2	60 a 89
NWF2	X10,X12,X13,X15,(X16 ²)/1000, (X17X30)/100 e Y1	21	6	0,8126	3,37	2,60		9,1	30 a 59
NWF3	X10,X12,X13,X15,(X16 ⁵)/100, (X18X30)/100, e Y1	21	6	0,8146	3,35	2,60		9,1	14 a 43
NWF4 *	(X6) ⁵ ,X11,X14,X15 e Y1	48	4	0,7557	3,84	3,30		7,7	20 a 57
MWF5 *	LogX6,X11,X14,X15 e Y1	48	4	0,7659	3,76	3,10		6,5	20 a 57
Data de Início de Colheita (Juliana)									
NWC1	X44,X12,X15 e Y2	21	4	0,8555	2,53	2,00		5,9	56 a 78
NWC2	X45,X12X15X20,X22 e Y2	21	4	0,9252	1,82	1,60		3,7	26 a 48
NWC3 *	X44,X41,X42 e Y2	48	3	0,9054	3,88	3,10		9,5	51 a 95
NWC4 *	X44,X45,X26,X22 e Y2	48	4	0,9258	3,44	2,50		9,7	20 a 65
Recolimento (Kg/ha)									
NWR1	X11(X1) ⁵ ,X14X33(X1) ⁵ ,X34(X1) ⁵ e Y3	27	4	0,9677	2284	2193	8,0	6108	28 a 48
NWR2	(X1) ⁵ ,(X40/100) ⁵ ,X3,X4,X6,X7,X8,X10, Y3	27	6	0,9381	3161	2801	9,2	8335	57 a 79
NWR3	X11,X14X33,X1,(X1) ² e Y3	27	4	0,9772	1920	1737	6,9	4699	57 a 79
NWR4	(X1) ⁵ ,X14,X41,(X33X34)/2,X34 e Y3	27	4	0,9834	1638	1617	6,7	4266	26 a 48
NWR5 *	X1,X3,X4,X5,X12,X15,X18 e Y3	48	6	0,9536	6922	5280	16,3	20105	50 a 95
NWR6 *	LogX1,X3,X4,X5,X12,X15,X18 e Y3	48	6	0,9523	7019	5085	10,4	18079	50 a 95
NWR7 *	LogX1,X12,X18,X34 e Y3	48	4	0,9418	7750	5729	11,7	18932	20 a 65
NWR8 *	LogX1,X3,X4,X5,X12,X15,X18X19,X19 e Y3	48	6	0,9496	7215	5300	10,2	18461	50 a 95
MMI *	0,08NWR6+0,28NWR8+0,64R8	48		0,9668	5851	4357	9,3	12928	50 a 95
X1.....Xn = estimadores decodificados na TABELA 5.7;									
N. = número de safras/anos usados nos modelos;									
N.N. = n. neurônios da primeira camada \Rightarrow Hidden1;									
R ² = coeficiente de determinação;									
DP = desvio padrão = ((S(Y-Y*) ²)/N) ^{0,5} ;									
ERM= erro relativo médio = (S Y-Y* /Y)/N;									
EM= erro médio = S Y-Y* /N;									
MD = maior desvio absoluto: Y-Y* ;									
Previsão (dias) = antecipação da previsão em dias;									
* = modelos compostos com dados de Fraiburgo/SC e São Joaquim/SC									

**TABELA 5.4 - Modelos neurais e mistos propostos para previsões fenológicas e de rendimentos.
Cultivar Golden Delicious - Fraiburgo/SC.**

MODELO	ESTIMADORES \Rightarrow entradas da rede	N.	N.N.	R ²	DP	EM (abs)	ERM (.%)	MD (abs)	Previsão (dias)
	Data da Plena Floração (Juliana)								
NWF10	X2,X3,X10,X11,X14,X16,X17,X29 e Y1	30	8	0,8908	2,25	1,9		5,9	30 a 60
NWF20	X2,X3,X8,X29,X11,X14,X15,X18 e Y1	30	6	0,8538	2,61	2,1		6,3	15 a 45
NWF22 *	X6,(X6) ² ,(X8) ² ,X10,X11,X13,X14,(X30) ² , Y1	51	8	0,6549	4,95	4,7		16,8	28 a 65
NWF30 *	X6,(X6) ² ,(X8) ² ,X10,X11,X13,X14, (X30+X31) ² ,(X31) ² e Y1	51	6	0,6713	4,88	4,3		19	00 a 25
	Data de Início de Colheita (Juliana)								
NWC10	(X47X21)/100, X21 e Y2	30	4	0,8355	2,27	1,8		5,7	87 a 105
NWC20	(X48X26)/10000, X26 e Y2	30	2	0,8383	2,25	2,0		4,7	56 a 74
NWC30	X49, X27 e Y2	30	4	0,8613	2,09	1,8		4,2	41 a 59
NWC11 *	(X47) ^{.5} , (X22) ^{.5} e Y2	51	2	0,8105	3,27	2,6		8,1	48 a 93
NWC33 *	(X47) ^{.5} , (X27) ^{.5} , (X23) ^{.5} e Y2	51	4	0,8209	3,18	2,6		6,6	17 a 62
	Redimento (Kg/ha)								
NWR40	X1, X18, X26X33, X33 e Y3	30	10	0,9677	2543	2133	6,6	6325	56 a 74
NWR110	LogX1, X7X18, X26 e Y3	30	4	0,9426	3390	2394	6,4	13267	56 a 74
NWR120	LogX1, X7X18, X21X33 e Y3	30	4	0,9408	3444	2351	6,2	13334	86 a 104
NWR10 *	X1, X20X1, X21X1, X34, X38X1 e Y3	51	6	0,9633	7365	5533	11,5	21721	17 a 62
NWR20 *	X1, X20X1, X21X1, X38X1, X41, X42 e Y3	51	10	0,9673	6953	5152	11	21186	17 a 62
NWR55 *	LogX1, X11, X12, X15, (X17+X19), X21 e Y3	51	6	0,9775	5764	3989	7,9	25306	79 a 125
MMZ *	0,294NWR55+0,706R55	51		0,9826	5067	3344	7,6	18355	79 a 125
<p>X1.....Xn = estimadores descodificados na TABELA 5.7; N. = número de safras/anos usados nos modelos; N.N = n. neurônios da primeira camada \Rightarrow Hidden1; R² = coeficiente de determinação; DP = desvio padrão = $((S(Y-Y^*)^2)/N)^{.5}$; EM = erro médio = $S Y-Y^* /N$; ERM = erro relativo médio = $(S Y-Y^* /Y)/N$; MD = maior desvio absoluto: $Y-Y^*$; Previsão (dias) = antecipação da previsão em dias; * = modelos compostos com dados de Fraiburgo/SC e São Joaquim/SC</p>									

TABELA 5.7 - Codificação dos estimadores dos modelos propostos.

X1 = Data da plena floração, em dias do calendário juliano;	
X2 = Data de início de colheita, em dias do calendário juliano;	
X3 = Produtividade, em kg/ha;	
X4 = Frutos/m ² de área cultivada = frutos/espacamento em m ² ;	
X5 = HF_3107 = Horas de frio acumuladas acima de 7,2 C, de 1 de maio a 31 de julho;	
X6 = HF_1508 = " " " , de 1 maio a 15 de agosto;	
X7 = HF_3108 = " " " , de 1 de maio a 31 de agosto;	
X8 = HF_1509 = " " " , de 1 de maio a 15 de setembro;	
X9 = HFcn_3107 = Horas de frio acumuladas pelo método Carolina do Norte Modificado, de 1/5 a 31/7;	
X10 = HFcn_1508 = " " " , de 1 de maio a 15 de agosto;	
X11 = HFcn_3108 = " " " , de 1 maio a 31 de agosto;	
X12 = HFcn_1509+ " " " , de 1 de maio a 15 de setembro;	
X13 = GD_7_1 = Graus-dia no mês de julho: Tb=1 e TB=30;	
X14 = GD_8_1 = Graus-dia no mês de agosto: Tb=1 e TB=30;	
X15 = GD_5_7_1 = Graus-dia dos meses de maio a julho: Tb=1 e TB=30;	
X16 = GD_7_7 = Graus-dia no mês de julho: Tb=7 e TB=30;	
X17 = GD_8_7 = Graus-dia no mês de agosto: Tb=7 e TB=30;	
X18 = GD_5_7_7 = Graus-dia dos meses de maio a julho: Tb=7 e TB=30;	
X19 = I_07 = Insolação do mês de julho;	
X20 = I_08 = " " agosto;	
X21 = I_8_1509 = Insolação de 1 de agosto até 15 de setembro;	
X22 = I_09 = Insolação de setembro;	
X23 = I_10 = " outubro;	
X24 = I_11 = " novembro;	
X25 = I_12 = " dezembro;	
X26 = I_01 = " janeiro;	
X27 = I_02 = " fevereiro;	
X28 = I_10_11 = " outubro+novembro;	
X29 = I_11_12 = " novembro+dezembro;	
X30 = I_12_01 = " dezembro + janeiro;	
X31 = I11_12_1 = " " novembro+dezembro+janeiro;	
X32 = TM_07 = Temperatura média do mês de julho;	
X33 = TM_08 = Temperatura média do mês de agosto;	
X34 = TM_09 = Temperatura média do mês de setembro;	
X35 = TM_10 = Temperatura média do mês de outubro;	
X36 = TM_11 = Temperatura média do mês de novembro;	
X37 = TM_12 = Temperatura média do mês de dezembro;	
X38 = TM_01 = Temperatura média do mês de janeiro;	
X39 = TM_02 = Temperatura média do mês de fevereiro;	
X40 = EIR/EIP_12 = Etr/Etp do mês de dezembro;	
X41 = EIR/EIP_01 = Etr/Etp do mês de janeiro;	
X42 = EIR/EIP_02 = Etr/Etp do mês de fevereiro;	
X43 = Kg/Ha_def = Produtividade defasada de uma safra (ano anterior);	
X44 = Dummy1: igual 1, demais zero;	
X45 = Dummy2: igual 1, demais zero;	
X46 = Dummy3: igual 1, demais zero;	
X47 = GD_fl_11 = Graus-dia acumulados da plena floração até 30/11: Tb=01 e TB=30;	
X48 = GD_fl_12 = Graus-dia acumulados da plena floração até 31/12: Tb=01 e TB=30;	
X49 = GD_fl_1501 = Graus-dia acumulados da plena floração até 15/01: Tb=01 e TB=30;	
X50 = GD_fl_11 = Graus-dia acumulados da plena floração até 30/11: Tb=02 e TB=30;	
X51 = GD_fl_12 = Graus-dia acumulados da plena floração até 31/12: Tb=02 e TB=30;	
X52 = GD_fl_1501 = Graus-dia acumulados da plena floração até 15/01: Tb=02 e TB=30;	
X53 = GD_fl_01 = Graus-dia acumulados da plena floração até 30/11: Tb=02 e TB=30;	
X54 = GD_fl_11 = Graus-dia acumulados da plena floração até 30/11: Tb=05 e TB=30;	
X55 = GD_fl_12 = Graus-dia acumulados da plena floração até 31/12: Tb=05 e TB=30;	
X56 = GD_fl_1501 = Graus-dia acumulados da plena floração até 15/01: Tb=05 e TB=30;	
X57 = GD_fl_01 = Graus-dia acumulados da plena floração até 31/01: Tb=05 e TB=3	

**TABELA 5.8 - Temperaturas basais - Tb, TB - e graus-dia que apresentam menor coeficiente de variação e desvio padrão (dias) para Fraiburgo/SC e São Joaquim/SC.
Fenologia: Plena Floração - Início da Colheita.**

Local Cultivar	S.Joaquim Gala	Fraiburgo Gala	S.Joaquim Golden D.	Fraiburgo Golden D.	S.Joaquim Fuji	Fraiburgo Fuji
Tb - ° C.	01	0,5	02	03	05	05
TB - ° C	30	30	30	30	30	30
Graus dia - Média	2119	2293	2137	2381	2112	2636
D.Padrão	88,23	140,99	91,70	51,39	91,99	100,49
D.Padrão - Dias	5,9	7,1	6,3	3,0	7,8	6,6
NMD	136,1	114,8	146,1	137,7	178,3	173,1
Erro Padrão - EP	19,73	33,23	22,93	10,50	23,75	21,93
Coef. Var. - CV(%)	4,160	6,150	4,311	2,158	4,350	3,813
Núm. Anos - N.	21	19	17	25	16	22

$DPD = DP.NMD/GDM$; $CV(\%) = 100.DP/GDM$;

$NMD = \text{duração média do subperíodo Plena Floração - Início de Colheita.}$

O desenvolvimento de modelos com dados compostos teve como objetivo ampliar a diferenciação climática, como forma de melhorar o desempenho e abrangência dos modelos. Embora a região de Fraiburgo/SC dispusesse de menos de 20 anos de safras diferentes (anos diferentes), apresentava grande número de repetições de observações fenológicas e de produções entre pomares e locais (propriedades) diferentes. Tal fato foi decisivo para a elaboração dos modelos, seu ajustamento, tendo em vista serem áreas de produção comercial e em muitos casos sem a devida precisão na observação das datas da plena floração e início de colheita. No caso da observação da data de floração, em muitos anos, existiam diferenças de até 15 dias de um local para outro, sem uma justificativa baseada apenas na possível diferença microclimática de um pomar para outro. Tais diferenças, na maioria dos casos, são decorrentes de alguns fatores, tais como: erro observacional e tratos culturais (podas tardias, aplicações de produtos para quebra de dormência). Assim, algumas observações fenológicas foram substituídas por outras, de pomares próximos, nos mesmos anos e condições.

Um fato que merece destaque é o critério que caracteriza a fase fenológica da plena floração, definida como sendo a existência de uma flor aberta por inflorescência. Ora, este critério embora teoricamente possível, na prática, provoca erros de avaliação de um pomar para outro com diferenças que chegam a 5-7 dias. É mais notório em anos com deficiência de horas de frio para quebra de dormência, a qual prolonga o período de floração e dificulta a exatidão da data da ocorrência da plena floração. Este critério tem sofrido uma evolução, na metodologia de avaliação, a partir de 1992 (safra), por iniciativa da pesquisa agrícola estadual, embora mantendo-se o princípio de observação fenológica inicial (1 flor por inflorescência).

Os modelos compostos apresentaram um ajustamento menos eficiente do que os modelos simples (Fraiburgo/dados), conforme demonstram os coeficientes de determinação (r^2), desvio padrão, erro médio e maior desvio absoluto. Entretanto, este fato pode ser decorrente do uso dos dados originais de São Joaquim/SC, sem pré-ajustes, pela impossibilidade de verificação de possíveis erros de observação (sem repetições). O desempenho dos modelos, no entanto, poderá ser melhor verificado na validação dos mesmos com conjunto de dados independentes (item 5.3).

As variáveis independentes ou estimadores mais significativos da plena floração, conforme observações práticas, confirmaram-se nos modelos, tais como: somatório de horas de frio - ΣHF , somatório de graus-dia - ΣGD , insolação (**I**) e temperatura média mensal (**TM**). Quanto ao ΣHF , pretendia-se analisar qual dos modelos propostos melhor se ajustavam, bem como a época e período compreendido para o somatório. Entretanto, nenhum dos dois modelos de **HF** tiveram destaque isolado, mas sim de forma combinada em muitos modelos. Assim, estes métodos analisados apresentaram um desempenho associado maior do que singularmente. As épocas ou períodos de ΣHF mais significativos foram entre 1 de maio e 31 de julho, de 1 de maio a 15 de agosto ou 31 de agosto, tanto para o modelo com acúmulo de **HF** abaixo de 7,2 ° C, como pelo Carolina do Norte Modificado.

A utilização de graus-dia como variável estimadora da plena floração mostrou-se surpreendentemente eficiente, mesmo associada a ΣHF . Embora a ΣHF e a ΣGD apresentem-se correlacionadas inversamente em mais de 70 % em muitos casos, verificou-se maior ajustamento dos modelos quando aparecem associados. Utilizou-se temperaturas basais, inferior - **Tb** e superior **TB**, de 1° e 30° C, respectivamente, e também de 7° 30° C, tendo em vista as cultivares nesta época do ano (outono-inverno) estarem em repouso. As temperaturas acima de 7° C parecem computar melhor a disponibilidade térmica mais favorável ao início da brotação e indução da floração. Os períodos mais eficientes para o somatório dos graus-dia foram julho, agosto e de maio-julho.

Outros estimadores apresentaram significância na composição dos modelos de plena floração, tais como a insolação dos meses de julho, agosto e agosto a 15 de setembro. Temperaturas médias dos meses de julho, agosto e setembro também mostraram-se eficientes em alguns modelos. Os modelos deixam claro que as variáveis climáticas efetivamente decisivas ao processo ou desencadeamento da floração são energéticos, representados simplificadaamente pelo ΣHF , ΣGD , insolação e temperaturas médias mensais. Variáveis ligadas aos aspectos hídricos (chuva, balanço hídrico) não apresentaram desempenho para a estimativa ou previsão da data da plena floração, sendo ainda de difícil equacionamento.

Quanto ao uso de rede neural para o ajustamento dos modelos previsivos, apresentaram um comportamento muito semelhante aos modelos polinomiais, embora estes com pequena vantagem quanto ao r^2 , erro médio e maior desvio absoluto (dias). O número de neurônios da camada oculta (Hidden1) utilizados para o treinamento destes modelos variaram de 4 a 6, correspondendo de metade até o total da soma do número de entradas (inputs) mais a saída (output), na maioria dos casos.

A maioria dos modelos tem comportamento linear, eventualmente, quadrática, raiz quadrada ou exponencial.

5.1.2 - Modelos propostos para estimativa de início de colheita

Os modelos desenvolvidos mais promissores estão relacionados nas **TABELAS 5.1 a 5.6**, de forma resumida. Fundamentalmente, estão baseados no princípio de graus-dia entre a plena floração e início de colheita, utilizando-se para tanto do ΣGD da plena floração até 30 de novembro, 31 de dezembro e 31 de janeiro, dependendo da cultivar envolvida ($>$ $<$ precocidade). As temperaturas basais utilizadas são aquelas já descritas no item anterior. O estimador de graus-dia corresponde a mais de 75% do coeficiente de determinação (r^2) da maioria dos modelos polinomiais apresentados. Outros estimadores de menor influência nos modelos são os relacionados principalmente com a insolação dos meses de outubro a janeiro, dependendo da cultivar envolvida. A insolação no final do ciclo tem a tendência de acelerar a maturação e antecipar o início da colheita. A utilização da relação **ETR/ETP** nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, não teve significância ou participação na previsão da data de colheita, com exceção de um modelo (Fuji). Tal fato talvez seja devido à cultura em análise ser perene, com sistema radicular profundo, aliado a solo com grande capacidade de armazenamento de água e as condições pluviométricas reinantes.

Alguns modelos desenvolvidos para a cultivar Gala (+ precoce), houve a participação da ΣGD de maio-julho ($Tb=1$) e de maio-julho ($Tb=7$). Tais estimadores estão relacionados à disponibilidade térmica que houve no outono-inverno e representam, de forma inversa a disponibilidade de horas de frio, promotoras de floração e colheitas \pm concentradas. Isto é, período $>$ ou $<$ de floração com conseqüente precisão da data de início de colheita.

No desenvolvimento destes modelos houve problemas de ajustamento decorrentes principalmente da falta de precisão e critérios adequados para a determinação acurada tanto da data da plena floração como da colheita, tendo em vista tratar-se de plantios comerciais. Embora os produtores utilizem o número médio de dias após a plena floração, para cada cultivar, como critério para definição da data provável de colheita, há uma variação grande de um ano para outro (8-10 dias). Também pelo fato dos pomares não poderem ser colhidos na data mais adequada por

problemas de ordem operacional (mão-de-obra, transporte, armazenagem), mesmo considerando a maturação diferenciada das cultivares. Todos estes aspectos refletem na precisão da determinação da data de início de colheita e, conseqüentemente, no ajustamento e validação dos modelos. Assim, a elaboração destes modelos somente foi possível devido à grande quantidade de pomares existentes, principalmente na região de Fraiburgo/SC, permitindo ajustar dados mais adequados aos modelos, descartando aqueles mais divergentes ($< 25\%$ do total dos dados). Como critério para condução deste processo, utilizou-se o $\sum GD$ da floração a colheita, para cada cultivar e safra, analisando aqueles casos onde o $\sum GD$ ultrapassava em $\pm 0,75$ DP (desvio padrão). A grande maioria dos casos divergentes correspondia ao $\sum GD$ excessivo, isto é, com excesso no somatório térmico, decorrente de possível atraso na colheita por problemas operacionais ou, eventualmente, por chuvas na colheita. A data caracterizada como início de colheita não implica ou não coincide, necessariamente, com a maturação fisiológica.

Os modelos propostos para início de colheita, também foram subdivididos em dois conjuntos de dados. O primeiro, com menor número de anos (safras) diferentes, abrange dados apenas da região de Fraiburgo/SC. O segundo, são compostos por dados das regiões de Fraiburgo/SC e São Joaquim/SC. Neste último caso, variáveis *dummies* foram associadas para poder ajustar adequadamente os modelos, uma vez que o $\sum GD$ é eficiente e utilizável isoladamente apenas em áreas ou regiões homogêneas. O $\sum GD$ altera-se de região (diferente) para outra, entre subperíodos fenológicos, embora as temperaturas básicas possam ser as mesmas (interação planta-clima), conforme observado neste trabalho (TABELA 5.8) e também abordado por CUTFORTH e SHAYKEWICH (1990).

Os modelos compostos, de maneira geral, tiveram ajustamentos inferiores do que os simples, talvez devido os dados de São Joaquim/SC não terem repetições que possibilitassem ajustes prévios. No entanto, possuem uma maior amplitude e variabilidade climática inclusa. Os modelos permitem previsões que oscilam entre 17 a 104 dias de antecedência, considerando-se as três cultivares. Para a cultivar Gala os modelos polinomiais foram todos lineares quanto aos seus estimadores. Para as demais cultivares houve uma distribuição entre lineares, raiz quadrada, quadrática e exponencial.

Os modelos neurais foram treinados com ajuda de 2 a 4 neurônios (camada oculta 1), correspondendo a metade até 1,5 vezes o somatório do número de variáveis estimadoras de entrada (inputs) mais a saída (output). O desempenho quanto ao ajustamento dos modelos, traduzidos pelo erro médio, maior desvio absoluto (dias) e r^2 , comportou-se similarmente aos polinomiais, com pequena vantagem para estes.

5.2 - Modelos Numéricos de Previsão de Rendimentos

Os modelos desenvolvidos e propostos estão, também, relacionados nas TABELAS 5.1 a 5.6, polinomiais, neurais e mistos. Os modelos apresentados estão divididos em duas categorias. A primeira, abrange modelos estruturados apenas com dados da região de Fraiburgo/SC. A segunda, é composta por dados de Fraiburgo/SC e São Joaquim/SC, importantes quando se pensa em analisar a participação do tempo meteorológico/clima na composição do rendimento e produção final das cultivares (> base de análise).

A variável ou estimador de maior importância na composição do rendimento (kg/ha) e mesmo do coeficiente de determinação (r^2) dos modelos polinomiais (+ 75%) é o número médio de frutos/planta, deixados após o raleio dos pomares (outubro-novembro). Outro estimador importante ligado à capacidade de produção média de cada pomar, definido pela metragem de copa (m^2 de copa), foi ajustado em alguns modelos pelo uso de variáveis *dummies*, tendo em vista que a idade dos pomares não se caracterizou como estimador eficiente. O número de frutos/planta foi transformado em Frutos/ m^2 com a ajuda do número de plantas e a área ocupada por parcela/suparcela (pomar), em virtude do espaçamento variado existente entre pomares. As variáveis climáticas que interagem no crescimento do fruto - CF e integrantes dos modelos são variadas, bem como a época de maior influência. Assim, para a cultivar Gala, os estimadores climáticos mais importantes dizem respeito à disponibilidade energética, traduzidas pela temperatura média dos meses de novembro e dezembro, muitas vezes associados a insolação de agosto e setembro, $\sum GD$ do mês 7, 8 e $\sum HF$ maio-julho ou maio-agosto, pelos dois métodos de cálculo. Temperaturas elevadas nos meses de novembro e dezembro, coincidentes com final da floração-início de frutificação, induzem a uma diminuição na produtividade, comprovada na prática e demonstrada pelos modelos. A $\sum GD$, insolação e $\sum HF$ no período de repouso, caracterizam a satisfação ou não do frio invernal para a quebra de dormência e conseqüente floração e frutificação em período mais ou menos concentrado e homogêneo na primavera. Também guarda alguma relação com temperaturas mais ou menos elevadas no final da primavera, indutoras do tamanho do fruto (diferenciação celular).

Nas cultivares mais tardias (Golden D. e Fuji), outro estimador climático toma lugar em alguns modelos, ou seja, a relação ETR/ETP, nos meses de dezembro a fevereiro. Nestas cultivares, além das condições térmicas do outono-inverno (HF) e primavera (TM, I), o rendimento fica dependente também das condições hídricas do período da maturação, as quais, dependendo da severidade, podem provocar diminuição drástica no peso dos frutos e da colheita final.

Os modelos propostos para as três cultivares variam, dependendo da combinação dos estimadores e período de previsão envolvido, de lineares, raiz quadrada, quadráticos e exponenciais. Excepcionalmente, no modelo **R1 (Gala)** há uma interação tríplice entre estimadores (variáveis). De forma geral, os modelos compostos(*) apresentam maior erro médio dos ajustamentos. Este fato, acredita-se decorrer do pequeno número de repetições e de plantas do conjunto de dados de São Joaquim/SC, aliado à sua produtividade mais elevada.

Um dos fatores que tem peso no ajustamento final dos modelos é o erro amostral envolvido na principal variável estimadora, ou seja, o número médio de frutos/planta ou m^2 . Esta variável é amostrada após o raleio, outubro-novembro, e consiste em contar os frutos de 2,5% das plantas dos pomares. Dependendo do ano, das condições climáticas, práticas culturais (podas, dosagem dos produtos para quebra de dormência), da cultivar, tratamentos fitossanitários e de fertilidade do solo, o número de frutos/planta pode variar bastante entre plantas e pomares diferentes, sem considerar a qualidade da mão-de-obra envolvida. Caso não haja uma ponderação entre o número de plantas/subparcelas e a contagem do número de frutos/planta, diferenças significativas poderão aparecer na composição do número médio de frutos/planta e por parcela (conjunto de subparcelas). Este fato tem ocorrido em safras mais antigas (final da década de 70 e início de 80). Nas safras mais recentes, os produtores têm procurado melhorar as amostragens, mas ainda deixando muito a desejar em alguns pomares de alta densidade de plantio (> 1.000 plantas/ha). Por exemplo, um erro cometido na amostragem de 10% (num universo de 500-1000 ha de macieiras) causa um erro na previsão final de semelhante magnitude, dependendo das condições ambientais. Tendo em vista que os pomares destas empresas comerciais, com grandes áreas cultivadas, a produção é computada por parcelas, compostas por N quadras ou subparcelas de diferentes tamanhos e número de plantas, tendo ainda produtividades diferentes em muitos casos. Uma amostragem mal conduzida ou mal ponderada pode causar distorções nos modelos previsores. Outro aspecto refere-se ao número fixo de amostras de 2,5% das plantas do pomar, o qual deveria variar conforme as condições do pomar, ano e cultivar.

Alguns modelos apresentam variáveis *dummies* indicadoras de possíveis diferenças entre pomares, notoriamente a capacidade de produção, uma vez que são compostos por dados de pomares com idades diferentes, locais diferentes, porta-enxertos diferentes, densidade de plantas/área diferentes. Tais variáveis, se bem utilizadas, poderão ajustar bem as previsões de rendimentos, neste aspecto. Dependendo da cultivar e do modelo, a previsão pode ser feita com até 120 dias de antecedência, cujo acerto é maior à medida que se aproxima da data da colheita.

Os modelos neurais foram treinados com mesmo conjunto de estimadores usados para os modelos polinomiais, com a ajuda de 4 a 10 neurônios (camada oculta 1), correspondentes a

metade até 1,5 vezes o número de estimadores de entrada (inputs) mais a saída (output). Apresentam desempenho semelhante aos polinomiais, com pequena vantagem para aqueles em alguns casos, com relação ao erro médio (%) e maior desvio absoluto (kg/ha). Neste aspecto, ressaltamos que foi possível treinar a rede com número relativamente pequeno de dados (repetições), 27-30 anos/safras, ficando claro que o ajuste dos modelos depende mais da qualidade do que da quantidade de informações.

Objetivando tirar proveito dos modelos quanto ao seu potencial de previsão individual, produziu-se alguns modelos mistos (**MM1,MM2,MM3 e MMFU**), com o auxílio de programação linear, minimizando os erros relativos das estimativas de rendimento (kg/ha). Para tanto, utilizou-se os modelos básicos compostos (Fraiburgo + São Joaquim) para as três cultivares, polinomiais e neurais. Para a cultivar Fuji desenvolveu-se modelo misto (**MMFU**), também com dados apenas de Fraiburgo/SC.

Todos os modelos mistos apresentam um erro médio (%) menor do que qualquer modelo individual participante, seja polinomial ou neural, conforme pode-se ver nas **TABELAS 5.2, 5.4 e 5.6**.

Também tentou-se introduzir variável estimadora nos modelos que traduzissem possível efeito de alternância de produção, decorrente de carga de frutos ou produção excessiva. Na maioria dos modelos desenvolvidos, a produtividade do ano anterior, como tal variável, não se mostrou eficiente, embora faça parte de um modelo (**R2 - Gala**). Acredita-se que isto seja devido aos dados que compõem os diversos modelos, provenientes de pomares diferentes, com produtividades diferentes, idades diferentes e densidades de plantio diferentes.

5.3 - Validação dos Modelos de Previsão

Para testar a performance dos modelos propostos, quanto à sua habilidade previsória, separaram-se os dados da safra 93/94 de Fraiburgo/SC, quanto aos pomares da área de estudo (Pomifrai), bem como da empresa agrícola Renar S.A. Evidentemente que para a validação conclusiva dos modelos propostos outras safras e locais seriam necessários. Entretanto, o objetivo inicial foi selecionar os modelos mais promissores e que possam servir para estimar todo o conjunto de pomares da área de estudo, nas cultivares Gala, Golden Delicious e Fuji, no que diz respeito principalmente ao rendimento e à safra de 93/94.

Os testes iniciais de validação dos modelos para plena floração (data), início de colheita (data) e rendimentos (kg/ha) podem ser vistos e analisados nas **TABELAS 5.9, 5.10, 5.11, 5.12, 5.13 e 5.14**.

A - Cultivar Gala

Para a cultivar Gala, analisando-se as **TABELAS 5.9 e 5.10**, pode-se denotar que para a previsão da data da plena floração os modelos compostos(*), de forma geral, apresentam um desempenho melhor, com diferença máxima de 3 dias, levando em conta os cinco pomares testados (1 Renar + 4 Pomifrai). Os modelos polinomiais e neurais, neste caso, tiveram desempenho semelhante. Os modelos **F1, F2 e F3** tiveram desempenho melhor do que os neurais correspondentes (**NWFI, NWF2, NWF3**). Talvez por possuírem menos de 15 anos de dados climáticos diferentes, apesar do uso de 21 (N.), enquanto os modelos compostos contam com 33 diferentes anos, num total de 48 dados (N.), seja a razão para o desempenho melhor destes últimos.

Para a estimativa do início da colheita, os modelos locais e compostos (*) apresentam desempenho semelhante, com pequena vantagem para os compostos. Os modelos polinomiais e neurais tiveram desempenho idêntico nos 5 pomares testados.

Quanto à previsão de rendimentos, os modelos polinomiais e neurais possuem um desempenho muito semelhante, com pequena vantagem para os primeiros, exponenciais ou não. De maneira genérica, os modelos compostos **R8 e NWR8** e o misto **MM1**, neste conjunto de testes, tiveram desempenho superior aos demais com possibilidade de previsão de 50 a 95 dias de antecedência (± 56 dias para safra 93/94).

B - Cultivar Golden Delicious

Pela análise da **TABELAS 5.11 e 5.12**, pode-se denotar que os modelos compostos (*), nesta cultivar, também parecem se ajustar melhor na previsão da plena floração. Os pomares P01 e P05 tiveram ocorrência de granizo na floração com fortes danos, associados a podas tardias, provocando o retardamento da definição da data da plena floração. O dano provocado pelo granizo nos pomares da área de estudo (P01,P02, P03,P04,P05,P06,P07,P08) foi de tal ordem que reduziu a produção a menos de 20% dos anos anteriores. A ocorrência de granizo concentrou-se nos pomares mais produtivos e onde localizavam-se os pomares da cultivar Golden Delicious, principalmente. Desta forma, incluímos dois pomares de safras passadas (**P10 - 89/90 e PM5 - 85/86**), cujos dados não tinham entrado na composição dos modelos propostos, com o intuito de ajudarem neste conjunto de testes.

TABELA 5.9 - Validação dos modelos polinomiais e neurais propostos para previsão da data da plena floração e início de colheita para cultivar Gala - Fraiburgo/SC.

MODELO	P. - OBS. (dias)	PREV. (dias)	DIF. (dias)	P. - OBS. (dias)	PREV. (dias)	DIF. (dias)	P. - OBS. (dias)	PREV. (dias)	DIF. (dias)	P. - OBS. (dias)	PREV. (dias)	DIF. (dias)	P. - OBS. (dias)	PREV. (dias)	DIF. (dias)
	PLENA FLORAÇÃO (Data Juliana)														
F1	F16 - 284	283	1	P12 - 283	283	0	P13 - 282	283	1	P17 - 283	283	0	P20 - 283	283	0
NWF1	F16 - 284	290	6	P12 - 283	290	7	P13 - 282	290	8	P17 - 283	290	7	P20 - 283	290	7
F2	F16 - 284	286	2	P12 - 283	286	3	P13 - 282	286	4	P17 - 283	286	3	P20 - 283	286	3
NWF2	F16 - 284	292	8	P12 - 283	292	9	P13 - 282	292	10	P17 - 283	292	9	P20 - 283	292	9
F3	F16 - 284	284	0	P12 - 283	284	1	P13 - 282	284	2	P17 - 283	284	1	P20 - 283	284	1
NWF3	F16 - 284	291	7	P12 - 283	291	8	P13 - 282	291	9	P17 - 283	291	8	P20 - 283	291	8
F4 *	F16 - 284	283	1	P12 - 283	283	0	P13 - 282	283	1	P17 - 283	283	0	P20 - 283	283	0
NWF4 *	F16 - 284	281	3	P12 - 283	281	2	P13 - 282	281	1	P17 - 283	281	2	P20 - 283	281	2
F5 *	F16 - 284	283	1	P12 - 283	283	0	P13 - 282	283	1	P17 - 283	283	0	P20 - 283	283	0
NWF5 *	F16 - 284	282	2	P12 - 283	282	1	P13 - 282	282	0	P17 - 283	282	1	P20 - 283	282	1
	INÍCIO DA COLHEITA (Data Juliana)														
C1	F16 - 25	29	4	P12 - 26	29	3	P13 - 31	28	3	P17 - 31	29	2	P20 - 26	29	3
NWC1	F16 - 25	28	3	P12 - 26	28	2	P13 - 31	27	4	P17 - 31	28	3	P20 - 26	28	2
C2	F16 - 25	29	4	P12 - 26	28	2	P13 - 31	27	4	P17 - 31	28	3	P20 - 26	28	2
NWC2	F16 - 25	27	2	P12 - 26	27	1	P13 - 31	26	5	P17 - 31	27	4	P20 - 26	27	1
C3 *	F16 - 25	29	4	P12 - 26	28	2	P13 - 31	27	4	P17 - 31	28	3	P20 - 26	28	2
NWC3 *	F16 - 25	29	4	P12 - 26	28	2	P13 - 31	27	4	P17 - 31	28	3	P20 - 26	28	2
C4 *	F16 - 25	28	3	P12 - 26	27	1	P13 - 31	26	5	P17 - 31	27	4	P20 - 26	27	1
NWC4 *	F16 - 25	28	3	P12 - 26	28	2	P13 - 31	27	4	P17 - 31	28	3	P20 - 26	28	2
P. - OBS = Pomar e observação da data em dias julianos;															
PREV. (kg/ha) = Previsão do modelo;															
DIF. (%) = (Y-Y*);															
* Modelos compostos com dados de Fraiburgo/SC e São Joaquim/SC.															

Excluindo da análise os pomares **P01** e **P05**, pode-se perceber melhor que os modelos polinomiais, para a previsão da data da plena floração, se ajustaram melhor do que os da rede neural, neste conjunto testado. Os modelos para previsão do início de colheita de origem local (Fraiburgo/SC) parecem ajustar-se melhor que os compostos (*), devido dependerem do ΣGD , que tem efeito para região homogênea (clima) e pela não compensação por variáveis *dummies* de possíveis locais diferentes, nos outros.

Os modelos propostos, de maneira geral, superestimaram o rendimento, tanto os polinomiais quanto os neurais. Entretanto, 3 modelos compostos tiveram desempenho superior neste conjunto testado: o **NWR10**, **NWR20** e **R20**, sendo os 2 primeiros neurais e o último polinomial (linear com *dummies*). Para uma avaliação mais conclusiva, os modelos deveriam ser mais exaustivamente testados, outras safras e locais, levando em conta ainda que o conjunto testado teve problemas com granizo (**P01**, **P05**) e superprodução no ano anterior (RF), cujos modelos não têm sensibilidade. Também o aspecto de possível variação na contagem e ponderação do número médio de frutos/planta e por parcela deve ser considerado.

TABELA 5.10 - Validação dos modelos polinomiais, neurais e misto propostos para previsão de rendimentos (kg/ha) para a cultivar Gala - Fraiburgo/SC.

MODELO	P. - OBS. (kg/ha)	PREV. (kg/ha)	DIF. (%)	P. - OBS. (kg/ha)	PREV. (kg/ha)	DIF. (%)	P. - OBS. (kg/ha)	PREV. (kg/ha)	DIF. (%)	P. - OBS. (kg/ha)	PREV. (kg/ha)	DIF. (%)
RENDIMENTO (KG/HA)												
R1	F16-21662	26074	20,4	P12-44123	47514	7,7	P13-38436	38314	0,3	P15-26108	29002	11,1
NWR1	F16-21662	27664	27,9	P12-44123	50672	14,8	P13-38436	42208	9,8	P15-26108	30519	16,9
R2	F16-21662	27052	24,9	P12-44123	48689	10,4	P13-38436	39575	3,0	P15-26108	31842	22,0
NWR2	F16-21662	26735	23,4	P12-44123	48930	10,9	P13-38436	40892	6,4	P15-26108	31880	22,1
R3	F16-21662	24552	13,3	P12-44123	47660	8,0	P13-38436	38314	0,3	P15-26108	27844	6,7
NWR3	F16-21662	23242	7,3	P12-44123	49708	12,7	P13-38436	39614	3,1	P15-26108	26988	3,4
R4	F16-21662	24771	14,4	P12-44123	47007	6,5	P13-38436	38796	0,9	P15-26108	28635	9,7
NWR4	F16-21662	24641	13,8	P12-44123	48288	9,4	P13-38436	39476	2,7	P15-26108	27651	5,9
R5 *	F16-21662	24740	14,2	P12-44123	49189	11,5	P13-38436	37557	2,3	P15-26108	27518	5,4
NWR5 *	F16-21662	26379	21,8	P12-44123	46365	5,1	P13-38436	36960	3,8	P15-26108	28746	10,1
R6 *	F16-21662	24561	13,4	P12-44123	51263	16,2	P13-38436	38731	0,8	P15-26108	27673	6,0
NWR6 *	F16-21662	24941	15,1	P12-44123	49998	13,3	P13-38436	39203	2,0	P15-26108	28237	8,2
R7 *	F16-21662	24711	14,1	P12-44123	52971	20,1	P13-38436	39617	3,1	P15-26108	27962	7,1
NWR7 *	F16-21662	24692	14,0	P12-44123	53958	22,3	P13-38436	40727	5,9	P15-26108	28219	8,1
R8 *	F16-21662	22268	2,8	P12-44123	46215	4,7	P13-38436	34993	8,9	P15-26108	25066	4,0
NWR8 *	F16-21662	21436	1,0	P12-44123	46769	6,0	P13-38436	35410	7,9	P15-26108	24544	6,0
MM1	F16-21662	22249	2,7	P12-44123	46673	5,8	P13-38436	35447	7,8	P15-26108	25173	3,6
P. - OBS = Pomar e observação de rendimento;												
PREV. (kg/ha) = Previsão do modelo;												
DIF (%) = (Y-Y*)/Y;												
* Modelos compostos com dados de Fraiburgo/SC e São Joaquim/SC.												

TABELA 5.11 - Validação dos modelos polinomiais e neurais propostos para previsão da data da plena floração e início de colheita para cultivar Golden D. - Fraiburgo/SC.

MODELO	P. - OBS. (dias)	PREV. (dias)	DIF. (dias)	P. - OBS. (dias)	PREV. (dias)	DIF. (dias)	P. - OBS. (dias)	PREV. (dias)	DIF. (dias)	P. - OBS. (dias)	PREV. (dias)	DIF. (dias)	P. - OBS. (dias)	PREV. (dias)	DIF. (dias)
PLENA FLORAÇÃO (Data Juliana)															
F10	RF - 288	283	5	P01-298	283	15	P05 - 293	283	10	P10 - 295	296	1	PM5 - 293	293	0
NWF10	RF - 288	298	10	P01-298	298	0	P05 - 293	298	5	P10 - 295	295	0	PM5 - 293	293	0
F20	RF - 288	283	5	P01-298	283	15	P05 - 293	283	10	P10 - 295	297	2	PM5 - 293	292	1
NWF20	RF - 288	293	5	P01-298	293	5	P05 - 293	293	0	P10 - 295	296	1	PM5 - 293	291	2
F22 *	RF - 288	287	1	P01-298	287	11	P05 - 293	287	6	P10 - 295	295	0	PM5 - 293	289	4
NWF22 *	RF - 288	292	4	P01-298	292	6	P05 - 293	292	1	P10 - 295	287	8	PM5 - 293	289	4
F30 *	RF - 288	288	0	P01-298	288	10	P05 - 293	288	5	P10 - 295	295	0	PM5 - 293	289	4
NWF30 *	RF - 288	295	7	P01-298	295	3	P05 - 293	295	2	P10 - 295	289	6	PM5 - 293	289	4
INÍCIO DA COLHEITA (Data Juliana)															
C10	RF - 55	58	3	P01-64	66	2	P05 - 64	62	2	P10 - 68	63	5	PM5 - 68	67	1
NWC10	RF - 55	57	2	P01-64	66	2	P05 - 64	62	2	P10 - 68	63	5	PM5 - 68	67	1
C20	RF - 55	57	2	P01-64	66	2	P05 - 64	62	2	P10 - 68	63	5	PM5 - 68	68	0
NWC20	RF - 55	57	2	P01-64	66	2	P05 - 64	61	3	P10 - 68	63	5	PM5 - 68	68	0
C30	RF - 55	59	4	P01-64	66	2	P05 - 64	63	1	P10 - 68	62	6	PM5 - 68	69	1
NWC30	RF - 55	58	3	P01-64	68	4	P05 - 64	63	1	P10 - 68	62	6	PM5 - 68	69	1
C11 *	RF - 55	58	3	P01-64	65	1	P05 - 64	61	3	P10 - 68	61	7	PM5 - 68	65	3
NWC11 *	RF - 55	58	3	P01-64	63	1	P05 - 64	60	4	P10 - 68	61	7	PM5 - 68	63	5
C33 *	RF - 55	58	3	P01-64	65	1	P05 - 64	61	3	P10 - 68	62	6	PM5 - 68	64	4
NWC33 *	RF - 55	58	3	P01-64	64	0	P05 - 64	61	3	P10 - 68	61	7	PM5 - 68	64	4
P. - OBS = Pomar e observação da data em dias julianos;															
PREV. (kg/ha) = Previsão do modelo;															
DIF (%) = (Y-Y*)/Y;															
* Modelos compostos com dados de Fraiburgo/SC e São Joaquim/SC;															
Pomares P01 e P05 tiveram ocorrência de grando na floração com fortes danos e tratos culturais (podas) tardios;															
Pomares PM5 e P10 safras 85/86 e 89/90, respectivamente, demais 93/94.															

TABELA 5.12 - Validação dos modelos polinomiais, neurais e misto propostos para previsão de rendimentos (kg/ha) para a cultivar Golden Delicious - Fraiburgo/SC.

MODELO	P. - OBS. (kg/ha)	PREV. (kg/ha)	DIF. (%)	P. - OBS. (kg/ha)	PREV. (kg/ha)	DIF. (%)	P. - OBS. (kg/ha)	PREV. (kg/ha)	DIF. (%)	P. - OBS. (kg/ha)	PREV. (kg/ha)	DIF. (%)
	RENDIMENTO (KG/HA)											
R40	RF - 41812	50257	20,2	P01 - 13867	19063	37,5	P05 - 21570	31261	44,9	P10 - 37100	32309	12,9
NWR40	RF - 41812	51653	23,5	P01 - 13867	18798	35,6	P05 - 21570	30830	42,9	P10 - 37100	31959	13,8
R110	RF - 41812	50876	21,7	P01 - 13867	18352	32,3	P05 - 21570	31099	44,2	P10 - 37100	31403	15,3
NWR110	RF - 41812	51960	24,3	P01 - 13867	16600	19,7	P05 - 21570	31246	44,8	P10 - 37100	31875	14,1
R120	RF - 41812	51366	22,8	P01 - 13867	18284	31,8	P05 - 21570	31198	44,6	P10 - 37100	31538	15,0
NWR120	RF - 41812	52288	25,1	P01 - 13867	16496	18,9	P05 - 21570	31204	44,7	P10 - 37100	32016	13,7
R10 *	RF - 41812	50168	19,9	P01 - 13867	10616	23,2	P05 - 21570	26083	20,9	P10 - 37100	32793	11,6
NWR10 *	RF - 41812	45705	9,3	P01 - 13867	13148	5,2	P05 - 21570	24700	14,5	P10 - 37100	34579	6,8
R20 *	RF - 41812	52166	24,8	P01 - 13867	14959	7,9	P05 - 21570	28097	30,2	P10 - 37100	34156	7,9
NWR20 *	RF - 41812	47917	14,6	P01 - 13867	15299	10,3	P05 - 21570	25995	20,5	P10 - 37100	35932	3,1
R55 *	RF - 41812	50928	21,8	P01 - 13867	17579	27,2	P05 - 21570	30476	41,3	P10 - 37100	31671	14,6
NWR55 *	RF - 41812	53391	27,7	P01 - 13867	16093	16,1	P05 - 21570	30855	43,0	P10 - 37100	31246	15,8
MM2	RF - 41812	51652	23,5	P01 - 13867	17142	19,1	P05 - 21570	30587	41,8	P10 - 37100	31546	14,9
P. - OBS = Pomar e observação de rendimento;												
PREV. (kg/ha) = Previsão do modelo;												
DIF (%) = $(Y - Y^*) / Y$;												
* Modelos compostos com dados de Fraiburgo/SC e São Joaquim/SC.												
Pomares P01 e P05 tiveram ocorrência de granizo na floração com fortes danos e tratos culturais (podas) tardios;												
Pomar P10 safra 85/86, demais 93/94.												

C - Cultivar Fuji

A análise das TABELAS 5.13 e 5.14 permite observar que os modelos F100 e NW100 não estimam bem a data da plena floração, apresentando valores antagônicos (opostos) entre eles. Tais modelos foram ajustados apenas por dados da região de Fraiburgo, num total de 55, mas com menos de 20 anos diferentes (clima), possível causa das divergências. Os modelos compostos (*) apresentam maior homogeneidade e precisão entre os polinomiais e neurais, não permitindo diferenciá-los neste conjunto testado.

Os modelos de previsão de colheita funcionam muito similarmente entre simples e compostos (*), não permitindo neste conjunto separá-los. Os pomares P03 e P08 tiveram tratos culturais tardios (podas) e ocorrência de granizo na floração. Isto provocou, acredita-se, a avaliação tardia da data da plena floração pelos produtores. Este fato pode ser comprovado pela data da colheita, antecipada em ± 12 dias, aproximadamente a mesma diferença da data da floração (adiamento). Permite ainda concluir que possíveis erros na determinação da data (a campo) da plena floração reflete diretamente na previsão da data de início de colheita.

Quanto à validação dos modelos de previsão de rendimentos, de maneira genérica neste conjunto de dados testados, os modelos neurais e polinomiais tiveram desempenho semelhante,

com pequena vantagem para estes. Os modelos compostos (*) e o misto (MM3), superestimaram as previsões, enquanto os modelos locais (R400, NWR400, R600, NWR600) e o misto (MMFU) tiveram um desempenho melhor, mais ajustado. Os modelos R400 e R600 são polinomiais, exponenciais e com *dummies*. Todos estes modelos de previsão de rendimentos trazem variáveis *dummies*, as quais têm a capacidade de ajustar possíveis diferenças de produtividade entre pomares (locais ≠). Estas variáveis permitem introduzir correções, principalmente do vigor de cada pomar e ano, possibilitando melhorar o ajustamento das previsões, desde que se tenham informações de campo (vigor alto, médio, baixo).

TABELA 5.13 - Validação dos modelos polinomiais e neurais propostos para previsão da data da plena floração e início de colheita para cultivar Fiji - Fraiburgo/SC.

MODELO	P. - OBS (dias)	PREV. (dias)	DIF. (dias)	P. - OBS (dias)	PREV. (dias)	DIF. (dias)	P. - OBS (dias)	PREV. (dias)	DIF. (dias)	P. - OBS (dias)	PREV. (dias)	DIF. (dias)	P. - OBS (dias)	PREV. (dias)	DIF. (dias)
PLENA FLORAÇÃO (Data Juliana)															
F100	F16 - 286	296	10	P03 - 295	296	1	P08 - 292	296	4	P14 - 288	296	8	P16 - 291	296	5
NWF100	F16 - 286	283	3	P03 - 295	283	12	P08 - 292	283	9	P14 - 288	283	5	P16 - 291	283	8
F110 *	F16 - 286	286	0	P03 - 295	286	9	P08 - 292	286	6	P14 - 288	286	2	P16 - 291	286	5
NWF110 *	F16 - 286	286	0	P03 - 295	286	9	P08 - 292	286	6	P14 - 288	286	2	P16 - 291	286	5
F120 *	F16 - 286	287	0	P03 - 295	287	8	P08 - 292	287	5	P14 - 288	287	1	P16 - 291	287	4
NWF120 *	F16 - 286	287	1	P03 - 295	287	8	P08 - 292	287	5	P14 - 288	287	1	P16 - 291	287	4
INÍCIO DA COLHEITA (Data Juliana)															
C100	F16 - 87	88	1	P03 - 84	96	12	P08 - 84	93	9	P14 - 87	90	3	P16 - 89	93	4
NWC100	F16 - 87	88	1	P03 - 84	96	12	P08 - 84	94	10	P14 - 87	90	3	P16 - 89	93	4
C200	F16 - 87	88	1	P03 - 84	96	12	P08 - 84	94	10	P14 - 87	90	3	P16 - 89	93	4
NWC200	F16 - 87	88	1	P03 - 84	97	13	P08 - 84	94	10	P14 - 87	89	2	P16 - 89	93	4
C110 *	F16 - 87	89	2	P03 - 84	97	13	P08 - 84	94	10	P14 - 87	87	0	P16 - 89	90	1
NWC110 *	F16 - 87	91	4	P03 - 84	98	14	P08 - 84	95	11	P14 - 87	87	0	P16 - 89	90	1
C330 *	F16 - 87	91	3	P03 - 84	99	13	P08 - 84	96	12	P14 - 87	89	2	P16 - 89	92	3
NWC330 *	F16 - 87	91	4	P03 - 84	99	15	P08 - 84	97	13	P14 - 87	88	1	P16 - 89	92	4
P. - OBS = Pomar e observação da data em dias julianos;															
PREV. (kg/ha) = Previsão do modelo;															
DIF. (%) = (Y-Y*);															
* Modelos compostos com dados de Fraiburgo/SC e São Joaquim/SC;															
Pomares P03 e P08 tiveram ocorrência de granizo na floração com fortes danos e tratos culturais (podas) tardios,															
fatores este que provocaram o atraso na determinação da plena floração e conseqüente diferença na															
estimativa da data de início de colheita.															

TABELA 5.14 - Validação dos modelos polinomiais, neurais e mistos propostos para previsão de rendimentos (kg/ha) para a cultivar Fuji - Fraiburgo/SC.

MODELO	P. - OBS. (kg/ha)	PREV. (kg/ha)	DIF. (%)	P. - OBS. (kg/ha)	PREV. (kg/ha)	DIF. (%)	P. - OBS. (kg/ha)	PREV. (kg/ha)	DIF. (%)	P. - OBS. (kg/ha)	PREV. (kg/ha)	DIF. (%)
	RENDIMENTO (KG/HA)											
R400	F16 - 29259	30273	3,5	P03 - 10449	12931	23,7	P08 - 31262	33376	6,8	P14 - 46785	53016	13,3
NWR400	F16 - 29259	30943	5,8	P03 - 10449	12655	21,1	P08 - 31262	34184	9,3	P14 - 46785	52709	12,7
R600	F16 - 29259	27510	6,0	P03 - 10449	11534	10,4	P08 - 31262	30394	2,8	P14 - 46785	48774	4,3
NWR600	F16 - 29259	27264	6,8	P03 - 10449	11737	12,3	P08 - 31262	31059	0,6	P14 - 46785	48631	3,9
R220 *	F16 - 29259	41056	40,3	P03 - 10449	19369	85,4	P08 - 31262	45575	45,8	P14 - 46785	63793	36,4
NWR220*	F16 - 29259	43259	47,8	P03 - 10449	17447	66,9	P08 - 31262	48296	54,5	P14 - 46785	65642	40,3
R440 *	F16 - 29259	31433	7,4	P03 - 10449	14157	35,3	P08 - 31262	35126	12,4	P14 - 46785	50232	7,4
NWR440*	F16 - 29259	33254	13,6	P03 - 10449	13330	27,6	P08 - 31262	37445	19,8	P14 - 46785	52673	12,6
MM3	F16 - 29259	33352	14,0	P03 - 10449	14474	38,5	P08 - 31262	37285	19,3	P14 - 46785	52458	12,1
MMFU	F16 - 29259	28033	4,2	P03 - 10449	11692	11,9	P08 - 31262	30961	1,0	P14 - 46785	48988	4,7
	P. - OBS = Pomar e observação de rendimento;											
	PREV. (kg/ha) = Previsão do modelo;											
	DIF (%) = (Y-Y*)/Y;											
	* Modelos compostos com dados de Fraiburgo/SC e São Joaquim/SC.											
	Pomares P03 e P08 tiveram ocorrência de granizo na floração com fortes danos e tratos culturais (podas) tardios.											

5.4 - Previsão da Safra - 93/94

O modelo de previsão de safra (**S-kg**) resume-se no produto da previsão do modelo de rendimento ajustado (**Y-kg/ha**) pela área cultivada (**A-ha**):

$$S \text{ (kg)} = Y \text{ (kg/ha)} * A \text{ (ha)}.$$

A previsão desta safra incidiu sobre as parcelas em produção da área de estudo, do ano de 93/94. Algumas parcelas não possuem uma ou outra cultivar ou não existiam dados suficientes para o cálculo (**P22, P25 e P26**).

A - Cultivar Gala

Os resultados da previsão da safra para gala podem ser observados na **TABELA 5.15**. Dois modelos foram utilizados para a previsão do rendimento, o modelo polinomial **R8** e o misto **MM1**, ambos com capacidade de previsão de 50 a 95 dias de antecedência. No caso da safra de 93/94 a antecedência da previsão foi com ± 56 dias. A área cultivada foi definida pelo critério do espaçamento e pelo número de plantas em produção. Pela aplicação do modelo **R8**, a safra estimada foi de 3.536.578kg, com erro médio de 8,24%(+), isto é, superestimou a produção em 8,24%. Pela aplicação do modelo misto, a previsão foi de 3.561.469kg, superestimando em 9,0% a produção. A previsão feita pelos produtores foi superestimada em 19,7%.

C - Cultivar Fuji

Os resultados da previsão constam da **TABELA 5.16**. Foram aplicados 3 modelos de previsão de rendimentos, **R400** e **R600** (polinomiais) e o **MMFU** (misto). A área cultivada foi obtida via espaçamento e número de plantas em produção. Com a aplicação do modelo **R400**, com capacidade previsiva de 75 a 120 dias de antecedência (± 85 dias para 93/94), obteve-se 4.497.386kg, superestimando em 16,6% a safra. Pelo modelo misto **MMFU**, estimou-se 4.147.580kg, com 7,5% de erro médio a mais. Este modelo tem a capacidade de estimativa de 15 a 60 dias de antecedência (± 25 dias p/93/94). O modelo **R600** estimou 4.087.261kg com uma diferença de 5,9% para mais. Tem a mesma capacidade de previsão antecipada do modelo **MMFU**. A previsão feita pelos produtores foi de 5.227.278kg, superestimando em 35,5%.

**TABELA 5.16 - Estimativa da safra 93/94 para a cultivar Fuji.
Área de estudo - Pomifrai/Fraiburgo/SC.**

Parcelas	Prod_obs.	Prod_est.	Prod_est.	Prod_est.	Prod_est.
	Fuji - kg	Mod - R400	Mod - R600	Mod_MMFU	Produtores
P - 01	132735	151250	135676	137848	171871
P - 02	95629	126262	112297	113968	132675
P - 03	95920	118707	105886	107337	128087
P - 04	116476	168420	150455	152543	184484
P - 05					
P - 06	49486	84923	76777	78315	103714
P - 07	91780	144233	130240	132824	174198
P - 08	364515	389353	354557	361174	449138
P - 09	367238	345352	314214	320174	395291
P - 10	23796	20162	18213	18461	21611
P - 11	3327	8470	7681	7829	11264
P - 12	8350	8150	7288	7392	9004
P - 13	65789	77222	70164	71395	98718
P - 14	571243	647350	595562	597962	647081
P - 15	42175	51291	46058	46827	58853
P - 16	470287	501812	454368	463400	658052
P - 17	20291	36822	32996	33502	41459
P - 18	732533	909454	832270	842126	1097806
P - 19	323763	391004	353186	360216	501444
P - 20	282735	317149	289372	294290	342528
P - 22					
P - 25					
P - 26					
P - 50					
P - 60					
SAFRA	3858068	4497386	4087260	4147583	5227278
EM (%)		16,6	5,9	7,5	35,5
SAFRA = produção total das parcelas:					
EM = 100* Prod_obs. -Prod_est /Prod_obs.					

5.5 - Restituição Aerofotogramétrica

As FIGURAS 5.1 e 5.2 , apresentam os mapas planimétricos e altimétricos da **Fazenda Bom Futuro/Área de Estudo**, restituídos com detalhamentos de **1: 5.000** e com cotas altimétricas equidistantes de 5 metros. Possuem, basicamente, **6** planos de informações, quais sejam:

- * **Rios/açudes/áreas inundáveis;**
- * **Estradas/caminhos/viradouros;**
- * **Tipos de vegetação;**
- * **Áreas cultivadas;**
- * **Construções/Áreas com solo exposto;**
- * **Curvas de nível/Cotas altimétricas.**

Os mapas referidos foram divididos em dois conjuntos para facilitar a visualização dos planos de informações, altimetria e planimetria, e neste caso com escala de saída de **1:20.000**, apenas como forma de apresentação visual de resultados. A partir destes mapas básicos, na escala de **1:10.000**, outros mapas temáticos foram derivados via digitalização e importação direta de cotas altimétricas (tabela) para o sistema geográficos de informações - **GIS-SPANS**.

5.6 - Mapas Temáticos Gerados

FIGURAS 5.3 até 5.11, apresentam os mapas temáticos gerados pela digitalização (**PMTYDIG/SPANS**) e submetidos ao processo de transferência para o sistema geográfico de informações (**GIS/SPANS**). Tais mapas foram obtidos a partir dos mapas restituídos digitalmente (planialtimétrico) e com a ajuda de dados e plantas aproximadas da Fazenda Bom Futuro (áreas cultivadas, estradas, pomares, número de plantas, etc.) e por meio de fointerpretação das Aerofotos, em escala de saída original de **1:25.000** ou **1:50.000** (plotter), ou seja:

- * Contorno da Fazenda Bom Futuro, contendo a área de estudo;
- * Contorno da Área de Estudo -----> **Mapa-Base**;
- * Mapa contendo as **25** parcelas (pomares) cultivados com fruticultura;
- * Mapa contendo as subparcelas (**276** quadras) com fruticultura;
- * Mapa de vegetação, exceto fruticultura;
- * Mapa de drenagem (rios);
- * Mapa de açudes e áreas sujeitas a inundação;
- * Mapa de aptidão das terras da área de estudo;
- * Mapa viário (estradas, caminhos, viradouros);

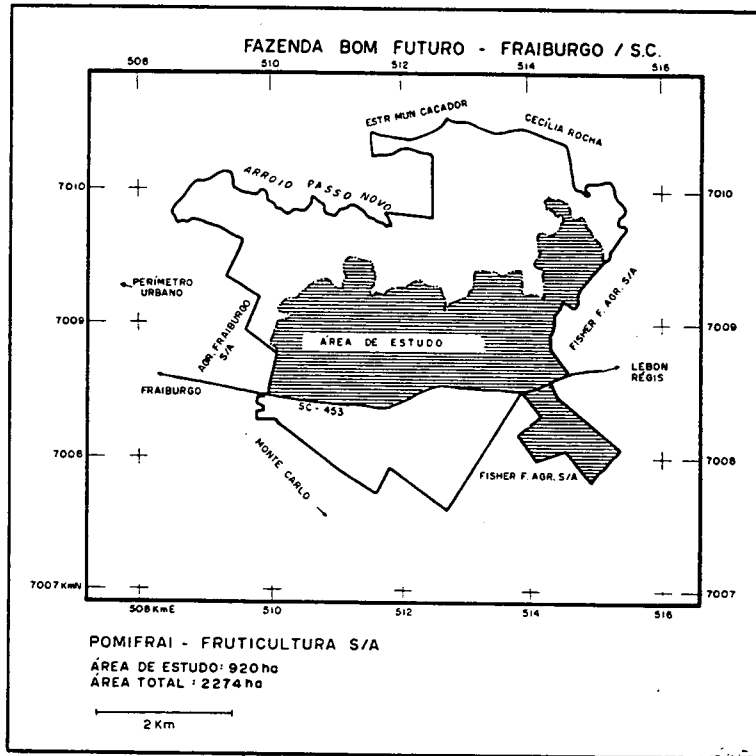


FIGURA 5.3 - Contorno da Fazenda Bom Futuro contendo a área de estudo.

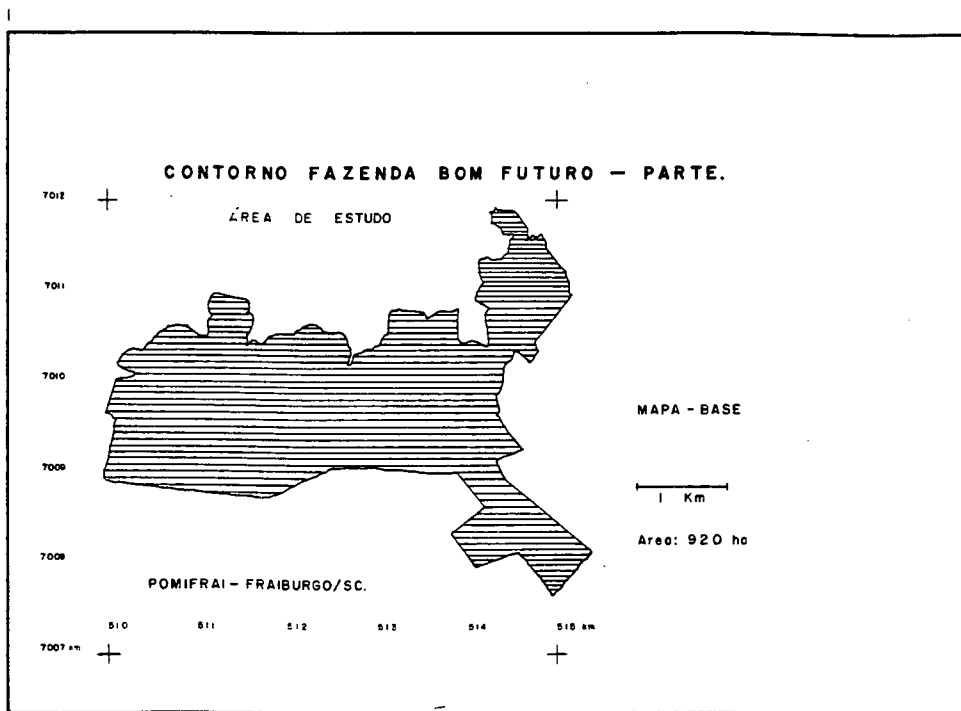


FIGURA 5.4 - Contorno da área de estudo ==> Mapa-Base.

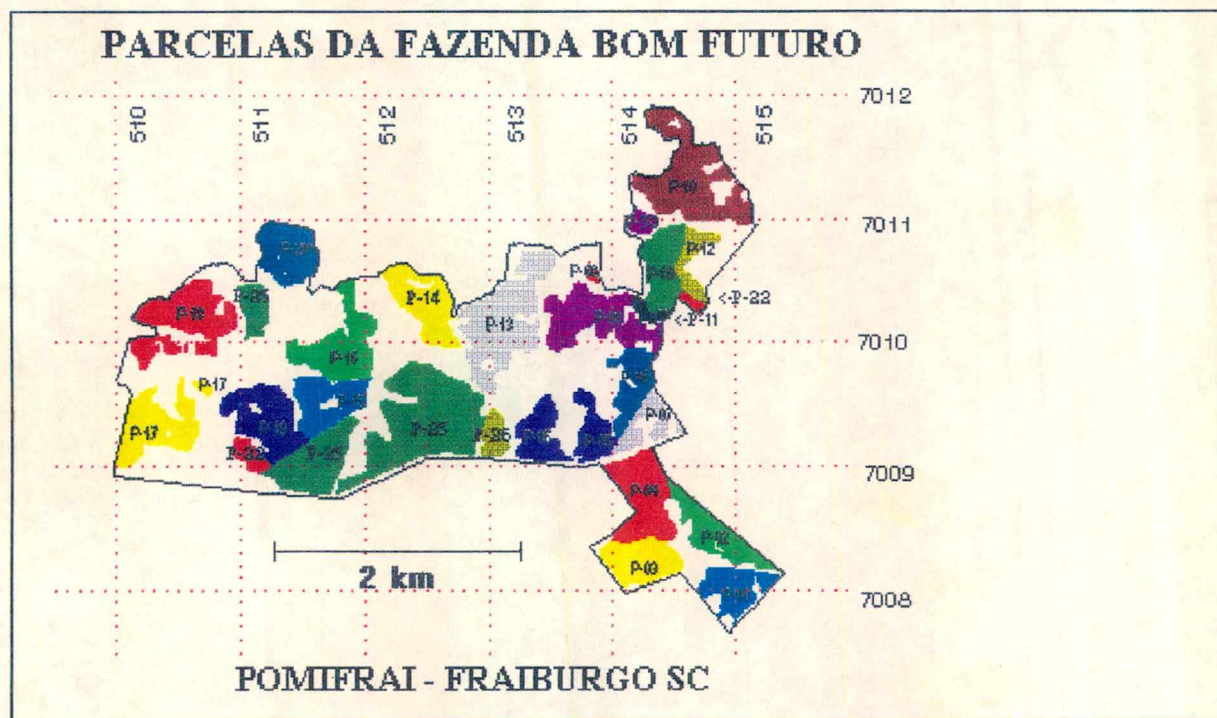


FIGURA 5.5 - Mapa contendo as 25 parcelas (pomares) cultivadas com fruticultura da área de Fraiburgo/SC.

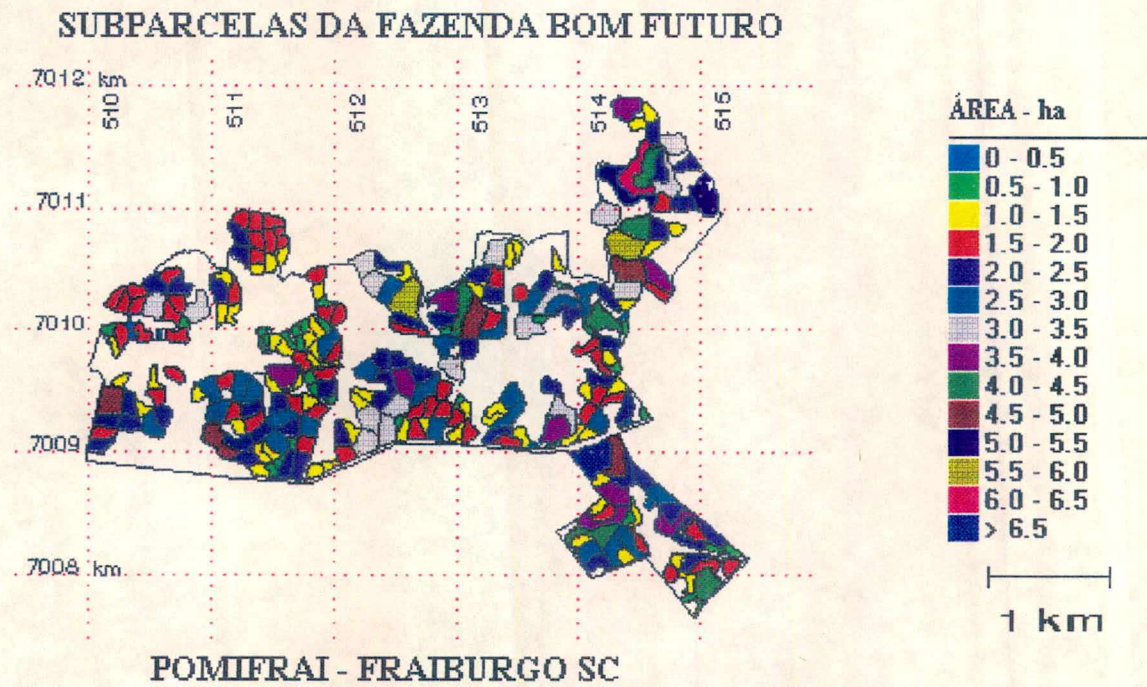


FIGURA 5.6 - Mapa contendo as 276 subparcelas (quadrantes) cultivadas com fruticultura da área de estudo - Fraiburgo/SC.

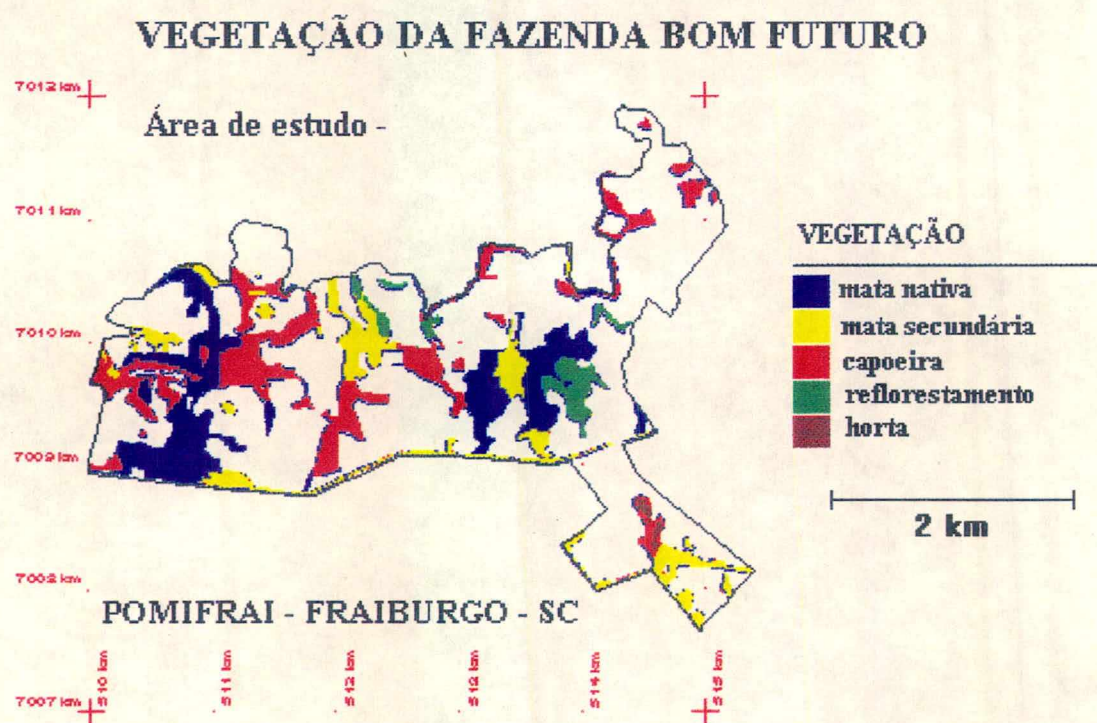


FIGURA 5.7 - Mapa de vegetação, exceto fruticultura, da área de estudo - Fraiburgo/SC.

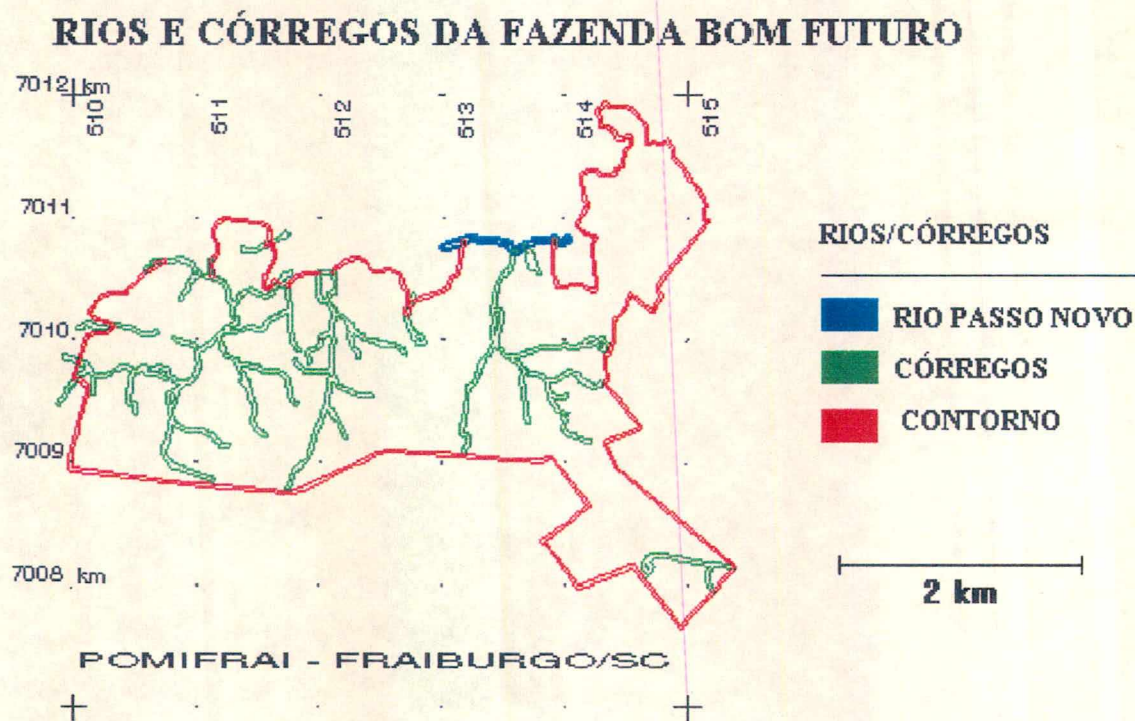


FIGURA 5.8 - Mapa de drenagem - rios e córregos - da área de estudo/ Fraiburgo-SC.

CONSTRUÇÕES/AÇUDES DA FAZENDA BOM FUTURO

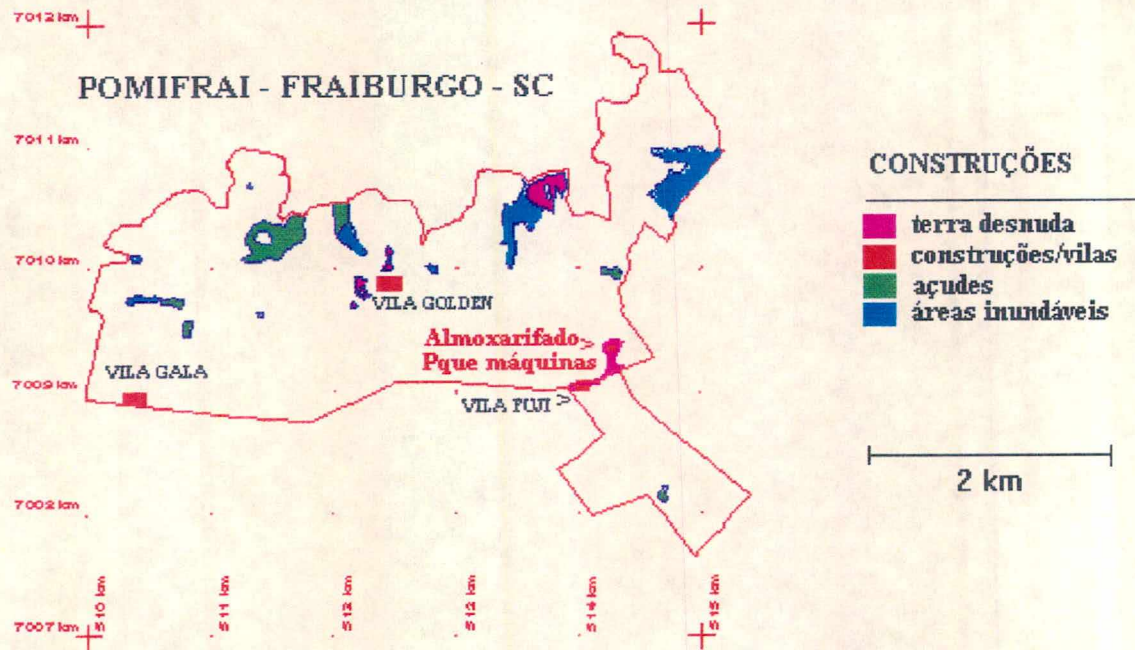


FIGURA 5.9 - Mapa contendo construções, açudes, áreas inundáveis da área de estudo. Fraiburgo/SC.

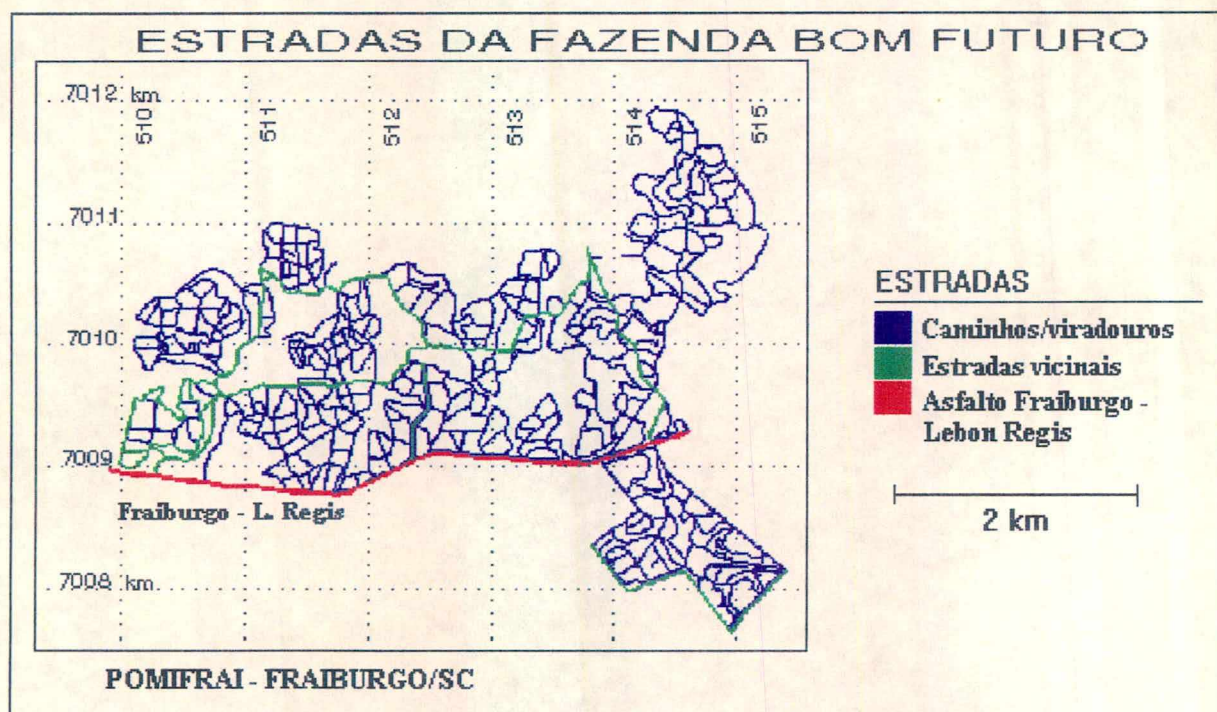


FIGURA 5.11 - Mapa viário da área de estudo - Fraiburgo/SC.

A partir destes mapas iniciais (básicos), além de arquivo de pontos contendo cotas altimétricas importadas do sistema de restituição digital (15.258 cotas), gerou-se uma série de outros por meio das funções de modelagem existentes no GIS-SPANS. Utilizaram-se, para tanto, informações alfanuméricas existentes sobre a área de estudo.

As FIGURAS 5.12 até 5.19 apresentam alguns mapas obtidos desta forma, tais como:

- * Altimetria da área de estudo com curvas de 10/10m.;
- * Classes de declividade da área de estudo;
- * Proporção de cultivares de maçã existentes por parcela e subparcela. Estes mapas basearam-se nos dados alfanuméricos existentes da Fazenda Bom Futuro (número de plantas totais) os quais foram georrefenciados ao nível de parcela e subparcela. Tiveram como objetivo a comparação com os resultados classificados pelas imagens do CASI. No entanto, tais dados contemplavam plantas de vigor e idades variadas, cuja refletividade eletromagnética diferiu grandemente, não proporcionando resultados comparativos esperados;
- * Classes de áreas cultivadas de maçã - FUJI- em nível de parcelas;
- * Idade/Ano de plantio dos pomares por parcela da área de estudo;
- * Produção da cultivar Fuji por parcela - Safra 92/93;
- * Número de plantas da cultivar Fuji por parcela.

Além da geração destes diversos temas em forma de mapas, modelou-se uma série de sobreposições de temas, como a criação de mapas com classes de declividades com variações nos percentuais entre classes; mapas altimétricos com alterações das distâncias entre curvas de nível; modelagens diversas a partir de tabelas e matrizes; modelos tridimensionais, com recuperação por "Slides" (apenas para visualização na tela).

De posse destes mapas existentes no GIS/SPANS, procedeu-se a uma série variada de análises de áreas, cruzamentos de mapas com temas diversos, gerando tabelas com os resultados obtidos.

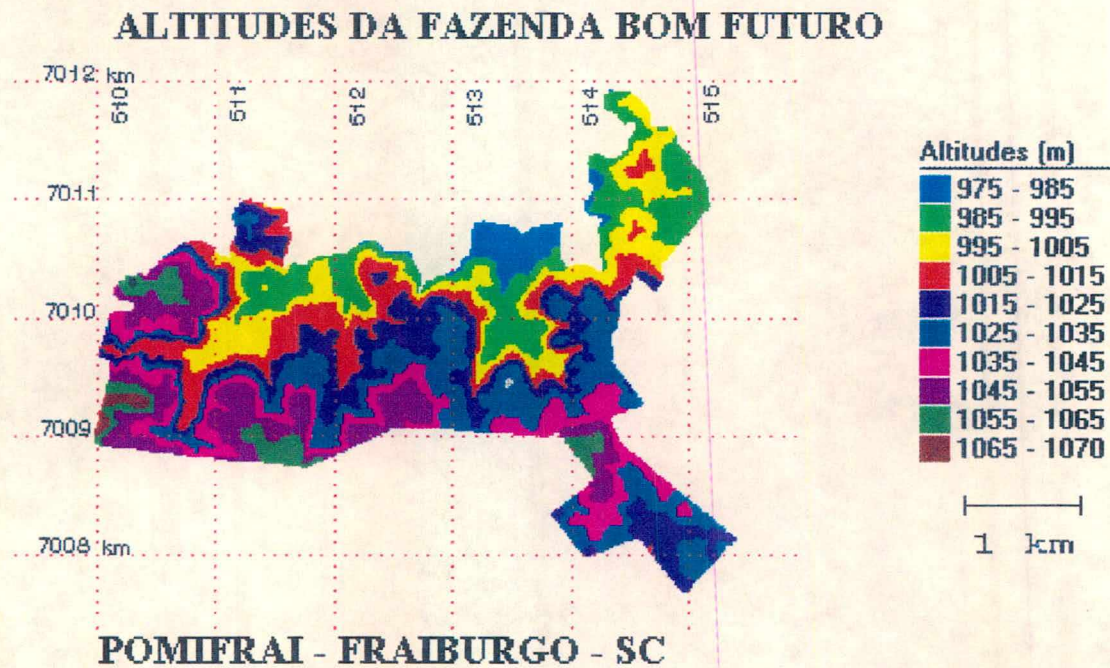


FIGURA 5.12 - Mapa altimétrico da área de estudo com curvas de 10/10m. - Fraiburgo/SC.

CLASSES DE DECLIVIDADE - FAZ. BOM FUTURO.

Previsão agrícola

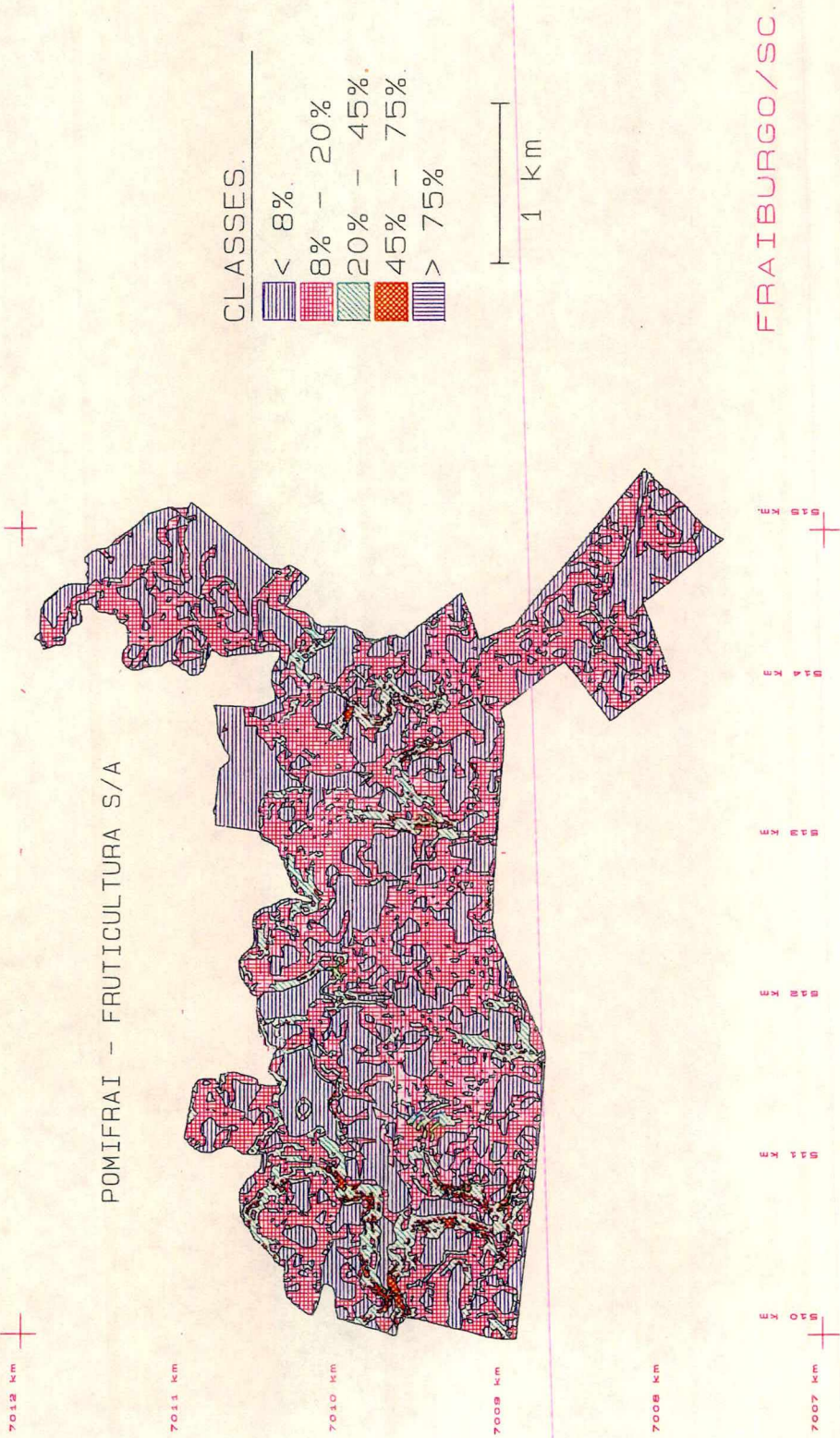


FIGURA 5.13 - Classes de declividade da área de estudo - Fraiburgo/SC.

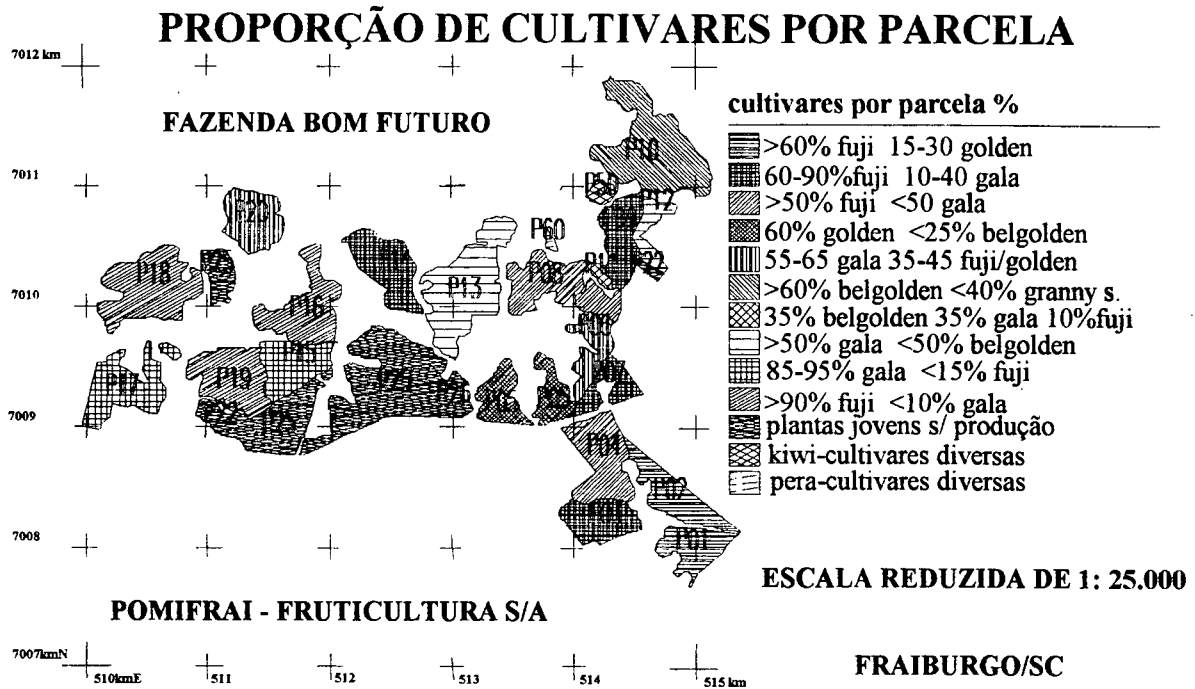


FIGURA 5.14 - Proporção de cultivares de maçã por parcela segundo o número de plantas. Área de estudo - Fraiburgo/SC.

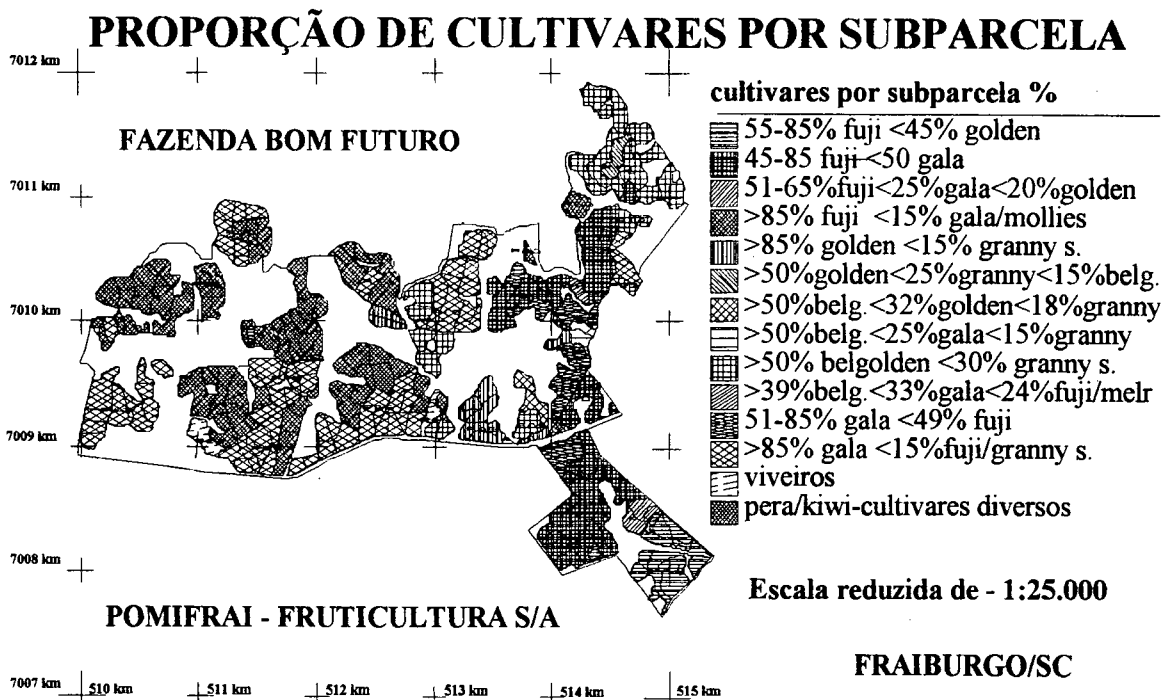


FIGURA 5.15 - Proporção de cultivares de maçã por subparcela segundo o número de plantas. Área de estudo - Fraiburgo/SC.

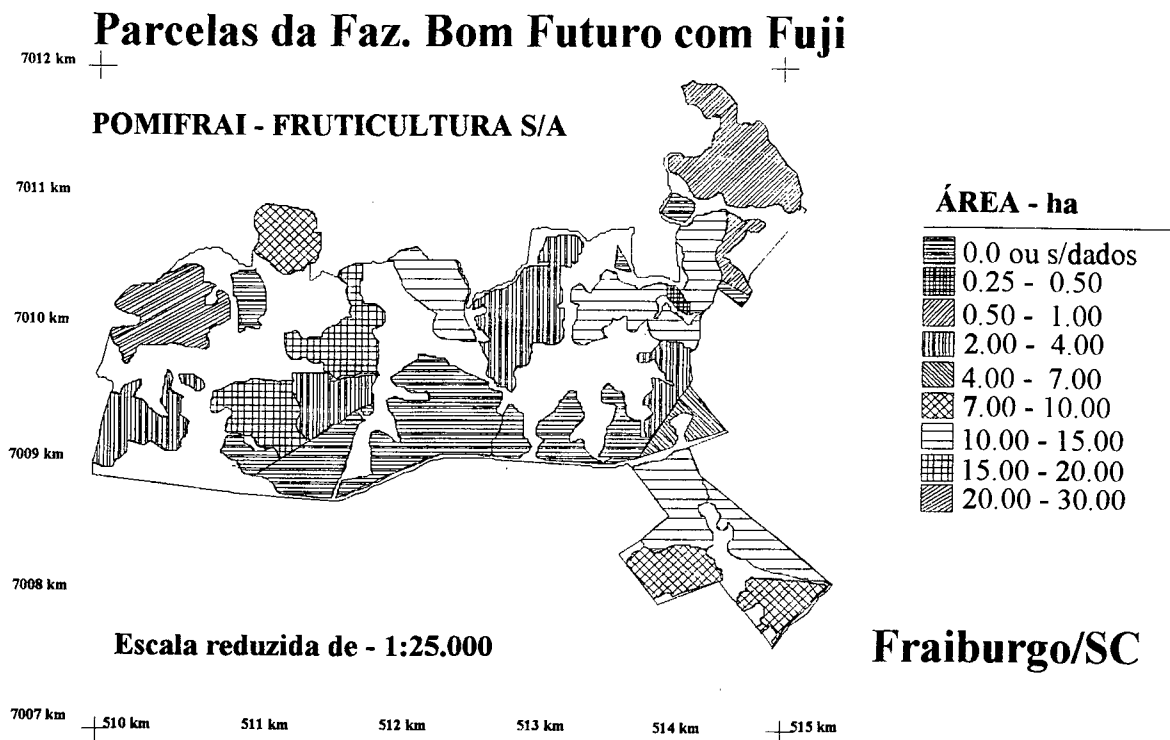


FIGURA 5.16 - Classes de áreas cultivadas por parcela com maçã FUJI - Área de estudo. Fraiburgo/SC.

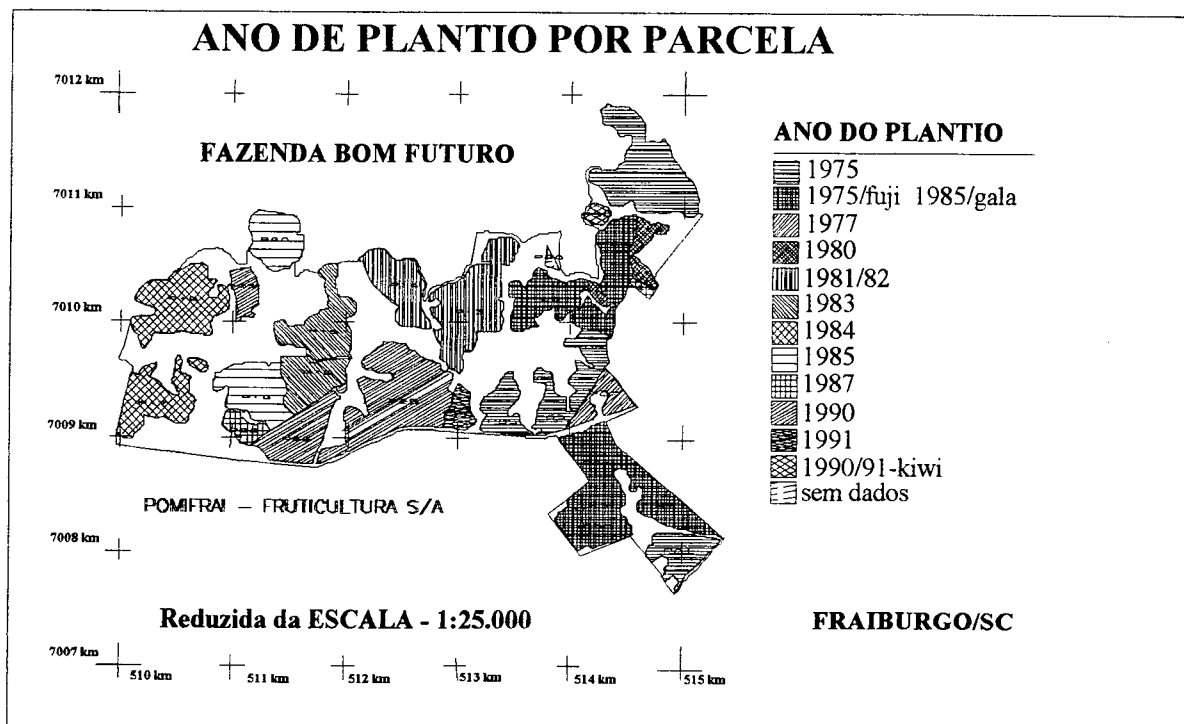


FIGURA 5.17 - Idade/ano de plantio dos pomares por parcela da área de estudo - Fraiburgo/SC.

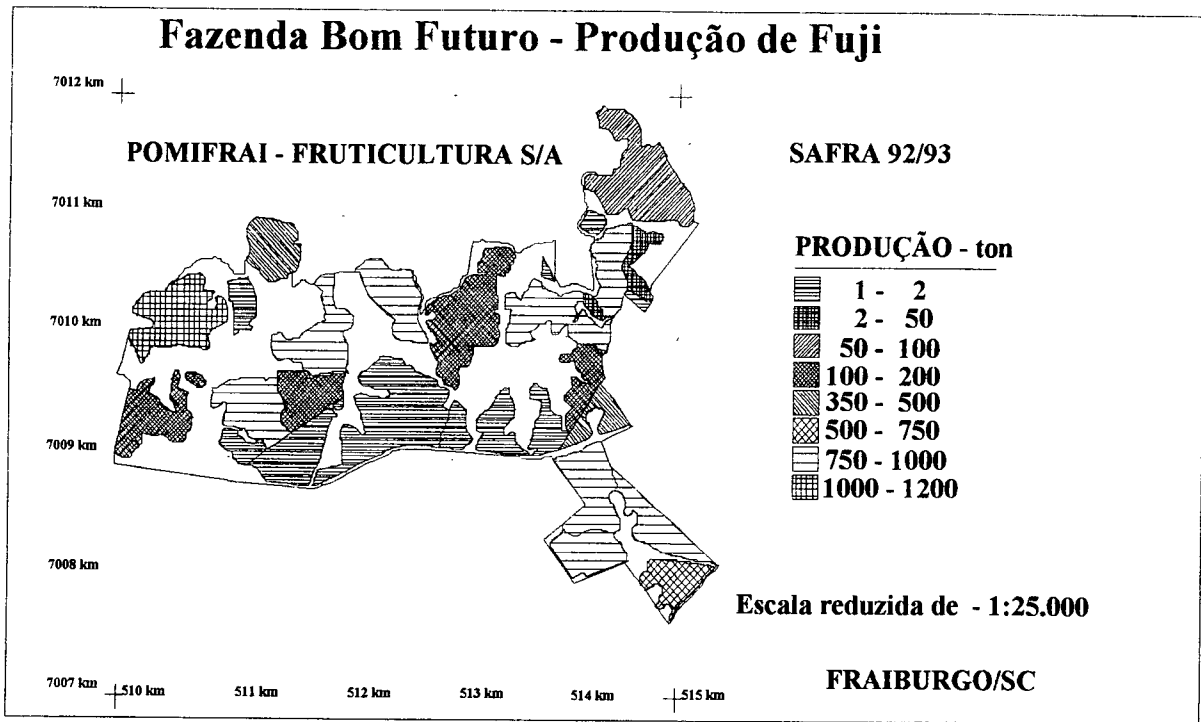


FIGURA 5.18 - Produção da cultivar Fuji por parcela - Safra 92/93.

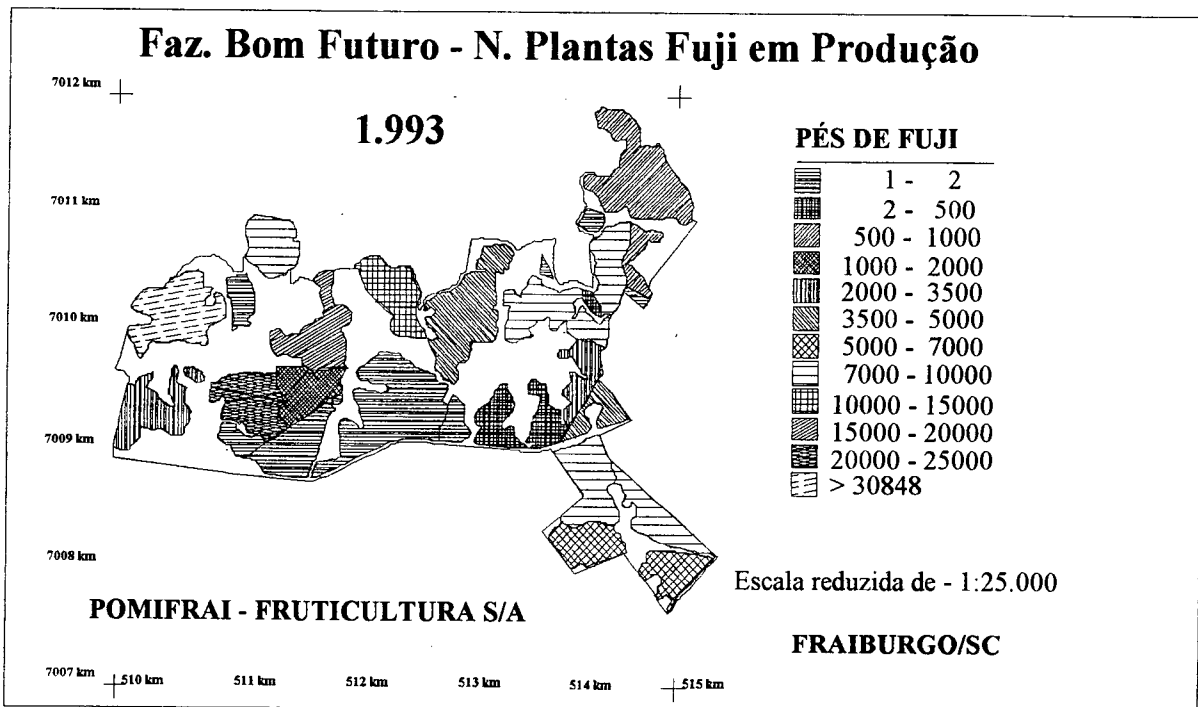


FIGURA 5.19 - Número de plantas da cultivar Fuji em produção por parcela - 1993.

A TABELA 5.17, apresenta a área calculada para a Fazenda Bom Futuro e para a Área de estudo. As TABELAS 5.18 e 5.19, apresentam as áreas ocupadas por cada parcela (útil e total - incluindo os caminhos) e subparcelas (quadras), num total de 25 e 276, respectivamente. Estas duas tabelas são básicas, pois todas as referências dos demais temas estão a elas relacionadas (unidades físicas ==> distribuição fundiária).

TABELA 5.17 - Área da Fazenda Bom Futuro e da área de estudo, determinadas pelo Gis/Spans.

ANÁLISE SIMPLES DE MAPA

Mapa : confazr -

Window : cf - Contorno da Fazenda Bom Futuro

Classe	Legenda	Área % (%)	Acum. % área	Área (km ²) (km ²)
Faz. Bom Futuro		100.00	100.00	22.7708
Total de 1 classes		100.00		22.7708

ANÁLISE SIMPLES DE MAPA

Mapa : contorn - contorn

Window : aa - Contorno da Área de Estudo

Classe	Legenda	Área % (%)	Acum % Área	Área (km ²) (km ²)
Área de Estudo		100.00	100.00	9.19920
Total de 1 classe		100.00		9.19920

TABELA 5.18 - Parcelas da Fazenda Bom Futuro, área de estudo, com suas respectivas áreas ocupadas e calculadas pelo GIS/SPANS.

ANALISE SIMPLES DE MAPA

Mapa : parcorr - Parcelas da Fazenda Bom Futuro

Window : aa - contorno

Classe	Legenda	Área % (%)	Cumm % Área	Área Total (km ²)	Área Útil (km ²)
1	PARCELA/POMAR P-01	2.77	2.77	0.15495	0.14127
2	" P-02	3.47	6.24	0.19403	0.18271
3	" P-03	3.34	9.58	0.18704	0.17795
4	" P-04	4.95	14.54	0.27705	0.26030
5	" P-05	4.49	19.02	0.25096	0.23164
6	" P-06	2.66	21.68	0.14887	0.13595
7	" P-07	1.82	23.50	0.10180	0.09428
8	" P-08	5.17	28.67	0.28903	0.26305
9	" P-09	3.48	32.15	0.19458	0.18555
10	" P-10	7.90	40.05	0.44199	0.41.847
11	" P-11	0.38	40.43	0.02111	0.01980
12	" P-12	1.57	41.99	0.08762	0.08210
13	" P-13	7.61	49.60	0.42543	0.40213
14	" P-14	4.01	53.61	0.22422	0.21301
15	" P-15	3.46	57.07	0.19369	0.18727
16	" P-16	4.85	61.92	0.27110	0.24470
17	" P-17	4.78	66.70	0.26735	0.25387
18	" P-18	5.91	72.60	0.33033	0.30580
19	" P-19	4.16	76.77	0.23287	0.21624
20	" P-20	3.61	80.37	0.20176	0.21624
22	" P-22/PARTE	1.50	81.88	0.08413	0.08279
25	" P-25/PARTE	16.17	98.04	0.90424	0.85225
26	" P-26/PARTE	1.18	99.22	0.06575	0.06110
50	" P-50/KIWI	0.59	99.81	0.03310	0.03031
60	" P-60/PERA	0.19	100.00	0.01061	0.00980
25 classes		100%		5.59361 ou 559.36ha.	5.24188 ou 524.19ha

TABELA 5.19 - Subparcelas da Fazenda Bom Futuro, área de estudo, com suas respectivas áreas ocupadas por pomares, calculadas pelo Gis/Spans.

Parc./ subp.	Ano plantio	Porta Enxêrto	No. Plan.	m ² / Plan.	Área Tot.(1)	Área Útil(2)	Área Esp(3)	Área CASI(4)	Cias. CASI	Verdade Terrestre	Acertos
P-01/1	1975	EM-07	838	14,92	1,509	1,44	1,25				
P-01/2	1975	EM-07	715	14,97	1,305	1,185	1,07				
P-01/3	1975	EM-07	262	14,89	0,51	0,484	0,39				
P-01/4	1975	EM-07	470	14,89	0,732	0,626	0,7				
P-01/5	1975	EM-07	2612	15,01	4,19	4,024	3,92				
P-01/6	1975	EM-07	979	14,91	1,766	1,614	1,46				
P-01/7	1975	EM-07	1305	14,94	2,308	2,145	1,95				
P-01/8	1975	EM-07	742	14,96	1,187	1,094	1,11				
P-01/9	1975	EM-07	1030	14,95	1,662	1,515	1,54	1,237	4, 1	1, 4	sim
P-02/1	75/fuji-85/gala	EM-07	1280	14,84	2,151	2,003	1,9	1,547	1, 2,	1, 2	sim
P-02/2	75/fuji-85/gala	EM-07	1740	14,89	2,762	2,619	2,59				
P-02/3	75/fuji-85/gala	EM-07	298	14,43	0,489	0,4371	0,43	0,371	1, 2	1, 2	sim
P-02/4	75/fuji-85/gala	EM-07	1448	14,99	2,274	2,139	2,17				
P-02/5	75/fuji-85/gala	EM-07	2033	14,90	3,65	3,427	3,03				
P-02/6	75/fuji-85/gala	EM-07	1173	14,92	2,466	2,218	1,75				
P-02/7	75/fuji-85/gala	EM-07	1052	14,92	1,826	1,719	1,57				
P-02/8	75/fuji-85/gala	EM-07	1417	14,96	2,419	2,267	2,12				
P-02/9	75/fuji-85/gala	EM-07	403	14,64	0,659	0,56	0,59				
P-02/10	75/fuji-85/gala	EM-07	640	14,84	0,995	0,882	0,95	0,489	1, 4	1, 4	sim
P-03/1	75/fuji-85/gala	EM-07	884	14,82	1,589	1,45	1,31	0,803	1, 2	1, 2	sim
P-03/2	75/fuji-85/gala	EM-07	1355	14,91	2,704	2,54	2,02	1,114	1, 2	1, 2	sim
P-03/3	75/fuji-85/gala	EM-07	752	14,89	1,225	1,173	1,12	0,899	2, 1	2, 1	sim
P-03/4	75/fuji-85/gala	EM-07	1738	14,90	2,911	2,776	2,59	2,543	1, 2	1, 2	sim
P-03/5	75/fuji-85/gala	EM-07	1191	14,95	2,281	2,146	1,78	2,144	2, 1	2, 1	sim
P-03/6	75/fuji-85/gala	EM-07	1593	14,94	2,527	2,396	2,38	2,44	2, 1	2, 1	sim
P-03/7	75/fuji-85/gala	EM-07	791	14,79	1,319	1,28	1,17	1,275	1, 2	1, 2	sim
P-03/8	75/fuji-85/gala	EM-07	2186	14,96	4,278	4,034	3,27	4,1	2, 1	2, 1	sim
P-04/1	75/fuji-85/gala	EM-07	674	14,84	1,366	1,222	1	0,6	2, 1 (11)	1, 2	sim
P-04/2	75/fuji-85/gala	EM-07	591	14,89	0,914	0,835	0,88	0,4	2, 1 (11)	2, 1	sim
P-04/3	75/fuji-85/gala	EM-07	1931	14,91	3,704	3,476	2,88	2,641	5, 2 (aden)	2, 1 (aden)	parcial
P-04/4	75/fuji-85/gala	EM-07	1043	14,86	1,638	1,527	1,55	1,472	5, 2 (aden)	2, 1 (aden)	parcial
P-04/5	75/fuji-85/gala	EM-07	638	14,89	1,259	1,156	0,95	1,165	5,,2 (aden)	1, 2 (aden)	parcial
P-04/6	75/fuji-85/gala	EM-07	2271	14,97	3,8	3,638	3,4	1,897	2, 5,1 (11)	2, 1 (aden)	parcial
P-04/7	75/fuji-85/gala	EM-07	754	14,72	1,408	1,306	1,11	0,96	2, 5, 1	2, 1 (aden)	parcial
P-04/8	75/fuji-85/gala	EM-07	1542	14,98	2,323	2,099	2,31	1,386	1, 2	1, 2	sim
P-04/9	75/fuji-85/gala	EM-07	2313	14,96	4,577	4,34	3,46	3,278	2, 1 (adens)	2, 1	sim
P-04/10	75/fuji-85/gala	EM-07	3592	17,04	6,651	6,431	6,12	6,192	2,5,1,4,3	2,1,3 (aden)	parcial
P-05/1	1975	EM-07	1255	14,98	1,49	1,381	1,88	1,161	4, 1	3, 1	sim
P-05/2	1975	EM-07	796	14,95	2,746	2,571	1,19	2,383	4,5,3,1 (ad)	3, 1	sim
P-05/3	1975	EM-07	1213	15,00	2,537	2,413	1,82	2,265	4, 5,3	3, (adens)	sim
P-05/4	1975	EM-07	1481	7,49	1,417	1,319	1,11	1,289	3,4, 5, 1	3, 1	sim
P-05/5	1975	EM-07	1416	7,49	1,045	0,956	1,06	0,824	4, 5,		3 sim
P-05/6	1975	EM-07	951	14,93	2,104	1,965	1,42	1,806	4, 5		3 sim
P-05/7	1975	EM-07	616	14,94	1,785	1,662	0,92	1,543	4, 1	3, 1	sim
P-05/8	1975	EM-07	800	14,88	1,423	1,298	1,19	1,1	1, 3, 4	3, 1	sim
P-05/9	1975	EM-07	1470	14,90	3,25	3,058	2,19	2,859	4, 5, 1, 2	4, 3, 1	sim
P-05/10	1975	EM-07	2614	15,00	3,998	3,833	3,92	3,768	3, 1, 4, 2	4, 1, 2	sim
P-05/11	1975	EM-07	729	14,81	2,201	1,895	1,08	1,667	4, 5,3,1,2	4, 3, 1	sim
P-05/12	1975	EM-07	294	14,63	0,57	0,496	0,43	0,365	4, 5, 1, 2	3, 1	sim
P-05/13	1975	EM-07	231	8,66	0,377	0,317	0,2	0,231	5, 4,2,1	1, 2, 3	sim

(Continuação da Tabela 5.19)

subp.	Ano plantio	Porta	No.	m ² /	Área	Área	Área	Área	Cias.	Verdade	Acertos
		Enxérto	Plan.	Plan.	Tot.(1)	Útil(2)	Esp(3)	CASI(4)	CASI	Terrestre	
P-06/1	1975	EM-07	1151	12,42	1,73	1,63	1,43	1,56	2, 1	2, 1	sim
P-06/2	1975	EM-07	1231	12,43	1,74	1,63	1,53	1,57	1, 2	2, 1 (adens)	sim
P-06/3	1975	EM-07	786	12,47	1,19	1,11	0,98	1,07	1, 2	1, 2(adens)	sim
P-06/4	1975	EM-07	1500	12,47	2,21	2,07	1,87	2,01	1, 2	2,1 (adens)	sim
P-06/5	1975	EM-07	530	12,45	0,89	0,81	0,66	0,68	1, 2	2, 1 (adens)	sim
P-06/6	1975	EM-07	996	12,35	1,11	1,03	1,23	1,03	1, 2	2, 1 (adens)	sim
P-06/7	1975	EM-07	1224	12,42	2,01	1,88	1,52	1,26	2, 4, 5, 1	4,2,1 (aden)	sim
P-06/8	1975	EM-07	1428	12,46	1,97	1,84	1,78	1,70	2, 1	2, 1	sim
P-06/9	1975	EM-07	1051	12,37	1,74	1,61	1,30	1,20	4, 5,2, 1	3,1,4,2 (ad)	sim
P-07/1	1977	EM07/nml 07	368	14,95	0,59	0,54	0,55	0,34	1, 2	1, 2 (adens)	sim
P-07/2	1977	EM07/nml 07	182	14,29	0,43	0,36	0,26	0,14	1, 2	1, 2 (adens)	sim
P-07/3	1977	EM07/nml 07	1702	14,98	2,48	2,34	2,55	1,04	1, 2	1, 2	sim
P-07/4	1977	EM07/nml 07	778	14,91	1,56	1,47	1,16	1,20	1, 2	1, 2	sim
P-07/5	1977	EM07/nml 07	892	14,91	1,41	1,31	1,33	0,97	1, 2	1, 2	sim
P-07/6	1977	EM07/nml 07	1447	15,00	2,41	2,31	2,17	2,23	1, 2	1, 2	sim
P-07/7	1977	EM07/nml 07	706	14,87	1,22	1,10	1,05	0,90	1, 2	1, 2	sim
P-08/1	75/fuji-85/gala	nml 07	1421	14,92	2,89	2,71	2,12	1,75	1, 2	2, 1 (adens)	sim
P-08/2	75/fuji-85/gala	nml 07	1380	14,93	2,26	2,11	2,06	2,15	1, 2	2, 1 (adens)	sim
P-08/3	75/fuji-85/gala	nml 07	1500	14,93	2,81	2,64	2,24	2,64	1, 2	2, 1(adens)	sim
P-08/4	75/fuji-85/gala	nml 07	1780	14,94	3,14	2,92	2,66	2,67	1, 2	2, 1 (adens)	sim
P-08/5	75/fuji-85/gala	nml 07	215	13,95	0,59	0,50	0,30	0,23	5, 4, 2, 1	1, 2	parcial
P-08/6	75/fuji-85/gala	nml 07	1199	14,43	2,07	1,95	1,73	1,67	2, 1, 5	2, 1 (adens)	sim
P-08/7	75/fuji-85/gala	nml 07	1472	14,95	2,56	2,42	2,20	2,36	1, 2	2, 1 (adens)	sim
P-08/8	75/fuji-85/gala	nml 07	886	14,90	1,56	1,47	1,32	1,22	1, 2	2, 1 (adens)	sim
P-08/9	75/fuji-85/gala	nml 07	1938	14,91	3,30	3,15	2,89	3,05	1, 2	2, 1 (adens)	sim
P-08/10	75/fuji-85/gala	nml 07	434	14,75	0,82	0,75	0,64	0,77	2, 1	2, 1 (adens)	sim
P-08/11	75/fuji-85/gala	nml 07	270	14,44	0,75	0,64	0,39	0,58	1, 2	2, 1 (adens)	sim
P-08/12	75/fuji-85/gala	nml 07	2426	14,96	4,26	4,08	3,63	3,15	1, 2	2, 1 (adens)	sim
P-08/13	75/fuji-85/gala	nml 07	201	14,43	0,55	0,49	0,29	0,28	1, 2	2, 1 (adens)	sim
P-08/14	75/fuji-85/gala	nml 07	185	14,05	0,48	0,48	0,26	0,20	1, 2	2, 1 (adens)	sim
P-09/1	75/fuji-85/gala	nml 07	521	14,78	1,10	1,00	0,77	0,32	2, 1	1, 2	sim
P-09/2	75/fuji-85/gala	nml 07	2214	15,00	3,37	3,21	3,32	1,70	2, 1	1, 2	sim
P-09/3	75/fuji-85/gala	nml 07	3176	14,89	4,98	4,65	4,73	3,41	2, 1	1, 2	sim
P-09/4	75/fuji-85/gala	nml 07	3378	14,98	5,89	5,70	5,06	4,66	2, 1	1, 2	sim
P-09/5	75/fuji-85/gala	nml 07	2287	14,91	4,16	3,99	3,41	2,41	2, 1	1, 2	sim
P-10/1	1975	nml 07	3297	14,98	5,40	5,08	4,94	4,17	3, 2, 1	3, 1	parcial
P-10/2	1975	nml 07	3087	15,00	6,06	5,71	4,63	3,46	3, 1	3, 1	sim
P-10/3	1975	nml 07	2386	14,46	4,05	3,85	3,45	2,49	3, 1	3, 1	sim
P-10/4	1975	nml 07	1098	14,66	1,87	1,75	1,61	1,20	1, 3, 2	1, 2, 3	sim
P-10/5	1975	nml 07	1518	14,95	2,19	2,04	2,27	1,40	3, 1	3, 1	sim
P-10/6	1975	nml 07	3049	14,99	3,44	3,20	4,57	2,07	3, 1	3, 1	sim
P-10/7	1975	nml 07	1178	14,94	2,39	2,26	1,76	1,89	3, 1, 4	3, 1	sim
P-10/8	1975	nml 07	2084	14,92	5,06	4,88	3,11	4,19	3, 4	3, 1	sim
P-10/9	1975	nml 07	1309	14,97	2,09	1,95	1,96	1,24	3, 4, 1	3, 1	sim
P-10/10	1975	nml 07	1881	15,05	3,09	2,96	2,83	2,00	1, 3,	3, 1	sim
P-10/11	1975	nml 07	1264	14,95	2,20	2,08	1,89	0,90	1, 3	1, 3	sim
P-10/12	1975	nml 07	828	15,58	1,41	1,31	1,29	0,47	1, 3	3, 1 (P.frac)	sim
P-10/13	1975	nml 07	541	14,79	1,26	1,10	0,80	0,51	1, 3, 4	3,1 (P.frac)	sim
P-10/14	1975	nml 07	2080	14,95	3,78	3,69	3,11	1,19	1, 3	3,1 (P.frac)	sim

(Continuação da Tabela 5.19)

Parc./ subp.	Ano plantio	Porta	No.	m ² / Plan.	Área	Área	Área	Área	Clas.	Verdade	Acertos
		Enxérto	Plan.	Plan.	Tot.(1)	Útil(2)	Esp(3)	CASI(4)	CASI	Terrestre	
P-11/1	1980	EM-07	2884	5,55	2,11	1,98	1,60	1,18	2, 1, 4,	2, 3, 1	sim
P-12/1	1980	EM-07	7327	4,98	3,70	3,52	3,65	3,16	1, 2,	2, 1 (espaç)	não
P-12/2	1980	EM-07	2716	4,97	1,49	1,38	1,35	1,19	1, 2	2, 1 (espaç)	não
P-12/3	1980	EM-07	4268	4,99	2,35	2,22	2,13	1,78	1, 2, 3	3,1 (espaç)	não
P-12/4	1980	EM-07	2156	4,96	1,17	1,09	1,07	0,72	1,2,3,4	3,1 (espaç)	não
P-13/1	1981	mm 106/EM07	2651	6,71	2,10	1,99	1,78	1,96	2, 1	2, 1	sim
P-13/2	1981	mm 106/EM07	2499	6,72	1,87	1,75	1,68	1,75	1, 2	2,1 (espaç)	não
P-13/3	1981	mm 106/EM07	3437	6,72	2,41	2,28	2,31	2,34	1, 2	2, 1	não
P-13/4	1981	mm 106/EM07	1428	6,65	1,28	1,17	0,95	1,14	1, 2	2, 1	não
P-13/5	1981	mm 106/EM07	3429	6,74	2,67	2,49	2,31	2,33	2, 1	2, 1	sim
P-13/6	1981	mm 106/EM07	2457	6,72	1,82	1,71	1,65	1,68	1, 2	2, 1	não
P-13/7	1981	mm 106/EM07	6688	6,74	4,99	4,80	4,51	4,41	2, 4, 1	2, 1	parcial
P-13/8	1981	mm 106/EM07	5422	6,73	4,22	4,00	3,65	3,73	2, 4, 1	2, 1	parcial
P-13/9	1981	mm 106/EM07	4883	6,72	3,93	3,75	3,28	3,50	4, 2	3, 1	parcial
P-13/10	1981	MM-106	2689	6,73	2,23	2,10	1,81	2,08	4, 2, 1	3, 1	parcial
P-13/11	1981	mm 106/EM07	1172	6,66	0,70	0,64	0,78	0,64	2, 4, 1	2, 1	parcial
P-13/12	1981	mm 106	3445	6,73	2,66	2,52	2,32	2,36	4, 3, 1, 5	3, 1	sim
P-13/13	1981	mm 106	3253	6,70	3,25	3,01	2,18	2,59	4, 3, 5, 2, 1	3, 1	parcial
P-13/14	1981	mm 106	3697	6,74	2,45	2,33	2,49	2,06	4, 3, 5, 1	3, 1	parcial
P-13/15	1982	mm 106/EM07	4596	6,72	3,36	3,20	3,09	2,57	5, 2, 4,	2, 1	parcial
P-13/16	1982	mm 106/EM07	1985	4,99	1,34	1,22	0,99	1,17	2, 5	2, 1	parcial
P-13/17	1982	mm 106/EM07	2477	4,97	1,37	1,25	1,23	0,91	5, 4, 2	2, 1	parcial
P-14/1	1981	mm 106	1996	7,46	1,97	1,81	1,49	1,79	5, 3, 1	2, 1	não
P-14/2	1981	mm 106	2513	7,44	2,09	1,94	1,87	1,61	5, 3	3, 1	não
P-14/3	1981	EM07/mm 106	4946	9,99	5,94	5,72	4,94	4,90	5, 1	1, 2	não
P-14/4	1982	mm 106/EM07	3717	6,73	2,87	2,73	2,50	2,40	5, 2	2, 1	não
P-14/5	1982	EM07/mm 106	2663	9,99	3,08	2,94	2,66	2,46	5, 2	1, 2	não
P-14/6	1982	EM07/mm 106	2808	10,26	3,15	3,00	2,88	2,46	5, 2	1, 2	não
P-14/7	1982	EM07/mm 106	1892	9,99	2,06	1,92	1,89	1,21	5, 2	1, 2	não
P-14/8	1982	EM07/mm 106	1077	9,94	1,37	1,25	1,07	0,85	5, 2	1, 2	não
P-15/1	1983	mm 106/EM07	1411	6,66	1,21	1,11	0,94	1,02	5, 1	2, 1	não
P-15/2	1983	mm 106/EM07	952	6,62	1,00	0,89	0,63	0,75	2, 5, 1	2, 1	parcial
P-15/3	1983	mm 106/EM07	2150	6,70	1,98	1,86	1,44	0,92	2, 5	2, 1	parcial
P-15/4	1983	mm 106/EM07	2378	6,69	2,11	2,00	1,59	1,29	2, 5	2, 1	sim
P-15/5	1983	mm 106/EM07	2707	6,76	1,34	1,24	1,83	0,88	5, 2	2, 1	não
P-15/6	1983	mm 106/EM07	1060	6,79	0,91	0,84	0,72	0,48	2, 5	2, 1	parcial
P-15/7	1983	mm 106/EM07	2901	6,72	3,94	3,80	1,95	3,43	5, 2, 1	2, 1	parcial
P-15/8	1983	mm 106/EM07	1345	6,77	2,09	1,97	0,91	1,57	5, 1	2, 1	não
P-15/9	1983	mm 106/EM07	1744	6,71	0,93	0,84	1,17	0,71	2, 5	2, 1	parcial
P-15/10	1983	mm 106/EM07	2284	6,74	1,92	1,79	1,54	1,49	2, 5, 1	2, 1	parcial
P-15/11	1983	EM07/mm 106	1821	9,99	2,56	2,39	1,82	2,03	1, 5, 2	1, 2	parcial
P-16/1	1983	EM07/mm 106	915	9,95	1,38	1,22	0,91	0,30	5, 2	1, 2	não
P-16/2	1983	EM07/mm 106	1295	9,96	1,58	1,45	1,29	1,16	5, 2	1, 2	não
P-16/3	1983	EM07/mm 106	1957	9,96	2,64	2,46	1,95	1,28	5, 2	1, 2	não
P-16/4	1983	EM07/mm 106	1164	9,97	1,42	1,30	1,16	0,25	5, 2	1, 2	não
P-16/5	1983	EM07/mm 106	501	9,78	0,99	0,91	0,49	0,25	5, 2	1, 2	não
P-16/6	1983	EM07/mm 106	1469	9,94	1,73	1,62	1,46	0,75	5, 2	1, 2	não
P-16/7	1983	EM07/mm 106	1429	9,94	1,61	1,50	1,42	0,79	5, 2	1, 2	não
P-16/8	1983	EM07/mm 106	577	9,88	0,74	0,66	0,57	0,45	5, 2	1, 2	não
P-16/9	1983	EM07/mm 106	932	9,87	1,21	1,12	0,92	0,90	5, 2	1, 2	não
P-16/10	1983	EM07/mm 106	1606	9,96	1,95	1,84	1,60	1,36	5, 2	1, 2	não

(Continuação da Tabela 5.19)

Parc./ subp.	Ano plantio	Porta Enxérto	No. Plan.	nº2/ Plan.	Área Tot.(1)	Área Útil(2)	Área Esp(3)	Área CASI(4)	Clas. CASI	Verdade Terrestre	Acertos
P-16/11	1983	EM07/nml06	632	9,81	0,80	0,70	0,62	0,23	5	1, 2	não
P-16/12	1983	EM07/nml06	437	9,84	0,71	0,64	0,43	0,43	5, 1	1, 2	não
P-16/13	1983	EM07/nml06	727	9,90	0,92	0,84	0,72	0,52	5, 1	1, 2	não
P-16/14	1983	EM07/nml06	446	9,87	1,03	0,93	0,44	0,41	5	1, 2	não
P-16/15	1983	EM07/nml06	1411	9,92	1,69	1,58	1,40	1,12	5, 1	1, 2	não
P-16/16	1983	EM07/nml06	1227	9,94	1,19	1,07	1,22	0,55	5, 2	1, 2	não
P-16/17	1983	EM07/nml06	742	9,84	0,91	0,82	0,73	0,41	5, 1	1, 2	não
P-16/18	1983	EM07/nml06	1214	9,88	1,35	1,25	1,20	0,69	5, 1	1, 2	não
P-16/19	1983	EM07/nml06	802	9,98	1,10	1,01	0,80	0,55	1, 5	1, 2	parcial
P-16/20	1983	nml06/EM07	1250	6,72	0,64	0,56	0,84	0,32	1, 5	1, 2	parcial
P-16/21	1983	EM07/nml06	401	9,98	0,55	0,49	0,40	0,35	5, 1	1, 2	não
P-16/22	1983	EM07/nml06	1495	9,97	0,73	0,51	1,49	0,04	1, 5	1, 2	parcial
P-17/1	1984	nml06/EM07	2443	6,71	2,12	2,00	1,64	1,07	5, 1	2, 1	parcial
P-17/2	1984	nml06/EM07	2495	6,69	1,99	1,87	1,67	1,41	5, 1	2, 1	parcial
P-17/3	1984	nml06/EM07	2330	6,74	2,12	1,99	1,57	1,78	5, 1	2, 1	parcial
P-17/4	1984	nml06/EM07	5644	6,73	4,64	4,47	3,80	4,06	5, 1	2, 1	parcial
P-17/5	1984	nml06/EM07	1265	14,62	1,07	0,98	1,85	0,64	5, 1	2, 1	parcial
P-17/6	1984	nml06/EM07	3064	6,69	2,30	2,17	2,05	2,14	1, 5	2, 1	não
P-17/7	1984	nml06/EM07	1417	6,70	1,28	1,17	0,95	0,96	1, 5	2, 1	não
P-17/8	1984	nml06/EM07	2621	6,71	2,06	1,94	1,76	1,85	5, 1	2, 1	não
P-17/9	1984	nml06/EM07	3372	6,70	2,66	2,51	2,26	2,49	5, 1	2, 1	parcial
P-17/10	1984	nml06/EM07	2434	6,70	2,09	1,99	1,63	1,90	5, 1	2, 1	parcial
P-17/11	1984	nml06/EM07	2012	6,71	1,64	1,54	1,35	1,43	1, 5	2, 1	não
P-17/12	1984	nml06/EM07	1677	6,68	1,34	1,22	1,12	0,66	1, 5	2, 1	não
P-17/13	1984	nml06/EM07	1282	6,63	1,64	1,54	0,85	1,01	1, 5	2, 1	não
P-18/1	1984	EM07/nml06	2479	6,70	1,97	1,84	1,66	0,90	1, 5	1, 2	sim
P-18/2	1984	EM07/nml06	365	6,58	0,31	0,26	0,24	0,06	1	1, 2	sim
P-18/3	1984	EM07/nml06	1821	6,70	1,63	1,51	1,22	0,46	1	1, 2	sim
P-18/4	1984	EM07/nml06	299	6,35	0,37	0,32	0,19	0,17	1	1, 2	sim
P-18/5	1984	EM07/nml06	1546	6,66	0,85	0,72	1,03	0,74	1, 5	1, 2	sim
P-18/6	1984	nml06/EM07	769	6,63	1,05	0,97	0,51	0,78	1, 5	2, 1 (P. frac)	não
P-18/7	1984	EM07/nml06	541	6,65	0,48	0,42	0,36	0,16	1	1, 2	sim
P-18/8	1984	nml06/EM07	2258	6,73	1,86	1,73	1,52	1,60	1, 5	2, 1 (P. frac)	não
P-18/9	1984	EM07/nml06	1919	6,72	1,56	1,45	1,29	1,16	1, 5	1, 2 (P. méd)	sim
P-18/10	1984	EM07/nml06	1811	6,68	1,56	1,45	1,21	0,79	1, 5	1, 2 (P. frac)	parcial
P-18/11	1984	EM07/nml06	1879	6,71	1,60	1,49	1,26	1,44	1, 5	1, 2 (P. méd)	sim
P-18/12	1984	EM07/nml06	1959	6,69	1,75	1,64	1,31	1,46	1, 5	1, 2 (P. méd)	sim
P-18/13	1984	EM07/nml06	2151	6,69	2,41	2,30	1,44	1,60	1, 5	1, 2	sim
P-18/14	1984	EM07/nml06	3697	6,74	3,26	3,11	2,49	2,72	1, 5	1, 2	parcial
P-18/15	1984	EM07/nml06	2710	6,72	2,33	2,20	1,82	1,84	1, 5	1, 2	parcial
P-18/16	1984	EM07/nml06	2557	6,73	1,87	1,75	1,72	1,57	5, 1	1, 2 (P. frac)	não
P-18/17	1984	EM07/nml06	2118	6,70	1,93	1,79	1,42	1,62	1, 5	1, 2 (P. frac)	parcial
P-18/18	1984	EM07/nml06	2144	6,72	1,81	1,74	1,44	1,43	1, 5	1, 2 (P. méd)	sim
P-18/19	1984	EM07/nml06	4324	6,73	3,43	3,20	2,91	2,61	1, 5	1, 2 (P. méd)	sim
P-18/20	1984	EM07/nml06	772	6,61	0,75	0,68	0,51	0,48	1, 5	1, 2 (P. méd)	sim
P-19/1	1985	EM07/nml06	2476	7,47	2,00	1,88	1,85	1,75	5, 1	1, 2 (P. frac)	não
P-19/2	1985	EM07/nml06	2169	7,47	1,94	1,82	1,62	1,60	5, 1	1, 2 (P. méd)	não
P-19/3	1985	EM07/nml06	2374	7,46	2,04	1,92	1,77	1,72	5, 1	1, 2 (P. méd)	não
P-19/4	1985	EM07/nml06	2849	7,44	2,52	2,38	2,12	1,88	5, 1	1, 2 (P. frac)	não
P-19/5	1985	EM07/nml06	3267	7,47	2,76	2,62	2,44	2,39	1, 5	1, 2 (P. frac)	parcial
P-19/6	1985	EM07/nml06	2113	7,48	1,89	1,76	1,58	1,68	1	1, 2 (P. frac)	sim
P-19/7	1985	EM07/nml06	2983	7,48	2,79	2,66	2,23	2,42	1, 5	1, 2 (P. frac)	parcial
P-19/8	1985	EM07/nml06	1172	7,42	1,18	1,09	0,87	1,04	1, 5	1, 2 (P. frac)	parcial
P-19/9	1985	EM07/nml06	2652	7,47	2,61	2,47	1,98	2,44	5, 1	1, 2 (P. méd)	não
P-19/10	1985	EM07/nml06	1848	7,47	1,86	1,75	1,38	1,61	5, 1	1, 2 (P. méd)	não
P-19/11	1985	EM07/nml06	1423	7,38	1,37	1,28	1,05	1,24	5, 1	1, 2 (P. méd)	não

(Continuação da Tabela 5.19)

Parc./ subp.	Ano plantio	Porta Enxêrto	No. Plan.	m²/ Plan.	Área Tot.(1)	Área Útil(2)	Área Esp(3)	Área CASI(4)	Clas. CASI	Verdade Terrestre	Acertos
P-20/1	1985	mm106/EM07	2606	7,02	2,16	2,04	1,83	1,94	5, 1	2,1 (P.frac)	não
P-20/2	1985	mm106/EM07	2588	7,03	2,31	2,18	1,82	1,85	5, 1	2, 1 (P.méd)	não
P-20/3	1985	mm106/EM07	2466	7,06	1,79	1,68	1,74	1,25	5, 1	2, 1 (P.frac)	não
P-20/4	1985	mm106/EM07	2039	7,01	1,57	1,46	1,43	1,35	5, 1	2,1 (P.frac)	não
P-20/5	1985	EM07/mm106	2110	7,06	1,87	1,74	1,49	1,77	5, 1	1, 2 (P.méd)	não
P-20/6	1985	mm106/EM07	1462	7,05	1,52	1,40	1,03	1,34	5, 1	2,1 (P.frac)	não
P-20/7	1985	mm106/EM07	1057	7,00	1,04	0,95	0,74	0,84	1, 5	2,1 (P.frac)	não
P-20/8	1985	EM07/mm106	1687	6,99	1,41	1,30	1,18	1,15	5, 1	1, 2 (P.frac)	não
P-20/9	1985	EM07/mm106	1386	7,00	1,19	1,10	0,97	1,01	5, 2	1,2 (P.frac)	parcial
P-20/10	1985	EM07/mm106	2021	7,03	1,81	1,69	1,42	1,65	5, 2	1,2 (P.frac)	parcial
P-20/11	1985	EM07/mm106	1957	7,05	1,77	1,65	1,38	1,60	5, 1	1,2 (P.méd)	não
P-20/12	1985	mm106/EM07	2584	7,04	1,84	1,73	1,82	1,40	5,1,2	2,1 (P.frac)	não
P-22/00	1987	sem dados	1	0,00	4,52	4,48		0,48	1, 5	5 (viveiro)	parcial
P-22/24	1987	mm106	1757	6,72	1,70	1,58	1,18	0,51	2, 1	3, 1	parcial
P-22/25	1987	EM07/mm106	2381	8,99	2,32	2,23	2,14	1,98	1, 2	5, 1	não
P-25/9	1990	EM07/mm106LV	950	12,53	1,92	1,79	1,19	0,71		1	1 sim
P-25/10	1990	mm106	887	12,40	1,44	1,32	1,10	0,60		1	1 sim
P-25/11	1990	mm106/mm106LV	903	12,40	1,36	1,25	1,12	0,86		1	1 sim
P-25/12	1990	mm106/mm106LV	1555	12,54	2,46	2,34	1,95	1,13		1	1 sim
P-25/13	1990	EM07/mm106LV	1158	12,52	1,33	1,21	1,45	0,43		1	1 sim
P-25/14	1990	EM07/mm106LV	1326	12,52	2,08	1,96	1,66	0,85		5	1 não
P-25/15	1990	EM07/mm106	2533	12,48	3,67	3,53	3,16	2,14		5	1 não
P-25/16	1990	mm106/mm106LV	1670	12,46	2,37	2,23	2,08	0,95		5	1 não
P-25/17	1990	mm106/mm106LV	1297	12,57	1,86	1,76	1,63	0,41		5	1 não
P-25/18	1990	mm106/mm106LV	1133	12,44	1,66	1,55	1,41	1,36		5	1 não
P-25/19	1990	EM07LV/mm106	2485	10,02	2,63	2,49	2,49	2,32		5	2 não
P-25/20	1990	EM07LV/mm106	1317	9,95	1,07	0,97	1,31	0,84		5	2 não
P-25/21	1990	EM07LV/mm106	1757	10,02	1,84	1,72	1,76	1,65		5	2 não
P-25/22	1990	EM07LV/mm106	2526	9,98	1,51	1,40	2,52	1,34		5	2 não
P-25/23	1990	EM07LV/mm106	1185	9,96	2,91	2,74	1,18	2,55		5	2 não
P-25/24	1990	EM07LV/mm106	1493	10,05	1,80	1,69	1,50	1,54		5	2 não
P-25/25	1990	EM07LV/mm106	1487	10,02	1,42	1,32	1,49	1,13		5	2 não
P-25/26	1990	EM07LV/mm106	798	10,03	0,92	0,82	0,80	0,67		5	2 não
P-25/27	1990	EM07LV/mm106	2062	9,99	3,09	2,94	2,06	1,89		5	2 não
P-25/28	1990	EM07LV/mm106	2366	10,02	3,05	2,92	2,37	2,37		5	2 não
P-25/29	1990	mm106/mm106LV	1408	12,50	2,27	2,15	1,76	1,21		5	1 não
P-25/30	1990	mm106/mm106LV	1667	12,48	2,06	1,93	2,08	1,42		5	1 não
P-25/31	1990	mm106/mm106LV	1291	12,47	2,55	2,45	1,61	1,50		5	1 não
P-25/32	1990	mm106/mm106LV	1198	12,52	2,08	1,97	1,50	1,62		5	1 não
P-25/33	1990	mm106/mm106LV	820	12,44	1,25	1,15	1,02	0,94		5	1 não
P-25/34	1990	mm106/mm106LV	957	12,43	1,26	1,16	1,19	0,85		5	1 não
P-25/35	1990	mm106/mm106LV	1936	12,55	3,14	3,00	2,43	2,22		5	1 não
P-25/36	1990	mm106/EM07	3014	9,99	3,36	3,22	3,01	1,46		5	2 não
P-25/37	1990	mm106/EM07	1350	10,00	1,47	1,36	1,35	0,99		5	2 não
P-25/38	1990	mm106/EM07	1868	10,01	2,20	2,08	1,87	1,69		5	2 não
P-25/39	1990	mm106/EM07	1720	10,00	1,88	1,77	1,72	1,53		5	2 não
P-25/40	1990	mm106/EM07	914	10,07	1,02	0,93	0,92	0,82		5	2 não
P-25/41	1990	mm106/EM07	1301	10,07	1,48	1,38	1,31	0,91		5	2 não
P-25/42	1990	EM07/EM07	366	12,30	0,57	0,55	0,45	3,62	5, 2	1, 2	parcial
P-25/43	1990	mm106/mm106	1385	12,49	1,76	1,64	1,73	1,52		5	1 não
P-25/44	1990	mm106/EM07	2144	12,50	2,55	2,41	2,68	2,20		5	1 não

(Continuação da Tabela 5.19)

Parc./ subp.	Ano planti	Porta Enxêrto	No. Plan.	m ² / Plan.	Área Tot.(1)	Área Útil(2)	Área Esp(3)	Área CASI(4)	Clas. CASI	Verdade Terrestre	Acertos
P-25/45	1990	mm106	1543	12,51	1,88	1,77	1,93	1,20	5	1	não
P-25/46	1990	mm106/EM07	1689	12,55	2,50	2,36	2,12	1,73	5	1	não
P-25/47	1990	EM07	1874	9,98	2,19	2,05	1,87	1,21	1	2	não
P-25/48	1990	EM07	701	9,99	0,68	0,60	0,70	0,20	1,5, 2	2	não
P-25/49	1990	EM07	1764	10,03	2,08	1,95	1,77	0,79	1, 5	2	não
P-25/50	1990	EM07	2492	10,03	2,53	2,41	2,50	1,79	5	2	não
P-25/51	1990	EM07	907	10,03	1,03	0,94	0,91	0,88	1	2	não
P-25/52	1990	EM07	725	9,93	0,76	0,67	0,72	0,56	1	2	não
P-25/53	1990	EM07/mm106/11	794	10,08	0,88	0,80	0,80	0,65	1	2	não
P-25/54	1990	EM07	1226	9,95	1,40	1,28	1,22	1,12	1	2	não
P-25/55	1990	EM07	825	10,18	1,41	1,30	0,84	0,73	1	2	não
P-25/56	1990	EM07	1949	10,01	2,17	2,02	1,95	1,61	1	2	não
P-26/00	1991	sem dados			0,59	0,53		0,32	5	5 (viveiro)	sim
P-26/58	1991	mudas	2246	6,68	1,51	1,41	1,50	0,61	5	5 (viveiro)	sim
P-26/59	1991	mm106/EM07LV	2140	6,78	1,17	1,08	1,45	0,26	5	1	não
P-26/60	1991	mm106/EM07	2395	6,76	1,88	1,76	1,62	0,31	5	1	não
P-26/61	1991	mm106/EM07	1872	6,78	1,41	1,34	1,27	0,39	5	3,1	não
P-50/1	1990/1991	sem dados	1117	24,98	3,28	3,03	2,79	2,18	5, 4	5	sim
P-60/1	sem dados	sem dados			1,09	0,98		0,62	4, 5	5	parcial
25/276											

1 - Tipo de plantio: P-01 a P-04 e P-08 a P-09 com 4 fileiras de uma cultivar e 3 a 5 de outra, alternadamente;
Demais pomares: fileiras predominantes de uma cultivar e 5 a 12% de outra (polinizadora),
intercalada nas mesmas fileiras.

2 - M² /planta = área disponível por planta: espaçamento.

3 - Área total da subparcela com estradas e riachos incluídos.

4 - Área útil da subparcela (restituída).

5 - Área obtida pelo espaçamento utilizado e número de plantas.

6 - Área obtida pelo CASI: área discriminada na subparcela como macieiras pelo CASI.

7 - Classificação pelo CASI: 1 = Fuji + Granny S.; 2 = Gala; 3 = Belgolden; 4 = Golden Delicious; 5 = Fuji/Gala/Golden/Outras.

8 - Verdade terrestre: número de plantas por cultivar e por subparcela obtidas de levantamento de campo e constantes de relatórios da POMIFRAI S.A.

9 - Acertos: subparcela discriminada (sim) => + de 80% das cultivares eram as mesmas e com área ocupada semelhante: verdade terrestre.
parcial => 50% das cultivares envolvidas eram as mesmas (- classe 5).

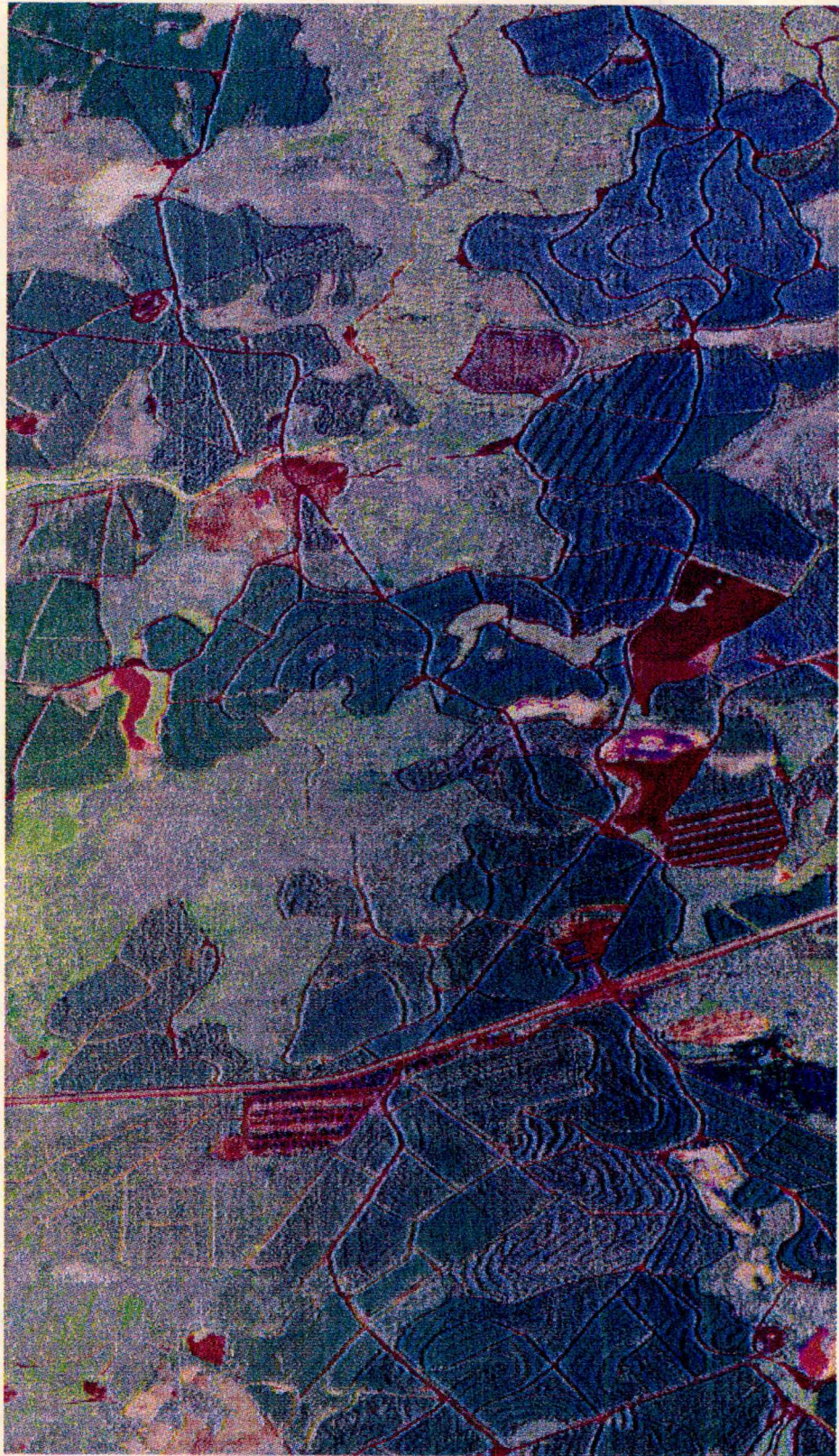
10 - Não discriminada: quando houve confusão ou inversão entre cultivares em valores percentuais altos (área ocupada).

A TABELA 5.19 apresenta também as áreas totais e úteis (sem estradas/ riachos/bosques) em nível de parcelas/subparcelas (quadras). As áreas úteis das parcelas/subparcelas foram obtidas pelo cálculo, via o *CAD-Microstation*, das áreas ocupadas pelas estradas, caminhos, viradouros, córregos e bosques que delimitam ou entrecortam tais unidades físicas e diminuindo tais valores de suas áreas totais respectivas. A **área útil ou efetiva** é informação preponderante quando se pensa em definir a área ocupada pelas culturas e que integrarão modelos de previsão da produção ou de safras. A TABELA 5.19 também inclui a área estimada pelos produtores e usada como base para seus cálculos de produtividade e produção obtida. O cálculo efetuado pelos produtores para estimativa da área ocupada pela cultura é baseado no espaçamento utilizado e pelo número de plantas constantes da parcela e/ou subparcela (quadras).

5.7 - Imagens Digitais Classificadas - CASI

Tendo em vista a resolução do CASI, tanto espacial quanto espectral empregados na área de estudo, procedeu-se inicialmente a uma tentativa de **classificação supervisionada**, partindo-se de imagens visuais realçadas pela técnica de **principais componentes**, como auxílio da seleção das áreas de treinamento, utilizando-se **8** bandas espectrais e *pixel* de **3,5x3,5** metros e a faixa de vôo **6 (P6G)**, conforme **FIGURA 5.20**. Tal faixa de vôo utilizada contemplava, na sua maioria, pomares mais antigos, implantados em **1975/1977** e **1980** e com substituição de algumas cultivares em **1982-1985** (sobre-enxertia), ou seja, existiam plantas bem estabelecidas, com vigor avantajado e outras, entremeadas, mais jovens de implantação mais recente. Esta classificação supervisionada possibilitou a separação de **25** temas (cultivares, tipos de vegetação, solo desnudo). Procedeu-se, então, à **classificação não supervisionada ou automática** da mesma faixa e condições, a qual discriminou totalmente a cena com apenas **21** temas. Nesta etapa inicial, constatou-se que, tendo em vista o potencial discriminatório das **8** bandas espectrais usadas para a classificação, tanto supervisionada como não, grande número de temas surgiram, dificultando principalmente a definição das áreas de treinamento, muitas vezes tão pequenas que impossibilitavam a definição adequada dos seus polígonos na classificação supervisionada. Como consequência disto, grande parte da cena ficou sem classificação, apesar de terem sido definidos **25** temas. Insistiu-se na sua definição e a sobreposição foi inevitável, confundindo os resultados de sua interpretação frente à realidade dos dados. Os resultados discriminatórios, nestas condições, foram melhores com o uso da classificação não supervisionada, embora sem termos controle sobre a mesma, do que a supervisionada, frente à verdade terrestre (dados de campo). Outro fato observado diz respeito ao tempo gasto na classificação não supervisionada, o qual é significativamente menor que a supervisionada.

Com base nestes resultados, adotou-se a classificação não supervisionada como metodologia geral e de procedimento imediato. Desta forma, classificaram-se **6** faixas de vôo do CASI que proporcionaram a cobertura de toda a área de estudo e com sobreposição lateral, em torno de **30%**, com exceção das faixas **6** e **7**, que entre elas ficou faltando área correspondente a **32ha**. (não imageada sobre a área de estudo). Para tanto, **8** bandas espectrais imageadas foram utilizadas, com resolução espacial de **3,5m x 3,5m (pixel)**. Após este procedimento, voltou-se a classificar a Faixa **6 (P6G)**, de forma supervisionada, mas com utilização das áreas de treinamento orientadas pela classificação não supervisionada. Também, conseguiu-se aglutinar classes ou temas discriminados pela classificação não supervisionada, muito semelhantes quanto ao uso (classe temática), conduzindo mais adequadamente à definição das áreas amostrais e, conseqüentemente, as assinaturas espectrais a serem utilizadas na classificação supervisionada.



POSIÇÃO DA
FAIXA:
Comparar com
Figuras 5.5 a 5.6.

FIGURA 5.20 - Faixa de voo CASI - P6G - com resolução espacial de 3,5m X 3,5m sobre pomares Faz. Bom Futuro/área de estudo, realçadas pela técnica de principais componentes (PC1,PC2,PC3). Escala aproximada de 1: 18.580 - Fraiburgo/SC.

Nesta faixa, com tal procedimento, conseguiu-se diminuir para **13** o número de temas classificados, com similar poder discriminante observado nos resultados da classificação não supervisionada. Em algumas classes, como no caso do Pomar **P-13**, conseguiu-se melhorar sua performance, visto que na classificação não supervisionada estava confundindo com vegetação secundária (mata **tipo II**), embora não suprimindo totalmente o problema. Estes resultados indicaram a possibilidade de utilização da classificação não supervisionada como básica para avaliação discriminatória global da Área de Estudo. Também pelo fato que nas faixas imageadas **2, 3, 4**, que abrangem pomares mais jovens, grande parte ainda sem produção (**P-25 e P-26**), não tiveram bons resultados discriminatórios, por deficiência de cobertura vegetal das macieiras dos pomares em análise.

Uma vez que para a cobertura da área de estudo foram utilizadas **6** faixas de vôo e que cada uma delas foi submetida a classificação individualmente, os seus resultados apresentaram de **16 a 32** temas discriminados, correspondentes a tipos de culturas (espécies/cultivares), vegetações diversas, estradas, aguadas, etc. Desta forma, com o auxílio da **TABELA 4.4 (pg. 89)**, foi possível estabelecer um processo de homogeneização dos temas discriminados pelo **Aries-380**, em até **14** classes. A partir desta tabela e com o uso de funções do **Aries-380**, aglutinaram-se os temas discriminados para as **6** faixas, reduzindo-os para até **14** temas ou classes. Após esta etapa, procedeu-se à correção geométrica das imagens e à transferência dos seus arquivos individuais (faixas e arquivos classificados de **8 em 8** temas) para o sistema geográfico de informações - **GIS/SPANS**.

No **GIS/SPANS**, dois arquivos/faixa, num total de **12**, foram fundidos (**Model/Overlay/Unique Conditions**) em uma faixa, o qual continha até **14** classes (mais áreas não classificadas). Após, tal arquivo único/faixa foi reclassificado (retirar classe não classificada) e finalmente os **6** arquivos (faixas) reclassificados foram sobrepostas (**Model/Overlay/Join**) para formar o **Mosaico Classificado** da Área de Estudo da Fazenda Pomifrai, conforme **FIGURA 5.21 (r7765432)**, **5.22 (pomares)** e **5.23 (pomares com contorno das subparcelas)**. Também, procedeu-se algumas classificações não supervisionadas com o uso de imagens obtidas pela Razão de Canais ou Bandas (**RA62, RA72, RA82**), como no caso da Faixa **2 (P2F)** associadas às **8** bandas originais. Este procedimento teve como objetivo a tentativa de melhorar a discriminação de pomares mais jovens com pouca cobertura folhar. No entanto, não foram obtidas melhorias no processo. Classificou-se, com a utilização de imagens com resolução **2m x 2m** e **3** bandas espectrais, **FIGURA 5.24**, de forma não supervisionada, a Faixa **9**, bem como utilizando-se a Razão de Canais e Diferença pela Soma de Canais. Os resultados, no primeiro caso, foram inferiores aos obtidos com o uso de imagens **3,5m x 3,5m** e **8** bandas. No segundo caso, resultados melhores foram obtidos, mas ainda assim inferiores aos resultados obtidos pelas imagens **3,5m x 3,5m** e **8** bandas.

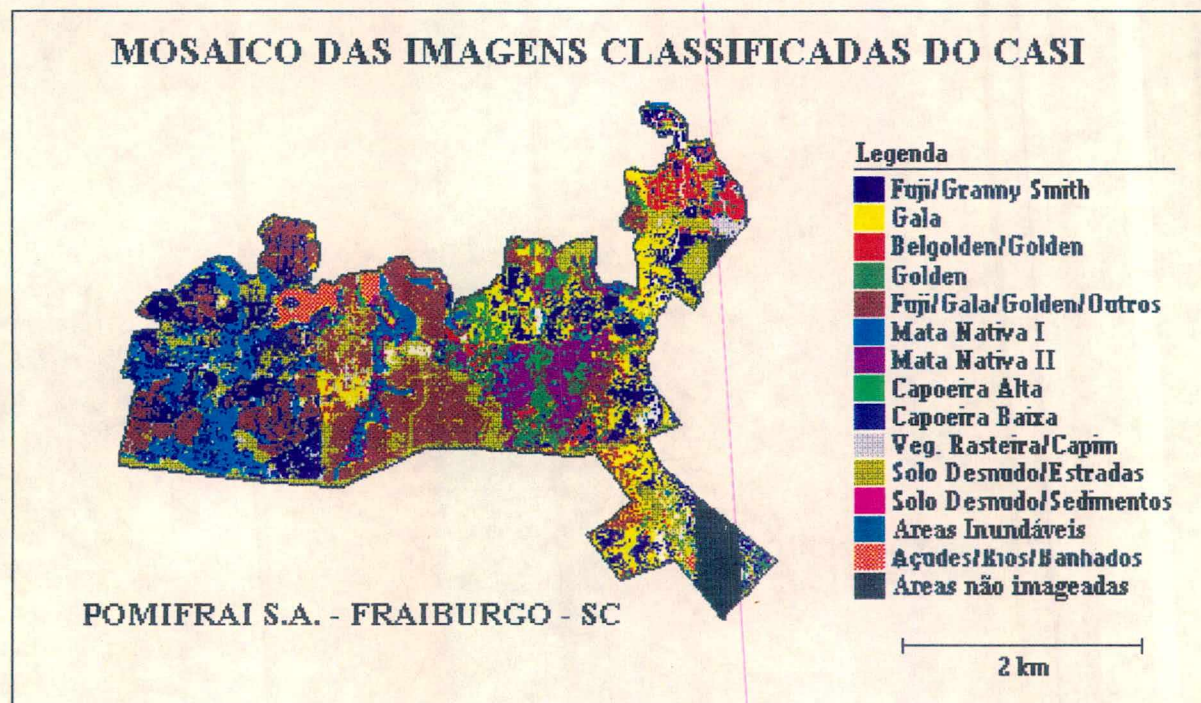


FIGURA 5.21 - Mosaico das imagens CASI classificadas pelo sistema ARIES 380 da área de estudo. Fraiburgo/SC.

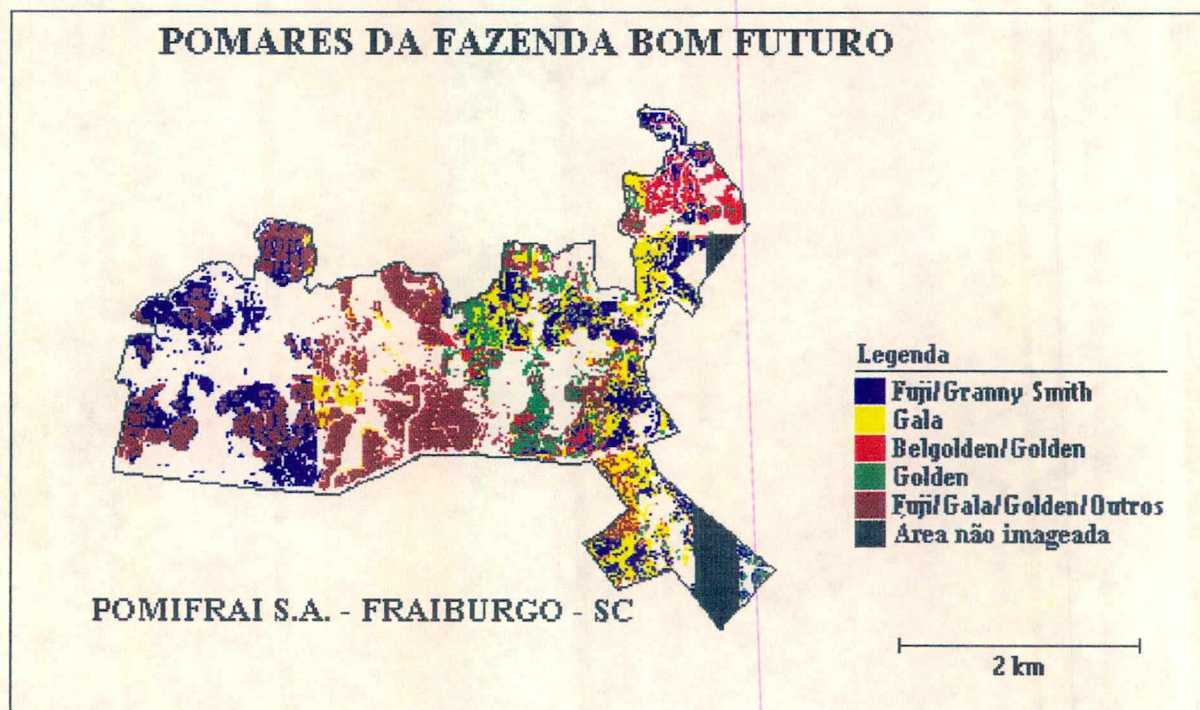


FIGURA 5.22 - Mosaico classificado dos pomares da Fazenda Bom Futuro/área de estudo, cultivares Gala, Golden Delicious, Fuji/Granny Smith, Belgolden, Fuji/Gala/Golden/Outras.

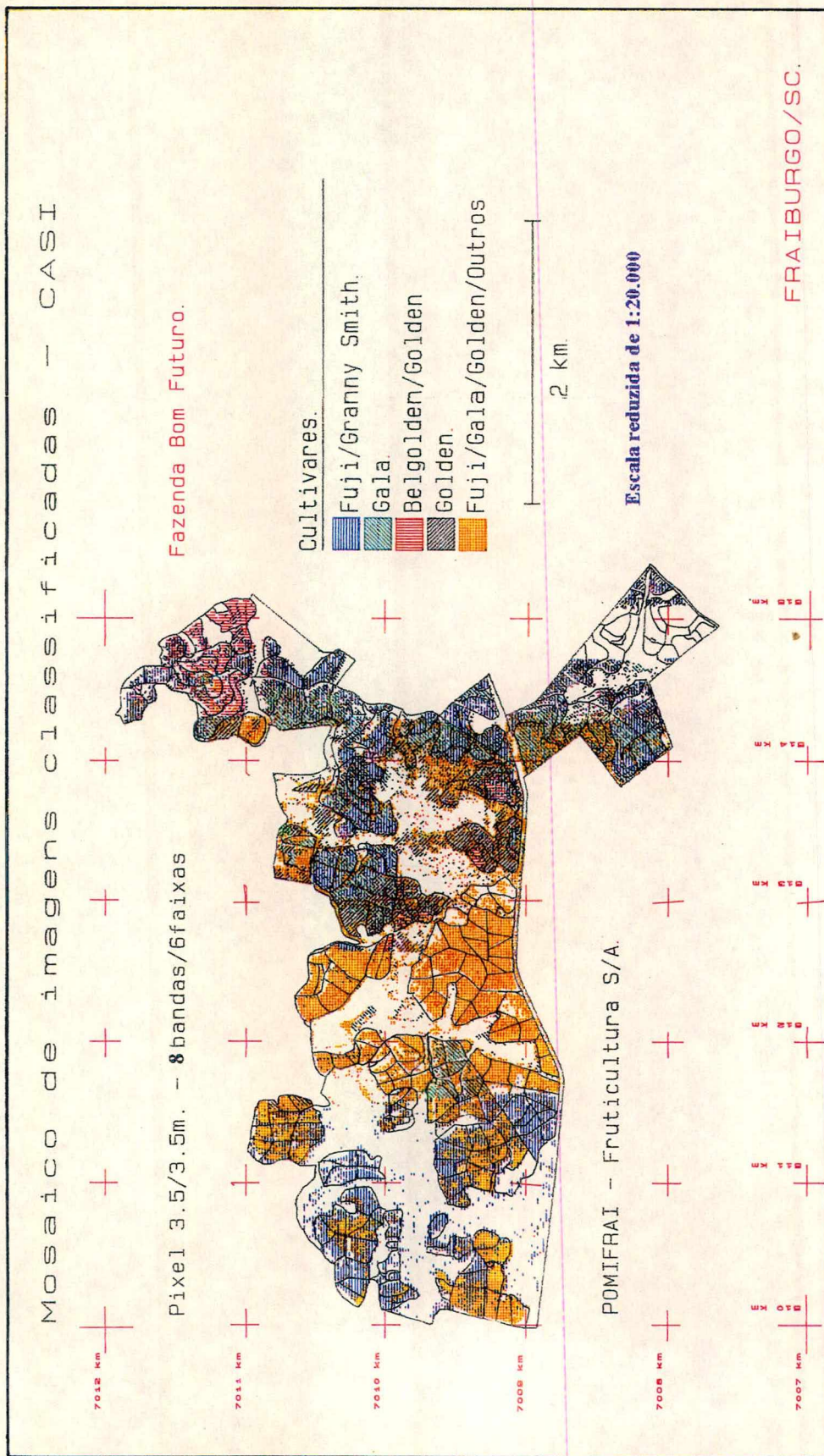


FIGURA 5.23 - Mosaico classificado dos pomares da Fazenda Bom Futuro/área de estudo, sobreposto por mapa vetorizado das subparcelas - Fraiburgo/SC.



POSIÇÃO DA FAIXA:
Comparar com Figuras
5.5 e 5.6.



FIGURA 5.24 - Faixa de voo CASI (P09) com resolução espacial de 2,0m X 2,0m e três bandas espectrais originais sobre pomares da Faz. Bom Futuro/área de estudo. Escala aproximada de 1:20.000. - Fraiburgo/SC.

Como o processo discriminatório está diretamente associado ao número de bandas utilizadas para a classificação, contanto é claro que contemplem aqueles segmentos do espectro eletromagnético mais interligados ao alvo (macieiras), e também pela resolução espacial, pode-se concluir que o conjunto de imagens com **8** bandas espectrais e resolução de **3,5m x 3,5m**, têm potencial discriminante maior do que as **3** bandas com pixel de **2m x 2m**. Este caso nos parece muito similar aos resultados comparativos encontrados entre as imagens multiespectrais do satélite **SPOT (3 bandas, pixel 20mx20m)** e do **LANDSAT - TM (7 bandas, pixel 30mx30m)**, onde este último, tem poder discriminante igual ou mesmo superior ao outro.

Desta forma, concluímos pela utilização e análise das imagens classificadas e geradas a partir das 8 bandas do **CASI** com resolução espacial de **3,5m x 3,5m**.

5.8 - Comparação dos Resultados entre imagens classificadas versus a realidade (verdade) do campo

A partir do **mosaico** de imagens classificadas e de funções de análise existentes no **GIS/SPANS**, procedeu-se cruzamentos desse com outros mapas contendo polígonos das parcelas/subparcelas (quadras) advindos da restituição aerofotogramétrica digital, vetorizados e rasterizados, **FIGURA 5.23**. Os resultados obtidos, por meio de tabelas, permitiram definir quais cultivares de maçã (classes) foram classificadas em cada parcela/subparcela em termos de área ocupada, e da sua comparação com a **verdade terrestre**, por meio de inventário dos pomares existentes (área plantada, número de plantas), concluiu-se pela discriminação ou não das **261** subparcelas imageadas (**276 - 15** não imageadas) na área de estudo. Considerou-se **discriminada** a subparcela (pomar) quando mais de 80% das cultivares predominantes eram as mesmas e em proporções de área ocupada semelhantes, com relação à verdade terrestre. **Parcial**, quando 50 a 80% das cultivares na subparcela (pomar) eram as mesmas. Quando a proporção das cultivares afastava-se muito da realidade e em área ocupada menor do que 50%, considerava-se não discriminada, embora as cultivares em apreço poderiam ser as mesmas. Este último critério é devido à concentração da área ocupada pelas cultivares, discriminada pelo **CASI**, poder variar muito por diversos fatores, em comparação com a área real (útil) da parcela/subparcela (restituída) ou mesmo daquela advinda do espaçamento utilizado. Estes fatores poderiam ser: vigor das plantas na parcela, replantios recentes, eventuais falhas de solo (pedregosidade), fertilidade ou mesmo sanidade (víroses). Os resultados da discriminação fazem parte, também, da **TABELA 5.19**.

Pela análise da **TABELA 5.19**, pode-se concluir que dos pomares implantados até 1.980 (parcelas **P-01 a P-10**), com espaçamento 3m x 5m ou área de aproximadamente 15m² /planta, tiveram uma discriminação quase que total das cultivares, Fuji (Granny S.), Golden/Belgolden e

Gala, ou seja, de 84 subparcelas, 76 foram discriminadas totalmente e 8 parcialmente. Ou de outra forma, 90,5% dos pomares de **P-01 a P-10** foram totalmente discriminados quanto às cultivares existentes e 9,5% parcialmente. A cultivar Belgolden, similar à Golden Delicious, foi discriminada nos pomares onde sua concentração era dominante, como na parcela **P-10**. Nas demais parcelas (pomares) onde ela existia em menor proporção, houve confusão com a Golden Delicious, em alguns casos. Entretanto, tal confusão pode ter duas origens: uma decorrente do próprio controle deficitário de campo (relatórios) e mesmo pela dificuldade prática na sua diferenciação. Alguns relatórios traziam como Golden Delicious, outros como Belgolden. A outra, poderia ser pela impossibilidade espectral de diferenciá-las quando associadas a certas condições de vigor da planta (fracas, médias, fortes), densidade de plantio, etc. Os pomares **P-02 a P-04** sofreram mudança de cultivares em 1985, quando a cultivar Golden Delicious, consorciada com Fuji, foi reenchertada pela Gala. Além disso, nos últimos anos esta cultivar (Gala) sofreu um processo de adensamento, ou seja, concentrou-se mais plantas entre as já existentes. Esta concentração de plantas de Gala (alta densidade) provocou uma mudança na composição vegetativa (folhagem) da mesma, com possível mudança de reflectância. Desta forma, passaram a responder muito similarmente à própria cultivar Fuji ou mesmo Golden Delicious.

A parcela **P-01** até **P-04**, mais a **P-08** e **P-09**, possuíam um tipo de plantio característico. Eram constituídas de 3, 4 ou 5 filas contendo uma cultivar (Fuji) e 3 ou 4 com outra (Gala ou Golden). Tal fato, no entanto, não dificultou a sua discriminação. A discriminação das parcelas **P-01 a P-10**, no entanto, foi total, considerando-se a espécie maçã, perfazendo 165,64ha já descontados 29,56ha não imageados nestas parcelas. A área total ocupada pelos pomares (+caminhos) era de 559,36ha. Descontando a área não imageada, perfazia 529,80ha. Os pomares em produção comercial perfaziam 428,43ha, dos quais 38,66% dos pomares (**P-01 ao P-10**) tiveram discriminação total (90,5%) e parcial (9,55).

Uma informação importante que colaborou para a discriminação, constante de relatório de levantamento de campo detalhado efetuado na primavera de 1992 pela **POMIFRAI - S/A**, diz respeito ao **VIGOR** e ao número de plantas por subparcelas (**quadras**). Continha, tal relatório, uma comparação relativa do vigor entre plantas de mesma cultivar, em fracas, médias e fortes. Este dado foi fundamental para o processo comparativo, pois não apenas o número de plantas/área tem relação com a refletividade mas também o vigor e o estado sanitário das plantas (**estresse**).

A partir da Parcela **P-11**, implantada após 1980, até a última analisada (**P-26**), houve uma modificação técnica na condução dos pomares, com diminuição dos espaçamentos, com valores entre 5m²/planta até 10m²/planta, dos pomares em produção. As parcelas **P-25** e **P-26**,

apresentavam de 10 a 12 m² /planta, mas tais pomares foram implantados a partir de 1990, não estando em produção comercial. Modificações ocorreram, também, quanto aos porta-enxertos, com utilização de espécies menos robustas, muitas livres de viroses. O tipo de plantio foi alterado para um sistema mais homogêneo, onde predomina uma cultivar, contendo menos de 10% de outras variedades, normalmente. Outro aspecto importante diz respeito a época do imageamento efetuada pelo CASI, ocorrida em fase fenológica (final da floração) inadequada, pois a cobertura foliar não estava completa. A combinação destas alterações em nível de campo, proporcionou variações no padrão de uniformidade de vigor das plantas, além da sua concentração em função do espaçamento (m² /planta). Assim, num mesmo pomar, há subparcelas (quadras), com vigor de plantas bem diferenciados.

Desta forma, de um total de 122 subparcelas, 267,79ha (61,34%) dos pomares em produção), apenas 19 (15,57%) foram discriminados totalmente quanto às cultivares existentes de maçã e 38 (31,15%) de forma parcial. Dos pomares jovens, sem produção comercial, apenas 7 (13,21%) foram discriminados. Este fato mostra a falta de recobrimento do solo, pois são plantas jovens plantadas em espaçamento definitivo, tendo portanto a reflexão de alvos sobre o solo, como: espécies rasteiras (capim), solo desnudo, capoeira, etc. Os pomares P-50 e P-60, correspondem a cultivos de Kiwi e Pêra, sem interesse para o estudo, apenas como tentativa para discriminação.

A TABELA 5.20, apresenta um resumo da análise comparativa entre as imagens classificadas pelo CASI versus a Verdade Terrestre, extraídas da TABELA 5.19.

TABELA 5.20 - Comparação entre o Mosaico de imagens classificadas pelo CASI versus verdade terrestre na identificação de cultivares de maçã.

Parcelas	Subpar- celas	Área		Acertos				Não Discr.		Totais
		(N.)	(ha)	(N.)	- % -	(N.)	- % -	(N.)	- % -	
Em Produção										
P-01 a P-10	84	165,64	38,66	76	90,50	8	9,50	0	0,00	100
P-11 a P-26	122	262,79	61,34	19	15,57	38	31,15	65	52,28	100
Sub Total A	206	428,43	100,00	95	46,12	46	22,35	65	31,55	100
S/ Produção										
P-25 a P-26	53	97,00	100,00	7	13,21	1	1,89	45	84,89	100
Sub Total B	53	97,00	100,00	7	13,21	1	1,89	45	84,89	100
Outras Espécies										
P-50/kiwi	1	3,31	75,74	1	100,00	0	0,00	0	0,00	100
P-60/Pêra	1	1,06	24,26	0	0,00	1	100,00	0	0,00	100
Sub Total C	2	4,37	100,00	1	50,00	1	50,00	0	0,00	100
Total ABC	261	529,80	100,00	103	39,46	48	18,40	110	42,14	100

Queremos ressaltar que devido à época do imageamento pelo CASI (05/11/92) ter ocorrido em época em que as plantas não apresentavam sua melhor condição quanto à cobertura foliar, a discriminação das cultivares de maçã ficou prejudicada. Este fato reveste-se de maior importância nos plantios com alta concentração de plantas, destacando aquelas parcelas/subparcelas com maior vigor, confundindo, desta forma, cultivares distintos mas que não tinham ainda manifestado suas características peculiares (arquitetura de ramos, disposição e concentração folhar).

5.8.1 - Análise Espectral

A partir do voo espectral realizado sobre a área em apreço, ou seja, duas faixas de voo com um máximo de 11 direções de visada (paralelas a linha de voo) e espaçadas de 16 pixels cada uma, efetuou-se análise espectral de pomares típicos das cultivares Gala, Fuji e Golden Delicious (Belgolden). Desta forma, selecionou-se da faixa de voo 6 (2mx2m) *pixels* representativos dos pomares: **P-13/10** (parcela 13, quadra 10 - 90% Belgolden, 10% Granny Smith), **P-14/01** (90% Gala, 10% Granny S.), **P-14/03** (90% Fuji, 10%Gala), **P-14/04** (90% Gala, 10% Fuji), **P-25/27** (91% Gala, 9%Fuji), **P-25/32** (92% Fuji, 8% Gala), área de mata nativa existente entre o pomar **P-13 e P-14**.

Tais *pixels* representativos dos pomares contém 288 bandas, com intervalos de 1,8 nm, que descrevem o comportamento espectral dos alvos (selecionados) conforme representados nas FIGURAS 5.25 e 5.26. Tais Figuras, criadas a partir de software específico (Specal da Itres Research) representam a radiância ($\mu\text{W}/\text{cm}^2.\text{sr}.\text{nm}$) em função do comprimento de onda das 288 bandas (nm). Pela análise da FIGURA 5.25, podemos observar que há uma semelhança de valores (curvas) entre os pomares **P-14/01** (Gala) e **P-14/03** (Fuji), fato que deveria ser diferente por tratar-se de cultivares diferentes. Os pomares **P-14/01** (Gala) e **P-14/04** embora de mesma cultivar, apresentam diferenças no infravermelho próximo (700-900 nm). De forma geral, não houve diferença no âmbito do espectro visível (400-700 nm), como pode ser visto nestes três pomares.

As cultivares de maçã apresentam picos distintos de reflectância no verde (550 nm) com uma maior reflectância no infravermelho (759-900 nm) com $21 \mu\text{W}/\text{cm}^2.\text{sr}.\text{nm}$, (Spectral Radiance Units - SRU's) do que em relação à mata. Isto é devido, provavelmente, ao aumento de concentração de clorofila (plantas com folhagens mais jovens e sadias), bem como aos tratos culturais com fertilizantes. A baixa radiância observada em 680 nm, reflete a alta absorção pela clorofila, do espectro correspondentê ao vermelho. Significando, por consequência, uma boa cobertura vegetal das cultivares de maçã e também da mata sobre o solo.

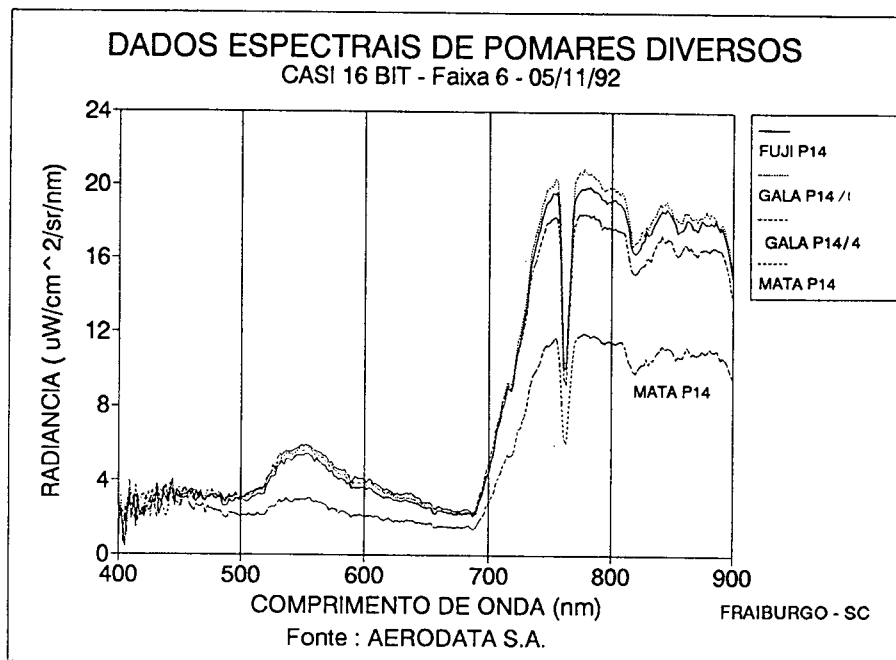


FIGURA 5.25 - Relação entre a radiancia e o comprimento de onda emitidos por pomares de Gala, Belgolden, Fuji e Mata nativa da área de estudo - Fraiburgo/SC.

A **FIGURA 5.26** apresenta histograma com cultivares diferentes de maçã, mas continuando a apresentar semelhança de comportamento, principalmente entre a Gala (**P-25/27**) e Fuji (**P-25/32**). Também não houve uma menor reflectância ou radiancia de energia entre **660 e 700 nm**, que é típico de vegetação jovem (em formação na primavera), ou seja, maior absorção do espectro vermelho pela clorofila. Este fato, com altos valores de radiancia, neste ponto, corresponde a plantios mais recentes de maçã com insuficiente cobertura vegetal da superfície. Assim há uma maior reflexão pelo solo ou vegetação de fundo (**background reflectance**), a qual é exibida na porção do espectro visível como uma cor em tonalidade marron. Este fato pode ser comprovado pelos dados de campo (idade de plantio - 1990) e pelas próprias aerofotos.

A cultivar Belgolden (**P-13/10**), no entanto, por tratar-se de plantios efetuados há mais tempo (1980), apresenta comportamento típico e semelhante às cultivares de maçã abordadas na **FIGURA 5.25**. Apresentando alta absorção do espectro em **680 nm (vermelho)** e alta reflexão no infravermelho (**700-900 nm**), embora com limites menores, **15 $\mu\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{nm}$** .

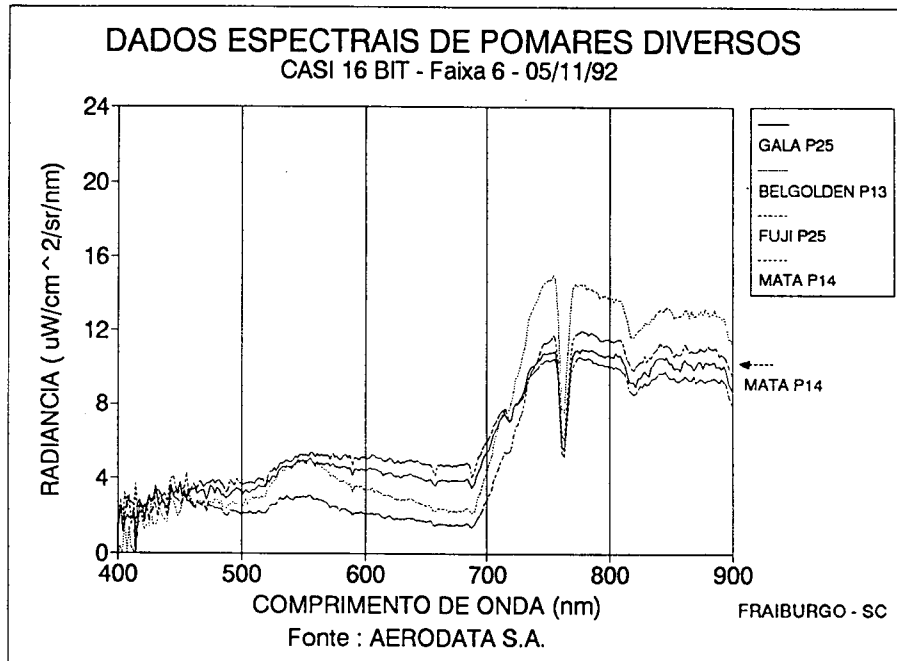


FIGURA 5.26 - Relação entre a radiancia e o comprimento de onda emitidos por pomares de Gala, Fuji e Mata nativa da área de estudo - Fraiburgo/SC.

Desta análise espectral pode-se concluir que nos plantios a partir de 1980, com alta concentração de plantas por unidade de área (**1planta/5m²**), com porta-enxertos semelhantes, tratamentos tecnológicos semelhantes, torna-se mais difícil a diferenciação entre cultivares. Observou-se, claramente, que as cultivares não diferenciam (**P-14, P-13**), no espectro correspondente ao visível (**400-700nm**), apresentando, por sua vez, uma maior ou menor diferenciação no infravermelho próximo.

Tal fato, sugere que antes de se realizar o voo de cobertura espacial com o *scanner*, faça-se primeiramente um levantamento espectral exploratório para a definição de quais as bandas espectrais que mais adequadamente discriminam os alvos de interesse. Este procedimento, além de proporcionar um acerto maior no processo discriminatório, via classificação supervisionada ou não, diminui o tempo de processamento (menor número de bandas). Parece, também, que uma maior concentração de bandas no vermelho e, principalmente, no infravermelho próximo poderia melhorar substancialmente o processo discriminatório das cultivares de maçã.

Acredita-se, no entanto, ser de difícil solução a discriminação de pomares mais jovens com forte reflectância de solo ou de vegetação de fundo (entre filas e plantas). Tal fato, foi o causador

de inclusão de áreas, fora dos pomares, como sendo plantios de maçã, neste trabalho, devido à inclusão de áreas de reflexão de fundo dos pomares discriminados. Esta situação pode ser verificada nos pomares mais jovens, de recente implantação, como o caso do **P-25** e **P-26**, bem como outros com diferencial de vigor de plantas bastante acentuado em subparcelas do **P-17** e **P-18**.

5.8.2 - Distribuição de Tonalidades (Histogramas)

Por meio da classificação supervisionada, orientada pela não supervisionada, procedeu-se à determinação das áreas de treinamento, via monitor de vídeo, com *display* das imagens do **CASI**, faixa 6 (**P6g**), e bandas 7, 4 e 1. Desta forma, com a utilização do **ARIES-380**, selecionaram-se 13 áreas de treinamento representando os temas existentes na cena imageada, ou seja:

- 1 - Área com plantio de Belgolden ==> **P-10**;
- 2 - Área com plantio de Fuji ==> **P-02, P-08, P-12**;
- 3 - Área com plantio de Gala ==> **P-11**;
- 4 - Área com plantio de Golden ==> **P-05**;
- 5 - Área com plantio de Gala/Granny Smith com espaçamento concentrado
(**6,75 m² /planta**) ==> **P-13**;
- 6 - Área com Mata Nativa I (+ exuberante ==> **classe 6**);
- 7 - Área com Mata Nativa II (- exuberante ==> **classe 7**);
- 8 - Área com Pomar Novo/Solo Desnudo (**P-22/24** ==> **Plantio 1987**);
- 9 - Áreas com Solo Exposto/Estradas/Sedimentos ==> **Classe11**;
- 10- Solo Exposto, Terra Clara;
- 11- Áreas com Vegetação Rasteira/Capim ==> **Classe 10**;
- 12- Rios;
- 13- Açudes não assoridados.

Após a definição das áreas de treinamento, procedeu-se à geração das assinaturas espectrais para cada uma, de forma a proporcionar a classificação de toda a cena imageada (**P6G**), com o uso das bandas 1 a 8 do **CASI**.

As **FIGURAS 5.27 a 5.30** apresentam histogramas contendo as áreas de treinamento, ou seja, a sua distribuição dos *pixels* com relação às suas tonalidades compreendidas entre 0 e 255, tendo como imagem básica a banda espectral 7 (**P6GFFCAS7** ==> **infravermelho**). Nota-se que

na **FIGURA 5.27** a cultivar Belgolden (**C**) sobrepõe a Gala (**A**), embora neste caso com relação à banda 7.

Também efetuou-se uma análise de dispersão de pontos, **FIGURAS 5.31 e 5.32**, entre as bandas **5 (P6GFFCAS5)** e **7 (P6GFFCAS7)**, demonstrando, também, uma sobreposição entre os temas Belgolden (**TS01**) e Gala (**TS03**), como ocorre na Parcela **P-10** quadra **1**, confundindo plantios de Belgolden com Gala. Neste pomar havia uma concentração maciça de plantios com forte vigor.

No **ANEXO D**, constam relatórios na forma de tabelas com análise estatística de cada área de treinamento quanto a concentração de tonalidades entre **0 - 255**, sua média, desvio padrão, coeficiente de correlação e matriz de covariância de cada banda espectral utilizada (**8**) e das bandas (feições) geradas pela técnica de realce por principais componentes (**3**), bem como a relação existente em cada uma.

Estes dados caracterizam, entre outros fatores, quais as bandas que realmente estão discriminando (< coeficiente de correlação) os alvos ou temas em análise.

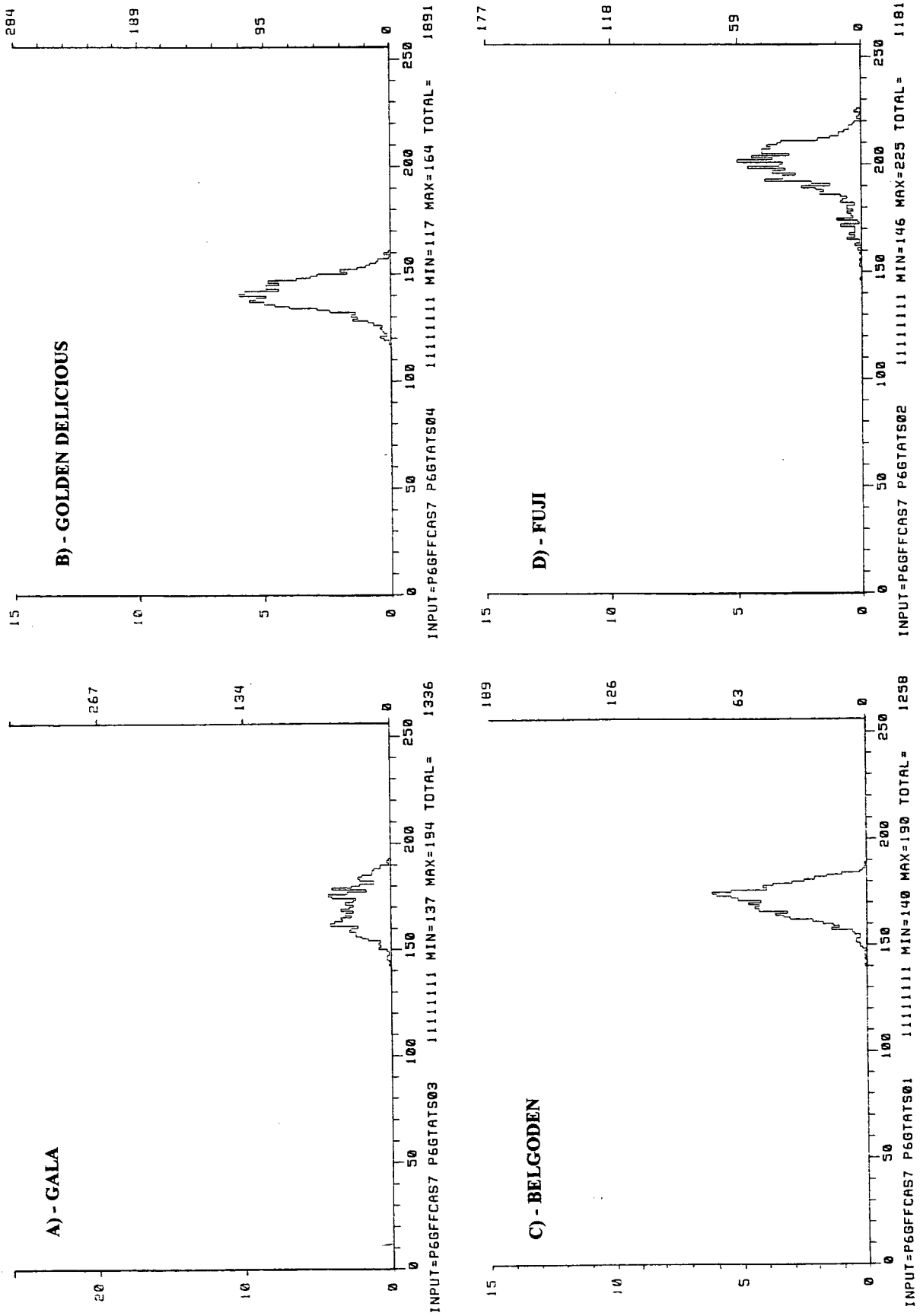


FIGURA 5.27 - Histogramas de áreas de treinamento de pomares contidos na faixa de vôo - P6G, com a distribuição das tonalidades dos pixels entre 0 - 255, bandas espectral 7.

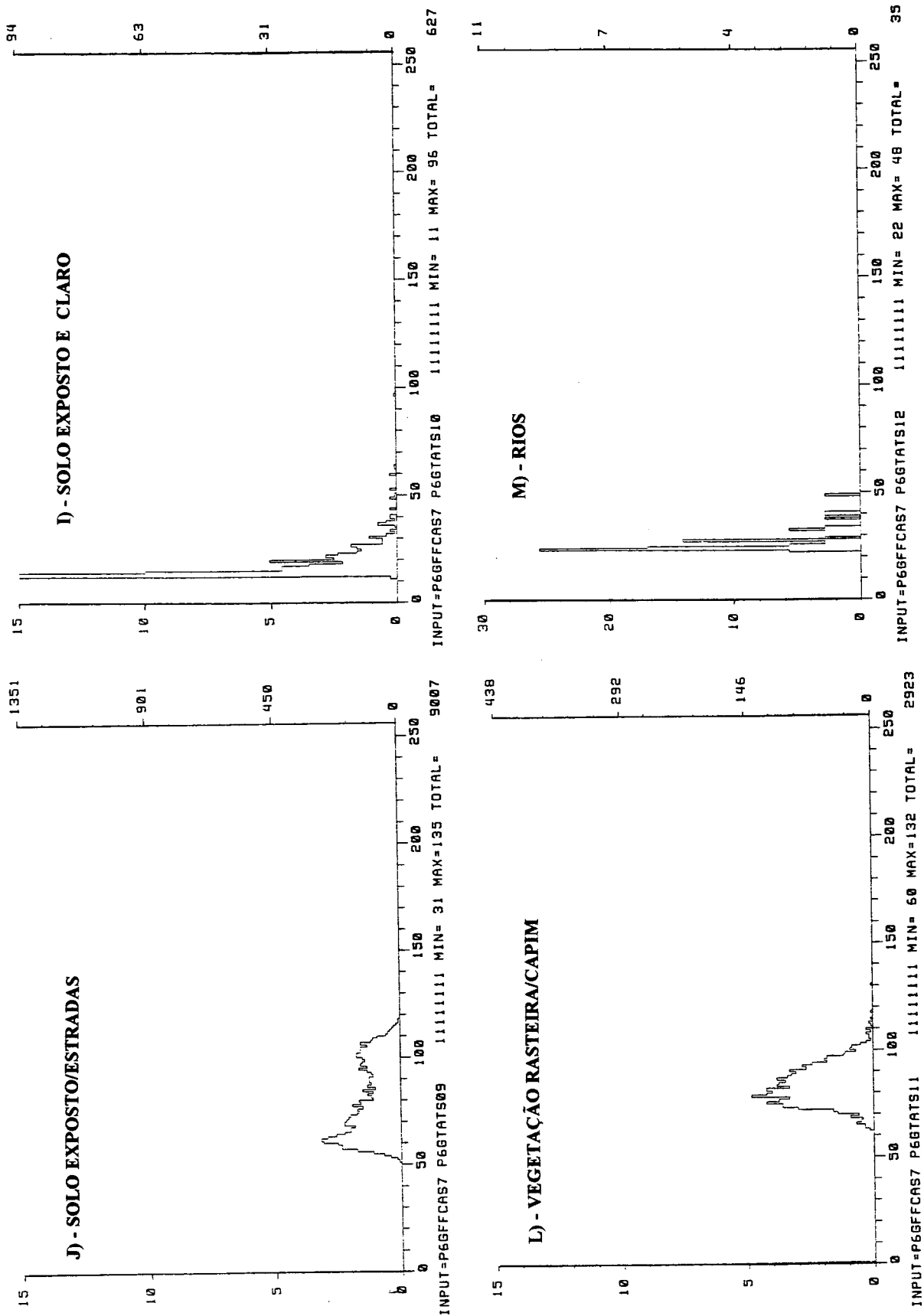


FIGURA 5.29 - Histogramas de áreas de treinamento de diversas classes contidas na faixa de vôo P6G, com a distribuição das tonalidades dos pixels entre 0 - 255, banda espectral 7.

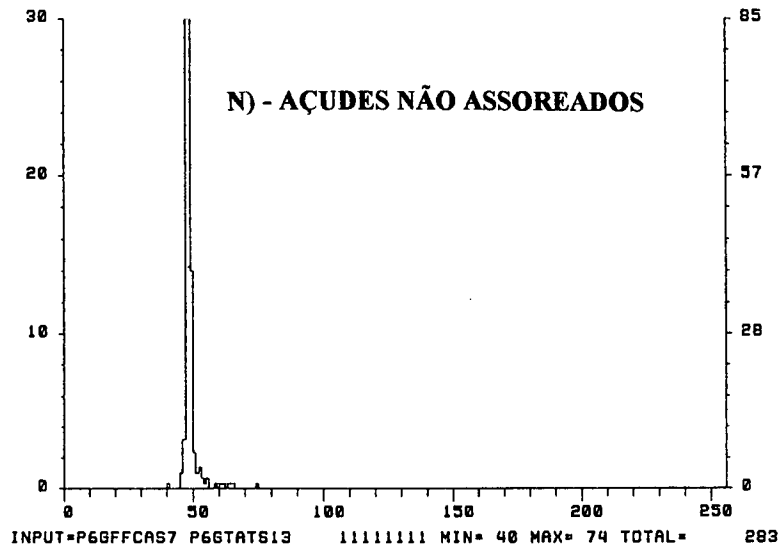


FIGURA 5.30- Histograma da área de treinamento de açudes não assoreados, faixa de vôo P6 G, com a distribuição das tonalidades dos *pixels* entre 0 - 255, banda espectral 7.

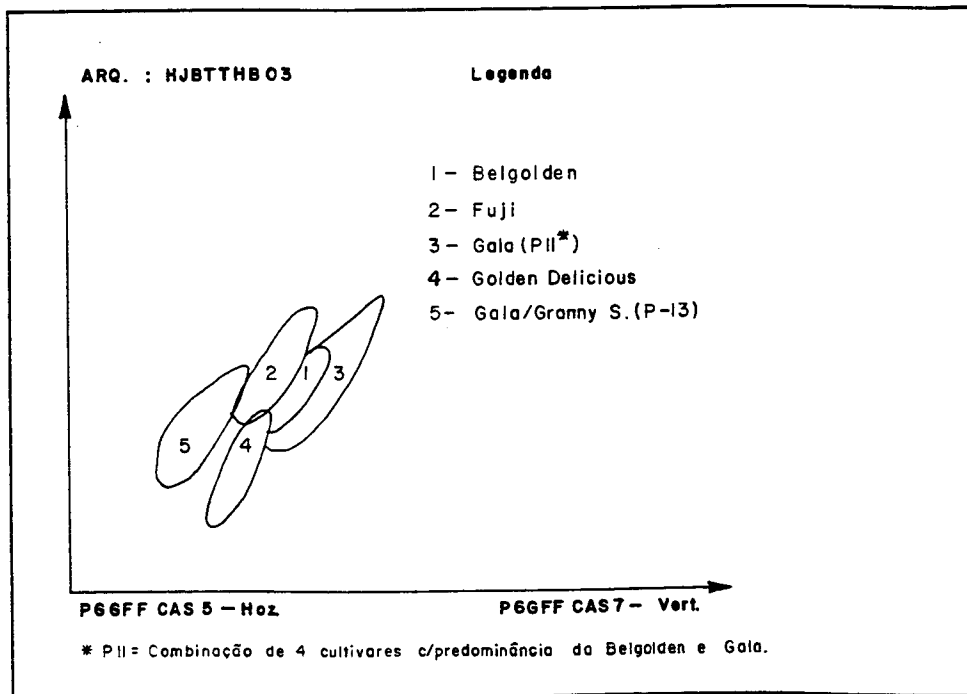


FIGURA 5.31 - Dispersão de pontos (tonalidades 0 - 255) entre as bandas 5 e 7 da Faixa P6G de áreas de treinamento de pomares diversos. Fraiburgo/SC.

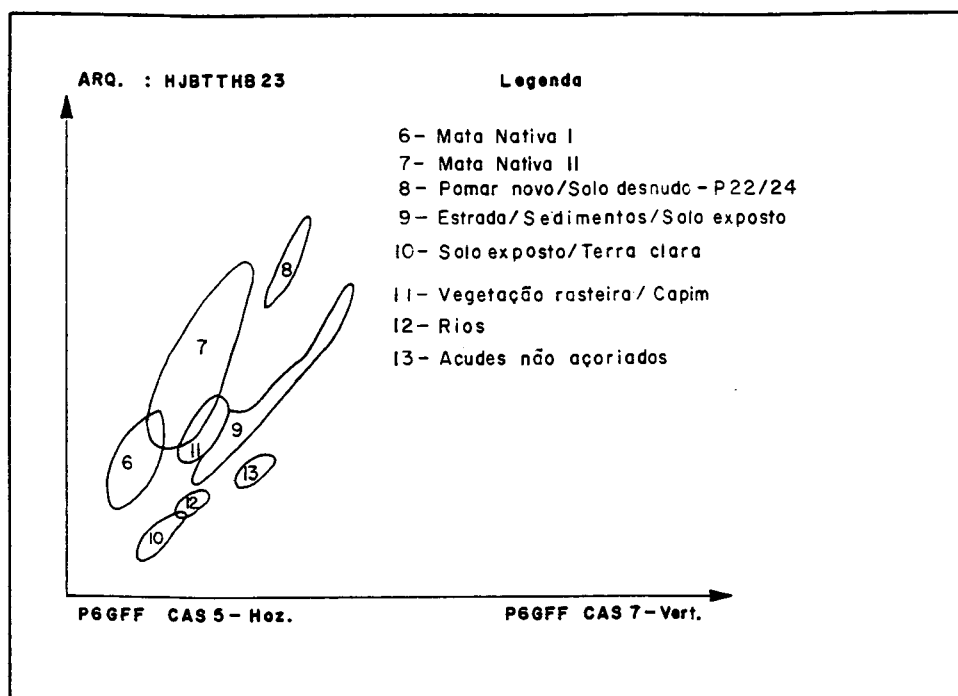


FIGURA 5.32 - Dispersão de pontos (tonalidades 0 - 255) entre as bandas 5 e 7 da Faixa P6G de áreas de treinamento de temas diversos (classes). Fraiburgo/SC.

5.9 - Análise sobre determinação de áreas cultivadas

5.9.1 - Resultados sobre os métodos envolvidos

Baseando-se nos resultados apresentados nas TABELAS 5.18 e 5.19, chegou-se às seguintes conclusões sobre as áreas calculadas, pelos diferentes métodos, das culturas (pomares) existentes sobre a área de estudo:

- 1 - Somatório da área total = 559,36ha;
- 2 - Somatório da área útil = 524,19ha;
- 3 - Somatório da área pelo espaçamento = 465,90ha;
- 4 - Somatório da área discriminada pelo CASI = 384,29;
- 5 - Área de pomares não imageada = 25,67 (estimada pelo espaçamento).
- 6 - Diferença absoluta entre 3 e (4+5) = 55,94ha;
- 7 - Diferença relativa entre 3 e (4+5) = $6/3 \implies 12\%$.

A diferença relativa de 12% entre a área discriminada como cultura agrícola (pomares) pelo CASI em relação a área obtida via espaçamento e número de plantas existentes, pode ter as seguintes origens:

- 1) - Como as espécies e cultivares analisadas são culturas permanentes, isto é, plantadas em espaçamento definitivo, áreas entre as fileiras de plantas e nos contornos, principalmente em plantios mais jovens, podem ter sido classificadas como vegetações diversas (capoeira, solo desnudo, pastagens, ...);
- 2) - Possível imperfeição no processo de mosaicagem das diversas faixas imageadas e no processo de correção geométrica, os quais não permitiram uma perfeita sobreposição de imagens restituídas (subparcelas) e classificadas pelo CASI (mosaico). Conseqüentemente, obtenção de diferentes áreas quando do cruzamento de informações (area cross tabulation) e geração do relatório final entre subparcelas ou parcelas e áreas discriminadas pelo CASI (culturas);
- 3) - Imperfeição ou impossibilidade técnica, até o momento, de resolução da perfeita junção de faixas imageadas digitalmente, obtidas por *scanner* sem GPS acoplado, devidas às oscilações verticais e laterais, tanto entre e dentro de faixas de vôo.

Com base ainda na TABELA 5.19, obtida pelo cruzamento das áreas das subparcelas com o mosaico contendo os pomares, considerando-se apenas 109 subparcelas consideradas discriminadas pelo CASI, concluiu-se:

- 1 - Somatório da área total = 238,44ha;
- 2 - Somatório da área útil = 222,55ha;
- 3 - Somatório da área pelo espaçamento = 198,24ha;
- 4 - Somatório da área pelo CASI = 174,90ha;
- 5 - Diferença absoluta entre 3 e 4 = 23,34ha;
- 6 - Diferença relativa entre 3 e 4 = $5/4 \implies 11,77\% \cong 12\%$.

As explicações sobre a diferença de 12% são as mesmas já dadas acima para os valores globais discriminados.

Com base na TABELA 5.21, obtida pelo cruzamento de áreas do mapa de contorno da área de estudo (mapa-base) e pelo mosaico global classificado (r7765432) e pela TABELA 5.18, pode-se concluir:

- 1 - Área total imageada e classificada (CASI - mosaico) = 831,49ha;
- 2 - Área total não imageada pelo CASI no polígono da área de estudo = 32,00ha;
- 3 - Área total classificada como pomares = 455,58ha;
- 4 - Área ocupada com pomares não imageada = 25,67ha (estimada pelo espaçamento);
- 5 - Área total do polígono da área de estudo = 920,00ha;

6 - Diferença absoluta entre 5 e (1+2) = 56,51ha;

7 - Diferença relativa entre 5 e (1+2) = $6/5 \implies 6,14\%$.

A diferença relativa de 6,14% corresponde à área não classificada pelo sistema ARIES-380. Acredita-se que tal diferença seja decorrente do método de classificação de imagens (máxima verossimilhança), onde pixels mistos (de igual probabilidade) de classes diferentes não são considerados (ou classificados separadamente). A área classificada como pomares de 455,58ha quando comparada com a área ocupada por pomares calculada pela ajuda do espaçamento, de 465,90ha, fornece uma diferença de 10,32ha a menor. Tal resultado parece razoável. Entretanto, deve-se computar ou somar 25,67ha de pomares não imageados pelo CASI, ficando: $465,90 + 25,67 = 481,25$ ha. Então: $481,25 - 465,90 = 15,35$ ha. Ou seja, 15,35ha foram classificados como pomares a mais do que o real, ditado pela área calculada pelo espaçamento (podendo ser maior uma vez que o imageamento define a área efetivamente ocupada pela cultura perene que é plantada em local definitivo). As possíveis considerações para tal fato podem ser:

1) - Nos pomares jovens, com muita reflexão de fundo, algumas classes foram geradas e interpretadas como possíveis pomares e incluídas como **CLASSE 5 (Fuji, Gala, Golden Delicious, outras culturas)**. Poderiam estar incluindo *pixels* de classes que não eram somente de pomares;

2) - Também, no polígono de estudo, existiam algumas áreas com plantios de erva-mate, as quais confundiram-se (o sistema não discriminou) com pomares e foram incluídas, principalmente na **CLASSE 5**. Tais fatos, sem dúvidas, provocaram a inclusão de áreas diversas como pomares, e podem se notadas na **FIGURA 5.22 e 5.23**.

Considerando-se a área total útil disponível para os pomares (524,19ha), no entanto, a diferença fica em 43,94ha, para menos. Entretanto, acredita-se haver maior proximidade entre áreas calculadas pelo espaçamento com a discriminação e classificação de pomares efetuadas pelo sistema **CASI/ARIES-380**. Desta forma, adotou-se como método para determinação da área plantada (pomares), aquele definido pelo espaçamento e número de plantas existentes. Este procedimento deve-se ao fato de ser cultura permanente, com variação de área efetiva de um ano para outro (número de plantas em produção) e devido o processo de área discriminada pelo **CASI** não contemplar todos os pomares (não discriminação de todos os pomares ao nível de cultivares). O uso da área total e/ou útil, também não satisfaz devido ser fixa e as plantas em produção variáveis de ano para outro.

TABELA 5.21 - Resultados da análise cruzada entre o mapa do contorno do polígono de estudo e do mosaico classificado (r7765432).

ANÁLISE CRUZADA DE MAPAS			
MAPA: r7765432			
JANELA: aa - contorno			
CLASSES - LEGENDA	ÁREA (%)	ÁREA ACUM. (%)	ÁREA (%)
1 Fuji/ Granny Smith	16,51	16,51	137,2730
2 Gala	9,23	25,74	76,7160
3 Belgoden/ Golden Delicious	3,21	28,95	26,6880
4 Golden Delicious	4,99	33,94	41,4950
5 Fuji/ Gala/ Golden D./ Outras	20,86	54,79	173,4110
6 Mata Nativa I	10,39	65,18	86,3790
7 Mata Nativa II	5,78	70,96	48,0500
8 Capoeira Alta	2,15	73,11	17,8610
9 Capoeira Baixa	4,46	77,57	37,0860
10 Vegetação Rasteira/ Capim	3,80	81,37	31,6350
11 Solo Desnudo/ Estradas	18,43	99,80	153,2580
12 Solo Desnudo/ Sedimentos	0,03	99,84	0,2850
13 Áreas Inundáveis	0,15	99,99	1,2830
14 Açudes/ Rios/ Banhados	0,01	100,00	0,0690
Total das 14 classes	100,00	100,00	831,4870

5.9.2 - Comparação entre métodos de determinação de áreas cultivadas

Outra forma comparativa entre os métodos de cálculo e aproximações da área efetivamente ocupada pelas culturas ou com fruticultura (pomares) pode ser vista pela **TABELA 5.22** e **FIGURA 5.33**. A primeira, retrata resultados da regressão linear efetuada entre os métodos testados: área total x área útil, área útil x área pelo espaçamento, área útil x área pelo CASI e área pelo espaçamento x área pelo CASI. Maior correlação e ajustamento foram conseguidos pela área total x área útil e pela área útil x área pelo espaçamento. A correlação entre área útil x área pelo CASI e área útil x área pelo espaçamento foi menor, conforme problemas já abordados com relação à discriminação de pomares e cultivares, ou seja: espaçamento definitivo, idade das plantas, fertilidade diferenciada, época de imageamento.

TABELA 5.22 - Resultados das regressões lineares entre métodos de determinação de áreas cultivadas no polígono de estudo ao nível de subparcelas.

Variável dependente - ha	Variável independente - ha	N. Obs.	Coef. linear	Coef. angular	r ²	Desvio Padrão
Área total	Área útil	273	0,0603	1,0345	0,9992	0,0305
Área útil	Área espaçamento	273	0,1307	1,0389	0,8944	0,3420
Área útil	Área CASI	109	0,3815	1,0360	0,8493	0,4837
Área espaçamento	Área CASI	109	0,3405	0,9235	0,7817	0,5406

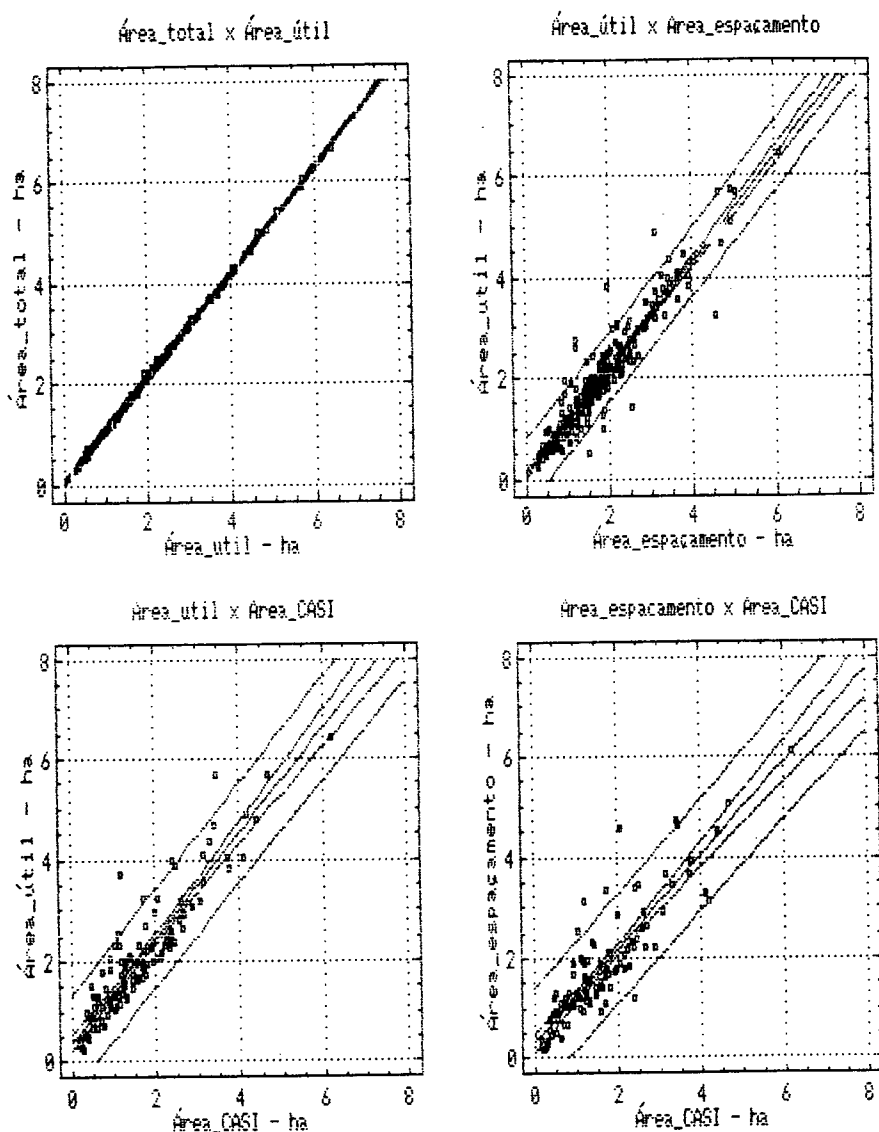


FIGURA 5.33 - Representação das regressões lineares entre métodos diferentes de determinação das áreas cultivadas no polígono de estudo ao nível de subparcelas.

5.10 - Visualização espacial da safra 93/94

A previsão da safra 93/94 das cultivares Gala, Golden Delicious e Fuji, constantes do item 5.4, pode ser visualizada em mapas obtidos com aplicação de funções de modelagem do GIS/SPANS, conforme FIGURAS 5.34, 5.35 e 5.36.

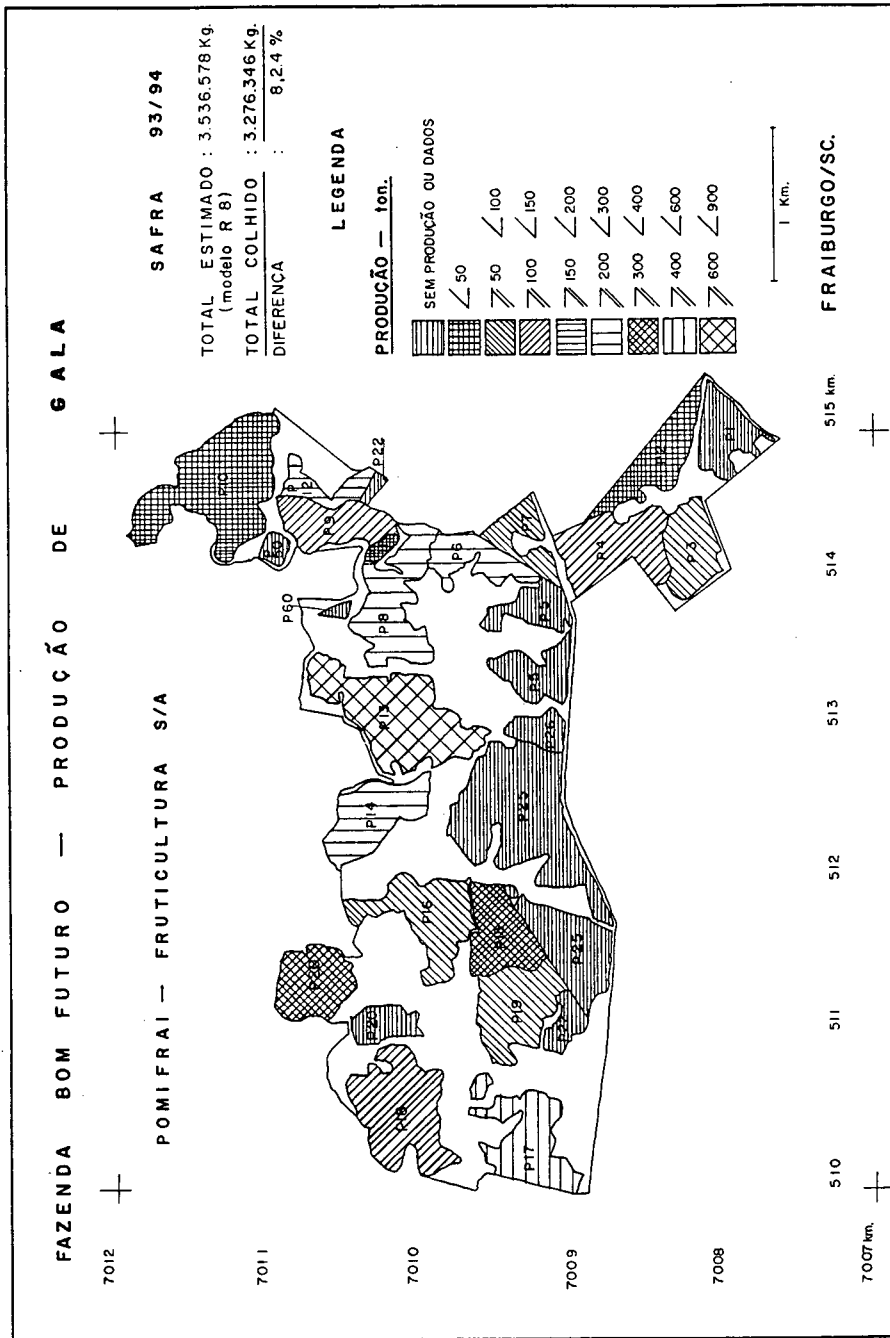


FIGURA 5.34 - Distribuição espacial da safra 93/94 - cultivar Gala - na área de estudo/Fraiburgo-SC.

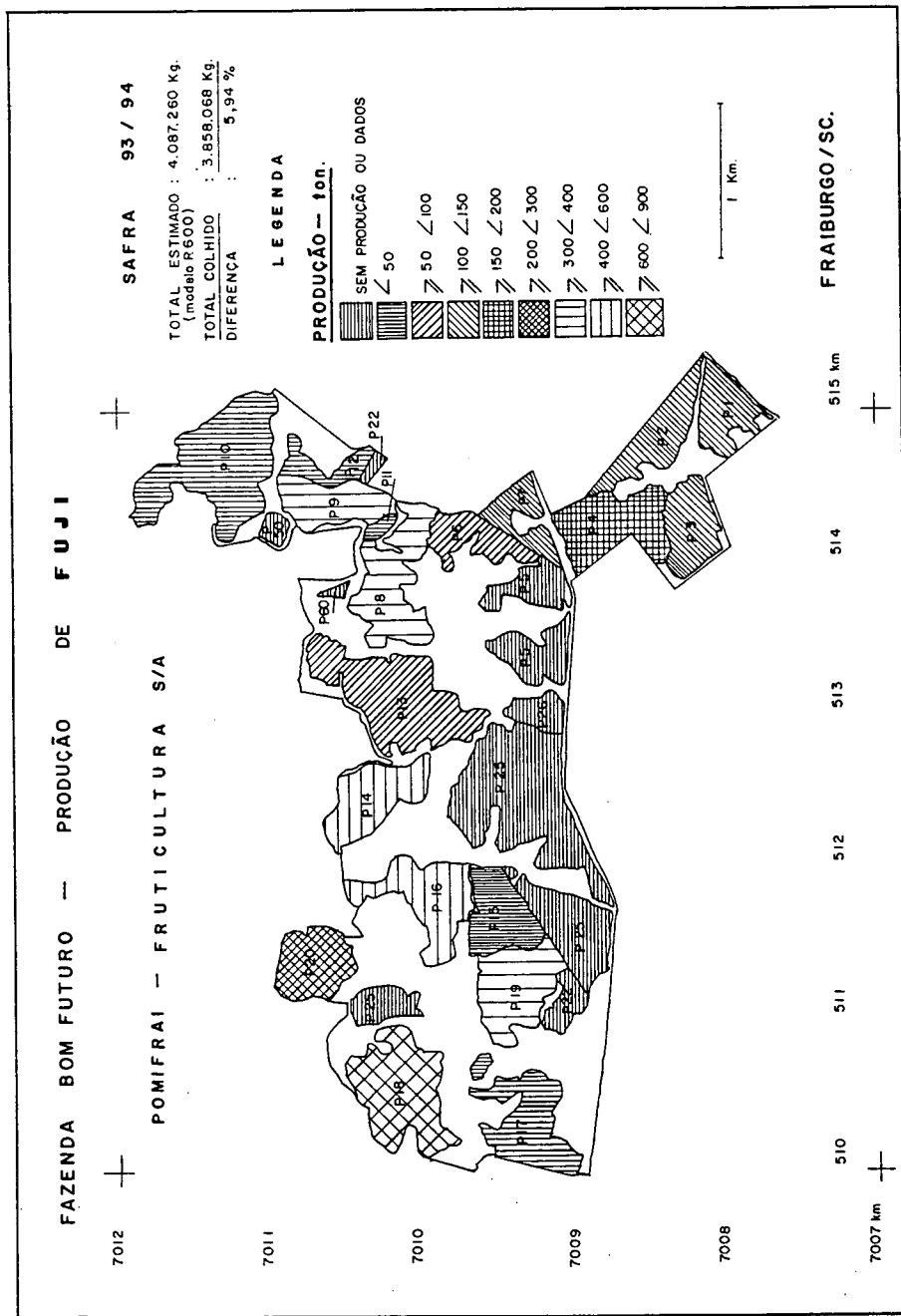


FIGURA 5.35 - Distribuição espacial da safra 93/94 - cultivar Fuji - na área de estudo/Fraiburgo-SC.

6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 - Conclusões sobre métodos e modelos de previsão agrícola

6.1.1 - Plena floração e início de colheita

- Os estimadores mais significativos observados na prática e confirmados nos modelos numéricos foram: somatória de horas de frio - $\sum \mathbf{HF}$, somatória de graus-dia - $\sum \mathbf{GD}$, insolação (julho, agosto, agosto-15/set.) e temperatura média mensal (julho, agosto, setembro). Os métodos testados para o cômputo de \mathbf{HF} não apresentaram destaque isolado, mas sim quando associados nos modelos de previsão testados. Não recomendando, portanto, a utilização isolada de um ou de outro com alguma vantagem. As épocas mais significativas para o cômputo do $\sum \mathbf{HF}$ foram entre 1/maio-31/julho, 1/maio-15/agosto e 1/maio-31/08, tanto pelo método com acúmulo de $\mathbf{HF} \leq 7,2^\circ \text{C}$, como pelo Carolina do Norte Modificado. A $\sum \mathbf{GD}$, entre $T_b=1$ e $T_b=30^\circ \text{C}$, tiveram desempenho superior na composição de modelos previsivos, notadamente quando associados a $\sum \mathbf{HF}$. Os períodos mais eficientes para a $\sum \mathbf{GD}$ foram julho, agosto e de maio-julho, dependendo da cultivar e modelo utilizado;
- Os modelos propostos deixam claro que as variáveis climáticas efetivamente decisivas ao processo ou desencadeamento da floração são energéticos, representados simplificada e pela $\sum \mathbf{HF}$, $\sum \mathbf{GD}$, insolação e temperaturas médias mensais. Variáveis relacionadas ao aspecto hídrico (chuva, balanço hídrico) não se mostraram adequadas à previsão da plena floração;
- Os modelos neurais desenvolvidos tiveram um desempenho muito semelhante aos polinomiais, mesmo considerando o número relativamente baixo de repetições (<50 dados) na fase de treinamento. O número de neurônios da camada oculta (**Hidden 1**) utilizados para a fase de treinamento dos modelos de previsão da plena floração, oscilou entre 1/2 a 1,5 do número de entradas (inputs) mais a saída (output). Os modelos têm a capacidade de previsão antecipada de até 89 dias, neurais ou polinomiais.
- Os modelos propostos estão, fundamentalmente, baseados no princípio da somatória de graus-dia entre a data da plena floração até 30/novembro, 31/dezembro e 31/janeiro, dependendo da cultivar envolvida (< ou > precocidade). O estimador de graus-dia, isoladamente,

correspondeu a mais de 75% do coeficiente de determinação (r^2) na maioria dos modelos desenvolvidos. Outros estimadores de menor influência nos modelos são os relacionados principalmente com a insolação dos meses de outubro a janeiro, dependendo da cultivar. O incremento da insolação no final do ciclo teve a tendência de acelerar a maturação e antecipar o início de colheita. A utilização da relação evapotranspiração real/evapotranspiração potencial ou de referência - ETR/ETP , nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, não mostrou-se eficiente na previsão da data da colheita, com exceção de apenas um modelo (Fuji - ciclo tardio);

- Os modelos compostos, envolvendo dados de Fraiburgo/SC e São Joaquim/SC, apresentaram um desempenho similar aos modelos simples (Fraiburgo/SC) quando participaram também estimadores ou variáveis *dummies*. As variáveis *dummies* tiveram a capacidade de ajustar os modelos, uma vez que o estimador da somatória de graus-dia - $\sum GD$ é eficiente e utilizável isoladamente apenas em áreas ou regiões homogêneas;
- Os modelos neurais apresentaram uma performance similar aos polinomiais, traduzida pelo erro médio e desvio absoluto (dias). Os modelos propostos, polinomiais e neurais, permitem previsões que oscilam entre 17 a 104 dias de antecedência, considerando-se as cultivares e regiões envolvidas.

6.1.2 - Previsão de rendimentos => produtividade

- A combinação de estimadores que caracterizam o potencial de produção (frutos/m² de área cultivada, m² de silhueta de copa => *dummies*) com variáveis do tempo/clima relacionadas com o crescimento dos frutos, proporcionaram modelos de previsão mais eficientes do que modelos isolados destes mesmos estimadores. O estimador de maior peso na composição do rendimento (kg/ha) caracterizou-se pelo número médio de frutos/m² de área cultivada, deixados após o raleio (out.- nov.), explicando mais de 75% dos modelos polinomiais (r^2). Outro estimador importante ligado à capacidade de produção média de cada pomar (vigor), foi ajustado em alguns modelos pelo uso da variáveis *dummies*, com bom desempenho, tendo em vista que a idade dos pomares não caracterizou-se como estimador eficiente;
- Os estimadores climáticos relacionados com o crescimento dos frutos e integrantes dos modelos são variados, bem como a época de maior influência. Para a cultivar Gala, eles estão relacionados à disponibilidade energética, traduzida pela temperatura média dos meses de

novembro e dezembro, muitas vezes associada à insolação de agosto e setembro, somatória de graus-dia do mês de julho, agosto e somatória de horas de frio de maio-julho e maio-agosto, pelos dois métodos propostos. Temperaturas elevadas nos meses de novembro e dezembro, coincidentes com o final da floração-início de frutificação, induziram a uma diminuição da produtividade, comprovada na prática e demonstrada pelos modelos. A somatória de graus-dia, insolação e a somatória de horas de frio no período de repouso, demonstram a satisfação ou não do frio invernal para quebra de dormência e, conseqüentemente, uma floração e frutificação em período mais ou menos concentrado e homogêneo na primavera. Também, guardam relações com temperaturas mais ou menos elevadas no final da primavera, indutoras do tamanho do fruto (diferenciação celular);

- Nas cultivares mais tardias (Golden Delicious, Fuji), outro estimador tomou lugar em alguns modelos, ou seja, a relação **ETR/ETP**, nos meses de dezembro a fevereiro. Nestas cultivares, além das condições térmicas do outono-inverno (**HF**) e primavera (**TM, I**), o rendimento ficou dependente também das condições hídricas do período da maturação;
- Os modelos propostos para as três cultivares variaram, dependendo da combinação dos estimadores e período de previsão envolvido, de lineares, raiz quadrada, quadráticos e exponenciais. Os modelos compostos, cultivares Gala e Golden Delicious, apresentaram um desempenho superior na validação das previsões realizadas para a safra de **93/94**. Para a cultivar Golden Delicious, dois modelos neurais (**NWR10, NWR20**) tiveram desempenhos superiores aos demais (polinomiais e neurais) nos testes de validação e um polinomial linear com *dummies* (**R20**). Para a Fuji, os modelos compostos e o misto (**MM3**) superestimaram as previsões, enquanto os locais (**R400, NW400, R600 E NWR600**) e o misto (**MMFU**) tiveram um desempenho mais ajustado no processo de validação dos modelos. Estes modelos são polinomiais exponenciais ou neurais contendo variáveis *dummies*.
- Os modelos neurais foram treinados com a ajuda de **4 a 10** neurônios (**hidden 1**), correspondendo a **1/2 a 1,5** vezes o número de estimadores de entrada (inputs) mais a saída (output). Apresentaram desempenho, de forma genérica, semelhante aos polinomiais (alguns casos até superior), nas previsões efetuadas (testes de validação e safra **93/94**). Neste aspecto, concluiu-se que é possível efetuar-se previsões agrícolas com número relativamente pequeno de repetições, **27-30** anos/safras, ficando claro que o ajuste dos modelos depende mais da qualidade e representatividade dos dados do que a sua quantidade;

- A utilização da programação linear proporcionou a geração de modelos mistos (polinomiais + neurais) com erro relativo médio das previsões menor do que os modelos individuais. Tais modelos tiram proveito das vantagens individuais dos modelos simples, melhorando seu desempenho conjunto dos estimadores de rendimento, tornando os modelos previsivos mais seguros. Dependendo da cultivar e do modelo, boa previsão pode ser feita com até 120 dias de antecedência. Obviamente, o acerto é maior à medida que se aproxima da data da colheita.

6.2 - Recomendações sobre métodos e modelos de previsão agrícola

- Para o desenvolvimento e adoção de modelos numéricos de previsão agrícola de abrangência regional ou mesmo estadual, recomenda-se aos setores governamentais e mesmo privados, responsáveis pelo prognóstico de fases fenológicas, rendimentos e de safras, a organização de banco de dados bem dimensionado, ágil e com atualização de dados em tempo real ou quase-real. Desenvolvimento de equipe treinada e disponibilidade de dados edafoclimáticos, fenológicos e de produção, representativos das diversas regiões produtivas e sistemas computacionais compatíveis e integrados às necessidades das previsões agrícolas;
- Especificamente para a cultura da maçã, para o aprimoramento dos modelos prvisivos, recomenda-se a padronização e a adoção de critérios mais objetivos na determinação a campo das fases fenológicas (plena floração, início de colheita), tanto dos órgãos de pesquisa quanto ao segmento produtivo. Também no que se refere à amostragem do número médio de frutos/planta e pomar, a adoção de método estatístico compatível com a cultivar, condições climáticas e práticas agrícolas (raleio manual e químico);
- Também recomenda-se o desenvolvimento de método amostral dos pomares que efetivamente caracterize sua capacidade de produção (vigor => m² da área de copa) e que possa integrar os modelos previsores de rendimento. Talvez, conforme demonstrado neste trabalho, a utilização de variáveis *dummies*, possa ser aprimorada neste sentido;
- Para uma conclusão mais definitiva dos modelos propostos, recomenda-se a realização de uma bateria de testes com a utilização de pomares diversos e condições climáticas diferentes (safra variadas).

6.3 - Conclusões sobre caracterização espacial da propriedade agrícola e cultivos

- As imagens CASI, nas condições deste trabalho, permitiram discriminar quatro cultivares de maçã: Gala, Golden Delicious, Belgolden e Fuji +Granny Smith, no caso de plantios comerciais de baixa densidade (<1.000 plantas/ha), sistema de condução consorciado e em pomares pequenos (<3ha). Este desempenho comprova o potencial deste sensor na discriminação de pequenas áreas cultivadas (pequenas propriedades) com sistemas associados de cultivos de espécies ou cultivares diferentes;
- A combinação de mapas precisos (restituídos) e em escala adequada para pequenos cultivos (1:5.000), com imagens classificadas do CASI, analisadas de forma cruzada pelo GIS/SPANS, permitiram segurança e objetividade na análise discriminatória (quantitativa) das áreas cultivadas (maçã), em nível de cultivares;
- Em cultivos ou pomares jovens ou em produção comercial com alta densidade (1.000 - 2.000 plantas/ha), os resultados discriminatórios não foram satisfatórios e, portanto, não conclusivos. Tal fato, deveu-se, principalmente, pela falta de cobertura vegetal (macieiras) sobre o solo, associada a plantios jovens e a época do imageamento inadequado (final da floração). Os resultados obtidos com a análise espectral e com a distribuição de tonalidades (histogramas) de pomares típicos da área de estudo confirmam tal afirmação. No entanto, acredita-se ser de difícil solução a discriminação de pomares mais jovens, com forte reflectância de solo (background reflectance) ou vegetação de fundo (entre filas e plantas);
- Comparativamente, a utilização de imagens CASI com resolução espacial de 3,5m X 3,5m e 8 bandas espectrais entre o visível e o infravermelho próximo, tiveram desempenho discriminatório de cultivares de maçã superior em relação as imagens CASI 2m X 2m, 3 bandas espectrais (visível - infravermelho próximo). Mesmo com a utilização de bandas derivadas destas três com a utilização de razão entre bandas (canais) e diferença pela soma de bandas (canais);
- A utilização do método de cálculo de área cultivada por macieiras, derivado do produto entre o espaçamento e o número de plantas, mostrou-se mais adequado para a previsão de rendimentos e de safras desta espécie na área de estudo. Devido o número de plantas em produção ser dinâmico, variando de uma safra para outra, tal método tornou-se mais eficiente

e prático na estimativa da área cultivada. O uso do CASI subestimou em aproximadamente 12% a área plantada com macieiras, tendo em vista o sistema de espaçamento definitivo adotado, dentro das parcelas/subparcelas da área de estudo. A determinação da área total ou útil ocupada pelos pomares, embora mais preciso e acurado (restituição aerofotogramétrica), é invariável (fixo), tornando-se incompatível com a dinâmica imposta pela cultura. No entanto, a utilização da restituição aerofotogramétrica foi etapa fundamental neste trabalho no que tange o mapeamento preciso e ao georreferenciamento dos pomares e informações alfanuméricas manuseadas pelo GIS/SPANS. Por outro lado, a utilização de resultados de discriminação de áreas cultivadas com o uso do CASI deve ser usada com cautela pois pode levar a superestimativa. Isto é devido a pomares que não tenham entrado em produção comercial ou à inclusão de áreas diversas como pomares devido, principalmente, à reflexão de fundo em pomares mais jovens.

6.4 - Recomendações sobre caracterização espacial da propriedade agrícola e cultivos

- Tendo em vista a discriminação não satisfatória de pomares mais jovens ou em produção comercial com alta densidade de plantio, recomenda-se a repetição do trabalho com a utilização de imagens obtidas em fase fenológica mais favorável quanto a cobertura foliar. A análise espectral de *pixels* sobre pomares típicos, apresentada neste trabalho, poderia balisar uma combinação de bandas mais adequadas para um futuro voo espacial desta espécie vegetal;
- Recomenda-se a continuidade deste estudo pelos centros de pesquisa governamentais e universidades, principalmente no tocante ao uso de imagens do CASI ou outro sensor semelhante, sobre cultivos anuais típicos da pequena e média propriedade sul-brasileira. O objetivo disto visa testar o potencial discriminante destes sensores aerotransportáveis atuais e utilizar o colhecimento adquirido no uso de sensores digitais orbitais que entrarão em operação nos próximos anos (resolução espacial de 5 metros, 10 canais espectrais, sistema passivo e ativo de utilização da energia refletida, estereoscopia, menor custo de imagens);
- Sugere-se, também, o aprofundamento de pesquisas no sentido de desenvolver metodologia para melhorar o ajustamento da junção das faixas de voo classificadas (mosaicagem), bem como a correção das imagens de sensores digitais aerotransportáveis quanto as oscilações verticais e de rumo, tanto ao longo da faixa de voo quanto entre elas.

- Para futuros trabalhos, recomenda-se uma combinação mais eficiente dos produtos derivados das imagens digitais do *scanner*, da restituição aerofotogramétrica e do GIS no desenvolvimento de modelos de previsão agrícola, com a inclusão de informações derivadas do cruzamento de mapas, como: declividade das áreas em produção com tipos de solos, fertilidade, exposição solar, entre outros, quanto a sua interferência no processo produtivo e na busca de melhores estimadores para o potencial de produção de cada área (vigor dos pomares).

7 - ANEXOS

7.1 - ANEXO A

Dados históricos de produção em nível de parcela (pomar), rendimento por planta e área cultivada, fenologia e peso médio de frutos da Empresa RENAR - Maçãs S/A de Fraiburgo/SC. Cultivar Gala - P-16 (Quadras 17, 18, 19, 20, 21, 22, 30, 31, 33); Cultivar Golden - Pomar René Frey; Cultivar Fuji - F-16 (Quadras 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35).

7.2 - ANEXO B

Dados fenológicos, peso médio de frutos das cultivares Gala, Golden e Fuji da coleção de plantas da Estação Experimental de Caçador/SC - EPAGRI/SAA, ciclo 84/85 - 92/93.

7.3 - ANEXO C

Dados históricos de produção, rendimento por planta e área cultivada, fenologia e peso médio de frutos, da coleção de cultivares da Estação Experimental de São Joaquim/SC - EPAGRI/SC, cultivares Gala, Golden e Fuji.

7.4 - ANEXO D

Análise estatística de algumas áreas de treinamento (pomares) quanto as tonalidades entre 0 - 255, suas médias, desvios-padrões, coeficientes de correlação e matrizes das bandas espectrais e principais componentes utilizadas.

ANEXO A

Parcela/	Ano/	Idade	Num.	Área	Plena	Início	Frutos/	Frutos/	Prod	Kg/Ha	Kg/	Gramas/	Frutos/
Pomar	Safra	Anos	Plantas	(ha)	Floração	Colheita	Planta	m ²	Kg		Planta	Fruto	Kg
Cultivar	Gala				(P. Enx.	MM-106)							
F - 16	79/80	3	7400	11,8			51	3,2	44565	3.777	6,0	118,1	8,5
F - 16	80/81	4	7400	11,8	10/10/80	11/02/81	68	4,3	90431	7.664	12,2	179,7	5,6
F - 16	81/82	5	7400	11,8	6/10/81	8/02/82	209	13,1	196779	16.676	26,6	127,2	7,9
F - 16	82/83	6	7400	11,8	13/10/82	31/01/83	194	12,2	199583	16.914	27,0	139,0	7,2
F - 16	83/84	7	7400	11,8	12/10/83	30/01/84	224	14,0	211525	17.926	28,6	127,6	7,8
F - 16	84/85	8	7100	11,2	5/10/84	7/02/85	252	16,0	234377	20.927	33,0	131,0	7,6
F - 16	85/86	9	7100	11,2	6/10/85	10/02/86	141	8,9	106030	9.467	14,9	105,9	9,4
F - 16	86/87	10	7300	11,6	12/10/86	9/02/87	314	19,8	240000	20.690	32,9	104,7	9,6
F - 16	87/88	11	7300	11,6	5/10/87	10/02/88	328	20,6	274100	23.629	37,5	114,5	8,7
F - 16	88/89	12	7300	11,6	4/10/88	30/01/89	297	18,7	287586	24.792	39,4	132,6	7,5
F - 16	89/90	13	6300	10,1	8/10/89	5/02/90	346	21,6	260398	25.782	41,3	119,5	8,4
F - 16	90/91	14	6300	10,1	8/10/90	23/01/91	281	17,5	210981	20.889	33,5	119,2	8,4
F - 16	91/92	15	6300	10,1	10/10/91	30/01/92	407	25,4	302292	29.930	48,0	117,9	8,5
F - 16	92/93	16	6300	10,1	9/10/92	25/01/93	295	18,4	326161	32.293	51,8	175,5	5,7
F - 16	93/94	17	5563	8,9	11/10/93	25/01/94	295	21,5	192794	21.662	34,6	117,3	8,5
Cultivar	Golden				(P. Enx.	Diversos)							
R. Frey	73/74	3	17000	16,9			63	6,3	133833	7.919	7,9	125,0	8,0
R. Frey	74/75	4	37700	41,9			84	7,6	395594	9.441	10,5	124,9	8,0
R. Frey	75/76	5	47500	52,9			44	4,0	259815	4.911	5,5	124,3	8,0
R. Frey	76/77	6	52900	58,9		28/02/77	72	6,5	476215	8.085	9,0	125,0	8,0
R. Frey	77/78	7	52900	58,9	15/10/77	3/03/78	134	12,0	592830	10.065	11,2	83,6	12,0
R. Frey	78/79	8	53900	60,2	13/10/78	28/02/79	295	26,4	1773092	29.453	32,9	111,5	9,0
R. Frey	79/80	9	53750	60,2	15/10/79	3/03/80	228	20,4	1526209	25.352	28,4	124,5	8,0
R. Frey	80/81	10	52500	60,2	18/10/80	4/03/81	235	20,5	1296196	21.531	24,7	105,1	9,5
R. Frey	81/82	11	52500	60,2	16/10/81	3/03/82	291	25,4	2043984	33.953	38,9	133,8	7,5
R. Frey	82/83	12	52400	60,2	22/10/82	3/03/83	193	16,8	1014413	16.851	19,4	100,3	10,0
R. Frey	83/84	13	52400	60,2	18/10/83	5/03/84	263	22,9	2006631	33.333	38,3	145,6	6,9
R. Frey	84/85	14	54200	65,4	16/10/84	11/03/85	337	27,9	2405926	36.788	44,4	131,7	7,6
R. Frey	85/86	15	54200	65,4	20/10/85	3/03/86	301	24,9	1829485	27.974	33,8	112,1	8,9
R. Frey	86/87	16	56467	63,2	22/10/86	3/03/87	273	24,4	1713290	27.109	30,3	111,1	9,0
R. Frey	87/88	17	56467	63,2	16/10/87	1/03/88	371	33,1	2596912	41.090	46,0	124,0	8,1
R. Frey	88/89	18	55722	62,5	15/10/88	1/03/89	376	33,5	2669139	42.706	47,9	127,4	7,8
R. Frey	89/90	19	55722	62,5	17/10/89	6/03/90	306	27,3	2101654	33.626	37,7	123,3	8,1
R. Frey	90/91	20	55502	61,5	15/10/90	28/02/91	254	22,9	1834928	29.836	33,1	130,2	7,7
R. Frey	91/92	21	55502	61,5	18/10/91	3/03/92	513	46,3	3483619	56.644	62,8	122,4	8,2
R. Frey	92/93	22	55502	61,5	16/10/92	25/02/93	722	65,2	5428343	88.266	97,8	135,5	7,4
R. Frey	93/94	23	55502	61,5	15/10/93	24/02/94	423	38,2	2571412	41.811	46,3	109,5	9,1
Cultivar	Fuji				(P. Enx.	EM - 7)							
F - 16	79/80	3	14000	22,2			27	1,7	55027	2.479	3,9	145,6	6,9
F - 16	80/81	4	14000	22,2	11/10/80	31/03/81	63	4,0	109667	4.940	7,8	124,3	8,0
F - 16	81/82	5	14000	22,2	8/10/81	5/04/82	260	16,4	384919	17.339	27,5	105,7	9,5
F - 16	82/83	6	14000	22,2	13/10/82	4/04/83	173	10,9	117455	5.291	8,4	48,5	20,6
F - 16	83/84	7	14000	22,2	12/10/83	2/04/84	304	19,2	465579	20.972	33,3	109,4	9,1
F - 16	84/85	8	14000	22,2	7/10/84	1/04/85	381	24,0	578994	26.081	41,4	108,5	9,2
F - 16	85/86	9	14000	22,2	8/10/85	3/04/86	284	17,9	446775	20.125	31,9	112,4	8,9
F - 16	86/87	10	14000	22,2	13/10/86	2/04/87	223	14,1	334745	15.079	23,9	107,2	9,3
F - 16	87/88	11	14000	22,2	5/10/87	11/04/88	429	27,1	652959	29.413	46,6	108,7	9,2
F - 16	88/89	12	18816	24,6	6/10/88	30/03/89	321	24,6	819572	33.316	43,6	135,7	7,4
F - 16	89/90	13	23617	28,3	9/10/89	9/04/90	176	14,7	482406	17.046	20,4	116,1	8,6
F - 16	90/91	14	21000	26,1	8/10/90	1/04/91	254	20,4	699406	26.797	33,3	131,1	7,6
F - 16	91/92	15	21000	26,1	11/10/91	2/04/92	303	24,4	803900	30.801	38,3	126,3	7,9
F - 16	92/93	16	21000	26,1	9/10/92	1/04/93	467	37,6	1325844	50.799	63,1	135,2	7,4
F - 16	93/94	17	20481	25,4	13/10/93	28/03/94	361	29,1	742894	29.259	36,3	100,6	9,9

ANEXO B

Parcela/ Pomar	Ano/ Safr	Idade Anos	Num. Plantas	Área (ha)	Plena Floração	Início Colheita	Frutos/ Planta	Frutos/ m ²	Prod Kg	Kg/Ha	Kg/Pl.	Gramas/ Fruto	Frutos/ Kg
Cultivar Gala													
Coleção	84/85				27/10	12/02						95,1	
Coleção	85/86				15/10	8/02						103	
Coleção	86/87				22/10	17/02						90,4	
Coleção	87/88				21/10	10/02						115	
Coleção	88/89				1/10	12/02						124	
Coleção	89/90				6/10	28/01						130	
Coleção	90/91				8/10	1/02						129	
Coleção	91/92				11/10	28/01						125	
Coleção	92/93				14/10	2/02						130	
Cultivar Golden delicious													
Coleção	84/85				26/10	12/02						150	
Coleção	85/86				18/10	6/03						115	
Coleção	86/87				26/10	5/03						106	
Coleção	87/88				24/10	10/03						116	
Coleção	88/89				28/09	27/02						125	
Coleção	89/90				24/10	15/03						120	
Coleção	90/91				14/10	25/02						105	
Coleção	91/92				13/10	15/03						100	
Coleção	92/93				25/10	25/03						102	
Cultivar Fuji													
Coleção	84/85				20/10	28/03						103	
Coleção	85/86				12/10	2/04						127	
Coleção	86/87				18/10	1/04						91	
Coleção	87/88				25/09	6/04						151	
Coleção	88/89				16/10	4/04						151	
Coleção	89/90				9/10	28/03						120	
Coleção	90/91				10/10	1/04						90	
Coleção	91/92				8/10	25/03						121	
Coleção	92/93				15/10	15/04						105	

ANEXO C

Parcela/ Pom ar	Ano/ Safr a	Idade Anos	Num. Plantas	Area (ha)	Plena Floração	Início Colheita	Frutos/ Planta	Frutos/ m^2	Prod. Kg	Kg/Ha	Kg/ Planta	Gram as/ Fruto	Frutos/ Kg
Cultivar	Gala			(P. Enx. -	EM-2)								
Coleção	72/73	3	3	0,0036	3/11	5/03	53	4,4	22,8	6.333	7,6	143,4	7,0
Coleção	73/74	4	3	0,0036	3/11	19/03	190	15,8	87,9	24.417	29,3	154	6,5
Coleção	74/75	5	3	0,0036	27/09	25/02	357	29,8	157,5	43.750	52,5	147	6,8
Coleção	75/76	6	3	0,0036	6/10	28/02	349	29,1	141,3	39.250	47,1	135	7,4
Coleção	76/77	7	3	0,0036	28/09	10/02	128	10,7	40,2	11.167	13,4	105	9,6
Coleção	77/78	8	3	0,0036	20/10	1/03	540	45,0	205,8	57.167	68,6	127	7,9
Coleção	78/79	9	3	0,0036	29/09	5/02	729	60,8	286,5	79.583	95,5	131	7,6
Coleção	79/80	10	3	0,0036	21/09	2/02	741	61,8	415,8	115.500	138,6	187	5,3
Coleção	80/81	11	3	0,0036	25/10	1/03	695	57,9	330,9	91.917	110,3	158,5	6,3
Coleção	81/82	12	3	0,0036	9/10	18/02	625	52,1	261,3	72.583	87,1	139,3	7,2
Coleção	82/83	13	3	0,0036	5/10	18/02	452	37,7	200,1	55.583	66,7	147,6	6,8
Coleção	83/84	14	3	0,0036	4/10	20/02	651	54,3	363,6	101.000	121,2	186,1	5,4
Coleção	84/85	15	3	0,0036	18/10	28/02	793	66,1	336,9	93.583	112,3	141,6	7,1
Coleção	85/86	16	3	0,0036	9/10	17/02	777	64,8	388,5	107.917	129,5	166,7	6,0
Coleção	86/87	17	3	0,0036	7/10	13/02	1201	100,1	308,1	85.583	102,7	85,5	11,7
Coleção	87/88	18	3	0,0036	5/10	14/02	556	46,3	225,3	62.583	75,1	135	7,4
Coleção	88/89	19	3	0,0036	14/09	13/02	1420	118,3	502,8	139.667	167,6	118	8,5
Coleção	89/90	20	3	0,0036	1/10	22/02	596	49,7	291,3	80.917	97,1	163	6,1
Coleção	90/91	21	3	0,0036	24/09	18/02	1069	89,1	439,8	122.167	146,6	137,2	7,3
Coleção	91/92	22	3	0,0036	4/10	15/02	593	49,4	262,8	73.000	87,6	147,7	6,8
Coleção	92/93	23	3	0,0036	14/10	22/02	1075	89,6	432	120.000	144	134	7,5
Cultivar	Golden			(P. Enx	North Spy)								
Coleção	72/73	3	3	0,0036	8/11	18/03	12	1,0	5,1	1.417	1,7	141,7	7,1
Coleção	73/74	4	3	0,0036	15/11	3/04	93	7,8	43,8	12.167	14,6	157	6,4
Coleção	74/75	5	3	0,0036	8/10	23/03	236	19,7	123	34.167	41	174	5,8
Coleção	75/76	6	3	0,0036	14/10	25/03	179	14,9	104,1	28.917	34,7	194	5,2
Coleção	76/77	7	3	0,0036	8/10	30/03	207	17,3	132,3	36.750	44,1	213	4,7
Coleção	77/78	8	3	0,0036	22/10	21/03	143	11,9	75	20.833	25	175	5,7
Coleção	78/79	9	3	0,0036	16/10	23/03	592	49,3	321,6	89.333	107,2	181	5,5
Coleção	79/80	10	3	0,0036	3/10	4/03	474	39,5	264,6	73.500	88,2	186	5,4
Coleção	80/81	11	3	0,0036	6/11	26/03	752	62,7	399	110.833	133	176,9	5,7
Coleção	81/82	12	3	0,0036	24/10	10/03	879	73,3	514,2	142.833	171,4	195	5,1
Coleção	82/83	13	3	0,0036	16/10	14/03	489	40,8	250,5	69.583	83,5	170,8	5,9
Coleção	83/84	14	3	0,0036	13/10	5/03	837	69,8	497,1	138.083	165,7	198	5,1
Coleção	84/85	15	3	0,0036	27/10	13/03	1118	93,2	448,8	124.667	149,6	133,8	7,5
Coleção	85/86	16	3	0,0036	23/10	4/03	679	56,6	392,4	109.000	130,8	192,6	5,2
Coleção	86/87	17	3	0,0036	25/10	7/03	640	53,3	283,8	78.833	94,6	147,8	6,8
Coleção	87/88	18	3	0,0036	20/10	10/03	908	75,7	421,5	117.083	140,5	154,8	6,5
Coleção	88/89	19	3	0,0036	27/09	3/03	1138	94,8	590,7	164.083	196,9	173	5,8
Coleção	89/90	20	3	0,0036	18/10	17/03	333	27,8	169,8	47.167	56,6	170	5,9
Coleção	90/91	21	3	0,0036	15/10	4/03	932	77,7	438,9	121.917	146,3	157	6,4
Coleção	91/92	22	3	0,0036	18/10	7/03	764	63,7	343,8	95.500	114,6	150	6,7
Coleção	92/93	23	3	0,0036	24/10	7/03	949	79,1	493,8	137.167	164,6	173,5	5,8
Cultivar	Fuji			(P. Enx.	- EM-4)								
Coleção	76/77	5	3	0,0036	30/09	5/04	279	23,3	197,4	54.833	65,8	236	4,2
Coleção	77/78	6	3	0,0036	21/10	5/04	161	13,4	114,6	31.833	38,2	237	4,2
Coleção	78/79	7	3	0,0036	11/10	3/04	272	22,7	135,6	37.667	45,2	166	6,0
Coleção	79/80	8	3	0,0036	25/09	21/03	353	29,4	141,3	39.250	47,1	186	7,5
Coleção	80/81	9	3	0,0036	25/10	18/04	305	25,4	155,1	43.083	51,7	169,4	5,9
Coleção	81/82	10	3	0,0036	4/10	10/04	368	30,7	285,6	79.333	95,2	258,7	3,9
Coleção	82/83	11	3	0,0036	6/10	22/03	380	31,7	234	65.000	78	205,2	4,9
Coleção	83/84	12	3	0,0036	4/10	27/03	439	36,6	233,7	64.917	77,9	177,5	5,6
Coleção	84/85	13	3	0,0036	20/10	25/03	688	57,3	336,3	93.417	112,1	163	6,1
Coleção	85/86	14	3	0,0036	10/10	27/03	443	36,9	234,6	65.167	78,2	176,5	5,7
Coleção	86/87	15	3	0,0036	12/10	3/04	561	46,8	249,9	69.417	83,3	148,5	6,7
Coleção	87/88	16	3	0,0036	11/10	12/04	385	32,1	181,5	50.417	60,5	157,3	6,4
Coleção	88/89	17	3	0,0036	18/09	4/04	391	32,6	241,5	67.083	80,5	206	4,9
Coleção	89/90	18	3	0,0036	6/10	11/04	138	11,5	70,2	19.500	23,4	170	5,9
Coleção	90/91	19	3	0,0036	5/10	15/04	676	56,3	311,7	86.583	103,9	153,8	6,5
Coleção	91/92	20	3	0,0036	16/10	4/04	267	22,3	129,6	36.000	43,2	161,5	6,2
Coleção	92/93	21	3	0,0036	17/10	5/04	430	35,8	222,3	61.750	74,1	172	5,8

ANEXO D

ÁREA DE TREINAMENTO: P6GTATS01 ==> BELGOLDEN
Número de amostras (pixels): 1180

BANDA/FEIÇÃO *	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
CAS1	34.23	1.50
CAS2	61.85	1.54
CAS3	42.78	2.28
CAS4	26.43	2.96
CAS5	88.84	2.07
CAS6	153.73	6.04
CAS7	170.26	6.96
CAS8	168.80	6.36
PC01	81.20	7.70
PC02	117.20	7.23
PC03	162.40	13.99

* CAS = Bandas CASI 1 - 8; PC = Principais Componentes 1 - 3.

Coeficientes de correlação:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	0.561									
3	0.811	0.596								
4	0.805	0.376	0.870							
5	0.153	0.697	0.225	-0.005						
6	-0.438	0.225	-0.386	-0.587	0.605					
7	-0.457	0.181	-0.415	-0.599	0.545	0.982				
8	-0.459	0.152	-0.413	-0.579	0.480	0.928	0.957			
9	0.444	-0.211	0.396	0.588	-0.574	-0.985	-0.994	-0.974		
10	-0.874	-0.632	-0.951	-0.929	-0.273	0.440	0.479	0.491	-0.460	
11	-0.184	0.177	-0.209	-0.363	0.475	0.360	0.255	0.024	-0.227	0.134

Matriz de covariância:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	2.263										
2	1.293	2.362									
3	2.780	2.087	5.196								
4	3.587	1.713	5.874	8.779							
5	0.447	2.220	1.061	-0.028	4.300						
6	-3.979	2.092	-5.310	-10.496	7.581	36.457					
7	-4.784	1.931	-6.577	-12.348	7.869	41.270	48.421				
8	-4.398	1.483	-5.993	-10.921	6.337	35.672	42.402	40.505			
9	5.146	-2.495	6.944	13.420	-9.168	-45.466	-53.219	-47.710	59.248		
10	-9.510	-7.023	-15.689	-19.913	-4.100	19.206	24.124	22.614	-25.613	52.340	
11	-3.862	3.809	-6.677	-15.031	13.779	30.440	24.828	2.175	-24.453	13.558	195.684

ANEXO D

ÁREA DE TREINAMENTO: P6GTATS02 ==> FUJI
Número de amostras (pixels): 1089

BANDA/FEIÇÃO *	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
CAS1	31.54	1.37
CAS2	57.24	2.99
CAS3	36.84	2.48
CAS4	21.21	1.94
CAS5	85.23	4.23
CAS6	173.51	8.98
CAS7	198.92	10.18
CAS8	200.48	10.25
PC01	50.22	11.92
PC02	141.33	7.76
PC03	95.76	16.14

* CAS = Bandas CAS1 - 8; PC = Principais Componentes1 - 3.

Coeficientes de correlação:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	0.842									
3	0.833	0.897								
4	0.702	0.685	0.857							
5	0.686	0.876	0.796	0.609						
6	0.514	0.731	0.545	0.275	0.859					
7	0.475	0.691	0.494	0.222	0.813	0.987				
8	0.474	0.690	0.496	0.239	0.787	0.952	0.971			
9	-0.507	-0.726	-0.535	-0.267	-0.841	-0.989	-0.995	-0.984		
10	-0.843	-0.894	-0.970	-0.906	-0.819	-0.508	-0.443	-0.435	0.487	
11	0.042	0.045	0.073	0.053	0.150	-0.033	-0.130	-0.325	0.160	-0.183

Matriz de covariância:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	1.868										
2	3.442	8.939									
3	2.830	6.658	6.169								
4	1.863	3.984	4.140	3.783							
5	3.970	11.085	8.377	5.014	17.933						
6	6.305	19.623	12.150	4.806	32.668	80.623					
7	6.604	21.028	12.493	4.395	35.049	90.209	103.591				
8	6.639	21.148	12.641	4.760	34.152	87.249	101.305	105.087			
9	-8.263	-25.879	-15.835	-6.179	-42.444	-105.905	-120.681	-120.248	142.116		
10	-8.940	-20.742	-18.683	-13.676	-26.917	-35.425	-35.023	-34.582	45.040	60.202	
11	0.933	2.147	2.930	1.669	10.258	-4.747	-21.377	-53.819	30.775	-22.976	260.505

ANEXO D

ÁREA DE TREINAMENTO: P6GTATS03 ==> GALA
Número de amostras (pixels): 1271

BANDA/FEIÇÃO *	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
CAS1	35.38	1.26
CAS2	58.90	3.84
CAS3	42.81	3.08
CAS4	29.50	2.65
CAS5	85.84	4.62
CAS6	151.78	8.82
CAS7	169.15	10.13
CAS8	168.50	9.93
PC01	83.14	11.89
PC02	117.08	9.35
PC03	137.39	13.54

* CAS = Bandas CASI 1 - 8; PC = Principais Componentes1 - 3.

Coeficientes de correlação:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	0.682									
3	0.783	0.773								
4	0.736	0.432	0.808							
5	0.592	0.958	0.702	0.362						
6	0.256	0.785	0.350	-0.080	0.849					
7	0.214	0.752	0.312	-0.117	0.814	0.991				
8	0.212	0.740	0.319	-0.101	0.794	0.972	0.983			
9	-0.249	-0.781	-0.351	0.078	-0.839	-0.994	-0.996	-0.990		
10	-0.850	-0.820	-0.961	-0.850	-0.763	-0.367	-0.318	-0.314	0.359	
11	0.180	0.321	0.117	-0.018	0.377	0.237	0.163	0.016	-0.148	-0.239

Matriz de covariância:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	1.580										
2	3.291	14.745									
3	3.027	9.138	9.466								
4	2.455	4.395	6.591	7.034							
5	3.437	16.989	9.974	4.432	21.338						
6	2.837	26.580	9.491	-1.865	34.596	77.767					
7	2.720	29.265	9.717	-3.151	38.080	88.583	102.259				
8	2.644	28.212	9.749	-2.651	36.438	85.083	98.868	98.612			
9	-3.720	-35.652	-12.840	2.458	-46.098	-104.193	-120.010	-116.860	141.375		
10	-9.986	-29.459	-27.644	-21.086	-32.947	-30.243	-30.133	-29.136	39.944	87.429	
11	3.070	16.662	4.890	-0.651	23.555	28.288	22.389	2.119	-23.816	-30.218	183.208

ANEXO D

ÁREA DE TREINAMENTO: P6GTATS04 ==> GOLDEN DELICIOUS
Número de amostras (pixels): 1740

BANDA/FEIÇÃO *	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
CAS1	34.11	1.24
CAS2	52.49	1.60
CAS3	39.67	2.24
CAS4	28.37	3.46
CAS5	75.52	2.18
CAS6	126.60	5.84
CAS7	140.59	6.71
CAS8	140.05	6.32
PC01	116.89	7.44
PC02	126.89	7.63
PC03	141.63	15.12

* CAS = Bandas CAS1 - 8; PC = Principais Componentes1 - 3.

Coefficientes de correlação:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	0.498									
3	0.832	0.531								
4	0.757	0.217	0.876							
5	0.224	0.450	0.248	0.100						
6	-0.450	-0.049	-0.478	-0.523	0.541					
7	-0.502	-0.071	-0.513	-0.552	0.471	0.977				
8	-0.512	-0.091	-0.495	-0.528	0.424	0.905	0.941			
9	0.484	0.045	0.491	0.540	-0.511	-0.979	-0.991	-0.967		
10	-0.867	-0.519	-0.965	-0.924	-0.310	0.480	0.531	0.531	-0.509	
11	-0.070	0.200	-0.212	-0.358	0.363	0.317	0.209	-0.063	-0.164	0.141

Matriz de covariância:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	1.528										
2	0.983	2.550									
3	2.308	1.903	5.033								
4	3.235	1.200	6.795	11.961							
5	0.604	1.569	1.215	0.732	4.774						
6	-3.245	-0.454	-6.265	-10.559	6.896	34.082					
7	-4.165	-0.761	-7.729	-12.810	6.904	38.314	45.082				
8	-3.997	-0.914	-7.015	-11.529	5.853	33.382	39.917	39.927			
9	4.451	0.539	8.189	13.878	-8.295	-42.487	-49.482	-45.443	55.304		
10	-8.186	-6.332	-16.534	-24.391	-5.168	21.385	27.196	25.628	-28.891	58.284	
11	-1.313	4.830	-7.201	-18.698	12.004	27.938	21.204	-5.991	-18.400	16.219	228.624

ANEXO D

ÁREA DE TREINAMENTO: P6GTATS05 ==> GALA/GRANNY S. - P13
Número de amostras (pixels): 959

BANDA/FEIÇÃO *	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
CAS1	28.32	1.20
CAS2	44.16	1.83
CAS3	30.10	1.96
CAS4	19.03	2.25
CAS5	63.51	3.56
CAS6	131.85	6.22
CAS7	153.81	6.74
CAS8	157.12	6.06
PC01	104.38	7.25
PC02	165.22	7.09
PC03	72.23	21.44

* CAS = Bandas CASI 1 - 8; PC = Principais Componentes1 - 3.

Coeficientes de correlação:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	0.854									
3	0.887	0.882								
4	0.766	0.694	0.824							
5	0.527	0.622	0.603	0.435						
6	0.145	0.338	0.198	-0.155	0.492					
7	0.080	0.309	0.111	-0.198	0.328	0.934				
8	0.069	0.326	0.077	-0.135	0.394	0.739	0.847			
9	-0.137	-0.378	-0.173	0.138	-0.475	-0.943	-0.974	-0.913		
10	-0.870	-0.842	-0.938	-0.897	-0.719	-0.094	0.031	0.011	0.064	
11	0.122	0.082	0.186	-0.053	0.389	0.445	0.179	-0.237	-0.148	-0.218

Matriz de covariância:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	1.434										
2	1.875	3.362									
3	2.079	3.166	3.835								
4	2.059	2.857	3.626	5.043							
5	2.243	4.058	4.200	3.475	12.645						
6	1.083	3.861	2.409	-2.168	10.901	38.746					
7	0.643	3.818	1.464	-2.992	7.869	39.203	45.439				
8	0.497	3.617	0.917	-1.836	8.482	27.845	34.594	36.673			
9	-1.189	-5.033	-2.460	2.242	-12.262	-42.565	-47.620	-40.102	52.632		
10	-7.386	-10.945	-13.026	-14.283	-18.128	-4.129	1.463	0.454	3.302	50.233	
11	3.130	3.238	7.823	-2.664	29.635	59.334	25.798	-30.804	-22.961	-33.101	459.478

8 - Referências Bibliográficas

- AGUIAR, Valter X. Cartografia digital. In: SEMINÁRIO PARANAENSE DE CADASTRO TÉCNICO E PLANEJAMENTO MUNICIPAL, 2, Curitiba, Anais, 1991: 75-81.
- ALONSO, Frederico G., SORIA, Salvador L., GOZALO, José M. C. Comparing two methodologies for crop area estimation in Spain using Landsat TM images and ground-gathered data. Remote Sens. Environment. 35(1991):29-35.
- ALTHOFF, Darcy A., BRAGA, Hugo J., VIEIRA, H. J. Determinação das melhores épocas de plantio do milho precoce e tardio para a região oeste de Santa Catarina. Florianópolis, EMPASC, 1987: 37 p. (EMPASC. Documentos 88).
- AMORIM, Amilton, LOCH, Carlos. Utilização de câmaras de pequeno formato na atualização de mapeamentos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 16, Rio de Janeiro, Anais, 1993: 381-389.
- ANGELOCCI, L. R. et al. Estimativa do total de horas abaixo de determinada temperatura-base através das medidas diárias da temperatura do ar. Bragantia, São Paulo, 38(4): 27-36, 1979.
- ARNOLD, C. Y. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. Proc. Amer. Soc. Hortic. Sci., 74(1959):430-445.
- ARNOLD, C. Y. Maximum-minimum temperatures as a basis for computing heat units. Proc. Am. Soc. Hortic. Sci., 76(1960): 682-692.
- ASSAD, E. D., SANO, E. E. Sistema de Informações Geográficas: aplicações na agricultura. Planaltina: EMBRAPA - CPAC, 1993: 274 p.
- BABEY, S. K., ANGER, C. D. A compact airborne spectrographic imager (CASI). In: PROCEEDINGS, INTERNACIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, Vancouver, Canadá, 1989: 1028-1031.
- BAIER, Wolfgang. Crop-weather models and their use in yield assessments. Geneva. Switzerland, WMO N.458, Technical Note, N. 151 (1977): 48 p.
- BARNETT, T. L., THOMPSON, D. R. The use of large-area spectral data in wheat yield estimation. Remote Sensing of Environment, 12(6),1982:509-518.
- BARNI, N. A., BERLATTO, M. A. Predição da fenologia do girassol em função da temperatura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA 7, Santa Maria-RS, Resumos, 1993: p. 172.

- BATISTA, Getulio, SHIMABUKURO, Yosio E., LAWRENCE, William. Monitoramento da cobertura florestal através de índices de vegetação do NOAA-AVHRR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7, Curitiba, Anais, 1993 : 30-37.
- BEALE, R., JACKSON, T. Neural computing: An introduction. New York. Adam Hilger, 1990: 240 p.
- BERLATTO, M. A., SUTILI, V. R. Determinação das temperaturas-base dos subperíodos emergência-pendoamento e emergência-espigamento de 3 cultivares de milho (*Zea mays L.*). In: REUNIÃO TÉCNICA DO MILHO E SORGO, 21, Porto Alegre-RS, Anais, Porto Alegre-RS, 1976: 523-527.
- BLACHUT, T. J. Cadastre for developing countries based on orthophotos techniques. In: THE CANADIEN SURVEYOR, 1, 1985: 31-43.
- BORSTAND, Gary A., HILL, David A., KERR, Randy C. Use of the compact airborne spectrographic imager (CASI): Laboratory examples. In: PROCEEDINGS, INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, Vancouver, Canadá, 1989: 1081-1084.
- BRAGA, Hugo J. Caracterização da seca agrônômica através de novo modelo de balanço hídrico, na região de Laguna, litoral sul do Estado de Santa Catarina. Piracicaba, ESALQ, 1982: 157 p. (Dissertação de mestrado).
- BRAGA, Hugo J., BIASI, J. Determinação das temperaturas-base e graus-dia de três cultivares de alho de ciclo precoce, médio e tardio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 5, Belém-Pará. Coletânea de trabalhos apresentados, 1987: 91-93.
- BRAGA, Hugo J., LEITE, Gabriel B., SILVA, Lucia M. da. Determinação preliminar dos parâmetros a e b da equação de Angstrong para seis localidades de Santa Catarina. Florianópolis, EMPASC, 1987: 24 p. (EMPASC. Documentos, 89).
- BRAGA, Hugo J., STECKERT, R. Estimativa de horas de frio abaixo de 7,2° C e 13° C para 10 localidades do Estado de Santa Catarina. Florianópolis, EMPASC, 1987: 42 p. (EMPASC. Documentos, 90).
- BROWN, D. M. Soybean ecology I. Development-temperature relationships from controlled environment studies. Agronomy Journal, 52(1960): 493-496.
- BROWN, D. M. Heat units for corn in southern Ontario. Department of Agriculture and Food, Toronto, Ontario Information Leaflet, 1969:111-131.
- BRUNINI, O. Determinação de índices biometeorológicos e sua aplicação para o Estado de São Paulo. Jaboticabal, Fac. Med. Vet. e Agron., 1971.

- BRUNINI, O. Relações solo-água-planta em cultura de arroz em condições de sequeiro. Piracicaba. ESALQ, 1975: 128 p. (Tese de doutoramento).
- BRUNINI, Orivaldo et al. Determinação dos índices biometeorológicos para variedades de arroz IAC-1246 e Pratao precoce. Ci. e Cultura, 28(8), 1976:928-931.
- BURROUGH, P. A. Principles of geographical information systems for land resources assessment. Oxford University Press, Monographs on soil and resources survey, 12, 1987: 194 p.
- CADY F. B., ALLEN, D. M. Combining experiments to predict future yield data. Agronomy Journal, 64(1972): 211-214.
- CAMARGO, Marcelo P. de et al. Melhores épocas de plantio para arroz de sequeiro, cv. IAC - 1246 em função de índices biometeorológicos. Pesquisa Agrop. Bras., Brasília, 19(10), 1984: 1227-1233.
- CASTONGUAY, Y., BOISVERT, J., DUBÉ, P.A. Comparaison de techniques statistiques utilisées dans l'élaboration de modèles prévisionnels phénoclimatiques. Agricultural and Forest Meteorology, 31(1984): 273-288.
- CELASCHI, W., ALMEIDA, F. C. Previsão de safras: um modelo de produtividade de que utiliza dados meteorológicos diários. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2, Pelotas-RS., 1981: 87-94.
- CHANG, J. H. Corn yield in relation to photoperiod, night temperature and solar radiation. Agricultural and Forest Meteorology, 24 (1981): 253-262.
- CHANG, J. H. A climatological analysis of field difference between the first and second rice crop in Taiwan. Agricultural and Forest Meteorology, 36, (1985/1986): 113-116.
- CHEN, S.C., FONSECA, L. B. da. Corn yield model for Ribeirão Preto, São Paulo State, Brasil. Agricultural and Forest Meteorology, 22 (1980): 341-346.
- COUVILLON, G. A., EREZ, A. Influence of prolonged exposure to chilling temperatures on bud break and heat requirement for bloom of several fruit species. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 110(1), 1985: 47-50.
- CUTFORH, H. W., SHAYKEWICH, C. F. A temperature response function for corn development. Agricultural and Forest Meteorology, 50 (1990): 159-171.
- DAMARIO, E. A., PASCALE, A. J. Estimation de sumas de temperaturas efectivas normales para estudios agroclimáticos. Rev. Fac. Agr. Vet. Univ. Buenos Aires, 19(3), 1971: 109-124.
- DISPERATI, A. A. Obtenção e uso de fotografias aéreas de pequeno formato. Curitiba, UFPR-FUPRF. 1991: 290 p.

- DOORENBOS, J., KASSAN, A. H. Yield response to water. FAO-Plant production and protection, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Irrigation and Drainage Paper, 33 (1979): 193 p.
- EBERT, Andreas et al. First experiences with chill-unit models in southern Brasil. Modelling in Fruit Research. Acta Horticulturae, 184(1986): 74-86.
- EBERT, Andreas et al. Capacidade de produção de macieiras. Florianópolis, EMPASC, 1987: 23p. (EMPASC. Boletim Técnico, 41).
- EBERT, Andreas et al. Raleio de frutos em macieira no Alto Vale do Rio do Peixe em Santa Catarina. Florianópolis, EMPASC, 1988: 65 p.
- EHLERS, Manfred et al. Integration of Remote Sensing and GIS: data and data access. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 57(6), 1991:669-675.
- EMPASC. Manual da Cultura da Maçã. Florianópolis, Empresa Catarinense de Pesquisa Agropecuária, 1986: 562 p.
- EREZ, A., LAVEE, S. The effect of climatic conditions on dormency development of peach buds. I. Temperature. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 96(6), 1971: 711-714.
- FABRI, Andrea G. Remote sensing, geographic information systems and the environment: a review of interdisciplinary issues. ITC Journal, 2(1992): 119- 126.
- FAGUNDES, P. M. Sensores remotos orbitais com aplicação em cartografia para as américas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 13, Brasília. Anais, 1987: 03-30.
- FAUST, Nickolas L., ANDERSON, W. H., STAR, J.L. Geographic information systems and remote sensing future computing environment. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 57(6), 1991: 655-668.
- FIBGE. Anuário Estatístico do Brasil. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, v. 51, 1991: 1-1024.
- FISHER, Peter F., LINDENBERG, Richard E. On distinctions among Cartography, Remote Sensing, and Geographic Information Systems. Photogram. Eng. & Remote Sensing, 55 (10), 1989: 1431-1434.
- FREITAS, M. F. C. de. Estágio atual dos sistemas de sensoriamento remoto de aplicação cartográfica. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 4, Gramado, 1986. Anais. 1986:741-753.
- GESLIN, H. Étude des lois de croissance d'une plante en fonction des facteurs du climat. Paris, Imprimerie Nationale (Centre National de Recherches Agronomiques, Service de Documentation, Versailles), 1944.

- GILMORE, E. C., ROGERS, J. S. Heat units as a method of measuring maturity in corn. Agronomy Journal, 50(1958): 611-615.
- GOMES, Eisenhower C. B., LEITE, F. R. B., Cruz, Maria L. B. da. Aptidão agrícola das terras através de sistema de informações geográficas. Folha SB.24-X-A-I-4, Barreira. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7, Curitiba, Anais, 1993: 132-139.
- GREENE, W. H. Econometric analysis. New York University. Second Edition, 1993: 791 p.
- GRIMM, Sadi S. Estimation of water and nitrogen crop response functions: a factor nonsubstitution model approach. University of California. Davis, march 1986: 143 p. (PhD thesis).
- GRIMM, Sadi S. et al. Parameter estimation for predicting flowering date of soybean cultivars. Crop Science, 33 (1993): 137-144.
- GUNN, R. B., CHRISTENSEN, R. Maturity relationships among early to late hybrids of corn (*Zea mays* L.). Crop Science, 5(1965): 299-302.
- HARDING, P. H., COCHRANE, J., SMITH, L. P. Forecasting the flowering stages of apple varieties in Kent, England, by the use of meteorological data. Agricultural Meteorology, 17 (1976): 49-54.
- HATFIELD, J. I., Remote sensing estimators of potencial and actual crop yield. Remote Sens. Environ., 13(4), 1983: 301-311.
- HENTSCHKE, Roque. Fruticultura de clima temperado: relatório 1991. Florianópolis, EPAGRI/SAA, 1992: 25 p. (EPAGRI. Relatório Interno, 1).
- HERNANDEZ FILHO, Pedro, SHIMABUKURO, Y. E., LEE, David L. Integração de dados topográficos e de sensoriamento remoto para a classificação de florestas tropicais: caso da Floresta Nacional de Tapajós. In: ENCONTRO NACIONAL DE SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO AO PLANEJAMENTO MUNICIPAL, 2, Serra Negra, Anais, 1991: 59-66.
- HEPNER, George F. et al. Artificial neural networks classification using a minimal training set: comparison to conventional supervised classification. In: PHOTOGRAMMETRIC ENGINEERING AND REMOTE SENSING, 56 (4), 1990: 469-473.
- HOLMES, R. M., ROBERTSON, G. W. Heat units and crop growth. Can. Def. Agric. Pub. 1959 : 1042 - 1050.
- IDSO, S. B., JACKSON, R. D., REGINATO, R. J. Remote sensing of crop yields. Science 196 (1977): 19-25.
- IDSO, S. B. et al. Wheat yield estimation by albedo measurement. Remote Sens. Environ., 7(1978): 273-276.

- INSTITUTO CEPA. Síntese da agricultura de Santa Catarina - 1990-1991. Florianópolis, vol. 1, 1991: 352 p.
- INTERA TYDAC TECHNOLOGIES INC. SPANS v.5 - Learning System. Ottawa, Canadá, Volume 3, First edition, 1991.
- INTERNATIONAL FRUIT WORLD. Basel, Statistical Supplement, 7, v. 43, n.2, 1985.
- KIRCHNER, F. F. et al. Aplicações de dados digitais obtidos através de um sensor aerotransportável - CASI (Compact Airborne Spectrographic Imager) e suas integrações em um sistema de informações geográficas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7, Curitiba, Anais, v. 2, 1993: 363-372.
- KISH, A. J. Forecasting maturity date of snap beans in South Carolina U. S. New York, Dept. Commerce Tech. mem. 20(1967): 7 p.
- KORTE, George B. The GIS Book. Santa Fe, Second Edition, On Word Press, 1992: 196p.
- LANSBERG, J. J. Some useful equations for biological studies. Exp. Agric., 13, 1977: 273-286.
- LANZER, E. A., PARIS, Q., GREEN, R. A maximum likelihood for switching regressions with common gaussian noise. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ECONOMETRIA, 1, Atibaia-SP, 1979:307-315.
- LANZER, E. A., PARIS, Q., WILLIAMS, W. A. A nonsubstitution dynamic model for optimal fertilizer recommendations. Giannini Foundation monograph, 41 (1987): 53 p.
- LAWRENCE, Jeannette. Introduction to neural networks and expert systems. Sylvia Luedking and Janell Fredrickson editors, Nevada City/EUA, 4th edition, 1992: 264 p.
- LECKIE, Donald G. et al. Analyses of high resolution multispectral MEIS imagery for spruce budworm damage assessment on a single tree basis. Remote Sens. Environ. 40(1992): 125-136.
- LIMA, E. R. V., KUX, H. J. H., SAUSEN, T. M. Sistema de Informações Geográficas e técnicas de sensoriamento remoto na elaboração de mapa de riscos de erosão no Sertão da Paraíba. R. Bras. Ci. Solo, Campinas, 16, 1992: 257-263.
- LINZ JR, H. F. Land use mapping from Skylab S190B Photography. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing., Falls Church, 52(3), 1976: 301-302.
- LIU, W. T. H., LIU, B. W. Y. Um modelo de previsão de safra de trigo no Rio Grande do Sul. Ciência e Cultura, São Paulo, 33(2), 1981:257-264.
- LIU, W. T. H., LIU, B. W. Y. Comparação de modelo simples e composto de previsão de safra de soja no Estado de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 4, Belém do Pará, Anais, 1987a: 10-20.

- LIU, W. T. H., LIU, B. W. Y. Comparação de três modelos de previsão da safra de café no Estado de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 4, Belém do Pará, Anais, 1987b: 21-37.
- LOCH, Carlos, KIRCHNER, F. F. Imagens de satélites na atualização cadastral. In: SIMPÓSIO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 5, NATAL, INPE, SBC, São José dos Campos, 1988: 19p.
- LOCH, Carlos. Cadastro técnico multifinalitário rural e urbano. Florianópolis, Departamento de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, UFSC, 1989, 73 p.
- LOCH, Carlos. Monitoramento global e integrado de propriedades rurais, a nível municipal, utilizando técnicas de sensoriamento remoto. Florianópolis, Editora da UFSC, 1990: 140 p.
- LOCH, Carlos. Cadastro técnico multifinalitário: a base para a organização espacial do uso da terra a nível de propriedade rural. UFSC, 1993: 122 p. (Tese de professor titular).
- LOCH, Ruth E. N., SILVA, O. G. da. Avaliação dos danos à paisagem na "Capital Brasileira do Carvão"- Criciúma/SC. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7, Curitiba, Anais, 1993: 171-179.
- LOMBARDO, M. A. et al. Uso da terra no Vale do Paraíba através de dados de sensoriamento remoto. São José dos Campos, INPE, 1980. (INPE 1972- RPE/278).
- LUCCHESI, ANTONIO A. et al. Estimativa de graus-dia acumulados no ciclo de frutificação de cultivares de abacateiros (*Persea americana*, Miller). Piracicaba, Anais da Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiroz", 34(1977): 317-325.
- LUNETTA, R. S. et al. Remote sensing and geographic information system data integration: error sources and research issues. Photog. Eng. & Remote Sensing, 57(6), 1991: 677-687.
- LUTON, M. T., HAMER, P. J. C. Predicting the optimum harvest dates for apples using temperature and full-bloom records. Journal of Horticultural Science, 58(1), 1983: 37-44.
- LYON, John G. LUNETTA, R. S., WILLIAMS, D. C. Airborne Multispectral Scanner data for evaluating bottom sediment types and water depths of the St. Marys River, Michigan. Photog. Eng. & Remote Sensing, 58 (7), 1992: 951-956.
- LYNDSEY, A. A., NEWMAN, J. E. Use of official weather data in spring time-temperature analysis of an Indiana phenological record. Ecology, 37, 1956: 812-823.
- MACDONALD, R. B., HALL, F. G. Global crop forecasting. Science, 208, 1980: 670-679.

- MAILLARD, Philippe, SÉGUIN, Luc. Sensoriamento remoto aerotransportado e sistema de informação geográfica para a escolha de traçado de linha de alta tensão (735 kv): o exemplo de Lévis-Descantons. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 16, Rio de Janeiro-RJ, Anais, SBC, 1993: 39-47.
- MAJUMDAR, Tajan J. Regional mapping of evapotranspiration rates using MOS-1 UTIR data. ITC Journal, 2(1991): 86-89.
- MANIERO, M. A. Aplicação do método de graus-dia em cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). Piracicaba. ESALQ. 1980: 76 p. (Dissertação de mestrado).
- MARSH, S. E., WALSH, J. L., HUTCHINSON, C. F. Development of an agricultural land-use GIS for Senegal derived from multispectral video and photographic data Photog. Eng. & Remote Sensing, 56 (3), 1990: 351-357.
- MASON, D. D. Functional models and experimental designs for characterizing response curves and surfaces. In: Baum, E. L., Head, E.O., Blackmore, J. Methodological Procedures in the economic analysis of use of fertilizer data. Iowa State Univ. Press. Ames, IA, 1956.
- MASSIGNAM, Angelo M., ANGELOCCI, L. R. Determinação da temperatura-base e de graus-dia na estimativa da duração dos subperíodos de desenvolvimento de três cultivares de girassol. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria- RS, 1 (1), 1993:71-79.
- MAZER, A. S. et al. Image processing software for imaging spectrometry data analysis. Remote Sens. Environ., 24(1988): 201-210.
- MILANEZ, José M. Estimativa da constante térmica das cigarrinhas das pastagens *Zulia (Notozulia) entreriana (Berg, 1879)*, (homoptera: cercopidae) em condições de campo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 8, Brasília, 1983: 79-82.
- MILDE, L. C. E., SGRILLO R. B. Parâmetros para modelagem do crescimento do fruto do cacauzeiro. Pesq. Agrop. Bras., Brasília, 28(7),1993:759:765.
- MONTEITH, J. L. The reflection of short-wave radiation by vegetation. Quartely journal Royal Meteorology Society, 85 (1959): 386 - 392.
- MONTGOMERY, Glenn E., SCHUCH Harold C. GIS data conversion handbook. Fort Collins, Colorado, GIS World Books Published, 1993: 292p.
- MOREIRA, Mauricio A., CHEN, S.C., BATISTA, G. T. Wheat-area estimation using digital Landsat MSS data and aerial photographs. Int. J. Remote Sensing, 7(9), 1986: 1109-1120.

- MORELLI, José C. L., POUBEL, Marilda B. P., AQUINO, Angela M. F. A. Sistema de Informação Geográfica para previsão de Safras. In: CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO - GIS BRASIL I/SAGRES. Curitiba-Pr, SAGRES, 1994: 33-38.
- MOTA, F. S. da. Os invernos de Pelotas-RS, em relação às exigências das árvores frutíferas de folhas caducas. Pelotas, IPEAS, 1957: 38 p. (IPEAS. B. T., 18).
- MOTA, F. S. da., SILVA, J. B. A weather-technology model for rice in southern Brasil. In: PROCEEDINGS OF A SYMPOSIUM ON THE AGROMETEOROLOGY OF THE RICE CROP. WMO and FRRI, Manila, 1980: 254p.
- MOTA, F. S. da. Meteorologia Agrícola. São Paulo. Nobel. 1981: 376 p.
- MOTA, F. S. da. Índice de seca para soja: contribuição para um modelo de previsão do rendimento da soja no Rio Grande do Sul. Pesq. Agropec. Bras., Brasília, 16(3), 1981: 371-383.
- MOTA, F. S. da. Weather-technology models for corn and soybeans in the South of Brasil. Agricultural meteorology, 28 (1983a):49-64.
- MOTA, F. S. da. Previsão e probabilidade agrometeorológica do rendimento de Cereais no Brasil: uma revisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, Campinas, 1983b: 347-362.
- MURTAGH, B. A., SAUDERS, M. A. Minos/Augmented user's manual. Systems Optimization Laboratory, Stanford Univ., Stanford, Tech., report SOL 80-14, 1980.
- NARULA, S., SPOSITO, V. A., WELLINGTON, J. F. Intervals which leave the minimum sum of absolute errors regression unchanged. Royal Statistical Society. Appl. statist. 42 (2), 1993: 369- 378.
- NELLIS, M. D., LULLA, D., JENSEN, J. Interfacing geographic information systems and remote sensing for rural land-use analyses. Photogramm.Eng. & Remote Sensing, 56 (3), 1990: 329-331.
- NEWMAN, J. E. et al. Orange fruit maturity and net heat accumulations. R.H. Shaw (ed.), Groud Level Climatology, Baltimore, 1987.
- NIMER, Edmon. Climatologia do Brasil. Rio de Janeiro, IBGE, 1979: 422 p.
- NOVO, E. M. L. M. Projeto UTVAP - análise comparativa entre fotografias aéreas convencionais e imagens Landsat para fins de levantamento do uso da terra. São José dos Campos, INPE, 1979. (INPE-1542-NTE/152).
- OMETTO, José C. Bioclimatologia Vegetal. São Paulo, Editora Agronômica Ceres Ltda, 1981: 425 p.

- ORGANIZAÇÃO METEOROLÓGICA MUNDIAL. Guia de práticas agrometeorológicas. Genebra, 1982.
- PARIS, O., KNAPP, K. Estimation of von Liebig response functions. Amer. J. Agric. Econ., 71(1989): 178:186.
- PASCALE, A. J., DAMARIO, E. A. El índice heliotérmico aplicado a los trigos argentinos. Meteoros, Buenos Aires, 4(3), 1954: 129-157.
- PASCALE, Antonio J. Metodologia para determinar las características bioclimáticas de una variedad de trigo. Meteoros, Buenos Aires, 5 (1-2), 1955: 18 p.
- PEARSON, Robert L., MILLER, LEE D. Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the short grass prairie, Pawee National Grasslands, Colorado. In: PROC. INT. SYMP. ON REMOTE SENSING, SENSING, ERIM, 8, Ann Arbor, MI, 1972: 1355-1379.
- PEDRO JUNIOR, M. J., SENTELHAS, P. C. MARTINS, F. P. Índice biometeorológico para a videira Niagara Rosada cultivada em Jundiá-SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 8, Santa Maria-RS, Resumos, 1993: p. 173.
- PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil, and grass. Proceedings of the Royal Society, Series A, 193 (1948): 120-145.
- PEREIRA, M. N. et al. Utilização do uso da terra no município de São José dos Campos, através de dados de sensoriamento remoto. São José dos Campos, INPE, 1988. (INPE. 4479 - RPE/562).
- PETRI, José L., PASQUAL, M. Quebra de dormência em Macieira. Florianópolis, EMPASC, 1982: 54 p. (EMPASC. Boletim Técnico, 18).
- PIERCE, L. L., RIGGS, G. A., RUNNING, S. W. Remote detection of canopy stress in coniferous forests using the NS001 Thematic Mapper Simulator and the Thermal Infrared Multispectral Scanner. Photogramm. Eng. Remote Sen., 56(1990): 579-586.
- PINTO, S. A. F., VALÉRIO FILHO, M., GARCIA, G. J. Utilização de imagens TM/Landsat na análise comparativa entre dados de uso da terra e de aptidão agrícola. R. Bras. Ci. Solo, 13 (1989): 101-110.
- PINTO, Sérgio dos A. Ferreira. Sensoriamento Remoto e Integração de dados aplicados no estudo da erosão dos solos: contribuição metodológica. São José dos Campos, INPE, 1991: 149 P. (INPE - 5311 - TAE/09).
- PLANALSUCAR. Programa Nacional de melhoramento da cana-de-açúcar. Relatório anual 1983, Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA), Rio de Janeiro, 1984: 78 p.
- POLA, Augusto Carlos, BIASI José. Primeiros resultados experimentais de irrigação do alho em Caçador - SC. Agropecuária Catarinense, Florianópolis, SC, v.6, n.2, 1993: 18-20.

- POLA, Augusto Carlos, ANGELOCCI, Luiz Roberto. Avaliação de modelos de estimativa do número diário de "Horas de Frio" para o Estado de Santa Catarina. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria-RS, 1 (1), 1993:105-116.
- PRICE, Kevin P., PYKE, David, A., MENDES, Lloyd. Shrub Dieback in a semi-arid ecosystem: the integration of remote sensing and geographic information systems for detecting vegetation change. Photogrammetric Eng. & Remote Sen., 58 (4), 1992: 455-463.
- PRIMAULT, B. D'une application pratique des indices biometeorologiques. Agri. Meteorol., 6 (2), 1969: 71-96.
- PROVESI, J. R., VALERIANO, D. M., KRUG, T. Estudo preliminar sobre a aplicação de processamento digital de dados TM- Landsat no mapeamento de pomares de maçã em Fraiburgo-SC. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 1, Gramado-RS, Vol.1, 1986: 772-784.
- REIS, M. R., NEVES, J. R. B., ROCHA, J. Variações climáticas e flutuações de oferta agrícola no Centro-Sul do Brasil. Instituto de Planejamento Econômico e Social, Brasília, 1972: 41p.
- RICHARDSON, E. A., SECLEY, S. D., WALKER, D. R. A model for estimation of rest for 'Redhaven' and 'Elberta' peach trees. Hort. Science, 9 (4), 1974: 331-332.
- RICKMAN, Doug et al. Georeferencing airborne imagery over New Deltas in Louisiana. Photogrammetric Eng. & Remote Sensing, 55 (8), 1989: 1161-1165.
- RIGGS, George A., RUNNING, Steven W. Detection of canopy water stress in conifers using the airborne imaging spectrometer. Remote Sens. Environ., 35 (1991): 51- 68.
- ROBERTSON, G. W. A biometeorological time scale for a cereal crop involving day and night temperatures and photoperiod. Int. J. Biometeorol., 12(3), 1968:191-223.
- ROCK, B. N., HOSHIZAKI, I., MILLEN, J.R. Comparison of *in situ* and airborne spectral measurements of the Blue Shift Associated with forest decline. Remote Sensing of Environment, 24 (1988): 109-127.
- RUDORFF, Bernardo F. T., BATISTA, Getulio T. Yield estimation of sugar-cane based on agrometeorological - Spectral models. Remote Sens. Environ., 33 (1990): 183-192.
- SANTA CATARINA. Atlas Geral. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral. Subchefia de Estatística, Geografia e Informática. Atlas de Santa Catarina. Rio de Janeiro. Aerofoto Cruzeiro do Sul, 1986: 173 p.
- SANTOS, A. P., NOVO, E. M. L. M. Uso de dados do Landsat-1 na implantação, controle e acompanhamento de projetos agropecuários no sudeste da Amazônia Legal. São José dos Campos-SP, INPE, 1977: 105 p. (Dissertação de Mestrado).

- SANTOS, Marcos V. dos, CROSSETTI, M., WEBER, E. Utilização de imagens de satélite Landsat TM na estimativa de áreas cultivadas com arroz irrigado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 8, Santa Maria-RS, Resumos, 1993: p. 33.
- SCOPEL, I. et al. Geração de mapas de erosão potencial com auxílio do sistema geográfico de informações - GIS na bacia piloto de Campo do Tenente-PR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7, Curitiba, Anais, 1993: 267-272.
- SHALTOUT, A. D., UNRATH, C. R. Rest completion prediction model for 'Starkrimson Delicious' apples. J. Amer. Soc. Hort. Sci., 108(6), 1983: 957-961.
- SILVA, GABRIEL L. S. P. et al. Variações do tempo e produtividade agrícola: um subsídio à previsão de safras no Estado de São Paulo. Campinas-SP, Fundação Cargill, 1986. pp. II-148.
- SILVA, Jairo A. de, COSTA, J. M. N. Influência das variações da umidade do solo no total de Graus-dia Acumulados do plantio ao espigamento de milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 8, Santa Maria-RS, Resumos, 1993: p. 175.
- SILVA, Hélio R., FORMAGGIO, A. R., EPIPHANIO, J. C. N. Técnicas de geoprocessamento na estimativa das áreas de culturas de verão. In: CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO - GIS BRASIL I/SAGRES. Curitiba-Pr, SAGRES, 1994: 23-32.
- SILVA, L. M. da, BRAGA, H. J. Sistema agrometeorológico para microcomputador. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 4, Belém-Pará. Coletânea de trabalhos apresentados. 1987. 405-406.
- SILVA, O de Oliveira, SOUZA, C. R., ALMEIDA, F. Carlos de. Inferência nebulosa aplicada à previsão de safras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, Pelota-RS., SBA, 1981: 39-42.
- SOUZA, AMAURY de. Análise agroclimática de três cultivares de arroz para Dourados-MS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEROLOGIA, 8, Santa Catarina-RS., Resumos, 1993: p. 177.
- SOUZA, LUIZ F. C., HOCHHEIN, Norberto, LOCH, Carlos. Uso de sensor aerotransportável para atualização do cadastro imobiliário: um estudo de caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 16, Rio de Janeiro-RJ., Anais, SBC, 1993: 107-111.
- STAENZ, K. A decade of imaging spectrometry in Canada. Canadian Journal of Remote Sensing, 18(4), 1992: 187-197.

- THOMPSON, D. R., WEHMANEN, O. A. Using Landsat digital data to detect moisture stress. Photogram. Eng. & Remote Sens., 45(2), 1979:201-207.
- THOMPSON, L. M. Evaluation of weather factors in the production of wheat in the United States. J. of Soil and Water Conservation, 17 (1962): 149-156.
- THOMPSON, L. M. Weather and technology in the production of wheat in the United States. Journal of Soil Water Conservation, 24 (1969a): 221-224.
- THOMPSON, L. M. Weather and technology in the production of corn in the U.S. Cornbelt. Agronomy Journal, 61 (1969b): 543-456.
- THOMPSON, L. M. Weather and technology in the production of soybeans in the Central United States. Agronomy Journal, 1970: 232-236.
- THORNTHWAITE, C. W., MATHER, J. R. The water balance. Centerton, New Jersey. Drexel Institute of Technology, Publications in Climatology, v. 8, 1955: 104 p.
- THUNNISSEN, H. A. M., NIEUWENHUIS, G. J. A. Simplified method to estimate regional 214-h evapotranspiration from thermal infrared data. Remote Sens., Environ., 31 (1990): 211-225.
- TREITZ, Paul M. et al. Application of detailed ground information to vegetation mapping with high spatial resolution digital imagery. Remote Sens. Environ., 42 (1992): 65-82.
- TRINO, Paulo C. T. et al. Programa de transferência tecnológica em sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica entre Canadá e Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7, Curitiba, Anais, 1993: 437-441.
- TUCKER, C. J. et al. Relationship of spectral data to grain yield variation. Photogram. Eng. Remote Sens., 46 (1980): 657-666.
- TUCKER, C. J. et al. Remote sensing of total dry-matter accumulation of winter wheat. Remote Sens. Environ., 11(1981): 171-189.
- VIEIRA, ANA R. R. et al. Determinação da temperatura basal e somas térmicas em pepino para conserva, cultivar Ginga. Pesq. Agropec. Bras., Brasília, 27(6), 1992: 857-864.
- VILLA NOVA, N. A., CARRETERO, M. V., SCARDUA, R. Um modelo de avaliação do crescimento da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*), em termos da ação combinada do fotoperíodo e da temperatura média do ar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 3, Campinas, SBA, 1983, Anais, 1984:31-48.
- VOLPE, Clovis A. Graus-dia e maturação de citros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 8, Santa Maria-RS., Resumos, 1993: p.174.
- WALTER, G. K., HATFIELD, J. L. Test of the stress-degree-day concept using multiple-planting data of red kidney beans. Agron. Journal. 71(1979):967- 971.

- WELCH, R., REMILLARD, M., ALBERTS, J. Integration of GPS techniques for coastal resource management. Photogram. Eng. & Remote Sensing, 58(11), 1992: 1571-1578.
- WESTMORELAND, S., STOW, D. A. Category identification of changed land use polygons in an integrated image processing geographic information system. Photogramm. Eng. & Remote Sensing, 58 (11), 1992:1593-1599.
- WILLIAMS, A. D. V. Devising a biophothermal time scale for barley. Int. J. Biometeor. 18(1974): 57-69.
- WILLIAMS, D. L. et al. Identification of winter wheat from ERT-1 imagery. In: NASA-SYMPOSIUM OF SIGNIFICANT RESULTS OBTAINED FROM THE EARTH RESOURCE TECHNOLOGY SATELLITE-1. Mary-Land, Washington, DC, 1973, V.1A, 11-18.
- WINTER, F. Method and results of "Bavendorf Apple Forecast Model", as introduced 1987 in Santa Catarina (Brasil). Acta Horticulture, 232, 1988, (Apple cultura).
- XU, Xiaomei, YIN, Yongyuan. A neural net model for forest management. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GIS. Vancouver, Canada, 13-16, 1990: 501-506.
- ZIBORDI, G., MACACCI, G., SCHLITTENHARDT, P. Ocean colour analysis in coastal waters by airborne sensors. Int. J. Remote Sens., 11(1990): 705-725.

1 - Matemática aplicada à rede neural: *Back-Propagation*

1.1 - A função XOR

Back-Propagation é um esquema supervisionado de aprendizado pelo qual uma rede neural de propagação para frente (feed forward) é treinada para tornar-se uma máquina de comparações padrão. Para ilustrar como tal esquema funciona, utilizar-se-á a função XOR e usando o algoritmo de aprendizado *Back-Propagation*. A função XOR faz parte de um bem conhecido problema de computação com 2 entradas (exclusive-or), enquanto a saída é logicamente verdadeira tem valor 1, quando as duas entradas são opostas. A FIGURA 01, mostra o esquema da rede, com os pesos de exemplo, segundo LAWRENCE (1992):

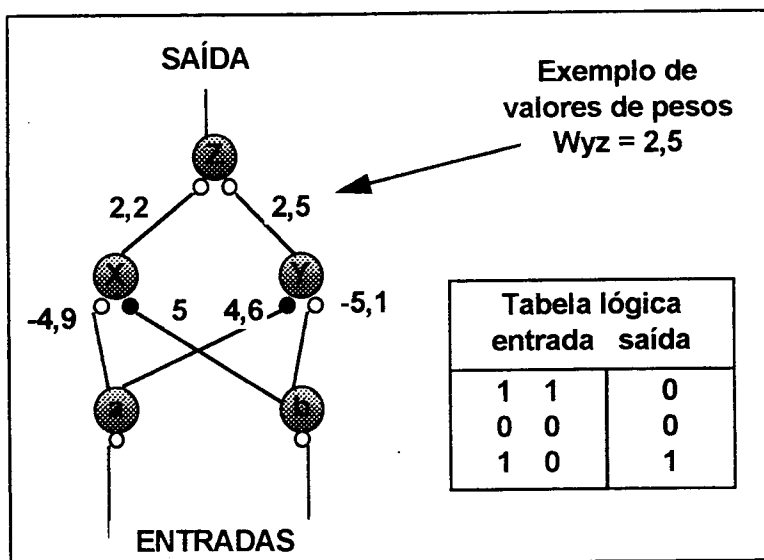


FIGURA 01 - Função XOR com neurônios e função de transferência basal (threshold).

Os números entre os neurônios são as forças de conexão entre eles, ou os pesos. Os valores dos pesos serão modificados à medida que a rede é treinada. A rede pode ser iniciada com um conjunto aleatório de pesos. Neste exemplo é assumido que a base para o neurônio é **0,01**. Isto significa que se a soma das entradas for menor que **0,01**, o neurônio terá como saída (output) um **0 (zero)**.

Se a soma das entradas for maior que **0,01**, a saída será **1**. Depois de aplicar um treinamento padrão de **1** sobre cada uma das duas entradas (inputs), as saídas dos neurônios são computadas como mostra a FIGURA 02.

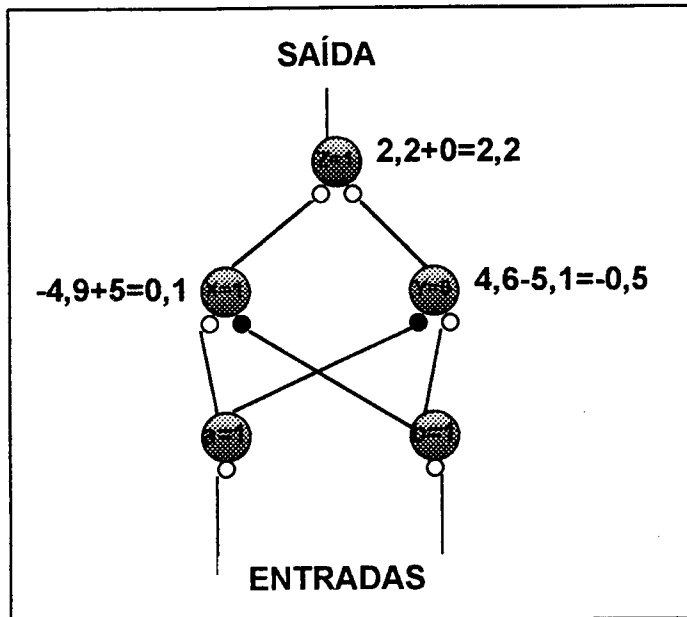


FIGURA 02 - Cálculo das entradas da rede.

Cada saída de neurônio é mostrada como a soma dos sinais internos dos neurônios. Neurônios **a** e **b** estão remetendo o valor 1 para a próxima camada. Neurônio **x** obtém dois sinais, um do neurônio **a** e outro do neurônio **b**. O peso do neurônio **a** para **x** é escrito W_{xa} . Seu valor é $-4,9$. É multiplicado o sinal vezes seu peso e obtém $-4,9$. A entrada para o neurônio **x** de **b** tem peso $W_{xb} = 5$. O sinal de **b** é 1. Isto contribui 5 para o neurônio **x**. É adicionado $-4,9 + 5$ para obter o total do sinal interno do neurônio **x**, igual a $0,1$. Isto é maior que a base de $0,01$, então a saída do neurônio **x** = 1. Similarmente, o sinal de saída pode ser obtido para o neurônio **y** e **z**. Com o treinamento padrão que foi dado para a rede (verdadeiro/falso), a saída final deveria ser 0 (zero), mas foi 1. A correção da rede é determinada por um fator de erro e pelo ajustamento dos pesos da última camada de volta para a primeira, uma camada por vez. O erro no neurônio **z**, E_z , é simplesmente a desejada saída (output) menos a atual saída : $E_z = 0 - 1 = -1$.

O ajustamento dos pesos é computado pela multiplicação do erro no neurônio vezes a saída do neurônio com o qual o peso é associado. Por exemplo, a alteração em $W_{zx} = -1 * 1 = -1$. Isto é adicionado para o corrente valor de W_{zx} . O novo $W_{zx} = -1 + 2,2 = 1,2$. O novo peso para W_{zy} é o erro em **z** vezes o sinal de **y**, adicionado para o corrente valor de W_{zy} . O novo valor $W_{zy} = (-1 * 0) + 2,5 = 2,5$.

Neste caso W_{zy} não teve mudança.

Agora computar o erro no neurônio na próxima camada de volta. Para o neurônio **x**, ele é igual ao erro em **z** vezes o peso de conexão de **x** para **z**: $E_x = -1 * 2,2 = -2,2$. Para computar o novo valor W_{xa} , multiplica-se o erro em **x** pelo sinal de **a**, então adiciona o corrente W_{xa} . O novo $W_{xa} = (-2,2 * 1) - 4,9 = -7,1$. Depois de todos os pesos terem sido ajustados, um novo valor de entrada é aplicado na rede. Se existir um erro, a sequência de propagação de erro de retorno é aplicada. Quando todos os quatro pares de entradas padrões (verdadeiro/falso) produzirem as saídas corretas, o processo pára. A rede está treinada.

1.2 - Quadrado médio do erro (Mean Square Error)

O quadrado do erro de um neurônio i é:

$$(d_i - o_i)^2 = d_i^2 + o_i^2 - (2 * d_i * o_i)$$

Onde: d_i = desejada saída do neurônio; o_i = saída atual.

Adaptando os pesos, podemos tentar minimizar o quadrado médio do erro. O quadrado médio do erro é:

$$\sum_{i=1}^N (d_i - o_i)^2 / N ; \quad \text{Onde, } N = \text{é o número de neurônios.}$$

Se a função do quadrado médio do erro de dois pesos é extraída, eles são parábolas. A melhor solução do quadrado mínimo linear corresponde à base da parábola (parte côncava). A solução é obtida achando-se o gradiente da função do quadrado médio do erro. Desde que nos tratamos com dois pesos, o quadrado médio do erro é quadrático nos pesos. O gradiente é a primeira força dos pesos, no caso uma função linear de pesos. O algoritmo de declive descendente é baseado numa correção a qual é proporcional ao gradiente. Assim, a correção é proporcional a uma função linear de pesos. Isto significa que temos que usar alimentação para trás (feedback) para atinjirmos a base côncava da parábola. Neste caso, pode-se usar a teoria linear de alimentação para trás (feedback) para descrever a dinâmica do comportamento dos pesos.

1.3 - Matemática da *Back-Propagation*

Tomando-se como modelo a rede neural chamada "Brainmaker", um neurônio toma entradas (inputs) somente de neurônios na camada antecedente e remete suas saídas (outputs) somente para entradas de neurônios na próxima camada. Camada 2 apanha as saídas da camada 1. Camada 2 dá suas saídas para a camada 3 como entradas. Cada camada pode ser pensada como um vetor das saídas dos seus neurônios. O poder de conexão entre duas camadas constitui os elementos de uma matriz de valores reais. Isto é chamado de matriz de pesos - W .

W_{ij} , representa o peso da conexão do neurônio j para i . Se temos N pares de entradas /saídas que precisam ser aprendidas, podemos indicar estes pares com a letra " p ", onde o valor p vai de 1 até N . É designado o p -iésima entrada (input) como **Entrada_p**, e a correspondente saída desejada como **Padrão_p**. Devemos forçar os pesos para mudar em cada caminho para atingir finalmente um estado no qual o mapa da rede de **Entrada_p** para o **Padrão_p** para todos os valores de p .

É designada a saída de um neurônio individual com índice i como **saída_i**. Similarmente a ativação do neurônio i como A_i . Há uma função de transferência, **FT**, a qual deve ser contínua e diferenciável, tal como **saída_i = FT(A_i)**. O **Padrão_{pi}** representa o alvo de saída para o i -iésimo neurônio na camada de saída da rede, no p -iésimo par de entrada/saída. **saída_{pi}** corresponde a saída atual para o neurônio. Inicialmente, **saída_{pi}** não é igual a **Padrão_{pi}**, devido a rede iniciar sem estar treinada. Podemos definir o erro, sobre o padrão p , da i -iésima saída do neurônio, tal como:

$$\text{Erro}_{pi} = 1/2(\text{padrão}_{pi} - \text{saída}_{pi})^2 ;$$

O quadrado assegura que todos os erros serão positivos e o fator 1/2 servirá para simplificações posteriores da matemática. O erro total sobre o padrão p é :

$$\text{Erro}_p = 1/2 \sum_i (\text{padrão}_{pi} - \text{saída}_{pi})^2;$$

O erro total para todos os padrões corresponde ao somatório dos erros de cada padrão sobre todo o p:

$$\begin{aligned} \text{Erro} &= \sum_p \text{Erro}_p ; \\ &= 1/2 \sum_p \sum_i (\text{padrão}_{pi} - \text{saída}_{pi})^2 . \end{aligned}$$

Treinando a rede para associar os padrões de entrada/saída pode ser pensado como um problema de minimização, onde a quantidade a ser minimizada é **E**, o erro total sobre todos os padrões. As variáveis independentes para serem usadas na minimização são os **W_{ij}**. Mesmo em redes pequenas tem centenas de neurônios e centenas de conexões, estamos falando sobre a minimização de um campo escalar sobre um espaço vetorial com centenas de dimensões.

1.4 - Gradiente descendente

O mais simples método para determinar um local mínimo é conhecido como gradiente descendente ou declive descendente. Não é um bom algoritmo, computacionalmente, mas é aceitável. Gradiente descendente envolve movimentos de pequenos passos abaixo do gradiente local do campo escalar. É semelhante aos movimentos de um esquiador sempre em direção para baixo da montanha, até atingir a base da mesma. Uma desvantagem deste método é a possibilidade do gradiente descendente achar um local de mínima antes que o mínimo global seja atingido, que é o objetivo em última análise. O algoritmo é então emperrado neste mínimo até que algum ruído é adicionado nos pesos, desta forma movimentando o algoritmo para fora deste falso mínimo. Se a alteração nos pesos **W_{ij}** sobre o padrão p é denotado por $\Delta_p \mathbf{W}_{ij}$, então poderemos ter, com o gradiente descendente no erro **E_{pi}**, o seguinte:

$$\Delta_p \mathbf{W}_{ij} = \eta * -\delta \mathbf{E}_{pi} / \delta \mathbf{W}_{ij};$$

Onde: η = alguma constante (taxa de aprendizado). Note-se que desde que $\delta \mathbf{E} / \delta \mathbf{W}_{ij} = \sum_p \delta \mathbf{E}_{pi} / \delta \mathbf{W}_{ij}$, este algoritmo não implementa um verdadeiro gradiente descendente em **E** se os pesos são alterados depois de cada apresentação padrão. É suficiente certo que ele trabalhe na grande maioria dos casos.

1.5 - Regra da corrente (cadeia)

A regra da corrente permite-nos dizer:

$$\delta \mathbf{E}_{pi} \delta \mathbf{W}_{ij} = (\delta \mathbf{E}_{pi} / \delta \mathbf{A}_{pi}) (\delta \mathbf{A}_{pi} / \delta \mathbf{W}_{ij}) .$$

Sabendo-se que:

$$\mathbf{A}_{pi} = \sum_j \mathbf{W}_{ij} \mathbf{O}_{pj}; \text{ onde } \delta \mathbf{A}_{pi} / \delta \mathbf{W}_{ij} = \mathbf{O}_{pj} .$$

Agora podemos definir:

$$\delta_{pi} = -\delta \mathbf{E}_{pi} / \delta \mathbf{A}_{pi}, \text{ assim que:}$$

$$\Delta_p \mathbf{W}_{ij} = \eta \delta_{pi} \mathbf{O}_{pj} , (\eta \text{ é uma constante}).$$

Desde que:

$$\delta \mathbf{E}_{pi} / \delta \mathbf{A}_{pi} = (\delta \mathbf{E}_{pi} / \delta \mathbf{O}_{pi}) (\delta \mathbf{O}_{pi} / \delta \mathbf{A}_{pi}) , \text{ e}$$

$$\mathbf{O}_{pi} = \text{FT}(\mathbf{A}_{pi}) ,$$

Temos então:

$$\delta_{pi} = -(\delta E_{pi}/\delta O_{pi})FT'(A_{pi}) .$$

Se o neurônio i esta na camada de saída, podemos computar $\delta E_{pi}, \delta O_{pi}$ diretamente da definição de E_{pi} :

$$\text{Erro}_{pi} = 1/2(\text{padrão}_{pi} - \text{saída}_{pi})^2 ;$$

$$E_{pi} = 1/2(T_{pi} - O_{pi})^2 ;$$

$$\delta E_{pi}/\delta O_{pi} = -(T_{pi} - O_{pi}) .$$

O fator 1/2 está presente para cancelar o 2 da diferenciação.

Deste que $O = FT(A)$, $\delta O_{pi}/\delta A_{pi} = dFT/dA$. Esta é a razão pela qual requeremos as funções de transferência para diferenciar neurônios de forma contínua e descontinuamente. Assim, para um neurônio i sobre a camada de saída, podemos escrever:

$$\delta_{pi} = -(\delta E_{pi}/\delta O_{pi})FT'(A_{pi}) .$$

$$= (T_{pi} - O_{pi})FT'(A_{pi}) .$$

Se o neurônio i não está na camada de saída, usamos a regra da corrente uma vez mais para obter:

$$\begin{aligned} \delta E_{pi}/\delta O_{pi} &= \sum_k (\delta E_{pi}/\delta A_{pk})(\delta A_{pk}/\delta O_{pi}) ; \\ &= \sum_k -\delta_{pk} W_{ki} ; \end{aligned}$$

Assim que:

$$\delta_{pi} = FT'(A_{pi}) \sum_k d_{pk} W_{ki} , \text{ se o neurônio } i \text{ não está na camada de saída.}$$

Os k 's são conhecidos como os sinais errados do local e são propagados de volta durante o treinamento, daí o nome do algoritmo. Basicamente o treinamento consiste de rodagens (running) padrões através da rede para frente, propagando então os erros de volta, e atualizando os pesos de acordo com a equação:

$$\Delta_p W_{ij} = \eta \delta_{pi} O_{pj} ;$$

Onde, η é uma constante conhecida como taxa de aprendizado.

A atual implementação da rede neural conhecida como BrainMaker, usa uma versão da regra usada por Sejnowski e Rosenberg na rede por eles implementada (NetTalk), no qual:

$$\Delta_p W_{ij} = \eta((1-\mu)\delta_{pi} O_{pj} + \mu\Delta_{p-1} W_{ij}) .$$

Aqui, μ é outro parâmetro conhecido como um fator de suavização (smoothing). Ele provoca alguma convergência, mas mesmo se μ é colocado para 0, o algoritmo ainda convergirá, embora tomará mais tempo.

Se a função de transferência - FT que é geralmente usada trata-se de uma função logística (sigmóide), a forma geral de tal função é:

$$FT(A) = (H-L) / 1 + e^{(-G*(A-C))} + L ;$$

Onde: H = Valor maior da função; L = Valor menor da função; G = Ganho da função; A = Ativação da função; C = Centro numérico da função.

Se for colodado para $H = 1$; $L = 0$, $G = 1$ e $C = 0$, esta expressão fica reduzida para:

$$FT(A) = 1/(1 + e^{-A}) ;$$

$$FT'(A) = -e^{-A}/(1+e^{-A})^2 ;$$

$$= 1/(1+e^{-A}) * -e^{-A}/(1+e^{-A}) ;$$

$$= FT(A) *(1-FT(A)) .$$