DADOS DIGITAIS DO SATÉLITE SPOT
E DE RADIOMETRIA DE CAMPO NO
ESTUDO DA CULTURA DO FEIJOEIRO
(*Phaseolus vulgaris* L.) IRRIGADO

ATHADEU FERREIRA DA SILVA

Orientador: Prof. Dr. CARLOS ALBERTO VETTORAZZI

Tese apresentada à Escola Superior
de Agricultura "Luiz de Queiroz",
da Universidade de São Paulo, para
obtenção do título de Doutor em
Agronomia, área de concentração:
Irrigação e Drenagem.

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo - Brasil
Agosto - 1995

CATALOGACAO NA PUBLICACAO
DIVISAO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTACAO - CAMPUS "LUIZ DE QUEIROZ"/USP

Silva, Athadeu Ferreira da

Dados digitais do satélite spot e de radiometria de campo no estudo da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado. Piracicaba, 1995. 118p.

Tese - ESALQ

Bibliografia.

1. Agua de irrigação - Demanda 2. Feijão - Irrigação - Monitoramento 3. Sensoriamento remoto I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba

CDD 635.652

DADOS DIGITAIS DO SATÉLITE SPOT
E DE RADIOMETRIA DE CAMPO NO
ESTUDO DA CULTURA DO FEIJOEIRO
(*Phaseolus vulgaris* L.) IRRIGADO

ATHADEU FERREIRA DA SILVA

Aprovada em: 08 . 08 . 1995

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Carlos Alberto Vettorazzi	USP
Prof. Dr. Gilberto José Garcia	UNESP
Prof. Dr. Hermínio Hideo Suguino	CODEVASF
Prof. Dr. Hilton Thadeu Zarate do Couto	USP
Prof. Dr. Tarlei Ariel Botrel	USP

Prof. Dr. Carlos Alberto Vettorazzi
Orientador

Aos meus inesquecíveis pais
Francisco de Paula e Maria Aparecida
Silva (in memoriam) pela árdua luta
sócio-econômica travada sob condições adversas,
em prol da formação de cidadania dos filhos,
ofereço.

À minha esposa Piva,
Aos meus filhos Áthila, Athalita, Achilles e Artur,
Aos meus irmãos Antônio e Jorcelina.
dedico.

Às pessoas que vêm no conhecimento e
no saber o caminho para o desenvolvimento
de um povo,
congratulo.

A G R A D E C I M E N T O S

À Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco - CODEVASF, pela nossa liberação para participar do Curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, nível de Doutorado.

À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"-ESALQ\USP, por intermédio do Departamento de Engenharia Rural, pela oportunidade concedida.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa - CNPq pela ajuda de custos fornecida.

Ao Professor Doutor Carlos Alberto Vettorazzi pela orientação, apoio e amizade dispensados no desenvolvimento do trabalho.

Ao Professor Doutor Rubens Angulo filho pela assistência que deu na condução do trabalho, como co-orientador, por ocasião da estada do Professor orientador fora do País, e também pela amizade e sugestões complementares.

À 1ª. Superintendência Regional da CODEVASF (Montes Claros/MG) pelo apoio logístico à execução dos serviços de campo.

Ao SRGRAPH\CODEVASF (Brasília/DF) pela contribuição logística e técnica dispensadas, através do Engenheiros Carlos Alcebiades Barros Cavalcanti e Aristóteles Fernandes de Melo.

Ao Professor Doutor Hilton Thadeu Zarate do Couto (Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP - Piracicaba/SP) e Professor Eduardo Freitas da Silva (Departamento de Estatística da Universidade de Brasília - UnB) pelo auxílio na análise estatística dos dados.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP pela amizade cultivada no decorrer do convívio acadêmico.

Ao Engenheiro Agrônomo José Eduardo Borella pelo incentivo, colaboração e apoio na etapa de finalização do trabalho.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

S U M Á R I O

Página

LISTA FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	xiii
LISTA DE ABREVIATURA E SÍMBOLOS.....	xv
RESUMO	xvii
Abstract.....	xix
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	04
2.1. Conceitos e considerações sobre sensoriamento remoto.....	04
2.2. Sensoriamento remoto e agricultura irrigada.....	07
2.2.1. Aspectos técnicos e operacionais.....	08
2.2.1.1. Imagens de satélite.....	08
2.2.1.1.1. Sistema Spot.....	10
2.2.1.2. Radiometria.....	12
2.2.1.3. Parâmetros fitotécnicos.....	14
2.2.2. Trabalhos desenvolvidos baseados em imagens do satélite Landsat.....	18
2.2.3. Trabalhos desenvolvidos com base em imagens do satélite SPOT.....	22
2.3. Trabalhos que relacionam radiometria de campo com dados digitais de imagens de satélites e índices de de vegetação.....	24
2.4. Fatores inerentes à resposta espectral caracterís- tica do alvo.....	27

3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
3.1. Localização da área de estudo.....	35
3.2. Caracterização da região.....	35
3.2.1. Clima.....	35
3.2.2. Solos.....	36
3.2.3. Recursos hídricos.....	37
3.3. Informações do Projeto Jaíba	37
3.3.1. Determinação da Área F	38
3.4. Materiais e equipamentos.....	39
3.4.1. A cultura base do trabalho.....	39
3.4.2. Localização das áreas de trabalho.....	39
3.4.3. Dados culturais.....	40
3.4.4. Dados orbitais da área de estudo.....	41
3.4.5. Equipamentos empregados nas medições radiométricas.....	41
3.4.6. Equipamentos empregados no tratamento de imagens.....	42
3.5. Métodos.....	44
3.5.1. Ações de campo.....	44
3.5.1.1. Coleta de dados.....	44
3.5.1.2. Dados fitotécnicos.....	45
3.5.1.3. Leituras radiométricas e trata- mentos de dados.....	49
3.5.1.4. Tratamentos de imagens de saté- lite e obtenção de dados.....	51
3.5.1.5. Análise dos dados.....	52
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	53
4.1. Tabulação de dados.....	53
4.2. Análise estatística dos valores de reflectância.....	57
4.2.1. Análise estatística dos valores temporais de reflectância.....	57
4.2.1.1. Análise de variância - Teste "F".....	57
4.2.1.2. Discussão de resultados.....	60
4.2.2. Análise estatística dos valores temporais de reflectâncias (REF).....	62

4.2.2.1. Análise de variância - Teste "F".....	63
4.2.2.2. Teste de Tukey.....	63
4.2.2.3. Discussão de resultados.....	64
4.2.3. Análise estatística dos valores temporais de reflectância (RAD).....	64
4.2.3.1. Análise de variância - Teste "F".....	65
4.2.3.2. Teste de Tukey para as médias das interações.....	65
4.2.3.2. Discussão de resultados.....	67
4.3. Avaliação gráfica das curvas dos valores de re- flectância temporal (REF e RAD).....	67
4.3.1. Discussão de resultados	70
4.4. Avaliação gráfica das curvas dos valores de re- flectância em função de dados fitotécnicos.....	71
4.4.1. Curvas de reflectância em função da cober- tura vegetal.....	72
4.4.1.1. Discussão de resultados.....	75
4.4.2. Curvas de reflectância função do índice de área foliar.....	76
4.4.2.1. Discussão de resultados.....	79
4.4.3. Tratos culturais.....	80
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	84
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87
7. APÊNDICE 1.....	95
8. APÊNDICE 2.....	103
9. APÊNDICE 3.....	111

L I S T A D E F I G U R A S

Figuras	Página
1. Regiões do espectro óptico.....	07
2. Representação esquemática de um sistema de varredura multiespectral.....	09
3. Possibilidade de visadas dos sensores HRV.....	11
4. Componentes básicos de um radiômetro.....	13
5. Estrutura morfológica de uma folha normal.....	28
6. Principais características da resposta espectral das folhas verdes.....	29
7. Efeito da reflectância espectral, causado pela in- filtração de água nos espaços intracelulares de folhas feijão.....	31
8. Ilustração esquemática das três grandes fases do ci- clo fenológico de uma cultura agrícola, quanto aos principais componentes do sistema a influenciar na resposta espectral.....	32
9. Diagrama de montagem dos elementos ópticos do Radiômetro EXOTEC 100 BX.....	42
10. Configuração do hardware de um sistema de processa- mento de imagens digitais.....	43
11. Esquema de para obtenção do valor de "C" no campo.....	46
12. Estratégia de coleta de dados na planta.....	47
13. Curvas de reflectâncias médias dos 7 lotes estuda- dos (8 dias PG).....	69
14. Curvas de reflectâncias médias dos 7 lotes estuda- dos (50 dias PG).....	69

15. Curvas médias de reflectâncias em função da cobertura vegetal (8 dias PG).....	74
16. Curvas médias de reflectâncias em função da cobertura vegetal (50 dias PG).....	74
17. Curvas medias de reflectâncias em função do índice de área foliar (8 dias PG).....	78
18. Curvas médias de reflectâncias em função do índice de area foliar (50 dias PG).....	78
19. Imagem Spot da área de trabalho do período referente a 50 dias pós-germinação (cultura de feijão). Escala 1:40.000.....	82
20. Cultura do feijão na Fase I (8 dias PG).....	83
21. Cultura do feijão na Fase II (8 dias PG).....	83
1A. Curvas de reflectâncias do lote I (8 dias PG).....	96
1B. Curvas de reflectâncias do lote I (50 dias PG).....	96
1C. Curvas de reflectâncias do lote II (8 dias PG).....	97
1D. Curvas de reflectâncias do lote II (50 dias PG).....	97
1E. Curvas de reflectâncias do lote III (8 dias PG).....	98
1F. Curvas de reflectâncias do lote III (50 dias PG).....	98
1G. Curvas de reflectâncias do lote IV (8 dias PG).....	99
1H. Curvas de reflectâncias do lote IV (50 dias PG).....	99
1I. Curvas de reflectâncias do lote V (8 dias PG).....	100
1J. Curvas de reflectâncias do lote V (50 dias PG).....	100
1L. Curvas de reflectâncias do lote VI (8 dias PG).....	101
1M. Curvas de reflectâncias do lote VI (50 dias PG).....	101
1N. Curvas de reflectâncias do lote VII (8 dias PG).....	102
1O. Curvas de reflectâncias do lote VII (50 dias PG).....	102
2A. Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal Lote I (8 dias PG).....	104
2B. Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal Lote I (50 dias PG).....	104
2C. Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal Lote II (8 dias PG).....	105
2D. Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal Lote II (50 dias PG).....	105

2E. Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal	
Lote III (8 dias PG).....	106
2F. Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal	
Lote III (50 dias PG).....	106
2G. Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal	
Lote IV (8 dias PG).....	107
2H. Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal	
Lote IV (50 dias PG).....	107
2I. Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal	
Lote V (8 dias PG).....	108
2J. Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal	
Lote V (50 dias PG).....	108
2L. Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal	
Lote VI (8 dias PG).....	109
2M. Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal	
Lote VI (50 dias PG).....	109
2N. Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal	
Lote VII (8 dias PG).....	110
2O. Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal	
Lote VII (8 dias PG).....	110
3A. Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal	
Lote I (8 dias PG).....	112
3B. Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal	
Lote I (50 dias PG).....	112
3C. Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal	
Lote II (8 dias PG).....	113
3D. Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal	
Lote II (50 dias PG).....	113
3E. Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal	
Lote III (8 dias PG).....	114
3F. Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal	
Lote III (50 dias PG).....	114
3G. Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal	
Lote IV (8 dias PG).....	115

3H. Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal	
Lote IV (50 dias PG).....	115
3I. Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal	
Lote V (8 dias PG).....	116
3J. Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal	
Lote V (50 dias PG).....	116
3L. Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal	
Lote VI (8 dias PG).....	117
3M. Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal	
Lote VI (50 dias PG).....	117
3N. Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal	
Lote VII (8 dias PG).....	118
3O. Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal	
Lote VII (50 dias PG).....	118

L I S T A D E T A B E L A S

Tabelas	Página
1. Características do instrumento HRV	12
2. Dados climatológicos do posto de Mocambinho (Projeto Jaíba/MG) - Período de 1976/1985).....	36
3. Valores de reflectâncias obtidas a partir de dados extraídos de imagens do satélite Spot.....	54
4. Valores de reflectância obtidos a partir de radiome- tria de campo.....	54
5. Dados médios de índice de área foliar.....	55
6. Dados médios de cobertura vegetal da cultura.....	56
7. Teste "F" para as médias das interações.....	58
8. Teste de Tukey: variável MÉTODO.....	58
9. Teste de Tukey: variável DIAS.....	59
10. Teste "F" para as médias das interações.....	59
11. Teste de Tukey: variável MÉTODO.....	59
12. Teste de Tukey: variável DIAS.	59
13. Teste "F" para as médias das interações.....	60
14. Teste de Tukey: variável MÉTODO.....	60
15. Teste de Tukey: variável DIAS.....	60
16. Teste "F": variável REF.....	63
17. Teste de Tukey: variável REF.....	64
18. Teste de Tukey: variável BANDA.....	64
19. Teste de Tukey para as médias das interações.....	66
20. Teste de Tukey: variável RAD.....	66

21. Teste de Tukey: variável BANDAS.....	66
22. Dados médios de reflectância (REF,RAD).....	68
23. Dados médios temporais de cobertura vegetal (COV) e de reflectância (RAD,REF) da lavoura de feijão.....	73
24. Resultado da correlação de dados fitotécnicos e de reflectâncias.....	76
25. Dados temporais médios de índice de área foliar (IAF) e reflectância (RAD,REF) da lavou- ra de feijão.....	77
26. Resultado da correlação de dados fitotécnicos e de reflectâncias.....	80

L I S T A D E A B R E V I A T U R A S
E S Í M B O L O S

A - área foliar (cm^2)

AF - área foliar média por planta (cm^2)

BANDA - faixa espectral de um canal de um instrumento de leitura de reflectância

C - comprimento de folíolo central da folha de feijoeiro (cm)

COV - cobertura vegetal (%)

d - dias pós-germinação

D - diâmetro da cobertura da planta (m)

EF - espaçamento entre fileiras de plantas (m)

ETP - irradiância para a hora de medição do alvo

FOL/P - folha por planta

HVS - hora verdadeira solar

HMS - hora decimal

HMG - hora média de Greenwich

IVR - infravermelho refletivo

IVP - infravermelho próximo

IVM - infravermelho médio

J - data juliana

L - comprimento linear médio de trecho de fileira de plantas analisado (m)

λ - longitude do local

θ - ângulo zenital solar

ϕ - latitude do alvo de interesse
 δ - ângulo de inclinação
 t - ângulo hora
R - refletância calibrada do painel (placas de bário)
RAD - refletância (dados de leituras radiométricas)
REF - refletância (dados de cinza extraídos de
imagens de satélites)
IAF - índice de área foliar (%)
NMP - número médio de plantas
TM - Thematic Mapper
HRV - Haute Resolution Visible
PG - Pós-germinação
RESP - resposta de refletância

DADOS DIGITAIS DO SATÉLITE SPOT E DE RADIOMETRIA DE CAMPO NO ESTUDO DA CULTURA DO FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.) IRRIGADO

Autor: ATHADEU FERREIRA DA SILVA

Orientador: PROF. DOUTOR CARLOS ALBERTO VETTORAZZI

RESUMO

O trabalho teve como objetivo testar a aplicação de imagens digitais do satélite Spot e dados radiométricos coletados em campo, no cadastramento de áreas com culturas de feijão carioca (*Phaseolus vulgaris* L.) sob regime de irrigação. Numa abordagem mais ampla, objetivou-se identificar a espécie cultivada entre outras, precisar a dimensão da gleba para subsidiar o disciplinamento de uso da água de uma fonte hídrica, ou seja, o gerenciamento de recursos hídricos. Parte-se da hipótese que existe estreita correlação entre a reflectância dos dados de cinza extraídos da imagem de satélite e os dados radiométricos coletados no campo. Em razão disso o monitoramento e levantamento de culturas irrigadas podem ser feitos empregando-se sensoriamento remoto digital, interagidos com dados básicos de campo, calibrados para grupos de espécies vegetais distintos. O estudo foi conduzido no município de Jaíba - MG, numa área de colonização (lotes irrigados com área média individual de 5 ha) com a cultura do feijão, durante um ciclo agrícola. Os dados destinados ao estudo foram coletados em três ciclos da cultura, sendo eles dados fitotécnicos, dados de radiometria de campo e dados digitais extraídos de imagens do satélite Spot. A pesquisa

permitiu concluir que, sob as condições estudadas, não existe correlação satisfatória entre dados radiométricos e digitais orbitais; e o cadastramento e identificação de culturas de ciclo anual exploradas em área agrícolas sob regime de irrigação exige serviços de apoio de campo sistemático. Recomendam-se novos estudos do gênero para aprimorar os resultados ora alcançados.

SPOT SATELLITE DIGITAL DATA AND RADIOMETER FIELD DATA FOR STUDYING IRRIGATED BEANS CROPS DATA (*Phaseolus vulgaris* L.)

Author: ATHADEU FERREIRA DA SILVA

Adviser: PROF. DOUTOR CARLOS ALBERTO VETTORAZZI

Abstract

The work had the objective to test application of Spot satellite digital images and radiometer field data in the mapping of areas cultivated with carioca beans (*Phaseolus vulgaris* L.) under irrigation. In a broad way, the work tried to identify the cultivated specie among others, to precise the area dimension to subsidise the regulation of water use, in other words, the management of water resources. The hypothesis of this work was that exists a narrow correlation between satellite image digital data and radiometer data collected in the field. Due to this fact the monitoring and surveying of irrigated crops can be done using digital remote sensing interacted with basic field data calibrated for distinct group of plant species. The study area was implemented in Jaíba Irrigation Project (municipal district of Jaíba/MG), in a colonization area (irrigated plots with average area of 5 ha), cultivated with beans, during an agricultural cycle. The data for the study, collected in three phases of vegetative culture cycle, were phytotechnical data, field radiometry and digital data extracted from the satellite images. The results allowed to conclude that under the studied conditions, there was no satisfactory correlation between

xx.

radiometer and orbital digital data; annual crops surveying, in irrigated areas, needs sistematic field support. It is recommended new similar studies to improve the results now obtained.

1. INTRODUÇÃO.

A inadequação do uso dos recursos hídricos às múltiplas linhas demandadas aos interesses da sociedade, tem acarretado conflitos entre as partes envolvidas a níveis cada vez mais consideráveis e preocupantes. O grau de dificuldades em administrar essa situação avança proporcionalmente à evolução populacional de uma região, devido às necessidades geradas à sobrevivência humana. Entre os vários segmentos beneficiários do insumo, está o de irrigação, cuja área expandiu-se significativamente no País nos dez últimos anos, à margem de orientações de políticas disciplinadoras do uso da água. Em consequência, passou a sofrer desajustes operacionais graves, comprometendo os projetos de irrigação implantados ao longo da fonte hídrica. Para situações localizadas, onde há poucos projetos, o problema pode ser controlado sem maiores dificuldades. Quando trata-se de extensões maiores, com grande concentração de produtores envolvidos na atividade, e onde o processo de uso da água é alterado constantemente (entrada de novas áreas em operação e/ou alternâncias de turnos de regas das áreas com culturas em desenvolvimento desordenado), faz-se necessário a regulamentação de uso (DAEE, 1990).

Destacam-se como parâmetros necessários ao desenvolvimento de uma metodologia de trabalho, os seguintes: a) informações climatológicas; b) estudos de geologia e de solos (levantamentos); c) dados históricos de hidrologia; d) quantificação da área cultivada; e e) tipos de culturas exploradas.

Os dois últimos itens, "quantificação da área irrigada" e "tipos de culturas exploradas", têm-se caracterizado pela dificuldade em precisar-se as informações face às variações

frequentes ocorridas no campo e ao empirismo metodológico praticado na obtenção dos dados:

Regiões semi-áridas, de poucas variações no decorrer do ano (temperaturas médias altas e escassêz de chuva), propiciam, graças à irrigação, praticar-se explorações agrícolas de ciclo curto, diversificadas, orientadas pelo mercado consumidor, praticamente em todas as estações do ano. As glebas encontram-se distribuídas irregularmente ao longo das margens de mananciais de vazões reduzidas, normalmente isoladas (registram-se casos de pólos de irrigação), com dimensões variando de 0,50 ha (olericultura) até faixas maiores que 100,00 ha (a maioria das glebas agrícolas está compreendida entre 2,00 ha e 5,00 ha). As áreas apresentam formato irregular e são de difícil acesso (geograficamente e/ou dificultado pelo proprietário). O interesse básico em identificar-se a exploração agrícola, e daí o seu uso consultivo, em um universo tão diversificado entre os pares, é fundamental à proposta maior desejada (gerenciamento hídrico).

O monitoramento de recursos naturais através de imagens de satélite coloca várias informações de interesses múltiplos à disposição de segmentos distintos, em função do dinamismo requerido. A agricultura serve-se dessas informações para levantamentos de fronteiras agrícolas, estimativa de safras, monitoramentos, etc. A maioria dos trabalhos refere-se ao cadastramento de extensas áreas de monocultivos de reservas florestais; de lavouras agrícolas de ciclos perene (fruticultura), semi-perene (cana-de-açúcar) e/ou de culturas anuais (caso do cultivo de soja e de arroz). Apoiado em informações complementares de campo, o trabalho é complementado com níveis de precisão satisfatórios. Já os monitoramentos envolvendo pequenas glebas agrícolas, como no caso em questão, os resultados não tem mostrados com o grau de satisfação desejado. Em alguns casos, há dificuldade até em precisar-se a dimensão da área.

Este trabalho teve como objetivo correlacionar valores digitais extraídos da imagem de satélite Spot e de radiometria de campo provenientes do cadastramento temporal da

lavoura irrigada de feijão. Numa evolução seqüencial espera-se cadastrar as áreas com culturas irrigadas, identificar a espécie cultivada e precisar a dimensão da gleba, empregando imagens de satélite Spot, com apoio de operações de campo, viabilizando, a partir daí, estimar o uso consuntivo da lavoura (demanda de água requerida pela atividade). Espera-se com isso atingir resultados em tempos menores, a graus de precisão satisfatórios e custos reduzidos, com a eliminação de etapas da operação de cadastramento em campo.

Assumiram-se as seguintes hipóteses:

- existe estreita correlação entre os valores de níveis de cinza extraídos da imagem de satélite e as leituras de radiometria coletadas no campo.

- O levantamento e o monitoramento de culturas irrigadas podem ser feitos empregando-se sensoriamento remoto orbital interagido com dados básicos de campo calibrados para grupos de espécies vegetais distintos.

- Os valores de níveis de cinza extraídos de imagens de satélites de uma área agrícola definem características vegetativas de um cultivar.

- Não há diferenças significativas entre o comportamento espectral dos alvos obtidos através das leituras radiométricas e dos valores de níveis de cinza da imagem de satélite.

- Tratos culturais e fatores fitotécnicos interferem nas respostas espectrais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Conceitos e considerações sobre sensoriamento remoto.

Diversos são os conceitos dados para sensoriamento remoto, cuja essência das redações converge para uma idéia comum sobre o fenômeno. Entre esses, citaremos a definição de NOVO (1989):

- "Sensoriamento Remoto é a utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos para transmissão de dados, aeronave, espaçonaves, etc, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e análise das interações entre radiação eletromagnética e as substâncias do planeta Terra em suas mais diversas manifestações". MENDONÇA (1981) faz algumas observações sobre o tema: "Colocando-se dispositivos sensores em aviões ou satélites, com objetivo de obter informações acerca de objetos com o meio ambiente, o sensoriamento remoto apresenta três importantes características: rapidez, repetitividade e poder de análise espectral".

De acordo com LARS (Laboratory for Agricultural Remote Sensing, 1968), citado por MEDONÇA (1981), o sensoriamento remoto tem sido aplicado à agricultura para atender a três objetivos básicos: 1) identificar, de acordo com os padrões de resposta espectral, as diversas categorias de culturas agrícolas; 2) estabelecer para essas diversas categorias de culturas a faixa de melhor discriminação do espectro eletromagnético; e, 3) determinar em função do estágio de desenvolvimento das culturas, de acordo com as variações temporais e as diferentes condições de solo, os padrões de resposta multiespectral para os diferentes grupos ou categorias de cultura.

O apoio ao mapeamento de áreas agrícolas através

da interpretação de imagens LANDAST, ainda segundo MENDONÇA (1981), oferece bons resultados, desde que cuidados básicos sejam observados por ocasião da seleção das datas de passagem do satélite sobre os locais desejados, como: ausência de nuvens; repetição da operação em séries temporais, acompanhando as etapas de desenvolvimento da cultura (em épocas de acentuado contraste espectral com a vegetação nativa); repetição da operação por mais de uma safra, na mesma região, para maior segurança nas informações obtidas.

A respeito desse assunto, MISRA & WHEELER (1978), utilizando dados espectrais do MSS (Multispectral Scanner Subsystem) do LANDSAT, afirmam que a noção de resposta espectral, tomada como base exclusiva para classificação das culturas é necessário associar as variações espectrais e temporais.

KOFFLER (1982) comenta as seguintes considerações: Quando a radiação eletromagnética atinge a matéria, ocorrem alguns fenômenos físicos:

- uma parte da energia retorna ao espaço que contém a fonte de radiação: é a reflexão;
 - uma segunda parte entra na matéria e desaparece em seu interior: é a absorção;
 - uma terceira e última parte atravessa a matéria: é a transmissão.
- Interessa ao sensoriamento a reflexão, que é examinada sob duas variáveis: albedo, que é a relação entre toda a luz refletida pela superfície e toda luz incidente; e reflectância, que é a razão entre a radiação refletida em uma direção específica e a radiação incidente a um determinado comprimento de onda".

Segundo VETTORAZZI (1992) a faixa espectral que se estende de 0,3 μ m a 15,0 μ m é a mais usada em sensoriamento remoto. É conhecida como ESPECTRO ÓPTICO, pois se conseguem informações com aparelhos dotados de lentes: máquinas fotográficas, radiômetros, etc) - Figura 1, cujas principais regiões e respectivos comprimentos de onda (λ m) são:

a) Região do Espectro Refletivo ($0,38\mu\text{m}$ a $3,0\mu\text{m}$): e chamada de porção refletida do espectro em razão da energia detectada nessa região ser basicamente originada da reflexão da energia solar pelos objetos postados na superfície terrestre. O espectro refletivo divide-se em três sub-regiões:

- Visível ($0,38\mu\text{m}$ a $0,72\mu\text{m}$): corresponde à região em que o olho humano é capaz de responder à radiação eletromagnética. Também é conhecida como região das cores primárias - azul, verde e vermelho -, responsáveis pelas demais matizes. O assunto voltará a ser focado em 2.4.

- Infravermelho refletivo (IVR) - $0,72\mu\text{m}$ a $3,0\mu\text{m}$: essa faixa é composta pelo Infravermelho Próximo (IVP) - $0,72\mu\text{m}$ a $1,3\mu\text{m}$ - e Infravermelho Médio (IVM) - $1,3\mu\text{m}$ a $3,0\mu\text{m}$.

b) Região Não Definida ($3,0\mu\text{m}$ a $7,0\mu\text{m}$): esta região caracteriza-se pela interferência de efeitos atmosféricos na interpretação dos dados de radiação, limitando a utilização destes comprimentos de onda em aplicações de sensoriamento remoto orbital.

c) Região Infravermelho Distante ($7,0\mu\text{m}$ a $15\mu\text{m}$): é conhecida também como região termal ou emissiva. Segundo GARCIA (1982), a grande utilidade desta faixa seria no estudos de biomassa para fins energéticos. Para interpretar os resultados exige-se conhecimentos dos processos físicos que controlam a interação entre a energia termal e a matéria, bem como as propriedades termais da matéria: capacidade térmica ($\text{cal/g}^\circ\text{C}$),

Figura 1 - Regiões do espectro óptico.

Fonte: SWAIN & DAVIS, (1978).

condutividade térmica ($\text{cal/cm} \cdot \text{seg} \cdot ^\circ\text{C}.$), inércia térmica ($\text{cal/cm}^2 \cdot \text{seg}^{1/2} \cdot ^\circ\text{C}$) e difusibilidade térmica (cm^2/seg). O sensoriamento remoto através do infravermelho termal utiliza-se da radiação emitida e não da refletida por objetos, na superfície terrestre.

2.2. Sensoriamento remoto e agricultura irrigada

Os trabalhos relacionados ao assunto utilizam informações obtidas através de sensoriamento remoto (imagens de satélite e radiometria de campo), parâmetros fitotécnicos e práticas culturais adotadas nas lavouras sob observação, interagindo-as ou não, entre si, com o propósito de aprimorar a qualidade final perseguida. Torna-se importante, pelos motivos

expostos, comentar sobre o procedimento técnico/operacional dos tópicos.

2.2.1. Aspectos técnicos e operacionais

2.2.1.1. Imagens de satélite

De acordo com VETTORAZZI (1991), as imagens dos satélites Landsat e Spot são obtidas por sensores que se enquadram no grupo dos sistemas imageadores elétrico-Ópticos, que registram os dados coletados na forma de sinais elétricos, possibilitando transmissão à distância. Compõem-se de Sistema Óptico e Detector.

O Sistema Óptico focaliza e direciona a energia refletida ou emitida do objeto em foco para o detector, onde há processamento dos sinais elétricos, de acordo com a intensidade de radiação recebida. Os sensores de imageamento eletro-óptico dividem-se em Sensores de Quadro ("Frame") e Sensores de Varredura.

Os "Frame"(Vidicons) originados do sistema de televisão, viabilizam a conversão de uma imagem eletrônica sobre uma superfície fotoelétrica, em sinais elétricos que podem ser transmitidos, ou registrados e mais tarde rearranjados para reproduzir a imagem da cena original. Ocorre a decodificação dos sinais ao serem recebidos (a recepção de um aparelho de televisão é um exemplo).

O sistema de Varredura Multiespectral("scanner"), mede a radiância da superfície terrestre ao longo de uma linha perpendicular à linha de voo da aeronave ou órbita do satélite. Como a plataforma que conduz o sensor movimenta-se à frente, medições contínuas de radiância permitem a formação de uma imagem bidimensional. O imageamento dá-se através de uma faixa.

Curran (1985), citado por VETTORAZZI (1991), diz que o varredor multiespectral compõe-se de coletores e registradores. Seu funcionamento segue a seguinte ordenação, orientando-se pela Figura 2:

- a radiação proveniente da superfície terrestre passa de um telescópio (1), para ser focalizada sobre um espelho rotativo (2), que a reflete sobre um conjunto óptico (3), sendo daí enviada para um sistema em radiação refletida e emitida (4);

Figura 2 - Representação esquemática de um sistema de varredura multiespectral. Fonte: CURRAN, 1985.

a radiação refletida é dividida, através de um prisma (5), em seus componentes espectrais, que são detectados e amplificados por detectores e pré-amplificadores (6); a radiação emitida vai direto para os registradores termais e pré-amplificadores (6). Todas informações estão na forma eletrônica e são controlados

pelo console eletrônico (7), ao qual podem ser ligados varios sistemas de saidas (8, 9, 10 e 11).

Entre esses aparelhos registrados de imagens adequados ao fornecimento de informações ao trabalho em tela, utilizou-se imagens do Satellite Pour L'Observation de la Terre - SPOT, cujas características serão abordadas a seguir.

2.2.1.1.1. Sistema SPOT

A série SPOT, de acordo com VETTORAZZI (1992), teve início com lançamento do SPOT1 em 1986, hoje semi-desativado. Em 1990 e 1993 foram lançados respectivamente as unidades SPOT2 e SPOT3. As principais características do sistema SPOT são a alta resolução espacial no modo multiespectral (20m X 20m) e no pancromático (10m X 10m) e a capacidade imageamento oblíquo (off-nadir), permitindo o aumento da repetitividade da cobertura e a obtenção de pares estereoscópicos (Figura 3). Os sensores têm ângulo de visada variável e são programáveis através de comandos da estação terrestre. São capazes de imagear qualquer porção do terreno compreendida por uma faixa distante de até 475km em cada um dos lados da órbita em que se encontra o satélite. Isso permite observações orbitais adjacentes da área de interesse no período entre uma passagem e outra do satélite no local (NOVO, 1989), através do sistema de varredura "push broom".

Ainda segundo VETTORAZZI (1992) a órbita do satélite SPOT é similar a do Landsat: circular, sol-síncrona e quase polar; opera numa altitude de 830Km, ângulo de inclinação de

98,7°; o período de cobertura de faixa são de 104,4 minutos, dando 14 5/26 volta em 24 horas e passando pelo equador (15 de junho) às 10:30 horas; necessita de 369 passagens para a cobertura total. É composto por unidades de sensores

Figura 3 - Possibilidade de visadas dos sensores HRV
 Fonte: Citado por VETTORAZZI (1992).

especiais HRV (Haute Resolution Visible); 2 registradores de dados de fitas magnéticas; e um conjunto de telemetria para a transmissão de dados para a Terra. O HRV opera nas regiões do visível e do infravermelho do espectro eletromagnético, nos modos Pacromático (PAN) e Multiespectral (XS) (Tabela 1)

No Brasil a imagem Spot é comercializada pela IMAGEM GEOSISTEMAS (São José dos Campos/SP) com repetitividade de

25 dias no Nadir e até 10 vezes no mês em inclinação lateral sentido oeste-leste.

Tabela 1 - Características do instrumento HRV.

Características do sensor	Modo Multiespectral	Modo Pancromático
Bandas espectrais	0.50 - 0.59 μ m 0.61 - 0.68 μ m 0.79 - 0.89 μ m	0.51 - 0.73 μ m
Campo de visada	4.13°	4.13°
Elemento de resolução no terreno (visada vertical)	20m x 20m	10m x 10m
N° de Pixels por linha (visada Vertical)	3000	6000
Largura da faixa no ter- reno (visada vertical)	60Km	60km

Fonte: VETTORAZZI (1992).

2.2.1.2. Radiometria

Radiometria é o conjunto das técnicas utilizadas para a medida das quantidades de energia radiante e os sistemas para a medição dessas quantidades são denominadas radiômetros (STEFFEN et alii, 1981). As medições de campo são feitas instalando-se o aparelho sobre a cultura, por exemplo, em local representativo da área, procedendo as leituras provenientes das radiações de ondas curtas incidentes nas plantas e das

radiações de ondas longas refletidas por elas, dando a resposta em leitura eletrônica digital, que acusa o resultado entre as partes. Estas informações devem ser registradas no campo em sincronismo com a passagem do satélite pela área de estudos para que, quando analisadas, interagidas às imagens obtidas pelo aparelho, via programa de computadores, obtenha níveis de respostas bem correlacionadas e satisfatórias na identificação do alvo em foco (VERDIN & SILVA, 1989).

Os componentes básicos de um radiômetro, de acordo com a Figura 4, segundo VETTORAZZI (1992), são:

- Sistema óptico: tem função de captar o fluxo de

Figura 4 - Componentes básicos de um radiômetro.

Fonte: VETTORAZZI (1992).

energia radiante proveniente de um alvo, dentro de ângulo de visada fixo, e concentrá-lo sobre o sistema de dispersão.

- Sistema de dispersão: decompõe a radiação em diferentes comprimentos de ondas (faixas de operação do sensor).

- Detector: responsável pela conversão de dada quantidade de energia radiante incidente sobre o radiômetro, em sinal elétrico proporcional.

- Processador: transforma os sinais elétricos gerados pelo detector em dados, que podem ser fornecidos ao usuário sob forma de números ou gráficos.

2.2.1.3. Parâmetros fitotécnicos

Os dados fitotécnicos, conforme VERDIN & SILVA (1989), constituem indicativos auxiliares importantes à caracterização de um padrão refletivo de uma espécie vegetal, em suas fases distintas: plantas de ciclo perene alteram o aspecto, na maioria das vezes, com as estações do ano; as de ciclo anual mostram as modificações nas fases distintas da vida da planta.

O desenvolvimento vegetativo sadio de uma cultura, que lhe propicie um desempenho satisfatório (arquitetura; cobertura vegetal; índice de área foliar; etc...) caracterizando bem a espécie, emitirá reflectâncias em comprimento de ondas com poucas variações dentro da mesma lavoura, no mesmo estágio. Isso possibilita a obtenção de respostas espectrais de boa qualidade. Essa condição ótima, entretanto, é função de diversos fatores implícitos, cuja inobservância pode comprometer o padrão desejado, tais como tratamentos culturais e fitossanitários dispensados à lavoura. Entre os tratamentos culturais alguns trabalhos dão relevância ao aspecto nutricional do vegetal:

- AL ABBAS et alii (1974) comentam que a deficiência de minerais afeta principalmente o conteúdo da clorofila e possivelmente a estrutura anatômica das folhas.

- A clorose provocada pela deficiência de ferro afeta a reflectância da folha na região do visível (MOREAU et alii, 1981).

- A deficiência de nitrogênio muda toda reflectância espectral. Na faixa do visível há um incremento de reflectância atribuída ao baixo conteúdo de clorofila; e decresce na faixa de domínio do Infravermelho Próximo e Infravermelho

Médio atribuído a diminuição do número de camadas de células (THOMAS et alii, 1972). Debita-se a insuficiência desses dois elementos na composição dos nutrientes à disposição da cultura a maioria dos casos de nutrientes à disposição da cultura na maioria dos casos de ocorrência do fenômeno clorose.

A proliferação na cultura de pragas e doenças, por descuidos com os tratamentos fitossanitários, traz consequências danosas às plantas, no enfoque em discussão:

- Segundo MOREAU et alii (1981) a mudança na pigmentação da folha, como o amarelecimento precoce por exemplo, afeta as propriedades ópticas na região do visível. Induz à formação de necroses. A reflectância de partes necrosadas podem ser confundidas com as folhas em fase de senescência.

- KEEGAN et alii (1981) dizem que o fenômeno induz outros pigmentos, que podem aumentar ou diminuir a reflectância em diferentes partes do espectro. Modifica a taxa de transpiração da folha sem mudar suas propriedades ópticas. Neste caso a temperatura radiativa da folha é mudada e o efeito da doença ou ataque de pragas pode ser detectado na região do infravermelho termal.

- CASTRO (1974) analisou o crescimento do amendoazeiro (*Rachis hypogea* L.) com relação à influência de pragas, empregando as fórmulas de BLACKMAN & WILSON (1951), para calcular:

Índice de Área Foliar

$$IAF = A/S \quad (1)$$

A/S - razão, área foliar/área superfície do terreno em uma mesma colheita.

Relação de Área Foliar

$$RAF = A/P \text{ dm}^2/\text{g} \quad (2)$$

A/P - razão área foliar/ peso seco de uma mesma colheita.

Taxa de Assimilação Aparente (TAA)

$$TAA = ((P2 - P1)/(A2 - A1)) ((\log A2 - \log A1)/(T2 - T1)) \quad (3)$$

(g/dm²/dia)

P2 - P1 - diferença de peso seco em gramas, entre duas amostras.

A2 - A1 - diferença de área foliar, em dm², entre as mesmas amostras.

T2 - T1 - tempo transcorrido em dias, entre as colheitas.

Taxa de Crescimento Relativo (TRC)

$$TRC = (\log P2 - \log P1)/(T2 - T1) \text{ g/g/dia} \quad (4)$$

Entre as conclusões obtidas do trabalho, cita-se:

- os danos provocados por pragas do amendoimzeiro diminuem o índice foliar da cultura;

- Populações mais altas de pragas promovem decréscimo na relação de área foliar na cultura do amendoimzeiro.

Metodologia para calcular índices de área foliar, além do trabalho de CASTRO (1974), citam-se as desenvolvidas por EPIPHANIO (1988) e GOMIDE & CASTRO NETO (1989).

No seu trabalho EPIPHANIO (1988) empregou as fórmulas BLACKMAN & WILSON (1951) para determinar o índice de área foliar das culturas de feijão e trigo.

$$IAF = (NMP \times AF)/EF \quad (5)$$

NMP - número médio de plantas/m linear

AF - área foliar média por planta (m²)

EF - espaço médio entre fileira (m)

IAF - índice de área foliar (u)

Para determinar a área foliar do feijão as folhas das plantas foram decalcadas em papel e posteriormente a área foi medida com planímetro; no caso do trigo assumiu-se a forma da folha como sendo semelhante a um retângulo, e com a multiplicação das medidas dos lados obtinha-se diretamente a área foliar média da planta.

GOMIDE & CASTRO NETO (1989) desenvolveram trabalho para determinar a área foliar "in vitro" no feijoeiro, sem destruição da folha, colhendo os dados diretamente no campo, sem qualquer prejuízo físico para a planta.

Pela metodologia utilizada concluiu-se que a determinação da área foliar pode ser feita pelos métodos do retângulo e do círculo circunscrito, sendo este último mais prático de operar no campo por ser necessário apenas medir o comprimento de um folíolo de cada folha.

$$A = 1,1286 C^2 \quad (6)$$

A - área foliar (cm²)

C - comprimento do folíolo central do feijoeiro (cm)

Em função dos resultados obtidos, os pesquisadores assumiram que:

- Não existe diferença entre as áreas dos folíolos de uma mesma folha de um feijoeiro, cultivar *Eriparza*.

- Não existe diferença entre as áreas calculadas pelo método de círculo, método do retângulo e a área real.

- A área de uma folha de feijoeiro, cultivar *Eriparza* pode ser obtida a partir da equação $A = 1,1286 C^2$.

A determinação da área foliar de maneira destrutiva, dependendo das circunstâncias, pode ser inconveniente e/ou dificultada por motivos diversos: o proprietário da lavoura não permite que se arranquem as plantas; o campo instalado destina-se a mais de um segmento de pesquisa, cuja ação "predatória" não é desejável; etc. Nesta situação a metodologia de GOMIDE & CASTRO (1989) constitui numa alternativa muito oportuna.

2.2.2. Trabalhos desenvolvidos baseados em imagens do satélite Landsat.

Os primeiros trabalhos desenvolvidos para cadastramento agrícolas de modo geral, empregando imagens orbitais, utilizaram dados Landsat, por ter sido o primeiro satélite de recursos naturais colocado em órbita na década de 70.

Mendonça et alii (1978), citado por MENDONÇA (1981), realizaram um estudo comparativo de interpretação automática e visual em imagens Landsat, visando à identificação da cultura de cana-de-açúcar. Utilizaram-se dados do LANDSAT-MSS de diferentes datas de passagens do satélite, conseguindo identificar a cultura de cana-de-açúcar numa área de 1814,20 ha, através dos métodos de análise automática e visual. O estudo foi desenvolvido no município de Jardinópolis (SP) e fez parte do Projeto de Estatísticas Agrícolas (EAGRI) do INPE. Fatores relacionados à própria cultura, tais como variedades cultivadas, época de plantio, estágio de desenvolvimento e época de colheita, influenciaram decisivamente na resposta espectral. Várias outras referências são apresentadas pelos pesquisadores no mencionado trabalho, evidenciando a importância das informações fornecidas pelos trabalhos de apoio de campo, como auxílio complementar no processo de interpretação de imagens.

WININGS et alii (1982), visando melhorar o monitoramento temporal de culturas anuais (milho e soja), nos Estados de Illinois e Iowa (EUA), utilizaram o DCLC (Domestic Crops and Land Cover) dentro do AgRISTARS (Agriculture and Resource Inventory Survey Through Aerospace Remote Sensing Program), chegando a resultados próximos da projeção estipulada para a safra de fato colhida, usando somente imagens do satélite Landsat.

Na região egípcia do delta do Nilo, HADY et alii (1983), com imagens digitais Landsat-MSS, procuraram identificar áreas agrícolas e estimar a superfície irrigada em cada estrato. Distinguíram com eficiência lavouras, terra arada, áreas desérticas, pântanos e áreas urbanas. Trabalharam com as bandas 1, 2 e 3. Nas áreas menores que 2,0 ha os autores tiveram dificuldades de identificação através dos dados do satélite.

THIRUVENGADACHRI (1983), empregou imagens de satélite Landsat em estudos desenvolvidos no Sul da Índia (Vale Cumbum, Estado de Tamil Nadu), para identificar glebas irrigadas e orientar o delineamento racional da irrigação. Usou a banda 7. O estrato de culturas irrigadas era heterogêneo (lavouras de algodão; arroz; sorgo; milho; banana; cana-de-açúcar; amendoim; e legumes), a exemplo do que ocorre na região semi-árida brasileira, distribuído em glebas variando de 0,2 hectare a 4 hectares (moda 1 hectare). A base cartográfica usada foi de escalas de 1:50.000 e 1:250.000. A identificação só foi eficaz para as lavouras plantadas em áreas de maiores dimensões, caso das culturas de arroz e algodão. A esse respeito, como em de outros trabalhos acessados, GIMBARZEVISKY (1974) já comentava que as imagens fornecidas pelo satélite Landsat apresentam tanto vantagens como desvantagens: "a pequena escala, por exemplo, proporciona uma visão global excelente para análises de áreas extensas em apenas uma imagem, mas impede o mapeamento de detalhes importantes". SILVA (1989) cadastrando áreas irrigadas com imagens Landsat/TM (bandas 2, 3 e 4), no Vale Gortuba (Janaúba/Porteirinha/MG), ao tentar trabalhar com maiores ampliações das imagens, visando melhorar a identificação das glebas, não obteve resultados animadores. Ao passar da escala 1:50.000 (escala que ofereceu melhor resposta) para a escala de 1:25.000, os resultados gerados perdiam significativamente a nitidez, tornando-se difusos.

VALÉRIO FILHO (1986), em trabalho desenvolvido no município de Guaíra (SP), visando a identificação de áreas irrigadas através de imagens digitais Landsat/TM, deixa claro o

grande apoio que essa metodologia pode prestar ao segmento de manejo dos mananciais, principalmente aqueles de vazões reduzidas e demandas intensas, atendendo fins distintos, inclusive agricultura irrigada.

Nos Estados Unidos, com uso de imagens Landsat/TM, THELIN & HEIMES (1987) procederam ao mapeamento das áreas irrigadas, para determinação do uso da água do planalto aquífero em partes dos Estados do Colorado, Kansas, Nebraska, Novo México, Oklahoma, South Dakota, Texas e Wyoming. Na primeira fase, fizeram uma análise com dados obtidos da imagem de satélite Landsat/MSS de 1978, levantando-se a bacia do aquífero e avaliando o potencial disponível. Na segunda fase (1990) usaram 59 imagens obtidas nas estações de primavera/verão para indentificar as áreas irrigadas com maiores estimativas de safra. Entre estas amostraram-se algumas, simulando estimativa de consumo de água para as demandas, montando um modelo de uso adequado ao potencial de água do aquífero.

EPIPHANIO (1988), usou dados digitais Landsat/TM, das culturas de feijão e trigo (região de Barretos/SP), gravados em fitas magnéticas compatíveis com computador, para desenvolver estudos sôbre o comportamento espectral das espécies durante o ciclo vital da lavoura. Através da análise gráfica dos valores pode-se avaliar o desenvolvimento das culturas e suas alterações espectrais nos diferentes comprimentos de ondas e durante o ciclo da cultura. Fêz-se avaliação da influência dos fatores agrônômicos (espaçamento, cobertura do solo, arquitetura foliar) exercidos sôbre o comportamento espectral, concluindo que a caracterização (comportamento espectral típico de vegetação) ocorre respectivamente após a germinação, 20 a 30 dias para a cultura do trigo e 40 a 50 dias para a cultura de feijão. No mesmo trabalho o autor avaliou estatisticamente a potencialidade de cada banda para diferenciar áreas de feijão e de trigo; fez correlações entre índice de área foliar e percentagem de cobertura de solo (constatou que no início do ciclo da cultura ocorre maior significância de resultados).

VALÉRIO FILHO et alii (1988) utilizaram imagem do satélite Landsat-5 para mapear áreas de concentrações agrícolas em toda região Centro Sul do Brasil, com objetivo de subsidiar o planejamento de agricultura irrigada. Adotou-se técnicas de interpretação visual, gerando 25 mapas temáticos na escala de 1:100.000, contendo distribuição das classes de concentrações agrícolas e informações regionais relevantes. Nestas classes, o produto final do trabalho mostra que, em conformidade com o relevo do terreno e tradições culturais locais, perpetuam-se tipos de lavouras que vem sendo exploradas nas mesmas regiões há anos passados. As novas fronteiras com cultivos de soja e algodão são proeminentes nas regiões Norte do Estado do Paraná, Noroeste de São Paulo e Mato Grosso.

SILVA (1989) enfoca a necessidade de dinamizar o processo de cadastramento de áreas irrigadas, através de imagens de satélites, fotografias, aéreas, etc., a níveis de detalhe que permitam a identificação segura da área das glebas e também do grupo de culturas em exploração.

MOREIRA (1990) estudou as contribuições de dados do satélite Landsat/TM para estimar áreas das culturas do método de expansão direta. O trabalho foi realizado no Distrito Federal, abrangendo área de 5184 km², em 135 unidades de produção dispersas na região. Utilizou-se imagens em composição colorida, das bandas 3, 4 e 5 do senso TM, na escala de 1:100.000 (passagens 01/02/89 e 06/04/89). Os resultados da interpretação visual foram utilizados no método de expansão direta para estimar a área total destas culturas no Distrito Federal. Os resultados da pesquisa satisfizeram o esperado. As áreas mensuradas pelo processo equivaleram-se aos valores cadastrados no campo pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O conhecimento adquirido com o trabalho recomenda para a necessidade de proceder acompanhamento multitemporal no decorrer de um ano agrícola com o objetivo de melhor caracterizar as fases da lavoura.

ROCHA (1993) desenvolveu trabalho na Região de Campinas (SP) visando determinar as áreas nas principais classes de uso agrícola do solo, utilizando-se imagens do satélite Landsat/TM e mapas digitalizados de amostras de dados colhidos no campo. Envolveu uma área de 54km x 63km. Utilizou-se a imagem da data de 16/08/1987 como base de serviço. A classificação da imagem foi feita pelo método de máxima verossimilhança e a precisão de classificação foi determinada estatisticamente com dados da imagem classificada e dos mapas digitalizados com os dados de campo. Os resultados mostraram uma precisão de classificação de 65%.

2.2.3. Trabalhos desenvolvidos com base em imagens do satélite SPOT.

Os satélites da série SPOT, cujo lançamento da primeira versão ocorreu em 1986, têm sido os mais recomendados no apoio dos serviços de cadastramentos agrícolas para fins múltiplos, em relação ao Landsat, por apresentar melhor resolução espacial (resolução espacial do Landsat: 79m x 79m no MSS e 30m x 30m no TM; resolução espacial do SPOT: 20m x 20m no XS e 10m x 10m no PAN). Isso permite maior definição de informações nas pequenas áreas agrícolas por exemplo, onde os trabalhos apoiados em imagens geradas pelo satélite Landsat não têm atingido a expectativa desejada, conforme trabalhos de HADY et alii e de THIRUVENGADACHARI desenvolvidos em 1983 (vide 2.2.2).

BATISTA et alii (1986) com imagens SPOT de regiões agrícolas do sul do Brasil, desenvolveram trabalho visando avaliar a resolução espacial e características de dados dos sensores HRV ("Haute Resolution Visible") do SPOT para discriminação de culturas, com atenção especial nas visadas OFF-NADIR. Analizaram-se campos de trigo, café, cana-de-açúcar e pastagem, em áreas expressivas. A exemplo de MENDONÇA (1981) e de

EPIPHANIO (1988), consideraram como parâmetros de estudos a influência dos fatores agrônômicos na resposta espectral: área, variedade, data de plantio; estágio fenológico; altura da planta; espaçamento entre linha e planta; porcentagem de cobertura do solo (índice de área foliar, aspecto da cultura - sanidade); topografia; e características dos solos. Constatou-se que a banda do infravermelho próximo (banda 3 para o SPOT e 4 para TM) é informativa; as 2 bandas do visível mostraram-se altamente correlacionadas na análise conjunta de todos tipos de cobertura; não houve diferença significativa em relação aos diferentes ângulos de inclinação e data de aquisição do material; declividades de 0% a 5% analisadas, não influenciaram no resultado final.

HOWARD & LANTIERI (1986), no Kenia (África), numa área de 1800 Km², conduziram trabalho para classificação e mapeamento de vegetação e tipo de solo, usando dados SPOT multispectrais, seguindo hierarquia aproximada para classificação de vegetação desenvolvida pelo Centro de Sensoriamento Remoto da FAO. Conseguiram mapear propriedades agrícolas por tipos de solos, por tamanho de áreas (5 classes), por densidades de áreas e terrenos irrigados e não irrigados. O mapeamento do tipo de agricultura obteve melhor aperfeiçoamento quando foi feito com apoio de indicadores já conhecidos, como: tipos de classes (tamanho da área), etc.

LEPOUTRE & CAVEDON (1987) mostram os trabalhos realizados no sudoeste da França, para cadastramento de áreas irrigadas, objetivando a obtenção de um mapa de uso de ocupação atual, a partir de informações fornecidas pelo satélite SPOT.

2.3 Trabalhos que relacionam radiometria de campo com dados digitais de imagens de satélites e índices de vegetação.

Os assuntos mencionados neste tópico estão relacionados a trabalhos que tratam da identificação de coberturas do solo; de testes de índices de vegetação; e outras investigações básicas, com auxílio de recursos de sensoriamento remoto. Os resultados alcançados servem de subsídios técnicos para execução de trabalhos práticos de natureza similar, como: monitoramento de lavouras agrícolas; orientar turnos de regras através da determinação de estresse hídrico; avaliar biomassa de reservas florestais; estimar cultivos, e outras aplicações distintas.

Os propósitos da presente pesquisa de identificar espécies cultivadas relacionando dados de radiometria de campo, dados digitais de imagens de satélite e parâmetros fitotécnicos, também encontram respaldos científicos nesta linha de raciocínio. Alguns estudos do gênero são o testemunho desses comentários.

PINTO et alii (1982) desenvolveram trabalho na busca de uma metodologia de aquisição de dados radiométricos de diferentes tipos de cobertura de solo, visando ao estabelecimento de correlação entre cobertura vegetal efetiva do solo e níveis de cinza em imagens Landsat, na Bacia do Ribeirão Anhumas, SW do Estado de São Paulo. A base do trabalho foi a cobertura natural do terreno (capim colônia, macega e solo exposto). A coleta dos dados radiométricos foi feita pelo fotômetro/radiômetro digital, Modelo 820 da Gamma Scientific, Incorporated (Earth Ground Truth - EGT), que opera nas mesmas faixas do Landsat/MSS; e a aquisição dos níveis de cinza nas imagens Landsat/MSS foi realizada através do Analisador de Imagens Multiespectrais (IMAGE 100). Fez-se a correlação entre os dados colhidos direto do campo e os valores dos níveis de cinza nos canais 5 e 7, por serem mais usualmente utilizados para estudos de diferentes coberturas. O coeficiente

da correlação para os dados do canal 5 mostrou mais eficiente, embora com índice baixo.

Entre as conclusões, destaca-se a baixa correlação entre os dados radiométricos, obtidos ao nível de campo, com os valores de níveis de cinza obtidos a partir dos dados orbitais. Isto é explicado pela interferência de fatores ambientais e de tomadas de dado; a sensibilidade do sistema MSS é insuficiente para registrar, de modo preciso, as variações entre "pixels" similares no terreno; os resultados indicam que a faixa do espectro mais eficiente para avaliar diferenças na densidade de cobertura é a referente ao canal 5, tanto para dados de radiometria quanto para dados orbitais (níveis de cinza).

Três trabalhos desenvolvidos no Distrito Federal aproximam-se muito dos interesses do tema de tese aqui desenvolvido:

Num estudo de técnicas de monitoramento de queimadas em pastagens nativas na região de cerrado (Brasília/DF), as curvas de reflectância das gramíneas Capim gordura (*Melinis minutiflora*) apresentam assinaturas espectrais distintas, o que permitiu separá-las com relativa facilidade, na faixa situada entre 450 e 850nm (ADAMOLI et alii, 1982). Os estudos iniciaram-se a partir da rebrota da vegetação pós-queimada. Em bases de trabalhos definidos, realizou coleta de dados em 3 estágios de desenvolvimento da vegetação, para observar a evolução temporal: análise de dados de fitomassa e radiométricos (utilizaram o espectro radiômetro ABE-SEKKEI). Como referencial a situação anterior a queimada, foi feita uma análise densitométrica dos níveis de cinza, obtidos a partir de uma imagem fotográfica na região do infravermelho próximo (canal 7 do Landsat). O relacionamento destas variáveis, através das colônias de vegetação extintas pelo incêndio.

MADEIRA NETO et alii (1982) desenvolveram pesquisas para determinar características de 4 variedades de soja, sob

condições de irrigação e de estresse hídrico, em campo experimental. O registro das reflectâncias espectrais foi feita com um espectro-radiômetro portátil ABE-SEKKEI em cada campo de variedade de soja, a partir do 50º dia pós-germinação, em 4 oportunidades, espaçadas de 3 semanas. Concomitantemente a essa operação, foram determinados índices de área foliar. O correlacionamento entre os índices de área e índices de reflectância mostraram-se satisfatórios em relação a diferenciação de cultivares, mas não o foram na detecção do efeito de déficit hídrico.

COHEN (1991) avaliou a resposta de índice de vegetação para variação de estresse na folha, em dois experimentos, em condições de laboratório. Para o primeiro experimento usou ramos de pinus (*pinus contorta*), concluindo que o potencial de água na folha apresentou alta correlação com os índices NVDI (Índice de Vegetação de Diferença Normalizada), near-infrared/red (infravermelho próximo sobre vermelho), II (índice de Infravermelho) e o MSI (índice de Estresse de Umidade), em relação ao LWCI (Índice de Conteúdo de Água na Folha), IM (Taxa de Infravermelho Médio), ou quando analisada individualmente nas bandas TM. As reflectâncias foram medidas com radiômetro portátil nas bandas TM3, TM4, TM5 e TM6.

No segundo experimento usou três tipos de plantas (*Pinus coulteri*; *Cenothus crassifolius*; *Salvia mellifera*). Avaliou-se os índices do trabalho anterior e os índices *brightness* e *greenness*, e umidade no TM Talessed Cap, cujas respostas de estresse hídrico mostraram diferenças no RWC (Conteúdo Relativo de Água na Folha) em relação ao WC (Conteúdo de Água na Folha) nas três espécies de plantas analisadas e indicaram dependências de análises associadas. Na análise separada das espécies o LWCI (Índice de Conteúdo de Água na Folha), mostrou altos índices de correlação de contraste para o RWC e WC conjuntamente, seguido do II, MSI e Umidade. Apenas o LWCI apresentou-se altamente correlacionado para o RWC e WC quando as espécies foram analisadas conjuntamente. O LWCI das

três espécies, em conjunto, apresentou alto índice de correlação apenas para o RWC, enquanto que o II, MSI, Infravermelho Médio e Umidade tiveram altos índices de correlação com o WC. Utilizou-se um espectômetro (Beckman UV-5240) para medição das reflectâncias na faixa de 0,4 μ m a 2,5 μ m.

MELLÔ et alii (1991) desenvolveram estudos básico de monitoramento de lavouras irrigadas na Bacia do Rio Verde Grande (Região Norte do Estado de Minas Gerais) através de informações de imagens digitais de satélite (imagens Spot de 03/07/88 e Landsat de 26/08/90)) e dados de radiometria de campo (04/07/90 e 26/08/90). Na região localiza-se um latente conflito pelo uso de água em razão da alta demanda requerida pelos vários projetos particulares de irrigação instalados e a limitada oferta do insumo. Os resultados mostram-se satisfatórios aos propósitos traçados. As imagens Spot mostraram-se mais apropriadas à natureza do trabalho que as imagens Landsat. As informações radiométricas foram de suma importância dentro do contexto interpretativo de resultados.

Esse trabalho, ao lado de outros do gênero, visa à montagem de um banco de dados e a busca de um modelo prático de trabalho, para apoiar as ações de serviços da CODEVASF em gerir recursos hídricos da Bacia do Rio São Francisco a contento.

2.4. Fatores inerentes à resposta espectral característica do alvo.

A reflectância de uma cultura depende do dossel vegetal que, segundo COLWEL (1983) constitui no parâmetro cultural de máximo interesse na interação com a radiação eletromagnética que leva as informações da cultura até os sensores remotos. É constituído por todos os componentes da vegetação.

Na composição do dossel a folha constitui num dos principais elementos sobre as propriedades espectrais do vegetal, por ser a componente de maior expressão. Orientando-se pela Figura 5, detalhes da estrutura foliar (BUNNIK, 1978), enten-

Figura 5 - Estrutura morfológica de uma folha normal (Adaptado de Bunnik(1978), citado por FORMAGGIO, 1989).

de-se melhor o assunto. A folha é recoberta externamente (face dorsal e ventral) pela epiderme; na parte interna encontra-se o mesófilo foliar, constituído pelo tecido do paliçádico (próximo a região ventral) e do tecido esponjoso (apegado à região dorsal). O tecido esponjoso é constituído por cavidades de paredes irregulares, cheias de ar e vapor d'água. O tecido paliçádico contém cloroplastos verdes (clorofila) e também caratenóides que, em ausência de clorofila, têm a função de determinar a cor da folha. Em função disso, de acordo com o esquema representativo da da Figura 6, e com os pesquisadores GATES et alii (1965), HOFFER & JOHANNSEN (1969), HOFFER (1978) e BAUER et alii (1980), a reflectância de uma folha em estado fitossanitário normal,

Figura 6 - Principais características da resposta espectral das folhas verdes. Hoffer (1978), citado por FORMAGGIO (1989).

dentro do comprimento de onda considerado ($0,4\mu\text{m}$ a $2,6\mu\text{m}$), apresenta as seguintes faixas:

- Faixa do Visível ($0,40\mu\text{m}$ a $0,70\mu\text{m}$): compõe-se das cores azul, verde e vermelho.

A faixa do visível caracteriza-se pela reflectância e alta absorção atribuídos à presença de pigmentos carotenóides e xantofilícos. Verifica-se, porém, aumentos de reflectância nas regiões medianas do visível ($0,55\mu\text{m}$) em decorrência da menor absorção de radiação, refletindo o verde.

- Faixa do Infravermelho Próximo ($0,7\mu\text{m}$ a $1,4\mu\text{m}$): nesta região a vegetação incidente ao interagir com a vegetação sadia apresenta uma maior porcentagem de energia refletida e

transmitida, em uma menor porcentagem de radiação absorvida, quando comparada com a região do visível. Assume-se que a estrutura interna da folha é a grande responsável pelo fenômeno: as radiações, ao incidirem na estrutura foliar, são espalhadas pela cutícula e epiderme para as células do mesófilo e cavidades de ar (ar e vapor d'água), onde sofrem novo espalhamento seguidos de reflexões e refrações múltiplas devido à diferença de índices de refração entre o ar (1, e as paredes celulares hidratadas (1,4). Como as estruturas internas das folhas variam de uma espécie vegetal para outra, isso explica a razão da maior reflectância normalmente observada no infravermelho que na região do visível. Essa faixa de comprimento de onda é a mais indicada para identificação de culturas.

Segundo FORMAGGIO (1989), as propriedades de reflectância, transmitância e absortância pelas folhas dependem da concentração de pigmentos e de água, além da estrutura interna que é função das espécies. Estas entidades fisiológicas e morfológicas dependem do tipo de folha, estágio de maturação e da senescência. À proporção que as folhas amadurecem, sua reflectância no visível diminui; no infravermelho próximo aumenta.

BATISTA et alii (1986) em trabalho de identificação de culturas, afirmam que a análise do conjunto de informações obtidas, mostrou que a banda IVP (para o SPOT banda 3 - 0,79 μ m a 0,89 μ m - e Landsat/TM banda 4 - 0,76 μ m a 0,90 μ m) são mais informativas. As 2 bandas do visível correlacionaram satisfatoriamente quando todos tipos de cobertura foram analisados conjuntamente.

- Faixa de Infravermelho Médio (1,4 μ m a 2,7 μ m): a reflectância da vegetação verde é dominada pela forte absorção pela água, que influencia reflexão proporcionalmente ao teor de umidade da folha (BAUER et alii, 1980). Esse conceito foi confirmado por THIRUVENGADACHRI (1983) que, ao cadastrar áreas

irrigadas, trabalhando com a banda 7 Landsat/TM ($2,08\mu\text{m}$ a $2,35\mu\text{m}$), identificou com sucesso culturas de arroz entre as demais. Isso pode ser atribuído à turgescência do tecido foliar da cultura irrigada sob regime de inundação permanente (Figura 7)

Figura 7 - Efeito da reflectância espectral, causado pela infiltração de água nos espaços intracelulares de folhas de feijão. Fonte: KNIPLING (1970).

HADY et alii (1983) também chegaram a resultados semelhantes confirmando a influência da umidade presente na estrutura foliar na absorção da radiação eletromagnética a partir de comprimentos de onda de $1,3\mu\text{m}$, usando imagens Landsat/TM.

A cultura, ao longo de seu ciclo, pode ser dividida em três fases fenológicas distintas, de acordo com a Figura 8 (FORMAGGIO, 1989):

- Fase I: fase de plantio e germinação inicial, em que a cultura não cobre totalmente o solo. Há maior predominância de terreno desnudo que de vegetação.

- Figura II: é a fase vegetativa propriamente dita, advindo em seguida o florescimento e a maturação. Há formação do dossel ("telhado" da lavoura numa visada vertical sobre a cultura). A presença da cobertura verde da cultura interage com as radiações eletromagnéticas.

- Fase III: é o estágio final do ciclo da cultura pós-amadurecimento dos frutos. Caracteriza-se pelo secamento e queda das folhas, voltando a predominância de solo em relação ao dossel.

Figura 8 - Ilustração esquemática das três grandes fases do ciclo fenológico de uma cultura agrícola, quanto aos principais componentes do sistema a influenciar na resposta espectral. Fonte: FORMAGGIO (1989).

Outra variável importante na análise do comportamento espectral de uma vegetação é a contribuição radiométrica do solo exposto.

HUETE (1987) afirma que um dos problema do emprego de técnicas de sensoriamento remoto para medir a fitomassa vegetal em condições de cobertura vegetal incompleta é a resposta de refletância fornecida pela superfície do solo. É fundamental entender o sinal do solo para melhor relatar o espectro de cobertura com as propriedades das plantas. Para separar as variações espectrais associadas do solo daquelas vegetativas, o pesquisador usou um modelo interativo de fluxo radiante de planta-solo, associado a diversos índices de vegetação. A técnica fundamenta-se na interação dos fluxos de radiancias provenientes da cobertura vegetal e da superfície do solo:

- Tomou como base o espectro da cultura de algodão sobre 4 tipos de solos inseridos alternadamente sobre a copa das plantas, registrando em radiômetro. Considerou-se nesta operação 2 parâmetros distintos: a função planta isolada e outra, representada pela interação que combinou a influência do solo e as propriedades espectrais vegetativas.

Analisando as informações, através do citado modelo, foi possível detectar a componente solo, devido a semelhança da resposta espectral da vegetação verde, graças a dispersão e transmitância das propriedades sobre a cobertura vegetal. Verificou-se que os 2 parâmetros objetos de estudos foram influenciados pelas propriedades espectrais da cobertura vegetal e todos índices de vegetação testados apresentaram resultados satisfatórios em razão da sensibilidade às influências espectrais de ambos fatores (planta e planta-solo). Os resultados também mostraram que a mistura de assinaturas espectrais proveniente do solo, dentro de vários índices de vegetação, inibem a confiabilidade de discriminação vegetativa.

CLEVER (1988) adotou a derivação do modelo de reflectância para a estimativa do IAF, exatamente para contornar a influência exercida pela reflectância do solo.

Apesar de informações da literatura atestarem que os fatores de reflectância na faixa do IVP serem mais apropriados para estimar o IAF, aquele pesquisador observou que isso não se tem mostrado eficiente em se tratando de análise multiespectral. O fenômeno se deve ao fato de o solo não se manter sob uma constante umidade ao longo das estações do ano, cujas variações de água no seu conteúdo terem grande influência na reflectância.

A correção para cobertura do solo tem sido feita verificando a relação entre reflectâncias e características de cobertura vegetal. A reflectância corrigida registrada na região do IV é calculada subtraindo-se a contribuição proveniente do solo úmido: assumindo que existe uma razão constante entre a reflexão do solo descoberto nas bandas espectrais para uma dada cobertura de solo, independente da umidade no solo, possibilita que a reflectância IV corrigida seja calculada sem conhecer a reflectância do solo. Esse valor obtido - IV corrigido - é utilizado na estimativa do IAF através de função empírica.

3. MATERIAIS E MÉTODOS.

3.1. Localização da área de estudo.

O trabalho foi desenvolvido no Projeto Jaíba, situado na Região Nordeste do Estado de Minas Gerais, município de Jaíba, entre os rios São Francisco e Verde Grande - Região do Médio São Francisco, com coordenadas geográficas entre 14°33'e 15°28' de latitude sul e entre 43°29'e 44°06' longitude oeste de Greenwich e altitude entre 450m e 500m. As ações foram conduzidas em uma gleba do Projeto de Irrigação do Jaíba denominada "Área F"¹, em lotes agrícolas previamente selecionados.

3.2. Caracterização da região.

3.2.1. Clima

A região encontra-se no Polígono das Secas, apresentando clima quente, regime térmico estável e alto poder evaporante. As chuvas concentram-se no final da primavera e verão. De acordo com a classificação de Köppen o clima enquadra-se no tipo AW. Apresenta temperaturas médias máximas de 31,5°C e mínimas de 18,3°C (valores máximos ocorrem em outubro: 40°C); umidade relativa média: 70% (época seca: 30%; época chuvosa: 85%); baixa nebulosidade (média de hora de sol anual: 3000h); velocidade média do vento: 2,2m/s (predomina vento SE/E); evapotranspiração: 4,6mm/dia. A Tabela 2 detalha os dados.

¹ ÁREA "F" é composta de 342 lotes agrícolas irrigados, de 5ha cada, destinada ao assentamento de colonos.

Tabela 2 - Dados climatológicos do posto de Mocambinho
(Projeto Jaíba/MG) - Período de 1976/1985.

MÊS	TEMPERATURA °C			UR %	VENTO (m/s)	PP (mm)	EVAP ** (mm)	INSOL (Hrs)
	AR	MAX	MIN					
JAN	25.9	30.9	20.5	78.0	NE/N 2.0	243.2	85.0	182.8
FEV	26.6	31.9	20.3	74.1	NE/SE 2.1	107.4	89.5	219.5
MAR	26.8	31.8	20.5	75.3	E/NE 1.8	132.2	91.9	227.4
ABR	26.3	31.2	17.9	73.6	SE/e 1.9	60.3	83.4	241.0
MAI	25.2	31.0	17.5	70.3	SE/E 2.0	13.5	115.5	258.7
JUN	24.2	30.2	15.2	66.5	SE/E 2.0	13.0	124.3	263.1
JUL	21.1	30.4	14.3	66.9	SE/E 2.5	0.2	142.6	284.2
AGO	25.8	32.1	15.1	60.6	SE/E 2.6	180.5	295.1	295.1
SET	27.1	33.0	17.3	60.6	SE/E 2.1	17.9	181.7	237.1
OUT	27.4	32.9	19.8	64.3	SE/E 2.4	92.7	147.0	209.0
NOV	26.4	31.4	20.5	73.2	N/SE 2.2	163.9	96.5	166.8
DEZ	26.3	31.4	20.7	76.2	NE/SE 1.9	176.3	85.9	191.7
MED	26.0	31.5	18.3	69.8	SE/E 2.2	1013.2*	1538.4*	2775.6*

** Evaporímetro de PICHE

*(Somatório anual)

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia/Ministério da Agricultura (1986).

3.2.2. Solos

Segundo EPAMIG/ EMPRAPA(1976) ocorrem na área os seguintes tipos de solo:

- Latossolo Vermelho-Amarelo; Latossolo Vermelho Escuro; Cambissolos; Planossolos; Aluviais; Areias Quartzolíticas; Vertissolos; e Litólicos.

Os Latossolos Vermelho-Amarelos representam mais de 50% da área do Projeto, caracterizando-se pela baixa fertilidade; pH muito ácido; o relevo apresenta-se plano e suavemente ondulado, verificando-se grande ocorrências de murundus²; elevada taxa de infiltração; predomina a vegetação caatinga (hipo e hiperxerófila) e florestas caducifólias.

² Murundus são elevações do relevo (tipo cupim), construídos por insetos extintos na superfície do terreno, com solos dos diversos horizontes do perfil, que atingem de 1m a 2m de altura e diâmetro de base de 5m a 10m. Podem existir até 30 murundus/ha.

As Areias Quartzosas, em segundo plano, correspondem a 25% da área. Tem baixo teor de argila, baixa fertilidade, textura extremamente arenosa e excessiva infiltração. A vegetação predominante é a caatinga arbustivo-arbórea. O relevo é plano e suavemente ondulado.

3.2.3. Recursos hídricos

O projeto Jaíba prevê uma demanda máxima de 80 m³/s de água, tendo como fonte supridora o Rio São Francisco, cuja potencialidade de fluxo garante com segurança as necessidades hídricas do empreendimento, dentro das projeções de vida útil estabelecidas. Além da vazão mínima de 500 m³/s, registrada pela Barragem de Três Marias (Três Marias - MG) postada no Rio São Francisco a 500km à montante da captação do projeto, o rio, neste trecho (Barragem de Três Marias - Projeto Jaíba), recebe contribuições significativas de pelo menos 5 afluentes (Rios Abaeté, das Velhas, Paracatú, Urucuri e Jequitaiá).

De acordo com estudos conduzidos pela TECNOSOLO³, face às condições de solos da região, constatou-se a inexistência de potencialidade natural do escoamento superficial. Praticamente não existe fluxo superficial. O deflúvio médio é da ordem de 0,5 l/s/km².

3.3. Informações do Projeto Jaíba

Projeto Jaíba objetiva irrigar 100.000 ha, distribuídos em 4 patamares distintos, em função do relevo do terreno, destinados a 3043 irrigantes distribuídos em lotes agrícolas de 5ha a 90ha, acoplados a um complexo agroindustrial. O público alvo constitui-se de colonos, pequenos e médios produtores e empresas.

³ TECNOSOLO. Estudo de viabilidade técnica do Projeto Jaíba. CODEVASF/RURALMINAS, 1980.

3.3.1 Detalhamento da Área F

A "Área F", onde foi desenvolvido o trabalho, apresenta a seguinte ficha técnica:

- Área total: 2336 ha;
- Área irrigada: 1928 ha
- Número de lotes: 342
- Área por lote: 5 ha
- Vazão unitária: 1,06 l/s/ha
- Extensão total de:
 - . canais de adução: 5,6 km
 - . rede de distribuição: 57 km
 - . drenos: 2,8 km
 - . estradas de serviços: 8,4 km
 - . estradas de serviços secundárias: 70,5 km

A Área "F" é subdividida em 8 SISTEMAS (quadras), compostos por números variáveis de lotes (média de 40 lotes/SISTEMA), irrigados pelo sistema de apersão convencional. A pressurização da água é feita por 4 estações de bombeamento estrategicamente distribuídas na área, que através de uma demanda controlada, atende os 8 SISTEMAS. A condução da água, a partir de uma derivação secundária até as estações de bombeamentos, dá-se através de canais revestidos de concreto, por gravidade. A maior parte da Área "F" é coberta por Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (textura média e argilosa) e Latossolo Vermelho Amarelo Eutrófico (textura média), que, pelas características distintas, exigem práticas agrícolas eficientes para um aproveitamento racional.

3.4. Materiais e equipamentos.

3.4.1. A cultura base do trabalho.

A cultura base para os trabalhos de campo foi a do feijoeiro, variedade carioquinha.

Essa cultura, apesar da oscilação dos preços no mercado consumidor e dos baixos retornos econômicos em relação a outros produtos agrícolas (caso da fruticultura), sob regime de irrigação, é ainda responsável pela ocupação da maioria das áreas irrigadas da região no decorrer de um ano agrícola. É normal colherem-se 2 safras/ano na mesma gleba. Foi por essa importância sócio-econômica que se decidiu pela cultura de feijão como base para trabalho.

A planta tem a nomenclatura científica de *Phaseolus vulgaris* L. e assim é descrita por ZIMMERMANN et alii(1988): "As folhas são compostas, trifoliatas (têm três folíolos uniformes dentro de cada variedade e tamanho variável segundo o cultivar), ásperos, esparsamente cobertos de pêlos, sendo o folíolo central simétrico, com pecíolo contendo duas estípulas, e os dois laterais assimétricos, opostos, com pecíolos geralmente glabros, apresentando cada uma estipela linear. Os folíolos são inteiros, com forma ovalada ou triangular. O pecíolo é caniculado, com a pigmentação variando igualmente com o caule".

3.4.2. Localização das áreas de trabalho

Os trabalhos foram desenvolvidos na Área "F" do Projeto Jaíba em 5 SISTEMAS, dentro de 7 lotes agrícolas representativos, selecionados ao acaso entre aqueles plantados com feijão na mesma data e/ou em datas mais próximas possíveis, com o objetivo de acompanhar todo ciclo vegetativo da cultura. Os lotes selecionados foram: L10-III; L37-IV; L13-II; L40-I; L36-V; L26-VI e L15- VII⁴ (respectivamente lotes I, II, III, IV, V, VI e

⁴ "L10-III" = Lote nº.10 do SISTEMA III.

VII - nomenclatura adotada para o trabalho). Dentro de cada lote delimitou-se 3 bases de trabalhos com áreas individuais de 100m^2 ($10\text{m} \times 10\text{m}$) para coleta dos dados fitotécnicos e realização das leituras radiométricas.

É oportuno informar que embora os lotes tenham área em torno de 5ha, isso não implica que em toda gleba ocorra o plantio da cultura de feijão - a característica do perfil desse produtor (colonos) é de diversificação, distribuindo na parcela até 6 tipos de cultura (o módulo de trabalho ficou em torno de 2,5ha).

No campo orientou-se pela planta cartográfica fundiária da Área "F" (Esc. 1:10.000).

3.4.3. Dados culturais

O preparo de solo para o plantio, nos lotes em destaque, consistiu apenas na operação de gradagem (grade aradora), que contribuiu para corrigir imperfeições do relevo. A profundidade de corte atingida pelo equipamento foi superficial (em média 15cm) apesar da área estar sob cultivo contínuo.

Os lotes, na sua maioria, têm baixo teor de matéria orgânica; exceto o lote II que tem solo arenoso, os demais são de Latossolo Vermelho-Amarelo.

O plantio foi feito com plantadora mecanizada (tração por trator agrícola) e manual ("matraca"), com variações do espaço entrelinhas de 40cm a 50cm e densidade de plantio de 13 a 18 plantas por metro linear. As áreas plantadas com plantadora manual apresentaram melhor "stand" (são mais uniformes) e as com equipamentos mecanizados, por falta de habilidade do operador, apresentam-se falhadas e com alinhamento tortuoso.

O plantio de todas as áreas alvos da pesquisa foi feito com "caroço" de feijão (sementes comuns). Apenas no lote L36-V foram feitas as adubações recomendadas e os tratamentos fitossanitários necessários. Nos demais só foi feita a adubação de cobertura e tratamentos fitossanitários incompletos.

A eliminação de ervas daninhas da lavoura foi feita com capinas manuais até o fechamento da cultura. Na maioria das áreas isso ocorreu a partir dos 50 dias pós-germinação e em poucas situações deu-se a partir dos 40 dias. A prática, neste estágio, é suspensa devido ao abafamento do mato provocado pela cobertura da lavoura e também para evitar estragos na carga de flores e de frutos que prosperam.

A irrigação, pelo sistema de aspersão convencional, é feita em turnos de 2 em 2 dias, sendo 2 horas por posição, aplicando lâmina de água de valor constante.

3.4.4. Dados orbitais da área de estudo.

O imageamento da área de estudos foi realizado pelo satélite Spot, "Satélite Pour L'Observation de la Terre" (vide 2.2.1.1.1.), acompanhando a evolução temporal da safra entre as áreas irrigadas e a vegetação nativa (nessa época ocorre estiagem prolongada na região). As imagens HRV-Spot datam de 22/05/92 e 03/07/92.

3.4.5. Equipamentos empregados nas medições radiométricas

Para este serviço foram utilizados equipamentos do SRGRAPH/CODEVASF, assim discriminados:

- RADIÔMETRO EXOTEC - modelo 100 BX, composto por 4 canais compactos (CH A; CH B; CH C; CH D), projetados para uso de campo. Possui filtros ópticos removíveis (Figura 9), podendo ser adaptados e utilizados para qualquer comprimento de onda no intervalo de 0,4 μ m a 1,1 μ m para adaptação aos satélites Spot (HRV) e LANDSAT (MSS e TM).
- PAINEL - placa de sulfato de bário utilizada na calibração do radiômetro.
- COLETOR DE DADOS - Modelo 516-C-64-A com capacidade de 32K de memória. Possui 4 funções: gravar dados; armazenar dados coletados para transferência a um microcomputador ou impressora;

executar cálculos; monitorar e integrar dados de outros instrumentos sensor.

- MATERIAIS DE APOIO - mastro de quatro metros de altura (sustenta o radiômetro para as leituras); mesa portátil; trena de 20 metros; nível de pedreiro; nível de bolha (verticalizar o mastro); cabos sobressalentes de ligação entre o radiômetro e o coletor de dados.

Detalhes a respeito do princípio de funcionamento do radiômetro estão em 2.2.1.2.

Figura 9 - Diagrama de montagem dos elementos ópticos do Radiômetro EXOTEC 100 BX.

Fonte: VERDIN & SILVA, 1989.

3.4.6. Equipamentos empregados no tratamento de imagens.

O processamento de imagens digitais desenvolveu-se no SRGRAPH/CODEVASF (Brasília - DF) empregando o sistema ERDAS (Companhia ERDAS, Atlantic City/EUA), para tratamento e extração de valores digitais. Esse sistema permite manipular numericamente as informações da cena em foco.

O hardware do sistema de processamento de imagens digitais utilizado foi um SPARC STATION IPC (Figura 10, ilustração típica) composto pelas seguintes unidades: uma Unidade de Fita Magnética (fita rolo); um winchester (3 Gigabytes) e

Figura 10 - Configuração do hardware de um sistema de processamento de imagens digitais.

Fonte: HABERÄCKER (1984).

memória RAM de 32 MB; monitor colorido de 15" e placa RASTEROPS de alta resolução de 24 bytes; Fita DAT de 8mm (fita gravadora de vídeo comum) para gravar as imagens tratadas; impressora colorida (à jato de tinta) TECTRONIX; impressora comum, e terminal gráfico.

3.5. Métodos.

Em conformidade com os objetivos da pesquisa, a fase operacional constou dos seguintes itens:

- definição dos lotes em exploração agrícola com a cultura definida para a pesquisa;
- delimitação das áreas base do trabalho em cada lote;
- coleta dos dados culturais: tipo de solo, tipo do preparo efetuado para o plantio, qualidade da semente plantada, aspecto fitossanitário e manejo de irrigação adotado;
- coleta de dados fitotécnicos: índice de área foliar, cobertura vegetal e ângulo de inserção da folha no caule;
- medições radiométricas a campo;
- aquisição e tratamento de imagens digitais de satélite;
- tabulação, análise de dados, conclusão e redação final.

3.5.1. Ações de campo

3.5.1.1. Coleta de dados

As etapas de coletas de informações de campo, seguiram as fases do ciclo fenológico da cultura, assim esquematizadas:

- a) FASE 1 - coleta de dados feita no intervalo de 8 a 15 dias pós-germinação (16/05/92). Nesta fase a planta apresenta-se com 3 a 5 folíolos.

b) FASE II - coleta de dados feita no intervalo de 40 a 50 dias pós-germinação (27/06/92). A planta já encontra-se em seu desenvolvimento vegetativo pleno, em média com 50 folhas.

c) FASE III - coleta de dados feita 70 a 80 dias pós-germinação (30/07/92). A planta encontra-se em fase de floração/ frutificação.

A FASE IV, programada para a coleta de dados na fase de senescência da cultura (frutos formados, folhas amarelando, etc.), caracterizando o final do ciclo da cultura, não foi realizada por desajuste de programação. A cultura foi colhida antes do período planejado pelo plano de cultivo em alguns lotes; e/ou ocorrência de sobressaida de ervas daninhas em relação a cultura (fenômeno normal nesta fase da lavoura).

A realização das operações foi programada para coincidir com a época de passagem do satélite sobre a região. Procurou realizar o serviço num espaço máximo de 5 dias úteis. Considerou o dia da passagem como mediano (3^o dia) e como limites extremos os dias 1^o (limite inferior) e 5^o (limite superior), para evitar um hiato das informações.

3.5.1.2. Dados fitotécnicos

a) Índice de área foliar

Os dados foram coletados com vista ao desenvolvimento de cálculos usando a fórmula 5 de BLACKMAN & WILSON (1951):

$$IAF = (NPM \times AF) / EF \quad (5)$$

IAF - índice de área foliar

NPM - número médio de plantas/m linear

AF - área foliar média/planta (m²)

EF - espaçamento médio entre fileiras (m).

Calculou-se a área foliar (AF) pelo processo de

"Determinação da área foliar *in vitro* no feijoeiro", sem destruição da planta, utilizando o método do círculo circunscrito (GOMIDE & CASTRO NETO, 1989).

$$A = 1,1286C^2 \quad (6)$$

A - área foliar (m²)

C - comprimento do folíolo central (m)

Consistiu em medir no campo apenas o comprimento do folíolo central da folha (cada folha do feijoeiro é composta por 3 folíolos), obtendo-se o "C" (figura 11). As medidas foram feitas em 10 plantas, ao acaso, dentro de cada base de trabalho

Figura 11 - Esquema para obtenção do valor de "C" no campo.

da lavoura, em 30% das folhas, adotando-se um critério de proporcionalidade em função da massa vegetal e do entrelaçamento de cobertura.

Em relação a massa vegetal, assumiu-se que na fase vegetativa adulta da cultura, o volume da concentração de folhas na planta decresce da copa para a base. Adotou-se, então, um critério representativo de proporcionalidade para a tomada de dados: fez-se leituras em 15% das folhas da copa; 10% das folhas da subcopa (fase intermediária entre a copa e a base) e 5% das

folhas basais (figura 12). Essa prática também visou relacionar a tomada de dados com a arquitetura da planta, cujo entrelaçamento das folhas, na sua composição global, tende a proporcionar uma cobertura plena do solo. Os espaços descobertos na copa são recompostos pelas folhas postadas nas camadas inferiores, que se orientam em direção aos feixes de luz que ultrapassaram as partes superiores, intercepta-os, dando uma formação mais completa ao dossel, visto de um plano superior perpendicular ao solo.

Figura 12 - Estratégia de coleta de dados na planta.

Para determinar o número médio de plantas por metro linear (NPM) e o espaçamento médio entre fileiras (EF) utilizou-se uma trena metálica de 2 metros de comprimento; e um escalímetro de 15cm de comprimento para medir "C".

A operação de coleta de dados foi repetida em 2 campanhas de campo, em conformidade com o ciclo fenológico da cultura, atendendo as variáveis de interesse necessárias para determinar o IAF (índice de área foliar), discriminados na fórmula (5). Os resultados estão apresentados na Tabela 5.

b) Cobertura Vegetal (COV)

Os dados para determinar a evolução da cobertura vegetal foram extraídos de fotografias das bases de estudos, tiradas em cada etapa das operações de campo. As fotografias foram tiradas de uma plataforma móvel adaptável, a pelo menos 3 metros da copa das plantas. Utilizou-se o mastro de acoplagem do radiômetro EXOTEC- modelo 100 BX (vide 3.4.5.) para instalar a máquina fotográfica, prendendo-a numa placa de ferro de apoio, posicionando-a verticalmente para a superfície do solo. Para manusear o equipamento à distância, acoplou-se um "motor driver", com a função de disparar e reposicionar o filme; instalou-se um cabo de 2m na extensão do propulsor de disparos para acioná-lo manualmente; no início das seções de fotografias fixava-se a abertura do diafragma, após a focagem.

Com o objetivo de checar os dados extraídos das fotografias, tomou-se no campo o comprimento do trecho de uma fileira considerada (L); o número de plantas dispostas na extensão da fileira considerada (NP); o espaçamento entre fileiras (EF) e diâmetro da cobertura da planta (fez-se 2 medidas da projeção da copa da cultura na simetria do plano e perpendicularmente entre si). Os dados de campo equipararam-se aos extraídos das fotografias.

Empregou-se a fórmula 7 para calcular a variável. Os dados encontram-se na tabela 6.

$$COV = \frac{\{ [3,1416 \times (D/2)^2 \} \times NP}{(EF \times L)} \times 100 \quad (7)$$

COV - cobertura vegetal (%)
 D - diâmetro da cobertura da planta (m)
 L - comprimento do trecho da fileira considerada (m)
 NP - número de plantas na extensão considerada
 EF - espaçamento entre fileiras de plantas (m)

c) Ângulo de inserção da folha no caule da planta

Os dados referentes a esse parâmetro foram coletados nas Fases I e II do ciclo vegetativo da cultura registrando valores médios de 37.5° , em ambas oportunidades. A Fase III foi desconsiderada por não se observar alterações de valores, nas medidas amostrais, em relação às Fases anteriores. A cultura, na fase de floração e frutificação, estava bem fechada na sua maioria. Alguns lotes, precocemente, já estavam na Fase IV.

3.5.1.3. Leituras radiométricas e tratamentos de dados

A operação nas 3 bases de cada lote constituiu de: leituras no escuro (objetiva do radiômetro fechada); leituras do PAINEL (calibração); leituras em 5 posições sobre a vegetação em cada uma das três bases de trabalho de cada lote; e leituras de PAINEL para fechamento da série. Os dados coletados pelo radiômetro são armazenados em um gravador portátil (POLYCORDER), então acoplados por um fio de 5 metros de comprimento. Estas atividades foram feitas entre 9:00 e 14:00h, quando verifica-se a incidência de alta luminosidade, com os raios solares pouco inclinados em relação ao alvo, céu praticamente isento de nuvens e ventos a velocidades insignificantes. Por ocasião das realizações das duas campanhas de campo, a passagem do satélite ocorreu respectivamente às 9:11 horas (22/05/92) e 10:30 horas (03/07/92).

No laboratório, os dados foram transferidos para um microcomputar utilizando o software CROSSTALK. Através de cálculos específicos foram transformados em radiância e refletância. Os procedimentos de cálculos para a conversão de voltagem em reflectância foram efetuados empregando equações definidas por NEALE et alii (1989), adaptadas em software para computador.

Equação para calcular ângulo solar zenital para todos alvos:

$$\cos \Theta = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos t \quad (8)$$

Θ = ângulo zenital solar

ϕ = latitude do alvo de interesse

t = ângulo da hora

δ = ângulo da hora

Declinação solar depende da data juliana, J .

É calculada em dois passos:

$A = \pi/180^\circ (0.9683 J - 78.00878)$ (radianos)

$\delta = \pi/180^\circ (23.4856 \sin A)$ (radianos)

Equação para calcular o ângulo da hora

$$t = 15 (\pi/180^\circ) (HVS - 12) \text{ (radianos)} \quad (9)$$

$HVS = HMS + ET$ (hora decimal)

HVS = hora verdadeira solar

$HMS = HMG + (\lambda/15)$ (hora decimal)

HMS = hora média solar (hora padrão civil)

HMG = hora média de Greenwich

λ = longitude do local

$$ET = [(-7.67825 \sin B - 10.09176 \sin C)/60] \text{ (hora decimal)} \quad (10)$$

$A = \pi/180^\circ (1.00554 J - 6.28306)$ (radianos)

$B = \pi/180^\circ (1.93946 J + 23.3509)$ (radianos)

Equação para cálculo da reflectância calibrada do painel (placa de bário).

$$R = a_0 \Theta + a_1 \Theta + a_2 \Theta^2 + a_3 \Theta^3 \quad (11)$$

Equações para cálculo da irradiância (ficando com unidades de volts do radiômetro) nas horas de leitura do painel, com um valor para cada banda.

$$ETP1 = (\pi TM1) / (R1 \cos \Theta) \quad (12)$$

$$ETP2 = (\pi TM2) / (R1 \cos \Theta) \quad (13)$$

$$ETP3 = (\pi TM3) / (R1 \cos \Theta) \quad (14)$$

$$ETP4 = (\pi TM4) / (R1 \cos \Theta) \quad (15)$$

$TM1$, $TM2$, $TM3$ e $TM4$ - voltagens calculadas.

Interpolação linear com valores de ETP1, ETP2, ETP3 e ETP4 (irradiância), para a hora de medição no alvo:

$$ETP1A = [(HA - HP1)/(HP2 - HP1)] (ETP12 - ETP11) + [ETP11] \quad (16)$$

HA = hora de medição do alvo

HP1 = hora da primeira medição do painel (antes da medição do alvo).

HP2 = hora da segunda medição do painel (depois) da medição do alvo)

ETP11 = irradiância na hora da primeira medição do painel (banda1)

ETP12 = irradiância na hora da segunda medição do painel (banda1).

Equações para calcular reflectância bidirecional de cada alvo em cada banda.

$$R1A = (\pi TM1)/(ETP1A \cos \theta) \quad (17)$$

$$R2A = (\pi TM2)/(ETP1A \cos \theta) \quad (18)$$

$$R3A = (\pi TM3)/(ETP1A \cos \theta) \quad (19)$$

$$R4A = (\pi TM4)/(ETP1A \cos \theta) \quad (20)$$

3.5.1.4. Tratamentos de imagens de satélite e obtenção de dados.

No laboratório foi feita a leitura da fita CCT pelo leitor de fitas SUN, copiando para um arquivo de imagem tipo bil (bandas intercaladas por pixel). A análise visual da imagem no monitor de computador mostrou que o arquivo estava perfeito, sem linhas. Fez-se o programa estatístico de realce. Consiste em fazer uma mudança histográfica do arquivo por banda. Daí foi feito a composição colorida da imagem, onde se definiu a seguinte relação de banda: HRV-XV1 para banda azul; HRV-XV2 para banda verde; e HRV-XV3 para banda vermelha. Com a imagem exposta no monitor de computador, foram localizadas as áreas trabalhadas. Através de programas específicos para leituras de pixel foram preparados arquivos com essas informações e transformados em arquivos ASCII (American Standart Code For Information Interchange) para serem lidos em programas, tipo planilhas eletrônicas. Essas informações de pixels correspondem ao nível de cinza da imagem, relativos às áreas em estudo. Com esses dados foram desenvolvidos os estudos estatísticos do trabalho.

3.5.1.5. Análise dos dados

Análise de dados constou de:

a) Análise estatística dos valores de reflectâncias

- Análise estatística dos valores de reflectância temporal obtidos a partir dos dados de níveis de cinza extraídos de imagens do satélite Spot (REF) e das leituras de radiometria de campo (RAD));

- Análise estatística dos valores de reflectância obtidos a partir dos dados de níveis de cinza extraídos de imagens do satélite Spot (REF);

- Análise estatística dos valores de reflectância das leituras temporais de radiometria de campo (RAD).

b) Avaliação gráfica das curvas dos valores de reflectância temporal (REF e RAD).

c) Avaliação dos valores de reflectâncias em função dos dados fitotécnicos:

- Resposta de reflectâncias em função da cobertura vegetal;

- Respostas de reflectâncias em função do índice de área foliar.

- Tratos culturais.

As análises estatísticas foram realizadas empregando o software SAS (Statistical Analysis System), no Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP (Piracicaba/SP) e no Departamento de Matemática e Estatística da UnB (Brasília/DF).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Tabulação de dados.

Os dados dos indicadores de interesse da pesquisa, no âmbito do planejamento pré-estabelecido foram coletados e tabulados, seguindo metodologia e procedimentos de cálculos explicitados no Capítulo MATERIAIS E MÉTODOS, em tópico específico.

Na tabela 3 estão os valores de reflectâncias calculados a partir dos dados dos níveis de cinza extraídos das imagens do satélite Spot, no período relativo ao ciclo da cultura com 8 dias e 50 dias pós-germinação. Os dados do período referente a 85 dias de pós-germinação, correspondente a etapa de transição floração/frutificação (Fase III) para a etapa final do ciclo da cultura (Fase IV), não foram catalogados devido a não aquisição da imagem, em razão de problemas orçamentários. Nesta oportunidade, Fase III, foram realizadas apenas as leituras radiométricas.

Na tabela 4 estão valores de reflectâncias oriundos dos dados das leituras radiométricas de campo da cultura de feijão realizadas aos 8,50 e 85 dias pós-germinação.

Os dados fitotécnicos tabulados referem-se a Índice Áreas Foliar e Cobertura Vegetal. São dados médios dos períodos de 8 e 50 dias pós-germinação da cultura (Tabelas 5 e 6).

Tabela 3 - Valores de reflectâncias obtidas a partir de dados extraídos de imagens do satélite Spot.

PERÍODO DE LEITURAS EM DIAS PÓS-GERMINAÇÃO					
8 DIAS			50 DIAS		
BANDAS (*)			BANDAS (*)		
1	2	3	1	2	3
0.0914	0.0896	0.1275	0.1142	0.1313	0.2014
0.0914	0.0922	0.1312	0.1201	0.1472	0.2118
0.0953	0.0967	0.1368	0.1241	0.1529	0.2125
0.0937	0.0496	0.1532	0.1075	0.1068	0.1857
0.0978	0.0955	0.1413	0.1123	0.1228	0.2054
0.0998	0.1044	0.1426	0.1208	0.4850	0.2212
0.0941	0.0908	0.1263	0.1074	0.1074	0.1538
0.0965	0.1032	0.1411	0.1085	0.1085	0.2035
0.1008	0.1523	0.1450	0.1096	0.1400	0.2140
0.0908	0.0919	0.1290	0.1164	0.1243	0.2034
0.0924	0.0984	0.1311	0.1202	0.1342	0.2170
0.0916	0.0960	0.1320	0.1238	0.1465	0.2229
0.0965	0.0986	0.1794	0.1104	0.1156	0.1787
0.0985	0.1036	0.1891	0.1130	0.1253	0.1869
0.1008	0.1072	0.1993	0.1172	0.1366	0.2119
0.0932	0.0426	0.1263	0.1163	0.1166	0.1881
0.0965	0.1032	0.1311	0.1132	0.1238	0.2043
0.0104	0.1044	0.1504	0.1150	0.1399	0.2141
0.1144	0.1302	0.1384	0.1051	0.1024	0.1985
0.1162	0.1324	0.1463	0.1081	0.1120	0.2145
0.1198	0.1426	0.1558	0.1168	0.1327	0.2341

(*) Dados de cinza em porcentagem.

Tabela 4 - Valores de reflectância obtidos a partir de radiometria de campo.

PERÍODO DE LEITURAS EM DIAS PÓS-GERMINAÇÃO								
8 DIAS			50 DIAS			85 DIAS		
BANDAS (*)			BANDAS (*)			BANDAS (*)		
1	2	3	1	2	3	1	2	3
0.0537	0.0283	0.2011	0.1005	0.0180	0.7281	0.0818	0.0240	0.2946
0.0600	0.0311	0.2011	0.1027	0.0194	0.7427	0.0958	0.0361	0.3040
0.0828	0.0378	0.2665	0.0994	0.0245	0.9138	0.1079	0.0417	0.3179
0.0001	0.0000	0.0015	0.0855	0.0064	0.7410	0.0747	0.0431	0.2528
0.0002	0.0000	0.0016	0.0882	0.0141	0.8610	0.0754	0.0509	0.2536
0.0003	0.0000	0.0016	0.0916	0.0168	0.9011	0.0821	0.0618	0.2614
0.0493	0.0267	0.1943	0.0537	0.0057	0.1983	0.0496	0.0111	0.1794
0.0689	0.0301	0.2161	0.0547	0.0064	0.5850	0.0525	0.0136	0.1866
0.0703	0.0363	0.2412	0.0588	0.0097	0.4395	0.0540	0.159	0.1892
0.0001	0.0000	0.0012	0.0598	0.0000	0.4227	0.0480	0.0105	0.1742
0.0000	0.0000	0.0014	0.0638	0.0000	0.4952	0.0496	0.0170	0.2258
0.0002	0.0000	0.0016	0.0852	0.0000	0.4977	0.0550	0.0292	0.2630
0.0559	0.0303	0.1958	0.0560	0.0243	0.4601	0.0690	0.0219	0.2403
0.0616	0.0337	0.2087	0.0589	0.0244	0.5545	0.0715	0.0230	0.2545
0.0711	0.0397	0.2429	0.0590	0.0245	0.6145	0.0127	0.0242	0.2976
0.0919	0.0451	0.2978	0.0532	0.0035	0.5085	0.0430	0.0068	0.2132
0.1020	0.0463	0.3226	0.0533	0.0052	0.5273	0.0461	0.0103	0.2187
0.1068	0.0552	0.3111	0.0550	0.0070	0.5293	0.0498	0.0109	0.2551
0.1062	0.0482	0.3367	0.0516	0.0000	0.0410	0.0732	0.0048	0.3084
0.0996	0.0494	0.2877	0.0605	0.0052	0.3553	0.0781	0.0152	0.3314
0.0937	0.0422	0.0292	0.0751	0.0070	0.4960	0.0828	0.0152	0.3445

(*) Dados de cinza em porcentagem

Tabela 5 - Dados médios de índice de área foliar.

LOTE	NPM	EF (m)	FOL		C		IAF	
			8d	50d	8d	50d	8d	50d
1	15	0.50	2	10	0.049	0.110	0.104069	4.096818
1	24	0.40	2	11	0.049	0.095	0.208138	6.722506
1	19	0.45	2	11	0.051	0.105	0.158668	5.778996
1	21	0.50	2	10	0.042	0.110	0.107042	5.735545
1	18	0.45	2	12	0.048	0.080	0.133153	3.467059
1	17	0.50	2	13	0.050	0.120	0.122808	7.183313
1	18	0.40	2	11	0.055	0.095	0.196673	5.041879
2	19	0.50	2	45	0.050	0.090	0.137256	5.210746
2	11	0.50	2	11	0.060	0.065	0.114428	1.153937
2	16	0.50	2	11	0.050	0.075	0.115584	2.234628
2	19	0.50	2	11	0.040	0.006	0.087844	0.016983
2	21	0.50	2	11	0.042	0.007	0.107042	0.025549
2	12	0.50	2	15	0.046	0.007	0.073373	0.022854
2	13	0.50	2	12	0.051	0.006	0.097706	0.012676
3	24	0.50	2	10	0.050	0.075	0.173376	3.047220
3	14	0.50	2	11	0.055	0.075	0.122375	1.955300
3	17	0.50	2	12	0.050	0.070	0.122808	2.256297
3	15	0.50	2	10	0.056	0.070	0.135927	1.659042
3	20	0.50	2	13	0.050	0.075	0.144480	3.301155
3	14	0.50	2	9	0.065	0.070	0.170920	1.393595
3	16	0.50	2	12	0.045	0.075	0.093623	2.437776
4	25	0.50	3	19	0.055	0.096	0.327789	9.881119
4	20	0.50	3	17	0.060	0.082	0.312077	5.160320
4	24	0.50	3	18	0.045	0.110	0.210652	11.798840
4	23	0.50	3	15	0.045	0.111	0.201875	9.594782
4	19	0.42	3	20	0.055	0.080	0.296571	6.535131
4	21	0.40	3	17	0.045	0.070	0.230400	4.935650
4	22	0.45	3	19	0.055	0.110	0.320505	12.684960
5	15	0.50	2	17	0.060	0.075	0.156038	3.237671
5	12	0.50	2	10	0.055	0.110	0.104892	3.277454
5	16	0.50	2	13	0.051	0.095	0.120254	4.237216
5	18	0.50	2	15	0.045	0.075	0.105326	3.428123
5	17	0.50	2	16	0.050	0.120	0.122808	8.841001
5	15	0.50	2	17	0.040	0.065	0.069350	2.431851
5	16	0.50	2	15	0.042	0.080	0.081556	3.467059
6	14	0.40	4	11	0.051	0.103	0.263055	2.654467
6	19	0.40	4	19	0.050	0.083	0.343140	4.609727
6	14	0.50	4	8	0.045	0.085	0.163840	7.016870
6	13	0.40	4	14	0.045	0.090	0.190172	1.826526
6	14	0.50	4	15	0.040	0.105	0.129454	4.159455
6	13	0.50	4	13	0.050	0.085	0.187824	5.225982
6	15	0.50	4	18	0.055	0.105	0.262231	2.756098
7	28	0.30	4	19	0.055	0.105	0.815830	6.719120
7	25	0.45	2	17	0.045	0.101	0.162540	8.510885
7	19	0.45	2	18	0.046	0.100	0.129082	6.654426
7	17	0.35	2	13	0.050	0.090	0.175440	8.577360
7	23	0.40	2	16	0.055	0.101	0.251305	5.772305
7	22	0.50	2	15	0.060	0.115	0.228856	8.289251
7	16	0.35	2	17	0.050	0.104	0.165120	9.850985

Lote - número do lote base de trabalho

NPM - número de plantas por metro linear (metro - m)

EF - espaçamento entre fileiras de plantio (m)

FOL/P - número de folhas por planta (8d, 50d: 8 e 50 dias pós-germinação)

IAF - índice de área foliar

C - comprimento do folíolo central da folha de feijão (m - metro)

d - dias pós-germinação

Tabela 6 - Dados médios de cobertura vegetal da cultura.

LOTE	DATA (dias)	BASE	D (m)	NP	EF (m)	L (m)	COV (%)
1	8	1	0.20	9	1.1	2.3	11.17565
	8	2	0.15	4	1.1	2.3	2.79391
	8	3	0.20	7	1.1	2.3	8.61217
2	8	1	0.20	9	1.1	2.2	11.68364
	8	2	0.20	8	1.1	2.2	10.38554
	8	3	0.20	7	1.1	2.2	9.07273
3	8	1	0.20	7	1.0	2.4	9.16300
	8	2	0.15	9	1.4	2.4	4.73343
	8	3	0.20	8	1.4	2.4	7.48000
4	8	1	0.20	9	1.0	2.4	11.78100
	8	2	0.20	12	1.0	2.4	15.70800
	8	3	0.20	9	1.0	2.4	11.78100
5	8	1	0.20	14	1.0	2.4	18.32600
	8	2	0.15	18	1.0	2.3	13.82987
	8	3	0.20	9	1.0	2.4	11.78100
6	8	1	0.20	14	1.0	2.4	18.32600
	8	2	0.15	8	1.0	2.4	5.89050
	8	3	0.15	9	1.0	2.4	6.62681
7	8	1	0.30	10	1.1	2.4	26.77500
	8	2	0.35	10	1.1	2.4	36.44375
	8	3	0.30	9	1.1	2.4	24.09750
1	50	1	0.55	9	1.1	2.4	84.51587
	50	2	0.55	4	1.1	2.3	37.56261
	50	3	0.55	7	1.1	2.3	65.73457
2	50	1	0.55	9	1.1	2.2	88.35750
	50	2	0.55	8	1.1	2.2	78.54000
	50	3	0.55	7	1.1	2.2	68.72250
3	50	1	0.50	7	1.0	2.4	57.26875
	50	2	0.65	9	1.4	2.4	88.88344
	50	3	0.65	8	1.4	2.4	79.00750
4	50	1	0.50	9	1.0	2.4	73.63125
	50	2	0.50	12	1.0	2.4	98.17500
	50	3	0.50	9	1.0	2.4	73.63125
5	50	1	0.45	14	1.0	2.4	92.77538
	50	2	0.40	18	1.0	2.3	98.34574
	50	3	0.50	9	1.0	2.4	73.63125
6	50	1	0.45	14	1.0	2.4	92.77538
	50	2	0.50	8	1.0	2.4	65.45000
	50	3	0.50	9	1.0	2.4	73.63125
7	50	1	0.55	10	1.1	2.4	89.99375
	50	2	0.55	10	1.1	2.4	89.99375
	50	3	0.55	9	1.1	2.4	80.99438

Lote - número do lote base de trabalho

DATA - dias pós-germinação

BASE - base de trabalho no lote

D - diâmetro da copa da planta (m)

NP - número de plantas dentro de cada base escolhidas ao acaso

EF - espaçamento entre fileiras de plantio (m - metro)

L - comprimento linear do trecho da fileira analisado (m - metro)

COV - cobertura vegetal (% - porcentagem).

4.2. Análise estatística dos valores de reflectância.

4.2.1. Análise estatística dos valores temporais de reflectância (RAD; RED)

Analisou-se as respostas de reflectâncias temporais extraídas a partir dos valores de níveis cinza da imagem do satélite Spot (REF) e dos valores das leituras radiométricas de campo (RAD), nas bandas 1, 2 e 3 referente aos períodos de 8 e 50 dias pós-germinação da cultura (Tabelas 3 e 4). Assumiu-se como variável dependente a RESPOSTA de REFLECTÂNCIA (RESP) representada pela expressão:

$$RESP = MÉTODO + DIAS + MÉTODO*DIAS + RESÍDUO$$

RESP = resposta reflectância

MÉTODO = RAD e REF na banda específica

DIAS = números de dias pós-germinação que procedeu a coleta de dados

Formulação de hipóteses

Hipótese da nulidade (Ho); Hipótese alternativa (Ha)

Ho: RAD = REF; ou Ho: RAD - REF = 0

Ha: RAD $\neq$ REF; OU Ha: RAD - REF $\neq$ 0

Ho: Leit8 dias = Leit50 dias; Leit8 dias - Leit50 dias = 0

Ha: Leit8 dias $\neq$ Leit50 dias; Ha: Leit8 dias - Leit50 dias $\neq$ 0

4.2.1.1. Análise de variância - Teste "F"

As RESPOSTAS de REFLECTÂNCIA das variações analisadas nas faixas de domínio das Bandas 1, 2 e 3, através do teste "F", mostraram-se significativas para os níveis de probabilidade 1% e 5%, indicando a existência de diferenças entre as médias dos parâmetros. A nível de probabilidade de 5% os Testes "F" apresentaram altamente significativos. Em razão disso,

rejeitam-se as hipóteses de nulidade (H_0) e aceitam-se as hipóteses alternativas.

Aplicando-se o Teste de Tukey identificou-se os indicadores que melhor sobressaíram sobre os demais na faixa de domínio das BANDAS observadas e nas fases da cultura determinadas.

Teste de Tukey para os dados da faixa de domínio da BANDA 1

De acordo com Tabela 7 as Causas de Variação (C.V) MÉTODO (RAD, REF) e DIAS foram significativos aos níveis de probabilidade de 1% e 5%. No nível de probabilidade de 5% mostraram altamente significativos. A interação MÉTODO*DIAS não foi significativa a nenhum dos níveis submetidos.

Tabela 7 - Teste "F" para as médias das interações.

C.V.	G.L.	S.G.	Q.M.	F.	PROB>F
MÉTODO	1	0.03626276	0.03626276	60.54	0.0001
DIAS	1	0.00592200	0.00592200	9.89	0.0023
MÉTODO*DIAS	1	0.00017748	0.00017748	0.30	0.5877
RESIDUAL	80	0.04791682	0.00059896		
TOTAL	83	0.09027906			

F(tab) 1% = 6.96; 5% = 3.97; C.V. = 29.25431

A tabela 8 mostra que houve diferença significativa ao nível de probabilidade de 5% entre os componente de MÉTODOS (REF e RAD).

Tabela 8 - Teste de Tukey: variável MÉTODO

MÉTODO	N	MÉDIAS	5%
REF	42	0.104436	A
RAD	42	0.062881	B

A Tabela 9 mostra que houve diferença significativa ao nível de probabilidade de 5% entre os dados coletados a 8 e 50 dias pós-germinação.

Tabela 9 - Teste de Tukey: variável DIAS

DIAS	N	MÉDIAS	5%
50	42	0.092055	A
8	42	0.075262	B

Tabela de Tukey para os dados da faixa de domínio da BANDA 2

Tabela 10 - Teste "F" para as médias das interações

C.V.	G.L.	S.G.	Q.M.	F.	PROB>F
MÉTODO	1	0.22762506	0.22762506	121.90	0.0001
DIAS	1	0.00290637	0.00290637	1.56	0.2158
MÉTODO X DIAS	1	0.01733482	0.01733482	9.28	0.0031
RESÍDUO	80	0.14937976	0.00186725		
TOTAL	83	0.39724601			

F(tab): 1% = 6.96

5% = 3.97

As causas de variação (C.V) MÉTODO*DIAS (RAD e REF) e MÉTODO*DIAS foram altamente significativas aos níveis de probabilidade de 1% e 5%. No nível de probabilidade de 5% mostraram altamente significativos. A variável DIAS não foi significativa a nenhum dos níveis submetidos (Tabela 10).

A Tabela 11 mostra que houve diferença significativa ao nível de probabilidade de 5% entre as componentes de MÉTODO (RAD e RAD).

Tabela 11 - Teste de Tukey: variável MÉTODO

MÉTODO	N	MÉDIAS	5%
REF	42	0.123171	A
RAD	42	0.019060	B

A Tabela 12 mostra que houve diferença significativa ao nível de probabilidade de 5% entre os dados coletados a 8 e 50 dias pós-germinação.

Tabela 12 - Teste de Tukey: variável DIAS

MÉTODO	N	MÉDIAS	5%
50	42	0.076998	A
8	42	0.065233	B

Teste de Tukey para os dados da faixa de domínio da BANDA 3

As causas de variação (C.V.) MÉTODO (RAD e REF), DIAS e MÉTODO*DIAS foram altamente significativas aos níveis de probabilidade de 1% e 5%. No nível de probabilidade de 5% mostraram altamente significativos (Tabela 13).

Tabela 13 - Teste "F" para as médias das interações

C.V.	G.L.	S.G.	Q.M.	F.	PROB>F
MÉTODO	1	0.82774503	0.82774503	58.99	0.0001
DIAS	1	1.13925365	1.13925365	81.19	0.0001
MÉTODO*DIAS	1	0.63926331	0.63926331	45.56	0.0001
RESIDUO	80	1.12255220	0.014003190		
TOTAL	83	1.72881413			

F(tab): 1% = 6.96 C.V. = 43.22717
 5% = 3.97

Tabela 14 mostra que houve diferença significativa ao nível de probabilidade de 5% entre as componentes de MÉTODO (RAD e REF).

Tabela 14 - Teste de Tukey: variável MÉTODO

MÉTODO	N	MÉDIAS	5%
REF	42	0.37330	A
RAD	42	0.17476	B

A tabela 15 mostra que houve diferença significativa ao nível de probabilidade de 5% entre os dados coletados a 8 e 50 dias pós-germinação.

Tabela 15 - Teste de Tukey: variável DIAS

DIAS	N	MÉDIAS	5%
50	42	0.39049	A
8	42	0.15757	B

4.2.1.2. Discussão de resultados.

Os resultados da análise estatística dos valores de reflectância temporal, envolvendo as variáveis (RAD) e (REF) nas duas fases do ciclo vegetativo considerado, indicaram diferenças

entre os elementos em questão. Não verificou-se similaridade nos resultados em nenhuma das faixas de domínio dos três canais analisados.

Entretanto, o canal 3 apresentou os melhores resultados estatísticos ao nível de 5% de probabilidade:

- As médias das respostas de reflectâncias foram superiores às ocorridas nos demais canais;

- Apresentou melhor coeficiente de correlação entre os dados interagidos (canal 1 - r : 0.6859; canal 2 - r : 0.8360).

Essas observações comprovam que a faixa de comprimentos de onda do canal 3 é recomendável para o cadastramento de lavouras agrícolas.

Em relação à melhor performance de correlação verificada entre os dados, apesar de não alcançar níveis recomendáveis, explica-se pela compensação dos valores de reflectância registrados nas fases distintas da cultura:

- As leituras radiométricas feitas em campo (Tabela 4) na Fase I (8 dias PG) do ciclo vegetativo são de valores numéricos inferiores aos da Fase II (50 dias PG). Debita-se o fato aos percentuais de cobertura vegetal (% COV) serem menores na Fase I em relação a Fase II, que encontra-se na plenitude de seu dossel. Na interação desses dados temporais, o modelo de análise atenua estas discrepâncias.

- Já os dados extraídos das imagens do satélite (Tabela 3), apresentaram leituras diferentes nas duas fases distintas do ciclo vegetativo, mas não com diferenças muito elásticas como as ocorridas na variável RAD. Atribui-se esse comportamento, da pouca diferença entre os valores de leituras, a fatores variados que podem ter contribuído para o mascaramento das informações por ocasião do registro das imagens na área, não destacando os contrastes espectrais. Eis alguns prováveis:

- Lavouras "no mato": a presença de ervas daninhas entre linha de plantio, na Fase I do ciclo vegetativo da cultura, assemelhando a Fase II (dossel pleno), não caracterizando a diferença espectral nas ocasiões de tomada das imagens.

- Ventos: a presença de ventos no período do imageamento pode contribuir para alterar o plano visual da cultura, ao deformar sua arquitetura padrão. A planta inclina-se na direção do rumo do vento e exhibe a face dorsal da folhagem, influenciando na intensidade de energia refletida.

- Presença de aerossóis sobre a área de cultivo: a formação de uma camada de aerossóis sobre o alvo, derivada da micropulverização da gota d'água pelos batentes dos aspersores, pode contribuir para alterações no registro dos dados. A possibilidade do fenômeno na Área de estudos ocorrer é grande por ser o sistema operacional coletivo, de demanda controlada e turno de rega de 2 horas/posição/lote a cada 2 dias, numa jornada diurna de 12 horas.

- Policultura: explora-se numa mesma safra em faixas do lote e na prática de regime consorciado, culturas anuais variadas, que podem dificultar a definição do espectro.

À luz destes fatos assume-se que os valores médios próximos das variáveis explicam a correlação obtida.

4.2.2. Análise estatística dos valores temporais de reflectâncias (REF).

Fez-se uma análise comparativa dos valores de REFLECTÂNCIA nas Bandas 1,2 e 3 obtidos a partir dos níveis cinza extraídos das imagens Spot de 8 e 50 dias pós-germinação (tabela 3). A expressão representativa da RESPOSTA DE REFLECTÂNCIA é:

$$RESP = REF + BANDA + REF*BANDA + RESÍDUO$$

REF= REFLECTÂNCIA (REF8, REF50)

REF8 - reflectância aos 8 dias pós-germinação

REF50 - reflectância aos 50 dias pós-germinação

BANDA = BANDA 1, BANDA 2, BANDA 3

Formulação de hipóteses

Ho: REF8 DIAS = REF50 DIAS; ou Ho: REF8 DIAS - REF50 = 0

Ha: REF8 DIAS $\neq$ REF50 DIAS; ou Ho REF8 DIAS - REF50 $\neq$ 0.

Ho: BANDA 1 = BANDA 2 = BANDA 3

Ho: BANDA 1 - BANDA 2 - BANDA 3 = 0; ou

Ha: BANDA 1 $\neq$ BANDA 2 $\neq$ BANDA 3

Ha: BANDA 1 - BANDA 2 - BANDA 3 $\neq$ 0.

4.2.2.1. Análise de variância - Teste "F"

A RESPOSTA DE REFLECTÂNCIA do teste "F" mostrou significativa para os níveis de probabilidade de 1% e 5%, indicando a existência de diferenças entre as médias dos parâmetros. A nível de probabilidade de 5% o teste "F" apresentou-se altamente significativo. Em razão disso, rejeitam-se as hipóteses de nulidade (Ho) e aceitam-se as hipóteses alternativas (Ha).

4.2.2.2. Teste de Tukey

Através do Teste de Tukey identificam-se os indicadores que melhor sobressaem sobre os demais, dentro do universo analisando.

As variáveis (REF8, REF50) e BANDA mostraram-se estatisticamente significativas aos níveis de probabilidade de 1% e 5%. Houve alta significância no nível de probabilidade de 5% para ambas variáveis. A interação REF*BANDA não foi significativa aos níveis submetidos (Tabela 16).

Tabela 16 - Teste "F": variável REF

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.	PROB>F
REF	1	0.04926249	0.04926249	35.94	0.0001
BANDA	2	0.11142541	0.05571271	40.65	0.0001
REF*BANDA	2	0.00789449	0.00394724	2.88	0.0600
RESÍDUO	120	0.16446810	0.00137057		
TOTAL	125	0.33305049			

F(calc) = 35.94 $\therefore$ F(tab): 1% = 3.92 e 5% = 6.85

F(calc) = 40.65 e 2.88 $\therefore$ F(tab): 1% = 4.79 e 5% = 3.07

Pela Tabela 17 explicita que houve diferença significativa, ao nível de probabilidade de 5%, da REF8 em relação a REF50.

Tabela 17 - Teste de Tukey: variável REF

REF	N	MÉDIAS	5%
REF50	63	0.15390	A
REF8	63	0.11435	B

A variável Banda 3 (Tabela 18) diferiu significativamente das Bandas 1 e 2 ao nível de 5%. As Bandas 1 e 2 não mostraram diferença estatística significativa entre si.

Tabela 18 - Teste de Tukey: variável BANDA

BANDA	N	MEDIDAS	5%
BANDA 3	42	0.17476	A
BANDA 2	42	0.12317	B
BANDA 1	42	0.10440	B

4.2.2.3. Discussão de resultados.

Na análise estatística da variável temporal refletância (REF) nas Bandas 1, 2 e 3, os valores registrados na Fase II do ciclo vegetativo da cultura foram superiores aos da Fase I, confirmando os resultados do item 4.2.1. A cultura em sua fase vegetativa plena propiciou melhores respostas espectrais. Esses resultados, entretanto, não se apresentaram expressivos de uma fase para outra.

A Banda 3 destacou-se das demais.

4.2.3. Análise estatística dos valores temporais de reflectância (RAD).

Analisou comparativamente a REFLECTÂNCIA nas Bandas 1, 2 e 3 dos dados radiométricos coletados em campo nos dias 8,50 e 85 pós-germinação (RAD8, RAD50 e RAD85 (Tabela 4). A expressão representativa da RESPOSTA de REFLECTÂNCIA é:

$$RESP = RAD8 + BANDA = RAD * BANDA + RESÍDUO$$

Formulação de hipóteses

Ho: RAD8 DIAS = RAD50 DIAS; ou Ho: RAD8 DIAS - RAD50 = 0

Ha: RAD8 DIAS $\neq$ RAD50 DIAS; ou Ho: RAD8 DIAS - RAD50 $\neq$ 0

Ho: BANDA 1 = BANDA 2 = BANDA 3

Ho: BANDA 1 - BANDA 2 - BANDA 3 = 0

Ha: BANDA 1 $\neq$ BANDA 2 $\neq$ BANDA 3

Ha: BANDA 1 - BANDA 2 - BANDA 3 $\neq$ 0

4.2.3.1. Análise de variância - Teste "F"

Pelo teste "F" a RESPOSTA DE REFLECTÂNCIA (Bandas 1, 2 e 3), mostrou significativa para os níveis de probabilidade 1% e 5%, indicando a existência de diferenças entre as médias dos parâmetros. A nível de probabilidade de 5% o teste "F" mostrou-se altamente significativo. Em razão disso, rejeita-se as hipóteses de nulidade (Ho) e aceita-se as hipóteses alternativas (Ha).

4.2.3.2. Teste de Tukey para as médias das interações

Através do Teste Tukey de identificam-se os indicadores que melhor se sobressaem sobre os demais, dentro do universo analisado.

As variáveis de REFLETÂNCIA (RAD8, RAD50 e RAD85), BANDA (BANDA 1, 2 e 3) e a interação (RAD*BANDA) mostraram-se estatisticamente significativas aos níveis de 1% e 5% de probabilidade. Houve alta significância para todas as variáveis objeto da análise ao nível de probabilidade de 5%. A interação RAD*BANDA não foi significativa aos níveis submetidos (Tabela 19).

Tabela 19 - Teste de Tukey para as médias das interações

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F.	PROB>F
RAD	2	0.68786981	0.31393491	46.38	0.0001
BANDA	2	3.63354036	1.81677018	268.41	0.0001
BANDA*RAD	4	1.31450047	0.32862512	48.55	0.0001
RESIDUO	180	1.21837704	0.00676876		
TOTAL	188	6.79428769			

F(calc) = 46.36 e 268.41 $\therefore$ F (tab) : 1% = 4.61 e 5% = 3.0

F(calc) = 48.55 $\therefore$ F(tab) : 1% = 3.32 e 5% = 2.37

Pela Tabela 20 a RAD50 diferiu significativamente ao nível de 5% de probabilidade de RAD8 e RAD85. Estas, RAD8 e RAD85 não mostraram diferenças significativas estatisticamente no nível de 5% de probabilidade.

Tabela 20 - Teste de Tukey: variável RAD

RAD	N	MEDIDAS	5%
RAD50	63	0.2191	A
RAD85	63	0.1153	B
RAD8	63	0.0884	B

As variáveis BANDAS (1, 2 e 3) diferiram estatisticamente entre si, ao nível 5% de probabilidade (Tabela 21).

Tabela 21 - Teste de Tukey: variável BANDAS

BANDA	N	MEDIDAS	5%
BANDA 3	63	0.3340	A
BANDA 1	63	0.0643	B
BANDA 2	63	0.0204	C

4.2.3.2. Discussão de resultados.

O resultado estatístico da análise da variável reflectância (RAD) nas Bandas 1, 2 e 3, nas 3 fases vegetativas da cultura (8, 50 e 85 dias PG) apresentou a melhor correlação entre os dados ($r: 0,9059$). As respostas de reflectâncias das leituras feitas nas fases I e III, não mostraram estatisticamente diferenças significativas entre si, mas diferiram das leituras registradas nas Fase II.

A razão da similaridade verificada nas fases extremas (Fases I e II), pode ser atribuída à baixa porcentagem da cobertura vegetal presente nestes períodos na lavoura, resultando numa resposta espectral similar estatisticamente.

Na Fase I do ciclo vegetativo da cultura, os espaços entre fileiras de plantio encontravam-se cobertos por vegetação seca (restos de lavoura da safra anterior, ervas daninhas em estágio de macegas, em razão de tratos culturais executados), solo descoberto, etc., cujos espectros assemelham-se com o estágio da Fase III (final do ciclo da cultura). Nesta fase a lavoura encontra-se com as folhas amareladas, secas, desfolhadas, com as faixas entre fileiras tomadas por ervas daninhas e/ou com solo exposto nos locais que já havia sido realizada a colheita e/ou coberto com restos da cultura.

Esse quadro assemelha-se com o da Fase I, podendo contribuir para o mascaramento das informações.

4.3. Avaliação gráfica das curvas dos valores de reflectância temporal (REF e RAD).

Traçou-se a curva de reflectância de cada lote, plotando os valores de RAD e REF dos períodos de 8 e 50 dias pós-germinação. As curvas estão representadas em gráficos (Figuras 13 e 14; e de 1A a 10, no APÊNDICE 1). Trabalhou-se com dados médios do universo amostral de cada lote (Tabela 22).

Tabela 22 - Dados médios de reflectância (REF,RAD)

LOTES	BANDAS	DIAS PÓS-GERMINAÇÃO			
		8 DIAS		50 DIAS	
		RAD *	REF *	RAD *	REF *
1	1	0.06300	0.09333	0.10050	0.11940
1	2	0.03240	0.09280	0.02060	0.12600
1	3	0.22290	0.13180	0.79480	0.20410
2	1	0.00020	0.09680	0.08830	0.11940
2	2	0.00000	0.08316	0.01240	0.14380
2	3	0.00156	0.13970	0.83430	0.20850
3	1	0.06280	0.09713	0.05570	0.11350
3	2	0.03103	0.11540	0.00720	0.11860
3	3	0.12720	0.13740	0.57420	0.19040
4	1	0.00001	0.09300	0.06960	0.12010
4	2	0.00000	0.10740	0.00000	0.13500
4	3	0.00140	0.13170	0.47330	0.21440
5	1	0.06280	0.09860	0.05790	0.11350
5	2	0.03450	0.10310	0.02440	0.12580
5	3	0.21580	0.18920	0.54300	0.19250
6	1	0.10023	0.06670	0.05380	0.11480
6	2	0.04820	0.08340	0.00520	0.12670
6	3	0.31050	0.13590	0.52170	0.20210
7	1	0.09980	0.11680	0.06240	0.11000
7	2	0.04660	0.13560	0.00410	0.11570
7	3	0.21780	0.14680	0.29740	0.21570

(*) Dados de cinza em porcentagem.

Figura 13 - Curvas da reflectâncias médias dos 7 lotes
(8 dias PG)

Figura 14 - Curvas da reflectâncias médias dos 7 lotes
(50 dias PG)

4.3.1. Discussão de resultados.

As curvas gráficas referentes aos valores de reflectâncias temporais (REF e RAD), das Fases I e II do ciclo da cultura, nas Bandas 1, 2 e 3, representadas em gráficos, apresentaram as seguintes características básicas:

- O comportamento das curvas mostrou-se uniforme, dentro de uma proporcionalidade de uma Fase para outra.
- As diferenças significativas indicadas nas análises estatísticas são confirmadas.

Comportamento das curvas de reflectâncias da Fase I

Os valores médios de reflectâncias (RAD) foram superiores aos valores de reflectâncias (REF) em todos os lotes estudados, conforme representado na Figura 13.

Dentro da faixa de domínio da Banda 3 (APÊNDICE 1), as curvas de reflectâncias dos valores de radiometria foram superiores às curvas de reflectância dos valores de cinza dos lotes I, III, V, VI e VII (Figuras 1A, 1E, 1I, 1L e 1N). Nos lote II e IV (Figuras 1C e 1G) as curvas de reflectâncias dos valores de radiometria foram inferiores às curvas de reflectâncias dos valores de cinza.

Essa inversão de valores pode ser atribuída à baixa resposta espectral ocorrida em razão da presença de cinzas e restos de culturas secas no lote. Para facilitar o preparo do terreno com vistas à safra seguinte, os restos de cultura da safra anterior foram submetidos a uma "chamuscada", cuja operação mecanizada (gradagem) seguinte não incorporou a contento os subprodutos da ação praticada (detritos vegetativos restantes e as cinzas).

A influência desta situação no espectro de reflectância ficou bem caracterizado nas curvas.

Comportamento das curvas de reflectâncias da Fase II

Na Fase II, também analisando na Banda 3, a variável curva de reflectância dos valores de radiometria (RAD) destacou-se mais que as curva de reflectância dos valores cinza (REF). A Figura 14, representando todos os valores dos lotes analisados, sintetiza essa afirmação.

As diferenças temporais das curvas de reflectâncias (RAD) foram mais elásticas entre si que as curvas de reflectâncias (REF) nas mesmas condições (APÊNDICE 1). O acréscimo observado da Fase I para a Fase II, em razão do incremento do dossel, não foi tão expressivo.

Os efeitos do estado da superfície do solo nesta Fase não foram registrados pelos dados de reflectância (RAD) face à evolução da cobertura vegetal da cultura sobre praticamente todo o terreno.

4.4. Avaliação gráfica das curvas dos valores de reflectância em função de dados fitotécnicos.

A avaliação da influência dos dados fitotécnicos na resposta espectral da cultura, foi feita através de gráficos (curvas de reflectâncias) e de regressão linear.

a) Gráficos - trabalhou-se com as variáveis porcentagem de cobertura vegetal (COV%) e índice de área foliar (IAF%). Plotou-se o índice desejado e as reflectâncias (RAD e REF) alusivas aos períodos de 8 e 50 dias pós-germinação. Adotou-se as informações da Banda 3 em razão de responder melhor ao espectro de culturas agrícolas. Os três pontos orientadores da confecção do gráfico, comandados pela abscissa, referem-se a dados fitotécnicos médios registrados nas 3 bases campo de cada lote.

b) Regressão linear - a análise não foi feita individualmente por lote. Trabalhou-se, de uma só vez, com todos os dados dos 7 lotes em estudo, obedecendo as fases temporais das

informações. Correlacionou-se 21 dados fitotécnicos (COV%; IAF%) e 21 de reflectância (REF; RAD), em valores médios.

A variável de ângulo de inserção da folha no caule da planta não foi analisada neste contexto por apresentar os mesmos valores médios nas duas fases de ciclo vegetativo considerada. Situação similar também foi detectada no parâmetro lâmina de irrigação. Ambos assuntos estão abordados em comentários no final deste capítulo.

4.4.1. Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal.

As variáveis COV, RAD e REF, estampadas na Tabela 23 deram suporte na confecção dos gráficos e das regressões lineares. Os resultados, curvas espectrais e equações matemáticas, caracterizam a influência da percentagem de cobertura vegetal (COV%) na resposta espectral. As Figuras 15 e 16 representam, em cada uma das Fases analisadas, as respostas espectrais do universo de dados dos 7 lotes estudados. Individualmente as curvas espectrais de cada lote, por Fase, estão representadas pelas Figuras de 2A a 2O (APÊNDICE 2).

Tabela 23 - Dados médios temporais de cobertura vegetal (COV) e de reflectância (RAD,REF) da lavoura de feijão

LOTE	DATA	BASE	COV %	RAD *	REF *
1	8	1	2.79	0.2011	0.1312
1	8	2	8.89	0.2665	0.1368
1	8	3	11.17	0.2011	0.1275
2	8	1	9.08	0.0016	0.1426
2	8	2	10.38	0.0016	0.1413
2	8	3	11.68	0.0015	0.1352
3	8	1	4.73	0.2161	0.1411
3	8	2	7.78	0.2412	0.1450
3	8	3	9.16	0.1943	0.1263
4	8	1	11.78	0.0012	0.1290
4	8	2	11.78	0.0016	0.1352
4	8	3	15.70	0.0014	0.1311
5	8	1	11.78	0.2429	0.1913
5	8	2	13.82	0.2087	0.1891
5	8	3	18.32	0.1958	0.1794
6	8	1	5.89	0.3226	0.1311
6	8	2	6.62	0.3111	0.1504
6	8	3	18.32	0.2978	0.1263
7	8	1	24.09	0.0292	0.1558
7	8	2	26.77	0.3367	0.1384
7	8	3	36.44	0.2877	0.1463
1	50	1	37.56	0.7427	0.2118
1	50	2	65.73	0.9138	0.2125
1	50	3	84.51	0.7281	0.2014
2	50	1	68.72	0.9011	0.2212
2	50	2	78.54	0.8610	0.2054
2	50	3	88.35	0.7410	0.1857
3	50	1	57.26	0.4983	0.1538
3	50	2	79.00	0.6395	0.2140
3	50	3	88.88	0.5850	0.2035
4	50	1	73.63	0.4270	0.2034
4	50	2	73.63	0.4977	0.2229
4	50	3	98.17	0.4952	0.2170
5	50	1	73.63	0.6145	0.2119
5	50	2	92.77	0.4601	0.1787
5	50	3	98.34	0.5545	0.1869
6	50	1	65.45	0.5273	0.2043
6	50	2	73.63	0.5293	0.2141
6	50	3	92.77	0.5085	0.1881
7	50	1	89.99	0.0410	0.1985
7	50	2	89.99	0.3553	0.2145
7	50	3	80.99	0.4960	0.2341

* Dados de cinza em porcentagem

Figura 15 - Curvas médias de reflectâncias em função da cobertura vegetal (8 dias PG)

Figura 16 - Curvas médias de reflectâncias em função da cobertura vegetal (50 dias PG)

4.4.1.1. Discussão de resultados.

a) Gráficos - as curvas de reflectâncias geradas referem-se aos dados da faixa de comprimentos de onda da Banda 3.

Na Fase I, as curvas de reflectância (RAD) apresentam-se superiores às curvas de reflectância (REF) de um modo geral. A Figura 15, que corresponde a média das informações de todos os 7 lotes observados, caracteriza bem esse comportamento. Orientando-se pelo APÊNDICE 2: as Figuras 2A, 2E, 2I, 2L e 2N (lotes I, III, V, VI e VII), também seguem a mesma postura da Figura 13; nas Figuras 2C e 2G (lotes II e IV) as curvas de reflectâncias (RAD) foram menores que as de reflectâncias (REF), chegando em alguns casos a anularem-se em razão do fenômeno já comentado em 4.3.1.

Em relação às curvas de reflectância representativas da Fase II, observou-se:

- A curva de reflectância (RAD) acusou com destaque a influência da cobertura vegetal na resposta do espectro. A Figura 16, que representa a resposta média dos 7 lotes estudados, evidencia bem o fato. Também em todos os casos, quando os lotes foram analisados separadamente, mostrou-se bem superior em relação às curvas de reflectância (REF). Estas tiveram acréscimo de ganhos sobre a similar da Fase I, porém sem a dimensão, em termos proporcionais, verificados nas curvas de reflectâncias (RAD) de uma fase para outra (Figuras 2B, 2D, 2F, 2J e 2M - APÊNDICE 2).

- Na curva de reflectância (RAD) da Figura 20 (lote VII - APÊNDICE 2) verifica-se numa base de trabalho, em comparação entre fases, que embora o percentual de cobertura vegetal seja alto, a resposta espectral é baixa. Atribui-se o fato à deficiência, de tratos fitossanitários na parcela agrícola, permitindo o domínio de doenças na lavoura, alterando o visual normal da cultura (folha amareladas, necrosadas, etc).

b) Regressão linear

Tabela 24 - Resultado da correlação de dados fitotécnicos e de reflectância

VARIÁVEL %	COEF. CORRELAÇÃO	EQUAÇÃO
COV x (RAD) 8d	0.30	$Y = 0.1499X + 0.001488$
COV x (REF) 8d	0.41	$y = 0.13804X + 0.00041$
COV x (RAD) 50d	0.60	$Y = 962537X - 0.00490$
COV x (REF) 50d	0,29	$Y = 0.211799 - 0.00009$

COV - cobertura vegetal; RAD/REF - reflectância; 8d/50d - períodos pós-germinação.

Os resultados indicam que a variável porcentagem de cobertura vegetal (COV%) influenciou nas respostas de reflectâncias (RAD) mais que as respostas de reflectâncias (REF), nas duas fases temporais consideradas. Observa-se também, que não houve uma simetria contributiva de dados, não obtendo por isso, ajustes desejados para as curvas, expressa pelas equações da reta.

4.4.2. Curvas de reflectâncias em função do índice de área foliar.

Os dados da Tabela 25 são as variáveis IAF, RAD e REF, em valores médios, em que baseou-se os gráficos de reflectâncias analisados e as regressões lineares. A reflectância média, nas duas Fases estudadas, estão representadas pelas Figuras 17 e 18. As observações individuais de cada lote estão no APÊNDICE 3, representadas pelas Figuras 3A a 30.

Tabela 25 - Dados temporais médios de índice de área foliar (IAF) e reflectância (RAD, REF) da lavoura de feijão.

LOTE	DATA dia	BASE	IAF (%)	RAD *	REF *
1	8	1	0.1328	0.2011	0.1312
1	8	2	0.1561	0.2011	0.1275
1	8	3	0.1597	0.2565	0.1368
2	8	1	0.0902	0.0016	0.1426
2	8	2	0.1017	0.0016	0.1413
2	8	3	0.1258	0.0015	0.1352
3	8	1	0.1225	0.1943	0.1263
3	8	2	0.1322	0.2412	0.1450
3	8	3	0.1402	0.2161	0.1411
4	8	1	0.2492	0.0014	0.1311
4	8	2	0.2754	0.0016	0.1352
4	8	3	0.3199	0.0012	0.1290
5	8	1	0.0866	0.2429	0.1913
5	8	2	0.1125	0.1958	0.1794
5	8	3	0.1140	0.2087	0.1891
6	8	1	0.1598	0.3226	0.1113
6	8	2	0.2550	0.3111	0.1504
6	8	3	0.2534	0.2978	0.1263
7	8	1	0.1458	0.3367	0.1384
7	8	2	0.1969	0.0292	0.1558
7	8	3	0.2133	0.2377	0.1463
1	50	1	5.4090	0.7281	0.2014
1	50	2	5.7572	0.7427	0.2118
1	50	3	6.1128	0.9138	0.2125
2	50	1	0.0021	0.8610	0.2054
2	50	2	0.1142	0.9011	0.2212
2	50	3	1.6942	0.7410	0.1857
3	50	1	1.9158	0.6395	0.2140
3	50	2	2.4801	0.5850	0.2035
3	50	3	2.5012	0.4983	0.1538
4	50	1	7.5207	0.4270	0.2034
4	50	2	8.0649	0.4952	0.2170
4	50	3	3.0607	0.4977	0.2229
5	50	1	3.2575	0.4601	0.1787
5	50	2	3.8326	0.5545	0.1869
5	50	3	4.4217	0.5085	0.1881
6	50	1	4.6927	0.5273	0.2043
6	50	2	4.7376	0.5293	0.2141
6	50	3	7.1748	0.3553	0.2145
7	50	1	7.1748	0.3553	0.2145
7	50	2	7.1748	0.3553	0.2145
7	50	3	8.2457	0.4960	0.2341

* Dados de cinza em porcentagem

Figura 17 - Curvas médias de reflectâncias dos 7 lotes em função do índice de área foliar (8 dias PG)

Figura 18 - Curvas médias de reflectâncias dos 7 lotes em função do índice de área foliar (50 dias PG)

4.4.2.1. Discussão de resultados

a) Gráficos - Seguindo o raciocínio anterior, as curvas de reflectâncias referem-se aos dados de faixa de domínio da Banda 3, por razões já explicitadas neste capítulo.

Comportamento das curvas de reflectâncias na Fases I

A resposta espectral média dos dados dos 7 lotes estudados, mostrou-se mais expressiva na reflectância (RAD) que na reflectância REF, expressa na Figura 17. A reflectância (REF), pouco influenciada pela COV% teve um comportamento espectral uniforme.

Orientando-se pelo APÊNDICE 3: i) Os lotes I, II, V e VI (Figuras 3A, 3G, 3I e 3L) apresentaram curvas de reflectâncias dos valores de leituras radiométricas (RAD) bem superiores às curvas de reflectâncias obtidas a partir dos valores de níveis dos valores de cinza (REF); ii) As respostas espectrais aos índices de área foliar, dentro da variável específica, foram em média homogêneas; iii) Nos lotes II e IV (Figuras 3C e 3G) as curvas de reflectâncias (RAD) foram inferiores às curvas de reflectâncias (REF), em razão da supremacia da tonalidade dos restos de cultura "chamuscada" no lote, já comentado anteriormente. As curvas de reflectâncias não mostraram sensíveis ao fato. Mantiveram a performance de homogeneidade; iv) A curva de reflectância (RAD) apresentou alterada, com desvio em relação ao seu comportamento normal observado nesta fase no lote VII (Figura 3N). O fato deve-se a deficiências de tratos culturais dispensados à cultura, cujos reflexos são registrados também na Fase II.

Comportamento das curvas de reflectância na Fase II

A resposta espectral média da área de estudos foi mais acentuada na reflectância (RAD) do que na reflectância (REF). Considerada a distensão entre os valores das duas

variáveis (RAD, REF), as curvas apresentaram-se com uma performance mais uniforme (Figura 18).

Orientando-se pelo ANEXO - Os lotes I, II, V e VI (Figuras 3B, 3D, 3J e 3M) apresentaram curvas de reflectâncias (RAD) em níveis de respostas mais destacadas que as curvas de reflectâncias (REF). No lote VII esse comportamento não é seguido, conforme já caracterizado em parágrafo anterior.

b) Regressão linear

Tabela 26 - Resultado da correlação de dados fitotécnicos e de reflectância

VARIÁVEL %	COEF. CORRELAÇÃO	EQUAÇÃO
IAF x (RAD) 8d	0.37	$Y = 0.21246X - 0.25689$
IAF x (REF) 8d	0.63	$y = 0.16417X - 0.11775$
IAF x (RAD) 50d	0.74	$Y = 0.75104X - 0.03444$
IAF x (REF) 50d	0,64	$Y = 0.191707 - 0.00282$

O comportamento da curva nos resultados espectrais da FASE I, apresentou-se mais ajustado a reflectância (REF) que na reflectância (RAF). Isso deve-se ao fato da maior sensibilidade no registro das leituras radiométricas em relação as informações das imagens de satélite neste estágio inicial da cultura.

Na Fase II o ajuste da curva para as duas variáveis (RAD, REF) foi mais uniforme, embora longe do nível de correlação desejado. Houve evolução da Fase I para a Fase II. A uniformidade da cultura neste estágio (Fase II), contribuíram para a redução das variações dos dados.

4.4.3. Tratos culturais.

A razão de ser da atividade agrícola na região semi-árida, onde o presente trabalho foi desenvolvido, é a prática de irrigação. Entretanto, em razão do padrão operacional de manejo de irrigação adotado ser coletivo, o parâmetro lâmina de água para irrigação, por ser constante em todas as fases da

lavoura, não permitiu controlar e/ou simular fatores de interesse da pesquisa. Como, por exemplo, alterar a dotação de água para alguns dos lotes trabalhados em níveis distintos, induzindo a planta a adaptações fisiológicas características à situação submetida.

As recomendações técnicas inobservadas no início da condução da safra, excetuando 2 lotes agrícolas já mencionados, não chegaram a comprometer expressivamente as lavouras:

- O plantio de sementes não certificadas e adubações abaixo da recomendada foram supridas com adubações de cobertura posteriores.

- As respostas à falta de controle fitossanitário surgiram em reboleiras na fase vegetativa da cultura, alastrando em alguns casos no final do ciclo, quando a safra já estava garantida.

- Os lotes que receberam um razoável controle de ervas daninhas até o perfeito complemento do dossel, não tiveram necessidade da repetição da prática, a partir daí, até a colheita. A cobertura vegetal abafa o mato. Aqueles outros que assim não procederam, sofreram uma competição acirrada até o final do ciclo, o que contribuiu para mascarar as respostas espectrais.

As Figuras 19, 20 e 21 ilustram fases distintas do trabalho.

A Figura 19 mostra a imagem Spot da área onde foram executados os trabalhos de campo, na escala 1:40.000, registrada por ocasião da Fase II do ciclo da cultura. Sobrepondo a malha divisória de lotes na figura, têm-se um idéia do aspecto fundiário do terreno.

As figuras 20 e 21 são fotografias da lavoura de feijão nos estágios vegetativos das Fases I e II.

Figura 19 Imagem Spot da área de trabalho do período referente de 50 dias pos-germinação (cultura do feijão). Escala 1:40.000.

Figura 20 Cultura de feijão na Fase I (8 dias após a germinação)

Figura 21 Cultura de feijão na Fase II (50 dias após a germinação).

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.

A proposta de testar dados digitais de satélites correlacionados à radiometria de campo e fatores fitotécnicos da cultura de feijão, no âmbito de um campo de produção agrícola, alcançou os objetivos propostos.

A peculiaridade da área de estudo, onde não se teve o controle de fatores influentes nos resultados perseguidos, contribuiu com muitos fundamentos importantes para o segmento. Confirmaram-se constatações de outros trabalhos pesquisados, o que dá embasamento ao desenvolvimento de novos conceitos a respeito do assunto.

À luz desses fatos, o trabalho permite enunciar as seguintes conclusões:

- A correlação entre dados de níveis de cinzas extraídos de imagens dos satélite Spot e da radiometria de campo não foi satisfatória.

- Os dados de radiometria de campo são mais sensíveis às variações dos fatores fitotécnicos que os dados obtidos a partir das imagens.

- O levantamento e acompanhamento de áreas agrícolas irrigadas pode ser feito com sucesso empregando sensoriamento remoto orbital.

- O cadastramento e identificação de culturas de ciclo anual exploradas em áreas agrícolas sob regime de irrigação, exige serviços de apoio de campo periódico. A orientação do mercado consumidor promove rotatividade na atividade.

- O conhecimento do plano de cultivo, no caso de áreas irrigadas com culturas anuais, é fundamental ao serviço de monitoramento e identificação de lavouras.

Para aprimorar a metodologia seguida neste trabalho, recomenda-se:

- Repetir a pesquisa em pólos de irrigação durante um ano agrícola, possibilitando analisar mais de um safra agrícola.

- Conduzir a pesquisa com mais de um tipo de cultura visando a observação de contrastes.

- Identificar as coordenadas geográficas de todos os pontos onde são feitas as leituras de radiometria de campo, no ato da operação. A prática visa aumentar o grau de confiabilidade quando for relacionar analiticamente dados dos pontos comuns das leituras de radiometria de campo e das informações extraídas de imagens de satélites.

- Controlar todos os fatores pertinentes ao processo produtivo, nas glebas selecionadas para a pesquisa, evitando a interferência indesejada nos resultados.

- Fornecer lâminas de água diferenciadas para lotes determinados dentro do universo da pesquisa, com o objetivo de buscar parâmetro diferenciadores em situações distintas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMOLI, J.; FUKUHARA, M.; SILVA, J.A. Aplicação de técnicas de sensoriamento remoto no estudo de queimadas de pastagens nativas da região de cerrados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2., Brasília, 1982. **Anais**. Brasília, CNPq/INPE, 1982. v.1, p. 811-20.
- AL-ABBAS, A.H.; BARR, R.; HALL, J.D.; CRANE, F.L.; BAUMGARDNER, M.F. Spectra of normal and nutrient deficient maize leaves. **Agronomy Journal**, Madison, 59: 16-20, 1974.
- BATISTA, G.T.; CHEM, S.C.; DALLEMAND, J.F.; TARDIN, A.T. Spot data for discrimination in Southern Brasil. In: INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Spot-1** - First in Flight results. Toulouse, National Center Space Study, 1986. P 209-21.
- BAUER, M. E .; VANDERBILT, V.C.; ROBISON, B.F.; DAUGHTRY, S. T. Spectral properties of agricultural crops and soils measured from space, aerial, field and laboratory sensors. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF PHOTOGRAMMETRY, 16., Hamburg, 1980. **Proceeding**. Hamburg, 1980. p.56-73.
- BLACKMAN, G.E. & WILSON, G.L. Physiological studies in the analysis of plant environment. VII. An analysis of the differential effects of light intensity on net assimilation rate, leaf area ratio and relative growth rate of different species. **Annals of Botany**, Toronto, 15(59): 373-408, 1951.

- BUNNIK, N.J.J. The multispectral reflectance of shortwave radiation by agricultural crops in relation with their morphological and optical properties. Middelinge Landbouwhogeschool Wageningen, 78-81: (Communications Agricultural University Wageningen, The Netherlands). 1978. 176p.
- CASTRO, R.M. Análise de crescimento do amendoimzeiro (*Arachis hipogaea* L.) com relação a infestação de pragas. In: ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"- ESALQ/USP. Piracicaba, 1974. **Anais**. Piracicaba, ESALQ-USP, 1974. VOL. 31, p.207-15.
- CLEVER, J.G.P.W. The derivation of a simplified reflectance model for the estimation of leaf index. **Remote Sensing of Environment**, New York, **25**: 53-69, 1988.
- COHEN, B. W. Response of vegetation indices to changes in three measures of leaf water stress. AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY ENGINEERING & REMOTE SENSING, Falls Church. **57**(2): 195-202, Feb. 1991.
- COLWEL, R.N. (ed). **Manual of remote sensing**. American Society of Photogrammetry, Falls Church, 1983. v.2. 1232p.
- CURRAN, P.J. **Principles of remote sensing**. New York, Longman Scientific & Technical, 1985. 282p.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA. **Plano estadual de recursos hídricos**; primeiro plano do Estado de São Paulo - síntese. São Paulo, Conselho Estadual de Recursos Hídricos, 1990. 120p.

EPAMIG/EMBRAPA. **Levantamento de reconhecimento detalhado dos solos do Distrito Agroindustrial de Jaíba - Minas Gerais.** Belo Horizonte, 1976. 242p. (EPAMIG. Boletim Técnico, 54)

EPHIPHANIO, J. C. N. Dados TM/Landsat-5 no estudo das culturas de trigo e feijão. Piracicaba, 1988. 141p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz"/USP).

FORMAGGIO, A. R. Características agronômicas espectrais para sensoriamento remoto de trigo e feijão. Piracicaba, 1989. 163p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

GARCIA, G.J. Sensoriamento remoto. In: ----- . G.J. **Infravermelho termal.** São Paulo, Nobel, 1982. Cap.5, p.157-81.

GATES, D.M.; KEEGAN, H.J.; SCHELETER, J.C.; WIEDNER, V.R. Spectral properties of plants. **Applied Optics**, 4: 11-20. 1965.

GIMBARZEVISKY, P. ERTS-1 imagery in biophysical studies. In: CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 2., Ontario, 1974. Ontario, 1974. p.391-403.

GOMIDE, M.B. & CASTRO NETO, P. Determinação da área foliar in vitro" do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **CIÊNCIA E PRÁTICA**, Lavras. 13(2):117-227, maio/ago. 1989.

HABERÄCHER, P. **Digital Image Processing.** München, Fachhochschule. 1984. 20p.

- HADY, M.A.ABDEL; SAMIE, A.G.; ABDEL; EL KANSAS, I.A.; AYOUB, A.S.; SAAD, A.O..Landsat digital data processing for estimation of agricultural land in Egypt. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 17., Michigan, 1983. **Annals**. Michigan, Environment Research Institute Michigan, 1983. p.753-69.
- HOFFER, R.M. Biological an physical considerations in applying computer-aided analysis techniques to remote sensor data. In: SWAIN, P.H.; DAVIS, S.M. (ed.). **Remote sensing; the qualitative approach**. New York, McGraw-Hill. 1978. P. 228-289.
- HOFFER, R.M. & JOHANNSEEN, C.J. Ecological potentials in spectral signature analysis. In: JOHNSON, P.L. **Remote sensing in ecology**. Athens, University of Georgia Press, 1969. p.1-16.
- HOWARD, J.A. & LANTIER, D. Vegetation classification, land systems and mapping sensing spot multispectral data-preliminary results. In: FAO. **SPOT I - First in-flight results**. Toulouse, National Center Space Study, 1986. p.137-49.
- HUETE, A.R.. Soil-dependent spectral response in a developing plant canopy. **Agronomy Journal**, Madison, **79**:61-8, 1987.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Dados climatológicos do posto de Mocambinho - Projeto Jaíba - Série 1976/1985**. Brasília, Ministério da Agricultura, 1986. p.12-3.
- LEPOUTRE, D. & CAVEDON, A.D Programa do PRONI de cartografia e de teledeteção para monitoramento de áreas irrigadas. In: SIMPÓSIO FRANCO-BRASILEIRO SÔBRE IRRIGAÇÃO, Rio de Janeiro, 1987. **Programa nacional de irrigação-PRONI**. Rio de Janeiro, PRONI, 1987. CAP. 6, p.2-3.

KEEGAN, H.J.; SCHLETER, J.C.; HALL, W.A.; HAAS, G.M. Spectrophotometric and calorimetric study of diseased and rust-resisting cereal crops. In: National Bureau of Standards Report, 4591. 1981.

KNIPLING, E.B. Physical and physiological basis for reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. **Remote Sensing of Environment**, Madison, 1: 155-9. 1970.

KOFFLER, F.N. Identificação da cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*), através de fotografias aéreas infra-vermelhas coloridas e dados multiespectrais do satélite Landsat. Piracicaba, 1982. 234p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

MADEIRA NETTO, FUKUHARA, M.; EXPINOZA, W. Assinaturas espectrais de quatro variedades de soja. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2., Brasília, 1982. **Anais**. Brasília, CNPq/INPE, 1982. v.1, p.919-27.

MELLO, A.F.; SILVA, P.A.; VERDIN, J.P.; GALVÃO, W.S.; CAVALCANTI, C.A.B. Projeto Rio Verde Grande. Programa PAS. Publicação interna. CODEVASF. Biblioteca, 1991. 87p.

MENDONÇA, F.J. **Sensoriamento remoto aplicado à agricultura**; princípios básicos, metodologia e aplicações. São José dos Campos, INPE/CNPq, 1981. 81p. (INPE, 2225 - MD/012).

MISRA, P.N. & WHEELER, S.G. Crop classification with Landsat multispectral scanner data. In:----- . **Pattern recognition**. Pergamon, 1978. Cap.7, p.1-13.

- MOREAU, J.P.; BOISSARD, P.; BONHOMME, R. Caractérisation des malaies type jaunisse grâce aux mesures de réflectance. In: COLLOQUE INTERNATIONAL SIGNATURES SPECTRALES D'OBJETS EN TÉLÉDÉTECTION, 5. Avignon, 1981. **Annales**. Avignon, 1981. p.54-61.
- MOREIRA, M.A. Uso da expansão direta para áreas de soja e milho através de dados multiespectrais e temporais do Landsat/TM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 6., Manaus, 1990. **Anais**. Manaus, 1990. v. 3, p.781-90.
- NEALE, C.M.U.; BAUSH, W.C.; HEERMAN, D.F. Development of reflectance-based crop coefficients for corn. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, Falls Church, 32(6):1989.
- NOVO, E.M.L. **Sensoriamento remoto**; princípios e aplicações. São Paulo, Edgar Bücher, 1989. 308p.
- PINTO, S.A.F.; NOVO, E.M.L.M.; NIERO, M. Metodologia de coleta de dados radiométricos de campo em diferentes tipos de cobertura de solo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2. Brasília, 1982. **Anais**. Brasília, CNPq/INPE, 1982. V.1, P.227-38.
- ROCHA, J.V. Estimativa de áreas de uso agrícola do solo através de imagens de satélite e sistema de informação geográfica (SIG). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 12. Ilhéus, 1993. **Anais**. Ilhéus, CPLAC, 1993. v.5, p.374-83. s
- SILVA, A.F. Avaliação do potencial hídrico do rio Gorutuba (MG). Piracicaba, 1989. 84p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

STEFFEN, C.A.; LORENZZETTI, J.A.; STECH, J.L.; SOUZA, R.C.M.
Sensoriamento remoto; princípios físicos; sensores e produtos
 e sistema Landsat. São José dos Campos, INPE, 1981. 81p.

SWAIN, P.H.; DAVIS, S.M. ed. **Remote sensing**; the quantitative
 approach. New York, Mac Graw-Hill, 1978. 395p.

THELIN, G.P. & HEIMES, F.J. Mapping irrigated cropland from
 Landsat data for determination of water use from the high
 plains aquifer in parts of Colorado, Kansas, Nebraska, New
 Mexico, Oklahoma, South Dakota, Texas e Wyoming. *Bulletin*. US
 Geological Survey. 1987. N 1400c, C1-C38.

THIRUVENGADACHARI, S. Irrigated agriculture in Cumbum Valley
 in south India: a Landsat study. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM
 ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 17., Michigan, 1983. **Annals**.
 Michigan, Environment Research Institute Michigan, 1983.
 p.389-97.

THOMAS. J.R.; NAMKEN, L.N.; OERTHER. G.F.; BRAOWN. R.G. Estima-
 ting leaf water content by reflectance measurements. **Agronomy**
Journal, Madison, **63**: 845-7, 1972.

WININGS, S.B.; COOK. P.W. et HANUSCHAK. Agristars dclc aplica-
 tions project: 1982 corn and soybeans area estimates for Iowa
 and Illinois. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM SYMPOSIUM ON REMOTE
 SENSING OF ENVIRONMENT, 17., Michigan, 1983. **Annals**. Michigan,
 Environment Research Institute Michigan, 1983. p.741-51.

VALÉRIO FILHO, M. Identificação de áreas irrigadas através de
 imagens digitais TM/LANDSAT. In: CONGRESSO NACIONAL DE
 IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 7, Brasília, 1986. **Anais**. Brasília,
 ABID, 1986. v3, p.991-102.

VALÉRIO FILHO, M.; RODRIGUES, R.L.V.; CAVEDON, A.D. Imagens TM/Landsat aplicadas ao planejamento da agricultura irrigada. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 5, Natal, 1988. **Anais**. Natal, INPE, 1988. V.1, P.170-9.

VERDIN, J. & SILVA, P.A. **Manual de instruções - Radiômetro Exotech Modelo 100 BX. SGRAPH**, Brasília, CODEVASF, 1989. 32p.

VETTORAZZI, C.A. (ESALQ/USP. LER 838 - Sensoriamento Remoto Aplicado a Recursos Naturais). Anotações de aula, 1991.

VETTORAZZI, C.A. **Sensoriamento remoto orbital**. Piracicaba: ESALQ - Departamento de Engenharia Rural, 1992. 134 p. (Ditática, 2).

ZIMMERMANN, M.J.O.; ROCHA, M.; YAMADA, TSUIOSH. **Cultivo do feijoeiro**; fatores que afetam as produtivades. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1988. 58p.

APÊNDICE 1 - Gráficos de reflectâncias temporais (8 dias PG e 50 dias PG) dos 7 lotes estudados.

Figura 1A - Curvas de reflectâncias do lote I (8 dias PG)

Figura 1B - Curvas de reflectâncias do lote I (50 dias PG)

Figura 1C - Curvas da reflectâncias do lote II (8dias PG)

Figura 1D - Curvas da reflectâncias do lote II (50 dias PG)

Figura 1E - Curvas da reflectâncias do lote III (8dias PG)

Figura 1F - Curvas da reflectâncias do lote III (50 dias PG)

Figura 1G - Curvas da reflectâncias do lote IV (8 dias PG)

Figura 1H - Curvas da reflectâncias do lote IV (50 dias PG)

Figura 1I - Curvas da reflectâncias do lote V(8 dias PG)

Figura 1J - Curvas da reflectâncias do lote V (50 dias PG)

Figura 1L - Curvas da reflectâncias do lote VI (8 dias PG)

Figura 1M - Curvas da reflectâncias do lote VI (50 dias PG)

Figura 1N - Curvas da reflectâncias do lote VII (8dias PG)

Figura 1O - CURvas da reflectâncias do lote VII (50 dias PG)

APÊNDICE 2 - Gráficos de reflectâncias temporais (8 dias PG e 50 dias PG) dos 7 lotes estudados em função da cobertura vegetal.

Figura 2A - Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal. Lote I (8 dias PG)

Figura 2B - Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal. Lote I (50 dias PG)

Figura 2C - Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal. Lote II (8 dias PG)

Figura 2D - Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal. Lote II (50 dias PG)

Figura 2E - Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal. Lote III (8 dias PG)

Figura 2F - Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal. Lote III (50 dias PG)

Figura 2G - Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal. Lote IV (8 dias PG)

Figura 2H - Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal. Lote IV (50 dias PG)

Figura 2I - Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal. Lote V (8 dias PG)

Figura 2J - Curvas de reflectância em função da cobertura vegetal. Lote V (50 dias PG)

Figura 2L - Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal. Lote VI (8 dias PG)

Figura 2M - Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal. Lote VI (50 dias PG)

Figura 2N - Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal. Lote VII (8 dias PG)

Figura 2O - Curvas de reflectâncias em função da cobertura vegetal. Lote VII (50 dias PG)

APÊNDICE 3 - Gráficos de reflectâncias temporais (8 dias PG e 50 dias PG) dos 7 lotes estudados em função do índice de área foliar.

Figura 3A - Curvas de reflectâncias em função do índice da área foliar. Lote I (8 dias PG)

Figura 3B - Curvas de reflectância em função do índice da área foliar. Lote I (50 dias PG)

Figura 3C - Curvas de reflectâncias em função do índice de área foliar. Lote I (18 dias PG)

Figura 3D - Curvas de reflectâncias em função do índice de área foliar. Lote II (50 dias PG)

Figura 3E - Curvas de reflectâncias em função do índice da área foliar. Lote III (8 dias PG)

Figura 3F - Curvas de reflectâncias em função do índice da área foliar. Lote III (50 dias PG)

Figura 3G - Curvas de reflectâncias em função do índice da área foliar. Lote IV (8 dias PG)

Figura 3H - Curvas de reflectâncias em função do índice da área foliar. Lote IV (50 dias PG)

Figura 3I - Curvas de reflectâncias em função do índice da área foliar. Lote V (8 dias PG)

Figura 3J - Curvas de reflectâncias em função do índice da área foliar. Lote V (50 dias PG)

Figura 3L - Curvas de reflectâncias em função do índice de área foliar. Lote VI (8 dias PG)

Figura 3M - Curvas de reflectâncias em função do índice de área foliar. Lote VI (50 dias PG)

Figura 3N - Curvas de reflectâncias em função do índice da área foliar. Lote VII (8 dias PG)

Figura 3 O- Curvas de reflectâncias em função do índice da área foliar. Lote VII (50 dias PG)