

**MINISTERIO DA CIENCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DE VISADA NA REFLECTÂNCIA
ESPECTRAL DE DUAS GRAMÍNEAS FORREGEIRAS**

Ademir Fernando Morelli

**Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, orientada pelos Doutores
Antonio Roberto Formaggio e José Carlos Neves Epiphanyo.**

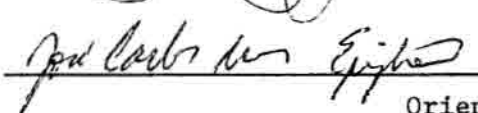
**INPE
São José dos Campos
Janeiro de 1993**

Aprovada pela Banca Examinadora
em cumprimento a requisito exigido
para a obtenção do Título de Mestre
em Sensoriamento Remoto

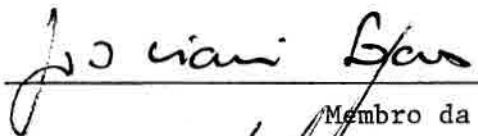
Dr. Antonio Roberto Formaggio


Orientador/Presidente


Dr. José Carlos Neves Epiphanyo


Orientador

Dr. João Viane Soares


Membro da Banca

Dr. Antonio João Lourenço


Membro da Banca
- Convidado -

Candidato: Ademir Fernando Morelli

São José dos Campos, 26 de fevereiro de 1993

a Suely e Mayara

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores Dr. Antonio Roberto Formaggio e Dr. José Carlos Neves Epiphanyo, pelo grande apoio e compreensão para a realização destes trabalho.

Aos Pesquisadores do Instituto de Zootecnia - Nova Odessa, Dr. Antonio João Lourenço, Dr. Waldinei Tadeu Paulino e Dr. Paulo Rogério Palma de Oliveira, pela orientação sobre ecologia de pastagens e apoio no trabalho em campo.

Aos colegas do Laboratório de Geoprocessamento pelo apoio e incentivo à consecução desta pesquisa.

Ao Instituto de Zootecnia - Nova Odessa, pelo acesso aos campos experimentais, utilização dos laboratórios e apoio logístico durante a fase de campo.

À Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP), pela utilização de equipamentos e material na fase de tratamento e análise dos dados.

RESUMO

A pesquisa teve como objetivo a avaliação da influência da variação da geometria de visada no comportamento espectral da vegetação herbácea e do substrato subjacente em pastagens compostas por *Brachiaria decumbens* Stapf. cv. Basilik e *Brachiaria brizantha* Stapf. cv. Marandu. O desenvolvimento metodológico envolveu a análise da relação entre a reflectância espectral e os parâmetros biofísicos da vegetação herbácea e do substrato subjacente. Para tanto, foram realizadas medições radiométricas e biofísicas para 25 amostras da vegetação e para uma amostra do solo em áreas experimentais de 1000 m², para cada espécie. As medidas da reflectância bidirecional multiespectral (500 a 1100 nm) foram obtidas nos ângulos zenitais de 0, 15, 30, 45 e 60 graus para 3 setores do plano azimutal (0, 90 e 180 graus), com a variação do ângulo zenital solar controlada para uma amplitude de 10 graus (45°-55°) e a variação azimutal solar compensada no método de aquisição. Foram avaliados os seguintes parâmetros biométricos da vegetação: fitomassa total fresca e seca, fitomassa verde fresca e seca, fitomassa seca fresca e seca, teor de água total e da fitomassa verde e seca, folhas verdes e secas, colmos verdes e secos, índice de área foliar, área foliar total, índice de cobertura, distribuição angular das folhas estratificada por altura da cobertura e altura da cobertura. Os parâmetros do solo analisados foram a classificação da cor do solo segundo a tabela Munsell, teor de matéria orgânica, textura e rugosidade. Tal desenvolvimento visa a compreensão, em nível quantitativo, dos principais mecanismos físicos envolvidos na dinâmica da reflectância bidirecional multiespectral de coberturas vegetais homogêneas e suas influências na relação entre os indicadores espectrais e os parâmetros biofísicos. O comportamento geral verificado foi coerente com o observado na literatura para coberturas completas de gramíneas, sendo explicado pela atuação conjunta dos mecanismos físicos conhecidos como "efeito 1" (efeito geométrico da estrutura da vegetação) e "função de fase" (efeito das propriedades ópticas dos constituintes da vegetação). As maiores variações nos valores dos FRBMs (Fatores de Reflectância Bidirecional Multiespectral) ocorreram no plano azimutal paralelo ao plano solar, enquanto as menores ocorreram no plano perpendicular ao solar. As bandas no visível foram as mais influenciadas pela variação da geometria de visada, apresentando variações azimutais e zenitais superiores às observadas para as bandas no IVP. Para as duas coberturas não se verificou uma influência significativa do espalhamento anisotrópico do solo na distribuição angular dos FRBMs. O máximo conteúdo de informação sobre a estrutura geométrica da cobertura está no AAV de 180°, que melhor se correlacionou com os parâmetros biofísicos, devido à ocorrência dos picos primário e secundário de reflexão. As piores correlações ocorreram no AAV de 0° e estão relacionadas ao comportamento inverso da reflectância (diminuição) com o aumento do AZV. Os maiores coeficientes de correlação ocorridos com a maioria dos parâmetros biofísicos no AZV de 45° estão associados à ocorrência dos picos primário e secundário de reflexão próximos a esse AZV. Os parâmetros caracterizadores da produção e do teor de água apresentaram as melhores correlações, principalmente por estarem mais relacionados à faixa do IVP, que apresentou as maiores correlações. O efeito geométrico da cobertura foi o mecanismo dominante, mas teve seus efeitos alterados pela atuação do efeito da função de fase.

THE INFLUENCE OF VIEW GEOMETRY VARIATION IN SPECTRAL REFLECTANCE OF TWO FORAGE GRASSES

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the influence's valuation of view geometry variation in spectral behaviour of herbaceous vegetation and soil underlying in composition pastures for *Brachiaria decumbens* Stapf. cv. Basilik Stapf and *Brachiaria brizantha* Stapf. cv. Marandu. The methodology development involved the report analysis between the spectral reflectance and the biophysics parameters of herbaceous vegetation and soil. For this purpose radiometric and biophysics measurements were done for 25 vegetation samples and one soil sample, in experiment areas of 1000 m², for each species. The multispectral bidirectional reflectance measurements (500 to 1100 nm) were obtained in the view zenith angles (θ_v) of 0°, 15°, 30°, 45° and 60° for three sectors of azimuthal plain ($\phi_v = 0^\circ, 90^\circ$ and 180°), with the solar zenith angle variation controlled for an amplitude of the 10° ($\theta_s = 45^\circ$ to 55°) and the solar azimuthal variation compensated in the acquisition method. The following vegetation parameters were measured: fresh and dry biomass, fresh and dry green biomass, droughty biomass and leaf and stems; water content of total, green and droughty biomass, Leaf Area Index (LAI) and percentage of canopy cover. The soil parameters available were color, roughness and chemistry composition. This research intent is the comprehension of physical mechanisms involved in the directional reflectance factor distribution of complete homogeneous vegetation canopies and its influences in the relation between spectral behavior and vegetation parameters. The general scattering behavior was coherent with the dynamics observed in the literature and was supported by phenomena of the "phase function" and "geometric effect 1". The major trends observed in the reflectance factor occurred in the azimuth in the principal plane of the sun ($\phi_s = 0^\circ$ and 180°), while the minor trends occurred in the azimuth direction perpendicular to the principal plane of the sun ($\phi_v = 90^\circ$). For all view angles and spectral bands the minimum reflectance occurred near nadir ($\theta_v = 0^\circ$) and increased with increasing view zenith angles for all azimuth directions. This trend is caused by the shading of lower canopy layers, by components in the upper layers and by viewing different proportions of the layer components as the view angle changes ("effect 1"). In some cases by an additive effect of "phase function" (depending of optical properties of plant components), the reflectance minimum was shifted slightly off-nadir in the forward scattering direction ($\phi_s = 0^\circ$). This shift was maximized for occurrence of reproductive structures in the top layers of cover, because this structure is vertical and opaque. The near infrared band was less influenced by view geometry variation than in the spectral bands of visible, because in the near infrared band the transmittance was nearly equal to the reflectance for most structural components of herbaceous vegetation, while in the visible the reflectance is major, consequently the "effect 1" is maximized. The major information content about vegetation cover was obtained in the principal plane of the sun, in the backscattering direction ($\phi = 180^\circ$), than showed

better relationships to the vegetation parameters, because of the occurrence of "hot spot". The vegetation parameters of production and water content showed the best correlations, because its parameters have more association to the near infrared, that exhibited the better performance than visible bands, more associated to LAI and fresh and dry biomass components. The "effect 1" was the dominant phenomenon that controlled the directional reflectance distributions observed, but had its effects altered by the action of additional phenomenon "phase function".

SUMÁRIO

Pág.

LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE TABELAS	xv
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xviii

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 - Objetivos.....	4
1.1.1 - Objetivo geral	4
1.1.2 - Objetivos específicos	4

CAPÍTULO 2 - REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - Sensoriamento remoto em pastagens.....	5
2.1.1 - O agrossistema pastagem.....	5
2.1.2 - A aplicação do sensoriamento remoto em pastagens.....	6
2.2 - Considerações teóricas.....	8
2.2.1 - Espectroscopia de campo	8
2.2.1.1 - Radiômetros e espectrorradiômetros.....	8
2.2.1.2 - Metodologia de aquisição de dados espectrais em campo	8
2.2.3 - Métodos espectrais de estimativa dos parâmetros biofísicos de pastagens. 12	
2.2.3.1- Métodos multiespectrais com aquisição estritamente no nadir.....	12
2.2.3.2 - Métodos de extração de informação a partir de análises da distribuição espacial e angular dos dados espectrais.....	12
2.2.4 - Revisão dos métodos convencionais de estimativa dos parâmetros biofísicos de pastagens.....	15
2.2.4.1 - Estrutura geométrica da vegetação (EGV)	15
2.2.4.2 - Fitomassa	17
2.2.4.3 - Substrato e solo subjacente	18
2.3 - Fatores controladores do comportamento espectral de pastagens.....	18
2.3.1 - Estrutura geométrica da vegetação	19
2.3.2 - Propriedades ópticas dos constituintes da vegetação e do solo	23
2.3.2.1 - Os fatores biofísicos que controlam as propriedades espectro-ópticas das folhas.....	25
2.3.3 - Geometria de aquisição	30
2.3.3.1 - A dinâmica da reflectância bidirecional de coberturas vegetais.....	30

CAPÍTULO 3 - MATERIAL E METODOS

3.1 - Material	45
3.1.1 - Espectroscopia em campo	45
3.1.2 - Técnicas Convencionais	47

3.2 - Definição Metodológica.....	49
3.2.1 - Definição dos Objetivos, das Hipóteses e do Objeto de Estudo.....	51
3.2.1.1 - Definição dos objetivos.....	51
3.2.1.2 - Definição da hipótese.....	52
3.2.1.3 - Definição do objeto de estudo.....	53
3.2.2 - Seleção de parâmetros espectrais.....	53
3.2.2.1 - Geometria de aquisição.....	53
3.2.2.2 - Seleção da faixa espectral.....	54
3.2.3 - Seleção de parâmetros biofísicos.....	55
3.2.3.1 - Vegetação herbácea.....	55
3.2.3.2 - Substrato e solo subjacentes.....	56
3.2.4-Definição dos métodos convencionais de estimativa dos parâmetros biofísicos.....	56
3.2.4.1 - Estrutura geométrica da vegetação.....	56
3.2.4.2 - Fitomassa.....	58
3.2.4.3 - Substrato e solo subjacentes.....	58
3.2.5 - Planejamento experimental.....	59
3.2.5.1 - Definição das condições experimentais ideais.....	59
3.2.5.2 - Definição das condições experimentais necessárias.....	60
3.2.5.3 - Análise do processo de aquisição e do objeto de estudo.....	60
3.2.5.4 - Planejamento dos sistemas de controle e de seleção das situações experimentais.....	61
3.2.5.5 - Planejamento operacional do processo de aquisição.....	63
3.2.5.6 - Definição dos critérios de avaliação do planejamento experimental.....	65
3.2.6 - Definição do sistema de amostragem.....	66
3.2.6.1 - Representatividade angular da distribuição da reflectância bidirecional.....	66
3.2.6.2 - Representatividade amostral dos parâmetros biofísicos da vegetação herbácea e do solo subjacente.....	66
3.2.6.3 - A escala de mensuração.....	67
3.2.6.4 - Características da população amostrada.....	67
3.2.6.5 - Características do processo de aquisição dos dados espectrais e biofísicos.....	68
3.2.6.6 - Definição do método de amostragem no processo de aquisição dos dados espectrais e biofísicos.....	69
3.2.7 - Definição dos métodos de organização, descrição e análise.....	69
3.2.7.1 - Definição dos métodos de organização.....	69
3.2.7.2 - Definição dos métodos de descrição e análise.....	76
3.3 - Seleção da Área de Estudo.....	78
3.3.1 - Seleção das espécies.....	78
3.3.2 - Seleção dos campos experimentais.....	79
3.3.3 - Seleção da área de estudo.....	79
3.4 - Pré-amostragem dos dados espectrais e biofísicos.....	79
3.5 - Aquisição dos dados espectrais e biofísicos.....	88
3.5.1 - Aquisição de dados espectrais.....	89
3.5.2 - Aquisição de dados biofísicos.....	90

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Composição e aspectos geométricos da vegetação herbácea e do solo subjacente <i>Brachiaria brizantha</i>	91
4.1.1 - Estatística descritiva	91
4.1.1.1 - Composição da fitomassa aérea.....	91
4.1.1.2 - Estrutura geométrica da cobertura	94
4.1.1.3 - Substrato.....	95
4.1.2 - Análise de correlação entre os parâmetros biofísicos	96
4.1.2.1 - Composição da fitomassa aérea	96
4.1.2.2 - Estrutura geométrica da vegetação	97
4.2 - Composição e aspectos geométricos da vegetação herbácea e do solo subjacente <i>Brachiaria decumbens</i>	99
4.2.1 - Estatística descritiva	99
4.2.1.1 - Composição da fitomassa aérea.....	99
4.2.1.2 - Estrutura geométrica da cobertura	101
4.2.1.3 - Substrato.....	102
4.2.2 - Análise de correlação entre os parâmetros biofísicos	102
4.2.2.1 - Composição da fitomassa aérea.....	103
4.2.2.2 - Estrutura geométrica da vegetação	104
4.3 - Distribuição angular da reflectância bidirecional multiespectral obtida em diferentes geometrias de visada da vegetação herbácea e do substrato em pastagens compostas por <i>B.brizantha</i>	106
4.3.1 - Estatística descritiva	106
4.3.1.1 - Variações azimutais e zenitais	108
4.3.1.2 - Variabilidade amostral	124
4.3.1.3 - Análise dos mecanismos físicos que influenciam na dinâmica bidirecional dos FRBMs da cobertura de <i>B. brizantha</i>	126
4.3.1.4 - Análise dos mecanismos físicos que influenciam na dinâmica bidirecional dos FRBMs da cobertura do substrato de <i>B. brizantha</i>	133
4.3.2 - Análise das correlações entre os FRBMs obtidos nas diferentes geometrias de visada para <i>B. brizantha</i>	135
4.3.2.1 - Correlações entre os FRBMs obtidos com mesmos AAV e AAZ.....	135
4.3.2.2 - Correlações entre os FRBMs obtidos com variações azimutais.....	136
4.3.2.3 - Correlações entre os FRBMs obtidos com variações zenitais	137
4.3.2.4 - Correlações entre os FRBMs obtidos com variações azimutais e zenitais.....	139
4.3.2.5 - Correlações entre os FRBMs obtidos com variações azimutais e zenitais em relação aos obtidos no nadir.....	141
4.3.2.6 - Análise dos mecanismos físicos que condicionaram as relações entre os FRBMs obtidos a diferentes geometrias de visada	142
4.4 - Distribuição angular da reflectância bidirecional multiespectral obtida em diferentes geometrias de visada da vegetação herbácea e do substrato em pastagens compostas por <i>B.decumbens</i>	144

4.4.1 - Estatística descritiva	144
4.4.1.1 - Variações azimutais e zenitais	146
4.4.1.2 - Variabilidade amostral.....	162
4.4.1.3 - Análise dos mecanismos físicos que influenciam na dinâmica dos FRBMs da cobertura de <i>B. decumbens</i>	164
4.4.1.4 - Análise dos mecanismos físicos que influenciam na dinâmica dos FRBMs da cobertura do substrato de <i>B. decumbens</i>	166
4.4.2 - Análise das correlações entre os FRBMs obtidos nas diferentes geometrias de visada para <i>B. decumbens</i>	168
4.4.2.1 - Correlações entre os FRBMs obtidos com mesmos AAV e AAZ.....	168
4.4.2.2 - Correlações entre os FRBMs obtidos com variações azimutais.....	169
4.4.2.3 - Correlações entre os FRBMs obtidos com variações zenitais	170
4.4.2.4 - Correlações entre os FRBMs obtidos com variações azimutais e zenitais	172
4.4.2.5 - Correlações entre os FRBMs obtidos com variações azimutais e zenitais em relação aos obtidos no nadir.....	174
4.4.2.6 - Análise dos mecanismos físicos que condicionaram as relações entre os FRBMs obtidos a diferentes geometrias de visada para <i>B. brizantha</i>	175
4.5 - Relação funcional entre a reflectância bidirecional multiespectral obtida nas diferentes geometrias de visada e os parâmetros biofísicos da vegeta- ção herbácea em pastagens compostas por <i>B. brizantha</i>	177
4.5.1 - Produção.....	181
4.5.2 - Disponibilidade dos componentes	184
4.5.3 - Teor de água	189
4.5.4 - Índice de área Foliar.....	191
4.6 - Relação funcional entre a reflectância bidirecional multiespectral obtida nas diferentes geometrias de visada e os parâmetros biofísicos da vegeta- ção herbácea em pastagens compostas por <i>B. decumbens</i>	194
4.6.1 - Produção.....	198
4.6.2 - Disponibilidade dos componentes	201
4.6.3 - Teor de água	204
4.6.4 - Índice de área Foliar	206
CAPÍTULO 4 - CONCLUSÕES	208
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	212

LISTA DE FIGURAS

2.1 - Comportamento espectral de uma folha normal.....	26
2.2 - (a) Sistema de coordenadas definindo as convenções adotadas para a representação da geometria de aquisição, (b) Gráfico de coordenadas polares definindo o esquema de representação dos fatores de reflectância	31
2.3 - Gráficos tri-dimensionais da distribuição do fator de reflectância bidirecional de uma superfície lambertiana	32
2.4 - Gráficos polares de reflectância bidirecional (%) na banda do visível (0,58-0,68 μm) para cobertura completa de gramíneas (AZS = 70°).....	33
2.5 - Gráficos tri-dimensionais da reflectância bidirecional (%) na banda do visível (0,58-0,68 μm) para cobertura completa de gramíneas (AZS = 70°).	33
2.6 - Efeitos do AZS e AZV no fator de reflectância bidirecional (FRB) de coberturas vegetais completas para grandes AZS	35
2.7 - Efeitos do AZS e AZV no fator de reflectância bidirecional (FRB) de coberturas vegetais completas para pequenos AZS	35
2.8 - Reflexão e retroespalhamento do solo e da vegetação	37
2.9 - Gráficos polares da reflectância bidirecional (%) na banda do visível (0,58-0,68 μm) para o solo exposto	38
2.10 - Gráficos polares de reflectância bidirecional (%) na banda do IVP (0,73-1,1 μm) para cobertura completa de gramíneas.....	39
2.11 - Gráficos polares de reflectância bidirecional (%) na banda do IVP (0,73-1,1 μm) para o solo exposto	40
2.12 - Gráficos polares de reflectância bidirecional (%) na banda do visível (0,58-0,68 μm) para cobertura incompleta de gramíneas	41
2.13 - Gráficos tri-dimensionais da reflectância bidirecional (%) na banda do visível (0,58-0,68 μm) para cobertura incompleta de gramíneas (AZS = 71°)	42
2.14 - Gráficos tri-dimensionais da reflectância bidirecional (%) na banda do visível (0,58-0,68 μm) para cobertura incompleta de gramíneas (AZS = 45°)	42
2.15 - Gráficos polares de reflectância bidirecional (%) na banda do IVP (0,73-1,1 μm) para cobertura incompleta de gramíneas	44
3.1 - Configuração do sistema de suporte para a aquisição	46
3.2 - Fluxograma metodológico geral	50
3.3 - Fluxograma módulos "Básico" e "Definição metodológica".....	51
3.4 - Fluxograma específico "Planejamento experimental".....	60
3.5- Fluxograma específico "Planejamento operacional do processo de aquisição"	64
3.6 - Fluxograma específico "Organização dos dados espectrais"	71
3.7 - Fluxograma específico "Organização dos dados biofísicos"	73
3.8 - Configuração da área de estudo de <i>B. brizantha</i> em relação a geometria de iluminação	82
3.9 - Configuração da área de estudo de <i>B. decumbens</i> em relação a geometria de iluminação	82

3.10 -Variação da geometria de iluminação no período de um dia para o mês de junho de 1991	85
4.1 - Diagrama de dispersão da correlação entre FTV(PS) e IAF	98
4.2 - Diagrama de dispersão da correlação entre FTV(PS) e IAF	105
4.3 - Variação zenital dos FRBMs de <i>B. brizantha</i> para os AAV de 0°(a), 90°(b) e 180°(c)	109
4.4 - Variação zenital dos FRBMs do substrato para os AAV de 0°(a), 90°(b) e 180°(c)	112
4.5 - Variação azimutal dos FRBMs de <i>B. brizantha</i> para os AZV de 15°(a), 30°(b), 45°(c) e 60°(d)	115
4.6 - Variação azimutal dos FRBMs de <i>B. brizantha</i> para os AZV de 15°(a), 30°(b), 45°(c) e 60°(d)	118
4.7 - Variações zenitais dos FRBMs de <i>B. decumbens</i> para os AAV de 0°(a), 90°(b) e 180°(c)	147
4.8 - Variações zenitais dos FRBMs para o substrato de <i>B. decumbens</i>	150
4.9 - Variações azimutais dos FRBMs para <i>B. decumbens</i> nos AZV de 15°(a), 30°(b), 45°(c) e 60°(d)	153
4.10 - Variações azimutais dos FRBMs para o substrato de <i>B. decumbens</i> nos AZV de 15°(a), 30°(b), 45°(c) e 60°(d)	156
4.11 - Correlograma dos valores médios dos coeficientes para cada parâmetro biofísico por AAV - <i>B. brizantha</i>	179
4.12 - Correlograma dos valores médios dos coeficientes para cada parâmetro biofísico por AZV - <i>B. brizantha</i>	180
4.13 - Correlograma dos valores médios dos coeficientes para cada parâmetro biofísico por banda espectral - <i>B. brizantha</i>	182
4.14 - Correlograma dos valores dos coeficientes para os parâmetros caracterizadores da produção - <i>B. brizantha</i>	186
4.15 - Correlograma dos valores dos coeficientes para os parâmetros caracterizadores da composição de fitomassa - <i>B. brizantha</i>	186
4.16 - Correlograma dos valores dos coeficientes para os parâmetros caracterizadores da composição do teor de água de fitomassa.....	190
4.17 - Correlograma dos valores dos coeficientes para o parâmetro IAF	192
4.18 - Correlograma dos valores médios dos coeficientes para cada parâmetro biofísico por AAV - <i>B. decumbens</i>	196
4.19 - Correlograma dos valores médios dos coeficientes para cada parâmetro biofísico por AZV - <i>B. decumbens</i>	197
4.20 - Correlograma dos valores médios dos coeficientes para cada parâmetro biofísico por banda espectral - <i>B. decumbens</i>	197
4.21 - Correlograma dos valores dos coeficientes para os parâmetros caracterizadores da produção - <i>B. decumbens</i>	199
4.22 - Correlograma dos valores dos coeficientes para os parâmetros caracterizadores da composição de fitomassa - <i>B. decumbens</i>	202
4.23 - Correlograma dos valores dos coeficientes para os parâmetros caracterizadores da composição do teor de água de fitomassa.....	205
4.24 - Correlograma dos valores dos coeficientes de correlação entre os FRBMs obtidos em diferentes AAV e AZV e o parâmetro IAF da fitomassa - <i>B. decumbens</i>	207

LISTA DE TABELAS

3.1 - Dimensionamento de sistemas de controle para espécie <i>B. decumbens</i>	81
3.2 - Dimensionamento de sistemas de controle para espécie <i>B. brizantha</i>	81
3.3 - Estimativas do tempo gasto em cada etapa do processo de aquisição para AZV diferente de 0	84
3.4 - Estimativas do tempo gasto em cada etapa do processo de aquisição para AZV = 0.....	84
3.5 - Comparação entre a produção de fitomassa verde (FTV) por <i>Brachiaria</i> sp no período do verão e inverno.....	86
3.6 - Valores estimados da média, desvio padrão e número de amostras relativos a 10 amostras de <i>Brachiaria decumbens</i>	87
3.7 - Valores estimados da média, desvio padrão e número de amostras relativos a 10 amostras de <i>Brachiaria brizantha</i>	87
3.8 - Períodos de aquisição e tratamento primário dos dados espectrais e biofísicos.....	88
3.9 - Descrição do processo de aquisição dos dados espectrais para <i>Brachiaria decumbens</i> : horário, variação do AAS e AZS para cada AAV e AZV.....	89
3.10 - Descrição do processo de aquisição dos dados espectrais para <i>Brachiaria brizantha</i> : horário, variação do AAS e AZS para cada AAV e AZV	89
4.1 - Estatística descritiva dos parâmetros biofísicos que caracterizam a composição da fitomassa e os aspectos geométricos da cobertura de <i>B. brizantha</i>	91
4.2 - Variabilidade da produção média anual de fitomassa total de <i>B. brizantha</i> - Observados na Literatura.....	92
4.3 - Proporção e Variabilidade relativa dos componentes da fitomassa de <i>B. brizantha</i>	92
4.4 - Valores absolutos e relativos de fitomassa total (FTT), fitomassa verde (FTV) e fitomassa seca (FTS) e seus componentes (MV, MS, FV, FS) observados na literatura.....	93
4.5 - Matriz de correlação entre os parâmetros biofísicos de <i>B. brizantha</i>	96
4.6 - Valores médios dos parâmetros FV(PU) e MV(PU) para as diferentes classes em peso de FTT(PU)	97
4.7 - Estatística descritiva dos parâmetros biofísicos que caracterizam a composição da fitomassa e os aspectos geométricos da cobertura de <i>B. decumbens</i>	99
4.8 - Proporção e variabilidade relativa dos componentes da fitomassa de <i>B. decumbens</i>	100
4.9 - Matriz de correlação entre os parâmetros biofísicos de <i>B. decumbens</i>	102
4.10 - Estatística descritiva dos FRBMs obtidos com a variação da geometria de visada, nas bandas espectrais TM1, TM2, TM3 e TM4 para <i>B. brizantha</i>	106

4.11 - Variabilidade absoluta e relativa (%) entre os valores dos FRBMs obtidos nos AZV de 15, 30 45 e 60 graus, para os AAV de 0, 90 e 180 graus para a vegetação herbácea em pastagens de <i>B. brizantha</i>	108
4.12 - Variação absoluta e relativa (%) entre os valores dos FRBMs obtidos nos AZV de 15, 30, 45 e 60 graus, para os AAV de 0, 90 e 180 graus - substrato.....	111
4.13 - Variação absoluta e relativa (%) entre os valores dos FRBMs obtidos nos AAV de 0, 90 e 180 graus, para os AZV de 15, 30, 45 e 60 graus <i>B. brizantha</i>	114
4.14 - Variação absoluta e relativa (%) entre os valores dos FRBMs obtidos nos AAV de 0, 90 e 180 graus, para os AZV de 15, 30, 45 e 60 graus - substrato	117
4.15 - Variação absoluta e relativa (%) entre os valores dos FRBMs obtidos nos AZV de 15, 30, 45 e 60 graus, para os AAV de 0, 90 e 180 graus e os obtidos no NADIR (AZV = 0°) - <i>B. brizantha</i>	120
4.16 - Variação absoluta e relativa (%) entre os valores dos FRBMs obtidos nos AZV de 15, 30, 45 e 60 graus, para os AAV de 0, 90 e 180 graus e os obtidos no NADIR (AZV = 0) - substrato.....	122
4.17 - Variabilidade amostral dos valores absolutos e relativos (%) dos FRBMs obtidos nos AZV de 15, 30, 45 e 60 graus, para os AAV de 0, 90 e 180 graus para a vegetação herbácea em pastagens de <i>B. brizantha</i>	124
4.18 - Matriz de correlação entre os FRBMs obtidos com os mesmos AAV e AZV	135
4.19 - Matriz de correlação entre os FRBMs obtidos com variações azimutais	136
4.20 - Matriz de correlação entre os FRBMs obtidos com os variações zenitais	137
4.21 - Matriz de correlação entre os FRBMs obtidos com variações azimutais e zenitais.....	139
4.22 - Matriz de correlação entre os FRBMs obtidos com variações azimutais e zenitais e os obtidos no NADIR	141
4.23 - Estatísticas descritivas dos FRBMs obtidos com variação da geometria de visada nas bandas espectrais TM1, TM2, TM3 e TM4, para <i>B. decumbens</i>	144
4.24 - Variação absoluta e relativa (%) entre os valores dos FRBMs obtidos com variação da geometria de visada para <i>B. decumbens</i> nos AZV de 15, 30, 45 e 60 graus, para os AAV de 0, 90 e 180 graus- substrato	146
4.25 - Variação absoluta e relativa (%) entre os valores dos FRBMs obtidos com variação da geometria de visada para <i>B. decumbens</i> nos AZV de 15, 30, 45 e 60 graus, para os AAV de 0, 90 e 180 graus- substrato	146
4.26 - Variação absoluta e relativa (%) entre os valores dos FRBMs obtidos nos AAV de 0, 90 e 180 graus, para os AZV de 15, 30, 45 e 60 graus - <i>B. decumbens</i>	152

4.27 - Variação absoluta e relativa (%) entre os valores dos FRBMs obtidos nos AAV de 0, 90 e 180 graus, para os AZV de 15, 30, 45 e 60 graus - substrato	155
4.28 - Variação absoluta e relativa (%) entre os valores dos FRBMs obtidos nos AZV de 15, 30, 45 e 60 graus, para os AAV de 0, 90 e 180 graus e os obtidos no NADIR (AZV), para a vegetação herbácea em pastagens de <i>B. decumbens</i>	158
4.29 - Variação absoluta e relativa (%) entre os valores dos FRBMs obtidos nos AZV de 15, 30, 45 e 60 graus, para os AAV de 0, 90 e 180 graus e os obtidos no NADIR (AZV = 0) - substrato	160
4.30 - Variabilidade amostral dos valores absolutos e relativos (%) dos FRBMs nos AZV de 15, 30, 45 e 60 graus para os AAV de 0, 90 e 180 graus para a vegetação herbácea em pastagens de <i>B. decumbens</i>	162
4.31 - Matriz de correlação entre os FRBMs obtidos com os mesmos AAV e AZV nas bandas espectrais TM1, TM2, TM3 e TM4 para <i>B. decumbens</i>	168
4.32 - Matriz de correlação entre os FRBMs obtidos com variação azimutal nas bandas espectrais TM1, TM2, TM3 e TM4 para <i>B. decumbens</i>	169
4.33 - Matriz de correlação entre os FRBMs obtidos com variação zenital nas bandas espectrais TM1, TM2, TM3 e TM4 para <i>B. decumbens</i>	170
4.34 - Matriz de correlação entre os FRBMs obtidos com variação azimutal e zenital nas bandas espectrais TM1, TM2, TM3 e TM4 para <i>B. decumbens</i>	172
4.35 - Geometrias de visada com os maiores e os menores valores dos coeficientes observados para os FRBMs obtidos com variações azimutais e zenitais	173
4.36 - Matriz de correlação entre os FRBMs obtidos com variação azimutal e zenital e os FRBMs obtidos no NADIR, nas bandas espectrais TM1, TM2, TM3 e TM4 para <i>B. decumbens</i>	174
4.37 - Matriz de correlação entre os FRBMs obtidos nos diferentes geometrias de visada e os parâmetros biofísicos da vegetação herbácea em pastagens compostas por <i>B. brizantha</i>	178
4.38 - Valores médios dos coeficientes de correlação por AAV, AZV, banda espectral e parâmetro biofísico	179
4.39 - Valores máximos observados para os coeficientes nas correlações entre os FRBMs e os parâmetros FTT(PU) e FTT(PS)	182
4.40 - Geometrias de visada que apresentaram valores máximos dos coeficientes para cada parâmetro caracterizador dos componentes da fitomassa	185
4.41 - Geometrias de visada que apresentaram valores máximos dos coeficientes para cada parâmetro caracterizador do teor de água da fitomassa	190

4.42 - Matriz de correlação entre os FRBMs obtidos nos diferentes geometria de visada e os parâmetros biofísicos da vegetação herbácea em pastagens compostas por <i>B. decumbens</i>	195
4.43 - Valores médios dos coeficientes de correlação por AAV, AZV, banda espectral e parâmetro biofísico para <i>B. decumbens</i>	196
4.44 - Geometrias de visada que apresentaram valores máximos dos coeficientes para cada parâmetro caracterizador da produção de fitomassa	198
4.45 - Geometrias de visada que apresentaram valores máximos dos coeficientes para cada parâmetro caracterizador dos componentes da fitomassa	202
4.46 - Geometrias de visada que apresentaram valores máximos dos coeficientes para cada parâmetro caracterizador do teor de água da fitomassa	206

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AAS - Ângulo Azimutal Solar
AAV - Ângulo Azimutal de Visada
AZS - Ângulo Zenital Solar
AZV - Ângulo Zenital de Visada
REM - Radiação Eletro-magnética
VIS - Visível
IVP - Infravermelho Próximo
RFA - Radiação Fotossinteticamente Ativa

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Uma nova geração de satélites de observação da terra está sendo introduzida, com capacidade de direcionamento de visadas oblíquas longitudinais e transversais à trajetória. Estes incluem o já operacional SPOT ("Système Pour l'Observation de la Terre"; $\pm 27^\circ$ transversalmente à trajetória) e os propostos satélites da série EOS "Earth Observing System", MISR ("Multiangle Imaging Spectroradiometer"), HIRIS ("High-Resolution Imaging Spectrometer"; $\pm 45^\circ$ transversalmente e $+ 52^\circ/-30^\circ$ longitudinalmente à trajetória) e MODIS ("Moderate Resolution Imaging Spectrometer": o MODIS T com $\pm 50^\circ$ longitudinalmente e o MODIS N com $\pm 55^\circ$ transversalmente), o MRS ("Multispectral Resources Satellite"; $\pm 60^\circ$ transversalmente), e o satélite de sensoriamento remoto da CBERS ("China Brazil Earth Resources Sampler"; $\pm 30^\circ$ transversalmente). Adicionalmente o uso dos já existentes sistemas sensores aerotransportados e orbitais com grande ângulo de varredura, tais como a maioria dos sistemas fotográficos, os imageadores multiespectrais aerotransportados e os satélites da série NOAA/AVHRR ("Advanced Very High-Resolution Radiometer"; campo de visada com $\pm 56^\circ$) incrementam grandemente o volume de dados obtidos com ângulos de visada oblíquos (Barnsley, 1983; NASA, 1990).

O sensoriamento remoto direcional oferece vantagens sobre o sensoriamento remoto estritamente no nadir. Uma das vantagens é o incremento da cobertura espacial e temporal das superfícies. Os sistemas radiométricos com grandes ângulos de varredura permitem aumento da área coberta para qualquer particular órbita e os satélites com capacidade de direcionamento de visada aumentam a frequência observacional sem incremento do número de satélites em órbita. Mas a maior vantagem é a de permitir o estudo da FDRB (Função de Distribuição de Reflectância Bidirecional) das superfícies terrestres, com o desenvolvimento de métodos e técnicas que explorem a variabilidade angular destes dados espectrais (Kimes et al., 1984a).

Entretanto, a aplicação do sensoriamento remoto direcional na interpretação de imagens de coberturas vegetais é bastante dificultada pelo caráter marcadamente anisotrópico destas superfícies, sendo que a geometria de visada determina a sua resposta espectral (Suits, 1972).

Há necessidade de estudos básicos dos efeitos da variação da geometria de visada no comportamento espectral das superfícies vegetais, com a caracterização da FDRB destas superfícies.

A modelagem analítica e a experimentação empírica em campo complementam-se na formação de um corpo básico de conhecimento da dinâmica da reflectância bidirecional de coberturas vegetais. A modelagem dos mecanismos físicos da transferência radiativa objetiva a análise da configuração espacial da reflectância bidirecional, através de simulações de modelos de interações entre a REM e as coberturas vegetais.

Estudos em radiometria de campo provêm as bases para o entendimento da FDRB de coberturas vegetais, relacionando-a quantitativamente aos parâmetros biofísicos da vegetação herbácea e do solo subjacente. Em tais estudos, analisa-se a relação funcional entre a reflectância direcional multiespectral e os parâmetros biofísicos, sendo fundamentais para o entendimento dos mecanismos físicos da transferência de radiação envolvidos na dinâmica da FDRB de coberturas vegetais.

O sinergismo entre a modelagem analítica e a experimentação empírica ocorre pela retro-alimentação positiva existente em seus resultados: os dados coletados nos experimentos em campo, assim como as relações funcionais encontradas são utilizados na inversão dos modelos para testar a confiabilidade de suas simulações, enquanto que os resultados das simulações fornecem premissas básicas para o delineamento de experimentos empíricos em campo.

Apresentam-se a seguir alguns estudos, analíticos e empíricos, que procuram analisar a dependência angular da reflectância de coberturas vegetais. Tais estudos caracterizam os efeitos da variação da geometria de aquisição (Gerstl e Simmer, 1986; Goel e Thompson, 1985; Kimes, 1983; Ranson e Daughtry, 1987; Staenz et al., 1981; Steven, 1989) e mais especificamente da geometria de visada (Barnsley, 1983, 1984; Demetriades-Shah e Court, 1987; Holben e Fraser, 1984; Kimes et al., 1984a; Royer et al., 1985; Simmer e Gerstl, 1985), da geometria de iluminação (Gerstl, 1986; Goel e Thompson, 1985; Gross et al., 1988; Suits, 1972), e da geometria de aquisição relacionada à arquitetura do dossel (Curran e Wardley, 1988; Kimes e Kirchner, 1984; Kimes et al., 1984b; Pinter Junior et al., 1985), para uma variedade de coberturas vegetais.

As principais coberturas vegetais estudadas são as culturas agrícolas (Gerstl, 1986; Goel e Grier, 1987; Goel e Thompson, 1985; Kimes, 1983; Kirchner et al., 1982; Ranson e Daughtry, 1987; Staenz et al., 1981; Steven, 1989), as espécies florestais comercialmente exploradas (Barnsley, 1983; Guyot et al., 1989; Li e Strahler, 1985; Ranson e Daughtry, 1987; Ranson et al., 1986) e as pastagens

(Barnsley, 1983; Gross et al., 1988; Kimes, 1983; Kimes e Kirchner, 1984; Kimes et al., 1984a; Simmer e Gerstl, 1985; Staenz et al., 1981).

A maioria dos experimentos empíricos em campo (p. ex. Kimes, 1983; Guyot, 1984), não avaliam quantitativamente a influência da variação da geometria de visada no relacionamento entre os parâmetros biofísicos e os indicadores espectrais, restringindo-se à descrição da dinâmica do fator de reflectância bidirecional e às suposições dos mecanismos físicos da transferência radiativa.

No Brasil, poucos são os estudos básicos sobre o comportamento espectral da vegetação. O INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), principal instituto de pesquisas em sensoriamento remoto, só recentemente iniciou os estudos fundamentais da vegetação, com as pesquisas básicas se concentrando na análise radiométrica e modelagem do comportamento espectral de culturas agrícolas (Batista et al., 1988; Formaggio, 1989; Formaggio e Epiphanyo, 1987 e 1988).

À despeito da área ocupada (21% do território nacional), da importância econômica e da potencialidade de aplicação das técnicas do sensoriamento remoto em pastagens, poucos são os estudos básicos sobre seu comportamento espectral, restringindo-se aos de Pereira (1986); Santos (1988); Valeriano e Pereira (1988), inexistindo os que enfocam a dinâmica da reflectância direcional desta cobertura, fundamentais para o sensoriamento remoto direcional.

Estudos em sensoriamento remoto direcional com a caracterização da FDRB de pastagens permitem o desenvolvimento de técnicas e métodos para a obtenção de informação sobre esta cobertura, a partir da análise da distribuição espacial e angular dos dados espectrais.

A hipótese a ser testada na presente pesquisa, é a de que a variação da geometria de visada influencia o comportamento espectral de pastagens e o seu relacionamento com os parâmetros biofísicos da vegetação herbácea e do solo subjacente. Para testá-la selecionaram-se as pastagens como o objeto de estudo e estabeleceram-se os objetivos expostos a seguir.

1.1 - Objetivos:

1.1.1 - Objetivo geral:

Avaliação da influência da variação da geometria de visada no comportamento espectral da vegetação herbácea e do solo subjacente em pastagens compostas por *Brachiaria decumbens* Stapf cv. Basilik e *Brachiaria brizantha* Stapf cv. Marandu .

1.1.2 - Objetivos específicos:

a - Caracterização da composição e dos aspectos geométricos da vegetação herbácea e do solo subjacente em pastagens compostas por *Brachiaria decumbens* Stapf cv. Basilik e *Brachiaria brizantha* Stapf cv. Marandu,;

b - Caracterização da distribuição angular da reflectância bidirecional multiespectral, obtida em diferentes geometrias de visada, para a vegetação herbácea e para o solo subjacente, em pastagens compostas por *Brachiaria decumbens* Stapf cv. Basilik e *Brachiaria brizantha* Stapf cv. Marandu;

c - Análise das relações funcionais entre a reflectância bidirecional multiespectral obtida nas diferentes geometrias de visada e os parâmetros biofísicos da vegetação herbácea e do solo subjacente em pastagens, em função da geometria de visada na aquisição dos dados espectrais.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - Sensoriamento remoto em pastagens

2.1.1 - O agrossistema pastagem

O Brasil possui 21% do seu território ocupados por gramíneas, sendo que 9% são pastagens cultivadas e 12% são pastagens naturais e campos (FIBGE, 1990).

As pastagens cultivadas são agroecossistemas utilizados para a produção pecuária, formando sistemas monoespecíficos constituídos por gramíneas, de grande importância econômica. As pastagens e campos naturais são ecossistemas fundamentais para o sustento de milhões de pessoas no mundo, constituindo um recurso renovável que requer pouco ou nenhum subsídio energético para a produção pecuária (World Resources, 1990).

De modo geral, as pastagens cultivadas e naturais caracterizam-se ecologicamente por serem estruturalmente simples, com um único estrato herbáceo superficial ao solo; relativa homogeneidade de espécies, com sazonalidade do ciclo fenológico e rápida substituição dos indivíduos. Em geral, apresentam baixos níveis de fitomassa e são marcadas por grande variabilidade espacial e temporal, formando coberturas esparsas que apresentam solo exposto e acumulação de material seco e em decomposição. Funcionalmente, são pronunciadamente sazonais, com alta produtividade primária líquida e taxas de decomposição moderadas. São sistemas altamente dinâmicos, com marcada variabilidade temporal e baixa estabilidade a impactos e perturbações externas (Odum, 1971).

O monitoramento do estado fitossanitário da vegetação herbácea e das condições da superfície do solo em pastagens constitui uma etapa importante no processo para a compreensão da estrutura e função destes sistemas. Possibilita o acompanhamento dos processos de degradação, a determinação da capacidade de suporte e o desenvolvimento de alternativas de manejo compatíveis à sua forma e função (Tucker, 1973).

2.1.2 - Aplicação do sensoriamento remoto em pastagens

A aplicação das técnicas convencionais para a estimação de parâmetros biofísicos das pastagens tem sido inviabilizada pelas características das pastagens e por limitações das técnicas. Características das pastagens, como a grande extensão em área e a alta dinâmica das alterações, requerem análises sinóticas com alta frequência temporal. As técnicas convencionais baseiam-se na amostragem pontual das características das pastagens, envolvendo operações demoradas e tediosas, não compatíveis com a escala espacial e temporal requeridas para o monitoramento. Além disso, métodos de amostragem destrutivos impedem a repetição da amostragem para o acompanhamento de processos dinâmicos (Allan e Richards, 1983; Gils e Wijngaarden, 1983; Tucker, 1973).

A aplicação das técnicas de sensoriamento remoto no monitoramento de pastagens permite a obtenção de informações estruturais, como a distribuição espacial desse tipo de cobertura vegetal; e informações funcionais, como a quantificação de parâmetros biométricos e ecofisiológicos para grandes áreas, viabilizando o monitoramento de processos ecológicos como o balanço de energia, ciclagem de carbono e da água, e produtividade, que determinam alterações no estado deste agroecossistema (Tucker, 1973; Tucker e Sellers, 1986). Entretanto, o monitoramento do estado deste sistema requer que as técnicas e métodos de sensoriamento remoto utilizados sejam operacionais. Há problemas inerentes ao processo de aquisição de dados espectrais orbitais, relacionados com as características estruturais e funcionais destas formações vegetais herbáceas, como as limitações no nível de densidade de vegetação e porcentagem de cobertura que pode ser distinguida em uma imagem e a disponibilidade de imagens para análises de fenômenos dinâmicos e da sazonalidade fenológica (Barnsley, 1983; Griffiths e Collins, 1983).

Assim, uma das maiores dificuldades nos estudos em sensoriamento remoto destas coberturas esparsas e não homogêneas está na distinção entre a informação espectral da vegetação herbácea e a reflectância espectral do solo subjacente quando se utilizam as bandas do vermelho e do infravermelho próximo (Gerstl, 1986).

Um significativo número de pesquisas tem sido conduzido para o desenvolvimento de técnicas e métodos de sensoriamento remoto para estimar as variações espaciais e temporais em biomassa e condições superficiais em pastagens (Tucker, 1977; Harlan e Deering, 1979; Harlan et al., 1979). Entretanto, a interpretação de dados espectrais de pastagens tem sido dificultada devido à resposta do sensor ser uma mistura de sinais provenientes da vegetação fotossinteticamente ativa, vegetação não fotossinteticamente ativa e solo subjacente (Gerstl, 1986; Kimes et al., 1985). A utilidade do sensoriamento remoto para o monitoramento de

pastagens depende do grau em que as contribuições espectrais dos diferentes componentes da cena possam ser isolados (Hellman e Boyd, 1986).

Na avaliação das técnicas espectro-ópticas para a medição de fitomassa de gramíneas em pastagens, tornou aparente que o sinal do solo subjacente dominava a resposta espectral de gramíneas com baixa biomassa (Tucker, 1977). Vários estudos têm demonstrado os problemas do solo subjacente na detecção de baixos níveis de fitomassa fotossinteticamente ativa (Colwell, 1974; Tucker e Miller, 1977; Jackson et al., 1980). Huete et al. (1985) verificaram a influência do solo nos índices espectrais razão simples e diferença normalizada, restringindo a segura discriminação de vegetação verde abaixo de 30% de cobertura em áreas com variações no tipo de solo subjacente.

Avanços na capacidade de monitoramento da vegetação herbácea por sensoriamento remoto dependem de progressos na habilidade de qualificação e quantificação do conteúdo de informação espectral relacionada à reflectância do complexo solo-vegetação em uma cena (Simmer e Gerstl, 1985).

Para a obtenção de informação sobre as superfícies vegetais é necessária uma série de estudos dos fatores que condicionam as variáveis biométricas, geométricas e atmosféricas, características de uma cena de vegetação herbácea: a geometria de aquisição, as propriedades espectro-ópticas da vegetação herbácea e do solo subjacente, e a estrutura geométrica da vegetação (Ranson e Daughtry, 1987; Norman et al., 1985).

A aplicação do sensoriamento remoto direcional, com o desenvolvimento de métodos de extração de informação baseados em análises da distribuição angular dos dados espectrais, pode aumentar o conteúdo de informação extraído sobre a vegetação herbácea e o solo subjacente em pastagens. Adicionalmente, o incremento da frequência de recobrimento espacial e temporal permitirá o estudo dos aspectos da dinâmica dos agroecossistemas pastagens (Kimes, 1983; Gerstl, 1986; NASA, 1990). Para tanto, é necessária uma série de estudos a respeito das relações entre os aspectos estruturais e funcionais de pastagens e o seu comportamento espectral. Embora sejam estruturalmente simples, em termos ecológicos, para estudos via sensoriamento remoto tais coberturas esparsas e não homogêneas são superfícies complexas, que têm uma significativa porção do solo subjacente exposto direta e indiretamente à irradiância solar e ao sensor. Estas coberturas têm distribuições de reflectância únicas, devido à pronunciada propriedade de espalhamento anisotrópico do solo. São complexas, pois ambos os mecanismos de espalhamento do solo e da vegetação afetam a distribuição de reflectância direcional, como uma função dos ângulos zenitais e azimutais de iluminação e de visada, distribuição de orientação foliar, propriedades ópticas das folhas, propriedades espectrais do solo (Kimes et al., 1985).

2.2 - Considerações teóricas

2.2.1 - Espectroscopia de campo

A espectroscopia de campo compreende um conjunto de técnicas e métodos para pesquisas em sensoriamento remoto. As técnicas de espectroscopia baseiam-se na utilização de radiômetros e espectrorradiômetros para o entendimento do comportamento espectral de alvos visando o desenvolvimento de sistemas sensores e novos métodos de aquisição de dados espectrais.

2.2.1.1 - Radiômetros e Espectrorradiômetros

"Radiômetros são equipamentos portáteis especialmente projetados para operações em laboratório e em campo, que medem a radiação refletida ou emitida de um alvo" (Jackson et al., 1980). Espectrorradiômetros são radiômetros com alta resolução espectral, que medem espectros de radiação em bandas estreitas, abrangendo uma faixa espectral da região do visível ao infravermelho termal. Para os estudos em sensoriamento remoto da vegetação, são instrumentos úteis na obtenção de dados espectrais sobre amostras em condições controladas em laboratório e sobre parcelas amostrais da vegetação submetidas a diferentes tratamentos em campo (Jackson et al., 1980).

Tais instrumentos permitem o desenvolvimento de relações entre dados espectrais e variáveis agronômicas, necessárias para a interpretação de dados orbitais e suas aplicações no sensoriamento remoto da vegetação.

No entanto, a utilização de uma gama variada de instrumentos com diferentes características técnicas e o desenvolvimento de métodos de aquisição de dados espectrais específicos para cada instrumento tem ocasionado problemas para a comparação dos dados e extrapolação dos resultados para outras situações e escalas de aquisição (Jackson et al., 1980). Assim, a padronização técnica e metodológica na aquisição de dados, assim como os cuidados com a documentação das condições de aquisição, são essenciais para a comparação e validade dos dados.

2.2.1.2 - Metodologia de aquisição de dados espectrais em campo

A padronização dos métodos de aquisição inicia-se pela unificação e especificação da radiação eletromagnética (REM) medida, em termos espectrais e da geometria de incidência e reflexão do fluxo, passa pelas suposições do modelo de aquisição, terminando com a documentação de todo o processo (Nico-demus et al., 1977).

a - Especificação da REM medida

Conceitos de irradiância, radiância, reflectância e fator de reflectância

Conforme determinação do Centro Nacional de Padrões dos Estados Unidos (Nicodemus et al., 1977), considera-se irradiância (E) ao fluxo de radiação direta e difusa incidente sobre uma superfície. Quando a REM atinge a superfície o fluxo é refletido, absorvido e transmitido em proporções determinadas pelas propriedades espectro-ópticas dos componentes da superfície.

O fluxo radiante que é refletido da superfície é denominado radiância (L). Como cada superfície tem seu padrão próprio no processo de interação com a REM, a análise da energia refletida que interagiu com a superfície (a radiância), permite a extração de informações sobre suas características. A propriedade intrínseca dos constituintes da superfície em refletir a REM é denominada reflectância (R). Sendo propriedade das superfícies, a reflectância é constante, resultando numa relação diretamente proporcional entre a radiância (L) e a irradiância (E), como demonstrado na equação:

$$L = E.R$$

Segundo Jackson et al. (1980), esta relação limita o uso direto da radiância (L), visto que a irradiância (E) deve também ser especificada. O cálculo de R pode solucionar o problema, mas este método requer a medição de E. Num método proposto por Duggin (1980), as medições de E podem ser realizadas diretamente através de coletor cosseno, simultaneamente às medições de L.

Uma alternativa à medição direta é a aproximação obtida pela medição da L de um alvo com comportamento Lambertiano (isotrópico) de reflectância conhecida e relativamente invariável no decorrer das medições. Placas padrões de reflectâncias, compostas por sulfato de bário (BaSO₄), são as mais utilizadas. Tais placas são altamente refletoras (90 a 95%) e quando visadas ou iluminadas em ângulos entre 0° e 55°, assume-se que seu comportamento seja lambertiano, diferindo não mais do que 3% de uma superfície lambertiana ideal (Robinson e Biehl, 1979). O método de medição direta pode eliminar os erros do cálculo do fator de reflectância, causados por flutuações da irradiância (E) e do painel refletor padrão. No entanto em alguns equipamentos e metodologias de aquisição não é conveniente se medir a E diretamente. Para maiores informações desta limitação do método direto ver Jackson et al. (1980) e Nicodemus et al. (1977). Apresenta-se a seguir o conceito de fator de reflectância.

Uma placa padrão de BaSO₄, calibrada com uma superfície de reflectância conhecida, tem uma reflectância constante (R_p) com radiância $L_p = E \cdot R_p$. Se L_p é obtida simultaneamente e próxima ao alvo de interesse com $L_a = E \cdot R_a$, tem-se a relação $R_a = R_p \cdot L_a / L_p$, que é o fator de reflectância do alvo (Jackson et al., 1980). Se o alvo e a placa padrão são superfícies aproximadamente lambertianas, o fator de reflectância R_a é independente da irradiância e dos AAV (Ângulo Azimutal de Visada) e AZV (Ângulo Zenital de Visada).

As coberturas vegetais não são refletores perfeitamente difusos (lambertianos), sendo que o fluxo refletido varia em intensidade dependendo do ângulo com o qual ele deixa a superfície (Milton, 1987). A aplicação do modelo lambertiano à reflectância de uma cobertura vegetal é válida somente para ângulos zenitais de iluminação e de visada próximos ao nadir, sendo que os limites para o modelo lambertiano variam em função da estrutura geométrica da vegetação.

Esta dependência angular da reflectância da vegetação faz com que ela seja melhor descrita pela FDRB (Função de Distribuição da Reflectância Bidirecional), que permite calcular a radiância da cena em função da geometria de aquisição.

Conceito de FDRB

Sob condições especificadas, incluindo irradiância uniforme, uma superfície isotrópica e plana, as propriedades geométricas de reflexão de uma superfície são caracterizadas ou especificadas em termos da FDRB (Nicodemus et al., 1977).

A FDRB é denotada por:

$$f_r(\theta_i, \Phi_i; \theta_r, \Phi_r) = dL_r(\theta_i, \Phi_i, \theta_r, \Phi_r; E_i(\theta_i, \Phi_i))$$

onde θ e Φ indicam, respectivamente, o ângulo zenital e azimutal, o subscrito i indica quantidades associadas ao fluxo de radiação incidente e o subscrito r indica quantidades associadas ao fluxo refletido. E_i é a irradiância, L_r é a radiância refletida e d indica uma quantidade diferencial (Nicodemus et al., 1977).

b - Suposições do modelo para aquisição dos dados espectrais

A FDRB admite valores de zero a um. Uma aproximação da FDRB de um alvo seria a caracterização integral do seu campo de reflectância. Para isso são necessárias medições da reflectância em todas as possíveis direções fonte-sensor-alvo, mas há uma grande dificuldade para a realização de medidas em

número suficiente para caracterizar de maneira total a FDRB de coberturas vegetais (Kimes, 1983). Adicionalmente, no campo, a medição da irradiância na superfície do alvo não é possível da maneira direta, como proposto por Duggin (1980). Assim, utiliza-se o Fator de Reflectância Bidirecional (FRB), que é o fator de reflectância já explicado, obtido segundo as suposições do modelo e de geometrias de aquisição específicas. As principais suposições são apresentadas a seguir conforme Jackson et al. (1980), Milton (1987) e Nicodemus et al. (1977):

- a - O campo de visada (FOV) do sensor é menor que 20° ;
- b - A placa padrão deve preencher o campo de visada do sensor;
- c - Não deve haver mudança na quantidade ou na distribuição da irradiação entre as medidas de radiância no alvo e na placa;
- d - O fluxo solar direto domina o campo de irradiação, ou seja, a luz difusa é ignorada;
- e - O sensor responde de forma linear às variações no fluxo radiante;
- f - As propriedades de reflectância da placa padrão são conhecidas e invariáveis no decorrer das medições.

A suposição da ausência de contribuição da luz difusa na irradiância do alvo é sempre violada, resultando em medições em campo de fatores de reflectância bidirecional significativamente diferentes do cone alongado do fluxo solar direto. Assim, são recomendadas medições do fluxo solar difuso para obter-se a proporção da luz direta e difusa. Jackson et al. (1980) sugerem medições da FRB do alvo e da placa padrão de referência em condições de iluminação direta e sombreada. Recomenda-se no processo de intercalibração (processo de medição da radiância de uma placa padrão pelos sensores que vão medir a radiância da placa e a radiância do alvo, para o estabelecimento da relação entre as respostas dos dois sensores) a medição do FRB para a placa padrão iluminada (fluxo solar direto e difuso) e sombreada (predominância do fluxo difuso). Subtraindo-se o FRB obtido da medição da placa padrão sombreada do FRB obtido da medição da placa iluminada, tem-se o componente direto da irradiância.

Apresentadas as suposições do modelo de aquisição do FRB e os procedimentos do processo de aquisição, serão abordados os cuidados com a documentação no processo de aquisição dos dados espectrais e biofísicos.

2.2.3 - Métodos espectrais de estimativa dos parâmetros biofísicos de pastagens

2.2.3.1 - Métodos multiespectrais com aquisição estritamente no nadir

Na década de 70, com o advento das técnicas em espectroscopia, iniciou-se o processo de aquisição dos dados espectrais em laboratório e em campo, com os primeiros estudos das interações da REM com coberturas vegetais (Jackson et al., 1980).

Pesquisas básicas em laboratório sobre as propriedades espectro-ópticas de folhas individuais como as realizadas por Gates et al. (1965) Gausman et al. (1973), subsidiaram e viabilizaram as pesquisas iniciais ao nível de campo. Simultaneamente ao desenvolvimento de experimentos empíricos em laboratório e em campo, foram desenvolvidos modelos analíticos sobre a transferência radiativa, primeiramente de folhas individuais e posteriormente para coberturas vegetais. Os estudos se concentraram na análise do relacionamento entre as variáveis espectrais e os parâmetros biofísicos da vegetação, sendo desenvolvidos vários métodos espectrais para a estimação, baseados na análise da interação da REM com as coberturas vegetais.

O espectro da REM incidente que atinge uma cobertura vegetal é "codificado" ou modificado em sua distribuição espectral e angular pelas características biofísicas da cobertura. Da análise da espectrorradiância refletida da cobertura pode-se obter informação sobre as características biofísicas como a biomassa, o conteúdo de água, o índice de área foliar (IAF) e o índice de cobertura (IC) (Tucker, 1973).

A vantagem do método espectral é que este é um método não destrutivo que pode ser aplicado em grandes extensões, podendo ser relacionado a diversos parâmetros biofísicos da vegetação através de índices de vegetação, principalmente na abordagem do problema específico das pastagens com baixa biomassa.

2.2.3.2 - Métodos de extração de informação a partir de análises da distribuição espacial e angular dos dados espectrais

A teoria da transferência radiativa fornece a base matemática para o entendimento e o relacionamento das alterações no sinal do sensor devidas à variabilidade angular e espacial da vegetação e do solo. Existe um grande número de modelos físicos, mecânicos e de transferência radiativa na região do espectro óptico que têm sido utilizados para incrementar o entendimento da dinâmica de espalhamento anisotrópico de coberturas vegetais.

Modelos unidimensionais (variação espacial dos componentes somente no plano vertical) incluem abstrações plano-paralelas (Suits, 1972), modelos aditivos e modelos atmosféricos e de cobertura acoplados (Gerstl e Zardeck, 1985). As variáveis destes modelos incluem índice de área foliar, orientação foliar (assumindo-se propriedades lambertianas) e reflectância do solo (assumindo-se propriedades lambertianas).

Modelos tridimensionais tratam a variação espacial e angular dos componentes da cobertura, incluindo medidas de orientação e densidade foliar (Norman e Wells, 1983). Destes estudos há evidências (Gerstl e Simmer, 1986) de que visadas oblíquas fornecem informação adicional e superior sobre as características das coberturas vegetais, quando comparadas somente à informação obtida na vertical.

A razão convencional para a utilização de visadas oblíquas é o incremento em cobertura espacial e temporal das superfícies (Kimes, 1983). O incremento na frequência de cobertura é sempre desejada em estudos relacionados com aspectos dinâmicos da vegetação. A dificuldade bem como o benefício da utilização de ângulos zenitais de visada (AZV) oblíquos é que o sinal do sensor pode modificar significativamente com a variação do AZV.

Existe um grande número de trabalhos que têm documentado a distribuição da reflectância bidirecional de várias coberturas vegetais e solos como uma função dos ângulos zenitais solar (AZS) e de visada (AZV) (Kirchner et al., 1982; Kimes, 1983). Estes resultados iniciais sugerem que variações na reflectância medidas no plano principal do Sol podem ser utilizadas para inferir sobre as características físicas da cena, como por exemplo a determinação do grau de porcentagem de cobertura em uma cobertura vegetal incompleta.

Medições com AZV oblíquos indicam que a reflectância direcional de coberturas vegetais é muito sensível à estrutura da vegetação, que inclui orientação e densidade foliar e espaçamento entre plantas (Kimes, 1983; 1984a).

Kirchner et al. (1982), Kimes (1983) e Kimes et al. (1984a) sugerem que a análise integrada da distribuição da reflectância direcional do solo exposto e da vegetação, em coberturas vegetais completas e incompletas, têm características únicas de reflexão, que podem ser usadas para distinguir estes diferentes tipos de cobertura.

Foram desenvolvidas e estão sendo testadas várias técnicas para extração da informação a partir de ângulos de visada oblíquos. Li e Strahler (1986) obtiveram informação da distância entre árvores a partir de medidas verticais e oblíquas. Jackson e Pinter Jr. (1986) obtiveram informação sobre o espaça-

mento entre fileiras e altura de culturas agrícolas usando múltiplos ângulos de visada. Goel e Thompson (1984) descreveram a orientação e a densidade foliar usando radiometria em múltiplos ângulos de visada.

Estudos teóricos de Smith e Oliver (1972) indicam que estimativas de biomassa de pastagens podem ser melhor realizadas com medidas obtidas com AZV oblíquos. Este prognóstico é suportado por Bunnik (1978), que demonstrou que, pela visada da vegetação com AZV direcionados no "hot-spot" (na direção direta do pico de retroreflexão), há uma maior sensibilidade da reflectância às alterações na distribuição da orientação foliar. Gerstl (1986) obteve resultados similares para as alterações do tamanho foliar com medidas no "hot-spot". Visto que a distribuição angular da reflectância espectral bidirecional de uma superfície vegetal é função direta de como suas folhas e estruturas projetam sombras no interior da cobertura e no solo, a distribuição angular, sua intensidade e aspecto, são conseqüentemente indicadores da arquitetura da cobertura vegetal. Medições da distribuição de reflectância angular para diferentes culturas, indicam grandes variações entre tipos de cultura, podendo conseqüentemente ser usadas como identificadoras de culturas.

Gerstl et al. (1986) demonstraram a partir de interpretação de fotos aéreas que o pico de intensidade máxima de retroreflexão ("hot-spot") é de fato um discriminador para diferentes espécies de plantas. Enquanto o "hot-spot" é somente um dos aspectos da reflectância angular para superfícies vegetais, espera-se que outros, como o pico de reflexão especular, possam também ser identificados como um aspecto discriminador.

No tocante ao problema da distinção entre a informação da vegetação e do solo em pastagens destacam-se os seguintes trabalhos. Bunnik (1978) demonstrou que, pela observação de uma cobertura vegetal a AZV oblíquos, a influência da reflectância do solo pode ser eliminada e a informação sobre a vegetação deduzida. Demetriades-Shah e Court (1987) concluíram que a concentração de clorofila foliar pode ser melhor estimada a partir de AZV oblíquos, devido à remoção da influência do solo. Assim, AZV oblíquos, quando comparados a AZV na vertical, podem melhorar as inferências sobre densidade foliar ou porcentagem de cobertura. Em adição à melhor informação sobre a estrutura de coberturas vegetais, AZV oblíquos provêm informação sobre o albedo espectral (reflectância hemisférica) de coberturas vegetais e do solo, importantes em estudos dos processos biosféricos e atmosféricos. Kimes e Sellers (1985) analisaram dados de reflectância bidirecional nas regiões do vermelho e do infravermelho próximo para 11 tipos de culturas e demonstraram que erros na inferência do albedo a partir da reflectância obtida em AZV verticais podem ser maiores que 45%. Para as duas bandas um AZV vertical e um AZV oblíquo de 60 graus reduz este erro para menos de 11% para todos os AZS, AAS (ângulo azimutal solar) e tipos de cobertura.

2.2.4 - Revisão dos métodos convencionais de estimativa dos parâmetros biofísicos de pastagens.

2.2.4.1 - Estrutura Geométrica da Vegetação (EGV)

a - Distribuição Angular das Folhas (DAF)

Revisão das Técnicas

As técnicas de medição de DAF incluem métodos de medição direta (ponto quadrático e difração óptica) e medição indireta (medições de frequência de intervalos, por fotografia ou fotocélulas), que podem ser associados à distribuição de inclinação foliar (Smith e Ranson, 1979).

Conforme Ranson et al. (1981), os seguintes problemas comprometem a aplicação de tais técnicas: somente o ângulo de inclinação pode ser medido na prática e assume-se distribuição azimutalmente simétrica; o tempo envolvido na coleta de dados é maior que o período de aquisição de dados espectrais; e a dificuldade de aplicação em coberturas homogêneas densas, como no caso de pastagens. Segundo Kimes (1983) e Kimes e Kirchner (1984), estas técnicas não são adequadas para medição de um ciclo de variação que inclua vários períodos curtos de medição.

Uma técnica mais simples e direta foi descrita por Ranson et al. (1981), que utiliza um círculo graduado em coordenadas polares de referência acoplado a uma bússola e a um clinômetro. Esta técnica é mais prática para a medição do ângulo azimutal (AA) e ângulo zenital (AZ) foliar, pois permite medidas diretas e simultâneas do AA e AZ com uma boa precisão. As medidas são realizadas diretamente no círculo graduado, sendo que o clinômetro deve ser mantido numa inclinação constante no momento da medição do AZ, sendo a leitura do AZ realizado no círculo graduado. A bússola acoplada permite a leitura simultânea do AA. Assim, em vez de dois ajustes com dois aparelhos, faz-se somente um com um único aparelho, minimizando os erros sistemáticos de medição.

b - Índice de Área Foliar (IAF)

O método da relação peso-área foliar

Este método utiliza cópias xerográficas das folhas recortadas em seu perímetro para pesagem e relacionamento peso-área foliar. Uma unidade da folha xerografada de área e peso conhecidos é utilizada como referencial na extrapolação para a área das demais folhas.

Medidor de área foliar

O medidor de área foliar é um aparelho constituído por um sensor óptico que permite a medição direta e automática da área foliar com grande precisão, em laboratório e em campo.

Planimetria

Esta técnica baseia-se na utilização de estações gráficas em micro-computadores equipados com mesas digitalizadoras e programas específicos para o cálculo de áreas a partir da digitalização do seu perímetro. Faz-se a xerografia das folhas de plantas que serão utilizadas para a digitalização dos seus perímetros.

c - Índice de Cobertura (IC)

Técnicas Fotográficas

A estimativa do IC é fundamental na interpretação das medições radiométricas. É necessário medir-se qual proporção da área da cobertura vegetal visada por um radiômetro é de material verde, de material seco e o quanto é de solo exposto. O arranjo espacial e a intensidade das sombras é importante para o entendimento da distribuição espectral e angular da reflectância bidirecional de coberturas vegetais.

A utilização de técnicas fotográficas provém um meio eficiente, de boa exatidão, econômico, de rápida aquisição dos dados e reprodução dos resultados. Adicionalmente, permite a quantificação das relações destes parâmetros "in situ". As fotografias são insubstituíveis na documentação dos padrões gerais de crescimento e vigor das plantas, determinação dos estágios fenológicos de crescimento e da arquitetura da cobertura, além do estado fitossanitário da vegetação. Em alguns casos é possível monitorar a resposta da planta à deficiência hídrica tais como murchamento ou enrolamento da folha, condições que não podem ser facilmente documentadas por outras técnicas de medição.

Segundo Jackson et al. (1980), recomenda-se a utilização de câmeras do tipo SLR ("Single Lens Reflex"), no formato 35mm, operando no modo de ajuste automático de exposição (controle abertura do diafragma e/ou do tempo de exposição), com sistema automático de deslocamento quadro a quadro e rebobinamento do filme ("motor drive").

No processo de aquisição, por motivos de segurança do registro de toda a área amostrada radiometricamente e para minimização da distorção da imagem no processo de projeção, deve-se fotografar uma área maior do que a medida radiometricamente amostrada. Para o controle do local e área amostrada recomenda-se utilizar os mesmos procedimentos utilizados para a aquisição dos dados espectrais. Há uma distorção sistemática do centro para as bordas da foto, quando uma lente com campo de visada (FOV) maior que zero é utilizada. Assim, a objetiva recomendada é a de distância focal de 50mm (correspondente à medida da diagonal do filme, por isso, denominada normal, tendo um comportamento focal semelhante ao do olho humano), por minimizar as distorções do objeto fotografado, conservando suas proporções.

Na projeção dos diapositivos recomenda-se o seguinte procedimento para minimizar as distorções: verificar se o projetor está nivelado na posição horizontal e perpendicular à superfície de projeção, o tamanho da imagem projetada deve ser proporcional às dimensões do diapositivo (35x25mm). O tamanho recomendado é o de 70x50cm. A projeção da imagem deve ser sobre um quadro graduado para o eixo x e y, em intervalos de 1 cm, (ou o recomendado para a precisão desejada), permitindo a medição direta da área de cada um dos componentes da cobertura, já mencionados. Outro cuidado para minimizar a distorção é a utilização somente da parte central da área do diapositivo (já que a área fotografada é maior que a área radiometricamente amostrada), que apresenta menor distorção, desprezando-se as bordas do diapositivo que apresentam sistematicamente uma maior distorção.

Na medição deve-se ter uma classificação prévia dos componentes a serem medidos. Jackson et al. (1980) sugerem para estudos dos aspectos geométricos da cobertura, a identificação das estruturas fotossinteticamente ativas, do material seco e do solo exposto, quanto às condições de iluminação (iluminadas ou sombreadas).

2.2.4.2 - Fitomassa

Análises da dinâmica da fitomassa envolvem necessariamente a caracterização quantitativa dos vários componentes da vegetação. Técnicas para estimação ou medição da fitomassa aérea são básicas para o entendimento e caracterização quantitativa e qualitativa de pastagens.

a - Método do corte

O método consiste no corte, na coleta da fitomassa aérea e na determinação do seu peso (fresco e seco), tendo a vantagem de ser uma medida confiável da vegetação produzida na área amostrada. Este é o único método capaz

de obter tal informação para uma simples amostra. É mais bem adaptado à vegetação uniforme, tais como campos experimentais, onde grande exatidão é necessária. As principais desvantagens deste método são: a lentidão que o torna economicamente inviável para a utilização de um número suficiente de amostras para representar a biomassa da vegetação de grandes áreas. Uma das grandes vantagens deste método é a de permitir a estimativa de parâmetros biofísicos como o teor de água, a proporção de material verde e seco a partir de procedimentos como a separação e o processamento dos constituintes da planta e sua secagem.

Tais parâmetros são obtidos a partir da separação da fitomassa aérea quanto a suas diferenças estruturais (folhas, colmos) e funcionais (folhas verdes fotossinteticamente ativas), folhas secas, colmos verdes (funcionalmente ativos no transporte de seiva bruta e elaborada) e colmos secos. Após a separação é feita a pesagem de cada um dos constituintes da planta, para a estimativa do peso fresco. O material é então colocado em estufas ventiladas por 48 horas a 75^o C, para a secagem e posterior pesagem para a estimativa do peso seco. A partir do peso verde e do peso seco estima-se o teor de água em cada um dos constituintes da planta.

2.2.4.3 - Substrato e solo subjacente

As técnicas mais utilizadas para estimativa de parâmetros do substrato e solo subjacente são as de descrição morfológica de perfis do solo e de caracterização analítica de perfis descritas pelo "Manual de descrição e coleta de solo no campo", editado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (Lemos e Santos, 1984).

2.3 - Fatores controladores do comportamento espectral de pastagens

O entendimento da interação entre a REM e os vários tipos de superfícies terrestres é necessário para o desenvolvimento de métodos quantitativos de extração de informação. Métodos de extração de informação das superfícies vegetais por sensoriamento remoto baseiam-se na análise da distribuição espectral e angular da REM sobre tais coberturas. Conforme NASA (1990), a distribuição espectral é determinada, principalmente pelas propriedades ópticas dos constituintes da cobertura. A distribuição angular é dependente principalmente das características estruturais da vegetação e da geometria de aquisição.

Para o desenvolvimento de métodos de extração de informação que explorem a distribuição espectral e angular da reflectância da vegetação, é

necessário o entendimento dos mecanismos físicos da transferência radiativa para os vários comprimentos de onda como uma função de:

- a- A estrutura geométrica da vegetação, que é importante informação usada para discriminar e classificar várias formas e funções de coberturas vegetais;
- b- As propriedades ópticas das coberturas vegetais e do solo subjacente que fornecem informações da sua composição química e estrutura física.
- c- A geometria de aquisição, que determina a resposta espectral de alvos altamente anisotrópicos como o complexo vegetação-solo em pastagens.

A seguir analisa-se separadamente cada um dos fatores biofísicos que controlam o comportamento espectral de pastagens.

2.3.1 - Estrutura Geométrica da Vegetação

A Estrutura Geométrica da Vegetação (EGV) é o maior determinante da distribuição angular da REM em coberturas vegetais (Kimes e Kirchner, 1984). A EGV pode ser descrita quantitativamente por parâmetros biofísicos como a distribuição das plantas no terreno, o Índice de Área Foliar (IAF), o Índice de Cobertura (IC) e a Função de Distribuição Angular das Folhas (DAF).

Tais parâmetros variam espacialmente e temporalmente de acordo com o tipo de vegetação, o estágio de desenvolvimento e as condições da vegetação. Para gramíneas, podem ocorrer mudanças significativas na DAF no decorrer do dia, devido a fatores como movimentos heliotrópicos das folhas, condições ambientais (p.ex. vento), e condições fitossanitárias (estresse, doenças) (Kimes, 1984).

A EGV é muito complexa, heterogênea e transiente, o que dificulta grandemente sua medição e quantificação. Curran e Wardley (1988) desenvolveram o Índice de Área Foliar Radiométrico (IAFR) a partir de medições do Índice de Área Foliar (IAF), inclinação foliar e área da cobertura visível para o sensor. O índice foi avaliado experimentalmente em laboratório e teoricamente através da simulação de modelos, sendo sensível à EGV, mas, como o IAF, não forneceu boas estimativas na quantificação da biomassa. Tal fato demonstrou que o IAFR não oferecia grande vantagem sobre o IAF para medições da quantidade de vegetação, mostrando a necessidade da formulação de índices mais complexos e exatos.

As relações existentes entre a EGV e suas propriedades ópticas têm sido estudadas experimentalmente através de estudos em espectroscopia de campo (Pinter Junior et al., 1985; Jackson e Pinter Junior, 1986; Kimes, 1983) e teoricamente através de simulação de modelos (Suits, 1972; Smith e Oliver, 1972; Kimes, 1984; Kimes et al., 1985; Guyot, 1984), tendo-se comprovado que é o fator mais responsável pela distribuição angular da reflectância bidirecional.

Apresenta-se a seguir uma análise de cada parâmetro que caracteriza a EGV das coberturas vegetais.

a - DAF (Distribuição Angular das Folhas)

A DAF é um dos principais fatores que caracterizam a arquitetura das coberturas vegetais, pois descreve como as folhas (unidades individuais de espalhamento e/ou emissão) estão posicionadas no dossel (Verhoef e Bunnik, 1981; Guyot et al., 1989).

Pequenas variações na DAF podem resultar em grandes alterações na composição espectral da reflectância (Knipling, 1970a; Colwell, 1974a), na magnitude da reflectância da cobertura (Verhoef e Bunnik, 1981) e na distribuição angular da reflectância bidirecional (Kimes, 1983; Kimes et al., 1984a; Guyot, 1984; Guyot et al., 1989).

Kimes (1984) e Ranson e Daughtry (1987), classificaram as coberturas vegetais quanto à frequência dos ângulos de inclinação das folhas em planófilas (folhas horizontais mais freqüentes), erectófilas (folhas verticais mais freqüentes), plagiófilas (folhas oblíquas mais freqüentes), extremófilas (folhas oblíquas menos freqüentes) e esféricas (ângulos foliares similares àqueles encontrados na superfície de uma esfera).

Esta classificação tem sido útil na descrição e determinação das relações entre inclinação foliar e tipo de vegetação, na absorção e na reflexão da radiação (Bunnik, 1978; Ranson et al., 1981; Kimes e Kirchner, 1984).

Os poucos estudos de DAF existentes reportam o Ângulo Azimutal (AA) separado do Ângulo Zenital (AZ). Para a aplicação em estudos de sensoriamento remoto, a representação separada é errônea, porque a verdadeira orientação de cada folha individualmente é perdida. A orientação da unidade individual de reflexão e sua distribuição coletiva tri-dimensional é que são importantes para o entendimento da influência da arquitetura na FDRB (Kimes e Kirchner, 1983).

b - IAF (Índice de Área Foliar)

O IAF corresponde à área foliar existente em relação à superfície ocupada pela planta ou comunidade vegetal. Ela mede a densidade de área foliar, que é dependente da capacidade da vegetação de interceptar a REM (Curran, 1981). O IAF e o DAF se complementam na descrição da interceptação da REM pela vegetação, permitindo a inferência de outros parâmetros da vegetação como a fitomassa e a produtividade, de ampla aplicação no estudo e manejo do agroecossistema pastagem.

b.1 - A natureza assintótica da reflectância da vegetação

Quando se sobrepõem várias camadas de folhas ocorrem aumentos (em comparação com a reflectância de uma folha individualmente) nos níveis de reflectância nas faixas espectrais do IVP e VIS, até que se atinja um valor estável máximo, denominado de "Reflectância Infinita (R_{∞})" (Allen e Richardson, 1968). Assim, classifica-se a reflectância de folhas em função da superposição das camadas de folhas como assintótica, ou seja, o efeito da adição de mais camadas de folhas é cada vez menor à medida em que se sobrepõem mais camadas, até atingir um limite (R_{∞}), onde a adição de mais camadas não altera a reflectância.

A natureza assintótica da reflectância da vegetação quanto à superposição de camadas foliares influencia a medição do IAF de coberturas vegetais. A variação da reflectância de gramíneas em pastagens é diretamente proporcional ao incremento do IAF no IVP e inversamente proporcional no VIS, atingindo para o VIS um limite do IAF de aproximadamente 4 e para o IVP um limite tendendo a IAF igual a 10 (Colwell, 1974a).

Kimes (1984) analisou a reflectância direcional de coberturas vegetais completas com valores similares de IAF, mas diferentes distribuições de orientação foliar e demonstrou que essas coberturas têm diferentes padrões de distribuição da reflectância.

c - IC (Índice de Cobertura)

O IC da vegetação representa a porcentagem de área do solo efetivamente coberto pela vegetação (usualmente quando $AZV = 0$). O IC pode ser desmembrado em cobertura verde, fotossinteticamente ativa e de importância no padrão de reflexão da vegetação, e em cobertura não verde, geralmente de menor importância no sensoriamento remoto da radiação refletida.

Colwell (1974a), através de medidas radiométricas no AZS (Ângulo Zenital Solar) de 40° , AAV de 180° (contra o Sol) e AZV de 0° , demonstrou o efeito da variação do IC para gramíneas: para coberturas vegetais com solo de tons claros, a reflectância bidirecional no vermelho diminuiu de 20% em IC = 10% para 2,5% em IC = 80%. A correspondente reflectância no IVP aumentou de 26% para 43%. Na mesma geometria de aquisição anterior, a reflectância bidirecional no vermelho foi insensível para variações de IC acima de 70%. A reflectância no IVP foi sensível para valores de IC superiores aos encontrados para o vermelho.

A maior sensibilidade no IVP deve-se ao espalhamento múltiplo entre as camadas da cobertura, que contribuem para um aumento no IVP potencialmente maior do que para qualquer componente individual. Para o autor, o espalhamento múltiplo deve-se aos maiores valores de transmitância e reflectância foliar do IVP em relação ao V.

d - Sombra

Embora o fator sombra seja uma consequência da EGV e da geometria de aquisição dos dados espectrais, dada a sua importância e complexidade abordar-se-á este tema isoladamente nesta seção. Uma análise conjunta com outros fatores será apresentada no ítem 2.3.3-Geometria de Aquisição".

O padrão espacial, a quantidade e a intensidade de sombras em uma cobertura vegetal são importantes fatores que determinam a distribuição espectral e angular da reflectância de coberturas vegetais, principalmente para a interpretação de dados adquiridos em diferentes geometrias de visada (Colwell, 1974a; Ranson e Daughtry, 1987; Curran e Wardley, 1988).

O padrão espacial de sombras é determinado pela DAF, pelo padrão espacial da vegetação no terreno e pela geometria de iluminação (Kimes, 1983). A quantidade de sombras é um produto do IC e da geometria de aquisição. A intensidade de sombras é função da transmitância foliar, do IAF, afetando distintamente os diferentes comprimentos de onda, complicando a comparação de dados da reflectância bidirecional coletados em diferentes geometrias de aquisição (Curran, 1981).

Colwell (1974b) mediu a reflectância bidirecional na faixa do vermelho de gramíneas com 100% de cobertura. As medidas foram obtidas no AZV = 30° na direção do Sol (AAV = 0°) e na direção contrária ao Sol (AAV = 180°). Medidas da reflectância no AAV = 180° foram 50% superiores em magnitude em relação às obtidas na direção do Sol. O autor atribuiu este incremento à variação no padrão espacial e intensidade das sombras.

A intensidade da sombra ou a relativa "escuridão" é dependente do comprimento de onda. A reflectância efetiva de uma folha iluminada pela REM transmitida por outra folha próxima é um produto da transmitância e da reflectância foliar, ignorando-se contribuições da REM difusa e outras fontes. A reflectância efetiva de folhas de gramíneas sombreadas é 20% no IVP e 0.25% no vermelho e a razão da reflectância efetiva de folhas iluminadas para as folhas sombreadas foi de 2 para o IVP e de 20 para o visível. Como consequência o efeito da variação da intensidade de sombreadamento é muito maior na faixa espectral do vermelho do que no IVP (Colwell, 1974b).

Segundo Ranson e Daughtry (1987), a irradiância difusa incidente pode alterar a intensidade de sombreadamento, assim como a reflectância refletida pelos objetos ao redor podem alterar a reflectância do objeto sombreado. Se a fonte de radiação incidente em uma folha sombreada for outras folhas, a contribuição relativa do IVP será maior que no vermelho.

Usando dados do sensor NOAA/AVHRR ("Advanced Very High-Resolution Radiometer") corrigidos para os efeitos atmosféricos os autores observaram que a contribuição das sombras na cena foi um importante fator na variação sistemática da reflectância observada na cena em função da geometria de visada.

Ranson e Daughtry (1987) examinaram, para o Bálamo (*Abis balsamus*), o comportamento da reflectância espectral e dos índices de vegetação "razão simples" e "diferença normalizada" em função da variação da quantidade e distribuição das sombras. Uma plataforma rotativa com diferentes fundos (grama, placa branca e placa preta) possibilitou a variação da geometria de aquisição e consequentemente do padrão espacial. Para a variação da intensidade de sombra, as mudas de Bálamo foram dispostas equidistantemente, em ICs que variaram de 44, 70 e 90%. Os autores concluíram que a reflectância espectral no vermelho e no IVP decresce com o aumento da quantidade de sombras na cena, enquanto a "diferença normalizada" aumenta. Para maiores IC o índice "diferença normalizada" atinge a saturação (assíntota) e o incremento observado anteriormente se reduz. O índice "Greenness" foi menos afetado pela variação na quantidade de sombras. Em geral, as variações na resposta espectral decrescem quando o IC aumenta.

2.3.2 - Propriedades ópticas dos constituintes da vegetação e do solo

Na vegetação herbácea, as folhas são os elementos estruturais que têm o papel mais importante no comportamento espectral da cobertura vegetal. As folhas são a unidade funcional na complexa interação com a REM, como co-

letores de luz apresentam pigmentos e adaptações anatômicas que otimizam a interceptação da radiação para a fotossíntese, resultando em um padrão próprio de comportamento espectral (Valeriano, 1988).

Segundo Tucker (1973), a REM incidente interage com as folhas resultando em três distintos estados da energia: a absorção, a reflexão e a transmissão.

Conforme Knipling (1970a), os estados energéticos são determinados pelos seguintes processos:

a - Reflexão:

- Reflexão especular pela cutícula e espalhamento pela epiderme superior.
- Reflexão difusa dada pela penetração da REM no interior da folha de modo difuso a partir da epiderme superior e seu retorno pelo mesmo lado.

A reflexão especular e o espalhamento pela epiderme superior não envolvem interações dependentes do comprimento de onda da REM, que retorna integralmente por estes processos, levando pouca informação acerca da folha. Embora sejam limitados em informação acerca da estrutura e estado interno da folha, são importantes em estudos da distribuição angular da reflectância bidirecional, pois trazem informação sobre a arquitetura da cobertura vegetal, sendo um aspecto característico da reflectância angular desta (Simmer e Gerstl, 1985).

A reflexão difusa é a radiação retornante que sofre espalhamentos múltiplos no interior da célula vegetal, portando informações sobre a estrutura e o estado da folha, sendo o objeto principal do sensoriamento remoto da vegetação (Valeriano, 1988).

b - Transmissão

É a radiação que penetra na folha e, difusamente, atravessa-a, emergindo pelo lado oposto.

c - Absorção

É a radiação que penetra na folha e é seletivamente absorvida. A RFA (Radiação Fotossinteticamente Ativa) é fortemente absorvida devido à

ação dos mecanismos de espalhamento múltiplo, que também faz com que os demais comprimentos de onda sejam refletidos ou transmitidos.

Desprezando-se as interações na parte externa da folha, a reflexão difusa, a transmitância difusa e a absorção abrangem todas as possibilidades de interação para a radiação que penetra na folha (a radiação incidente ou irradiância).

A razão da reflexão difusa, da transmissão difusa e da absorção pela irradiância, resulta em índices denominados respectivamente, reflectância, transmitância e absorbância (Gausman et al., 1973). A reflectância é o parâmetro de maior interesse para o sensorimento remoto, pois independe do fluxo incidente, sendo uma característica do material observado.

2.3.2.1 - Os fatores biofísicos que controlam as propriedades espectro-ópticas das folhas

a - O comportamento da reflectância da vegetação e do solo

A interação espectral da REM relacionada às propriedades espectro-ópticas da composição e estrutura foliar tem sido amplamente investigada, destacando-se os trabalhos de Gates et al. (1965), Gausman et al. (1973), Knipling (1970a) e Kumar (1972). Os comportamentos espectro-ópticos nas regiões do visível (VIS), infravermelho próximo (IVP) e infravermelho médio (IVM) são os mais analisadas pelos autores. O intervalo entre 0,4 a 2,6 μm tem recebido maior atenção devido principalmente ao fato de que aproximadamente 90% da irradiância ocorre nesta região (Knipling, 1970b) e à disponibilidade de equipamentos comerciais sensíveis a esta região (Tucker e Sellers, 1986). As características espectro-ópticas de uma folha no intervalo entre 0,4 a 2,6 μm podem ser divididas em 2 regiões, controladas por diferentes características foliares (Figura 2.1).

b - Interações no visível (0,4-0,7 μm)

Nesta região, aproximadamente 60% da irradiância é absorvida pelos pigmentos fotossintetizantes. A reflectância varia de valores nulos até aproximadamente 25%. O espectro de transmitância acompanha o comportamento do espectro de reflectância, apresentando diferenças apenas devido aos mecanismos dependentes da estrutura foliar.

Para as monocotiledôneas como as gramíneas, que apresentam mesófilos compactos (com pouca diferenciação no parênquima e reduzido espaço intercelular), há uma maior transmitância, uma vez eles apresentam pouca

superfície de contato entre o ar dos espaços intercelulares e as paredes celulares, o que resulta em uma menor frequência da mudança de trajetória da RFA (Knipling, 1970a). Para dicotiledôneas que apresentam mesófilos dorsiventrals (constituídos de parênquima paliçádico (células colunares e alinhadas verticalmente) e lacunoso (células de formas irregulares com grandes espaços vazios entre si)), há uma maior reflectância, pois a predominância do parênquima lacunoso tende a refletir mais do que transmitir a REM incidente, pela intensificação dos mecanismos de espalhamentos múltiplos.

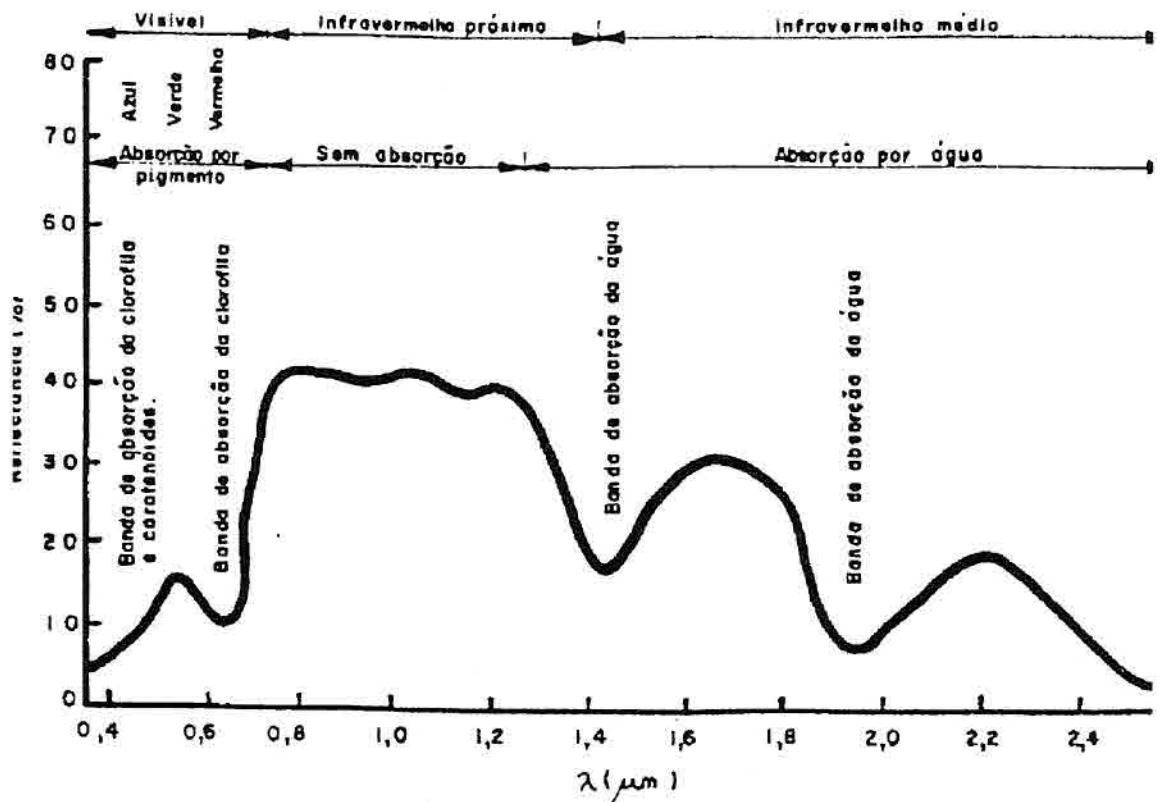


Fig. 2.1 - Comportamento espectral de uma folha normal.

FONTE: Kumar (1972) adaptada por Valeriano (1988)

c - Interações no Infravermelho Próximo - IVP (0,7-1,3 μm)

Nesta faixa a inexistência de pigmentos que absorvam a REM, permite o predomínio do mecanismo de espalhamento múltiplo da folha, resultando em uma baixa absorção (5 a 10%), sendo o restante dividido entre a reflectância

e a transmitância, em proporções variáveis em função do tipo de estrutura do mesófilo, sua espessura e teor de água.

Os mesófilos compactos (típico das monocotiledôneas e da vegetação de ambientes xéricos) das gramíneas favorecem a transmitância e os mesófilos dorsiventrais (típico das dicotiledôneas e vegetação de ambientes méxicos) favorecem a reflectância. O teor de água favorece a absorção do IVP, uma vez que a água é capaz de absorver nesta faixa do espectro. O aumento da espessura da folha induz à redução da transmitância, sem necessariamente afetar a reflectância.

d - Propriedades espectro-ópticas do solo

As propriedades ópticas do solo dependem de sua composição mineral, teor de matéria orgânica e de umidade.

O solo tem uma reflectância maior que a vegetação no VIS e no IVM (exceto para solos com alto teor de óxidos de ferro, matéria orgânica ou umidade) e menor reflectância no IVP.

A reflectância do solo subjacente afeta grandemente o comportamento espectral da vegetação. Colwell (1974b) encontrou para uma cobertura de gramíneas com 40% de cobertura vegetal e solo de tonalidade clara, uma reflectância de 9% no vermelho, enquanto outra com equivalente IC e com solo de tonalidade escura, uma reflectância de 3,2%. O autor reportou que a reflectância espectral no vermelho correlaciona-se negativamente com o IC, quando as gramíneas estão sobre solos de tonalidades claras e não encontrou correlação significativa com o vermelho para variações no IC quando as gramíneas estão sob solos de tonalidades escuras. O IVP correlaciona-se positivamente para qualquer tipo de solo subjacente, pois a reflectância da vegetação nesta faixa é maior do que a do solo.

Foram discutidas as relações entre a estrutura e a função foliar e como estas determinam as características de reflectância espectral e angular de coberturas vegetais. Verificou-se o comportamento espectral do solo subjacente e como este interfere nos estudos da vegetação. Apresenta-se a seguir como estas relações são usadas para inferência e extração de informação sobre as características de coberturas vegetais e como determinam as bandas espectrais utilizadas no sensoriamento remoto da vegetação.

e - Seleção de bandas espectrais para estudos da vegetação

Estudos de sensoriamento remoto da vegetação normalmente utilizam comprimentos de onda especificamente selecionados para prover informa-

ção sobre características biofísicas da vegetação a partir da radiância espectral desta. Estas regiões espectrais de comprimentos de onda específicos são selecionadas por apresentarem um forte sinal da vegetação e também por apresentarem contraste espectral com a maioria dos materiais subjacentes de uma cena de coberturas vegetais (Tucker e Sellers, 1986).

A consideração primária na seleção de bandas espectrais para os sensores é a de que uma forte diferença na reflectância da vegetação com o material subjacente deve ocorrer (Tucker, 1977). Sem um forte contraste espectral a informação da vegetação é degradada ou confundida com a informação de outros materiais presentes na cena.

Para estudos da vegetação, cinco regiões primárias e duas de transição têm sido propostas entre a região espectral de $0,4-2,5 \mu\text{m}$, onde diferenças nas propriedades ópticas das folhas (reflexão e absorção) e propriedades ópticas do material subjacente controlam a reflectância espectral das coberturas vegetais (Tucker, 1973). Estas sete regiões apresentam variações no contraste espectral, seja por diferenças no material subjacente presente, pela variação na densidade da cobertura (ex.: maior contraste para coberturas completas, menor contraste para coberturas incompletas), pela variação do AZS e AZV.

As regiões espectrais selecionadas e as respectivas interações com a vegetação e o solo subjacente são:

- a) $0,4-0,5 \mu\text{m}$ - forte absorção espectral pela clorofila e carotenóides;
- b) $0,5-0,6 \mu\text{m}$ - baixos níveis de absorção pela clorofila;
- c) $0,62-0,7 \mu\text{m}$ - forte absorção pela clorofila;
- d) $0,70-0,72 \mu\text{m}$ - queda da forte absorção pela clorofila;
- e) $0,74-1,1 \mu\text{m}$ - absorção mínima pela clorofila e alta reflexão resultante dos mecanismos de espalhamento foliar;
- f) $1,1-1,3 \mu\text{m}$ - aumento do coeficiente de absorção da água líquida de 0 para $1,1 \mu\text{m}$ a 4 para $1,3 \mu\text{m}$;
- g) $1,3-2,5 \mu\text{m}$ - absorção pela água líquida.

Variações na reflectância espectral do material subjacente podem aumentar ou diminuir o contraste espectral e desviar estes intervalos generalizados (Colwell, 1974a; Huete et al., 1985).

Para coberturas vegetais completas, com alta biomassa fotosinteticamente ativa e índice de cobertura, na região entre 0,4-0,7 μm o forte contraste espectral usualmente ocorre no intervalo entre 0,62-0,68 μm , sendo utilizada para inferências sobre o grau de absorção pelas clorofilas. Entretanto, para coberturas vegetais incompletas e com baixos índices de cobertura, a reflexão do solo é dominante, ocorrendo um baixo contraste espectral, comprometendo a utilização deste intervalo espectral para estudos deste tipo de cobertura.

Na região de 0,74-1,1 μm , a faixa espectral entre 0,79-0,90 μm é usualmente escolhida para evitar a absorção atmosférica. Para coberturas vegetais completas e com alto IAF (índice de área foliar) há uma maior reflexão da vegetação em relação ao solo, resultando em um forte contraste espectral. Para coberturas vegetais esparsas ou incompletas, o contraste é menor, embora não tão crítico quanto na faixa do vermelho. Entre 1,3 e 2,5 μm , os intervalos usualmente selecionados para inferências quanto à absorção pela água líquida na cobertura vegetal são entre 1,55-1,75 μm e 2,1-2,3 μm , também baseados na consideração da absorção atmosférica pelo vapor d'água, no contraste espectral entre o material de fundo e o conteúdo de água foliar. Para coberturas vegetais incompletas, a umidade do solo pode interferir nas estimativas de conteúdo de água foliar, devido à resposta do solo ser maior nesta faixa.

Estudos de sensoriamento remoto da vegetação utilizam a radiação espectral das regiões 0,4-0,7; 0,74-1,1 e 1,3-2,5 μm para inferências sobre as propriedades relacionadas à absorção pelos pigmentos fotossintéticos, à densidade foliar projetada e ao conteúdo de água foliar. Entretanto, a absorção pelos pigmentos é altamente relacionada ao conteúdo de água foliar, sendo a informação na região 1,3-2,5 μm inferida a partir da resposta na região de 0,4-0,7 μm . Assim, usualmente apenas duas regiões espectrais são utilizadas para estimar as propriedades biofísicas da vegetação: a faixa do vermelho (0,6-0,7 μm) e a do infravermelho próximo (0,75-1,1 μm). Das medições nestas duas faixas espectrais pode ser feita a razão ou a combinação por diferenças normalizadas da irradiância espectral solar, enquanto provêm informação espectral não destrutiva sobre o grau de absorção e a reflexão que ocorre na vegetação.

Entretanto, para coberturas vegetais incompletas e com baixo IAF, o baixo contraste espectral entre a vegetação e o solo subjacente apresentados nestas duas faixas, principalmente na faixa do vermelho, impede a segura utilização destes índices para estimativas de parâmetros biométricos da vegetação. Por exemplo, a discriminação da biomassa foliar é extremamente dependente do contraste na reflectância espectral do complexo solo-vegetação (Colwell, 1974a).

2.3.3 - Geometria de aquisição

Para a análise da resposta espectral bidirecional da vegetação em função da geometria de aquisição dos dados espectrais, é fundamental o conhecimento da dinâmica da reflectância bidirecional de coberturas vegetais.

2.3.3.1 - A Dinâmica da Reflectância Bidirecional de coberturas vegetais

A aplicação de métodos quantitativos que explorem a variabilidade angular dos dados espectrais para a extração de informação sobre as características físicas das cenas com vegetação e solo depende fundamentalmente do entendimento dos mecanismos físicos que determinam a distribuição de reflectância direcional do complexo vegetação-solo subjacente (Kimes et al., 1984a; Kimes et al., 1985; Gerstl e Simmer, 1986).

Os fatores de distribuição da reflectância bidirecional que cobrem inteiramente o hemisfério de reflexão como uma função do AZS, AAS, AZV e AAV, são usados para caracterizar rigorosamente a radiação refletida por uma cobertura vegetal (Kimes et al., 1985).

Medidas da distribuição do fator de reflectância bidirecional são a melhor aproximação possível para representar a Função de Distribuição de Reflectância Bidirecional (FDRB) que pode ser obtida em campo (Kimes et al., 1984). O fator de reflectância é obtido pela razão entre o fluxo refletido pela superfície na direção do campo de visada do sensor e o fluxo refletido por uma superfície lambertiana na direção do campo de visada do sensor.

Kimes (1983) obteve medidas de fatores de reflectância bidirecional nas faixas do vermelho (0,58-0,68 μm) e infravermelho próximo (0,73-1,1 μm), para todo o hemisfério de reflexão, nas geometrias de aquisição demonstradas nas figuras 2.2 e 2.3, em coberturas vegetais completas e incompletas e para o solo exposto. A partir destas medidas empíricas com radiometria de campo e dados obtidos por simulação de modelos de transferência radiativa, analisou a dinâmica do fator de reflectância bidirecional como uma função da estrutura geométrica da cena, geometria de aquisição e propriedades ópticas da vegetação e do solo, propondo os mecanismos físicos que determinam a dinâmica analisada. Os principais mecanismos físicos envolvidos na dinâmica de coberturas vegetais completas e incompletas constituídas por gramíneas e solo exposto, são apresentados a seguir no âmbito das interações que determinam a influência da geometria de visada na relação entre os dados espectrais e os parâmetros biofísicos.

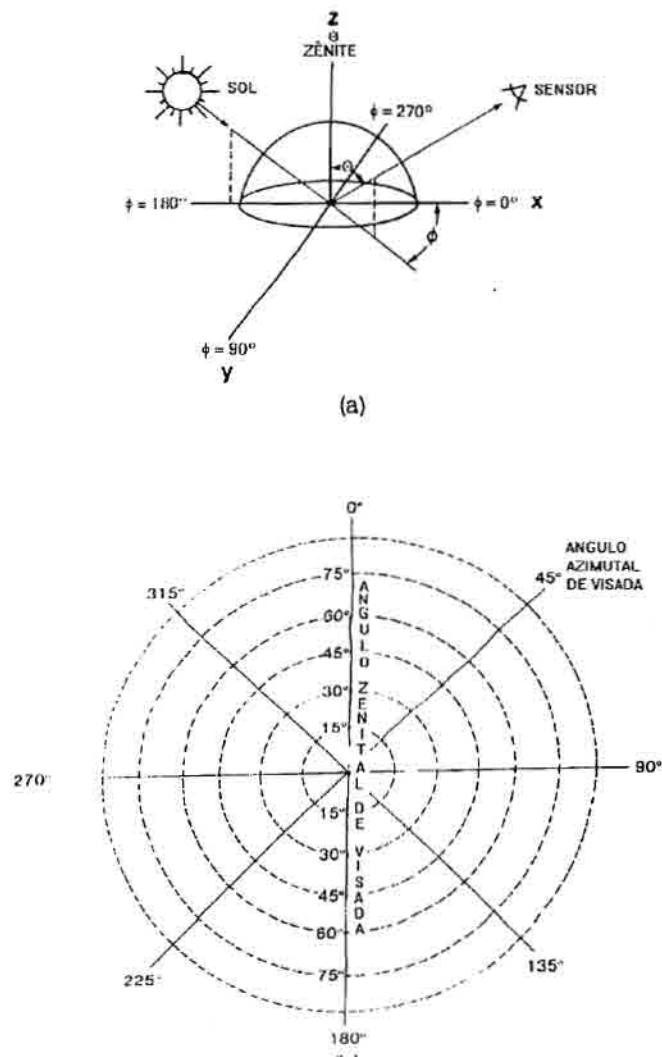


Fig. 2.2 - (a) Sistema de coordenadas definindo as convenções adotadas para a representação da geometria de aquisição; (b) Gráfico de coordenadas polares definindo o esquema de representação dos fatores de reflectância: o azimute solar (AAS) é sempre 180° ; o AAV e o AZV são representados como ϕ e θ , respectivamente. Um sensor com um AAV de 0° visa em direção ao Sol. AAV de 0° e 180° representam "forward scattering" e "backscattering", respectivamente. Os fatores de reflectância direcionais espectrais são plotados em um gráfico polar onde a distância da origem representa o AAV e o $AZV = 0^{\circ}$ está representado no centro do gráfico. Os pontos mostram as medidas direcionais plotadas. Linhas de igual reflectância foram contornadas como apresentado na figura 2.4.

FONTE: Kimes (1983), p.1365.

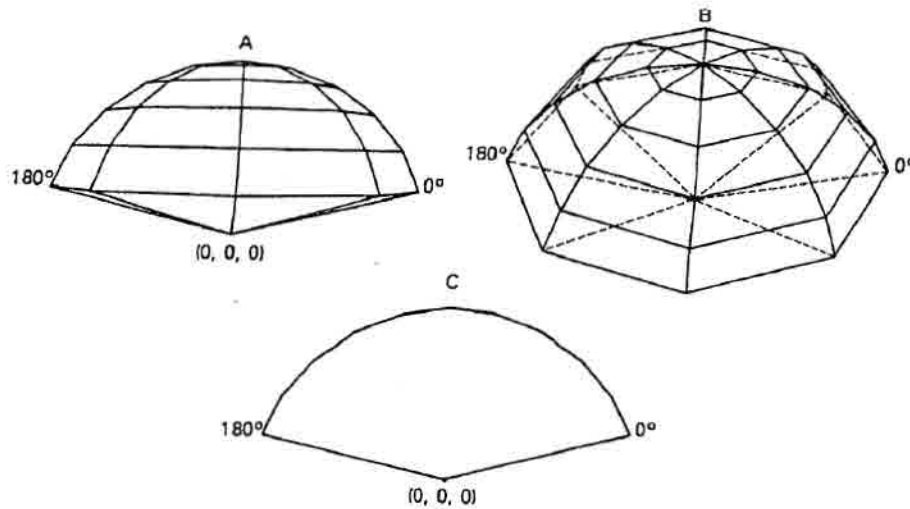


Fig. 2.3 - Gráficos tri-dimensionais da distribuição do fator de reflectância bidirecional de uma superfície lambertiana com os intervalos direcionais utilizados no estudo. O sistema de coordenadas está representado na figura 2.2. O comprimento (extensão) de qualquer vetor medido a partir da origem para a superfície de distribuição representa a magnitude relativa do fator de reflectância na direção daquele vetor. Os três gráficos representam diferentes projeções : (a) uma projeção horizontal do plano X-Z, onde o eixo X é o AA de 0° ; (b) uma rotação de 45° na projeção "a" sobre o eixo X; (c) um corte no plano principal do sol (plano X-Z). Notar que no contexto deste estudo, um AZV de 90° não foi medido. Assim, em todos os gráficos tri-dimensionais os dados são plotados parcialmente para AZV até 75° .

FONTE: Kimes (1983) P.1365

a - Coberturas vegetais completas:

a.1 - Interações na banda do vermelho (0,58-0,68 μm)

a.1.1 - Variações zenitais

Nesta faixa do visível as folhas absorvem a maioria da radiação incidente (Allen et al., 1969). Assim, para coberturas vegetais completas (homogêneas) com alta biomassa fotossinteticamente ativa (480 g/m^2) há pouco efeito do solo no sinal do sensor. Em geral, o fator de reflectância aumenta com o aumento do AZV para todos os ângulos zenitais e azimutais de iluminação (Figuras 2.4 e 2.5). Este fenômeno deve-se ao efeito geométrico da estrutura da vegetação, conhecido como "efeito 1" (Kirchner et al., 1982; Eaton e Dirmhim, 1979; Egbert e Ulaby, 1972; Kriebel, 1978; Ranson et al., 1986).

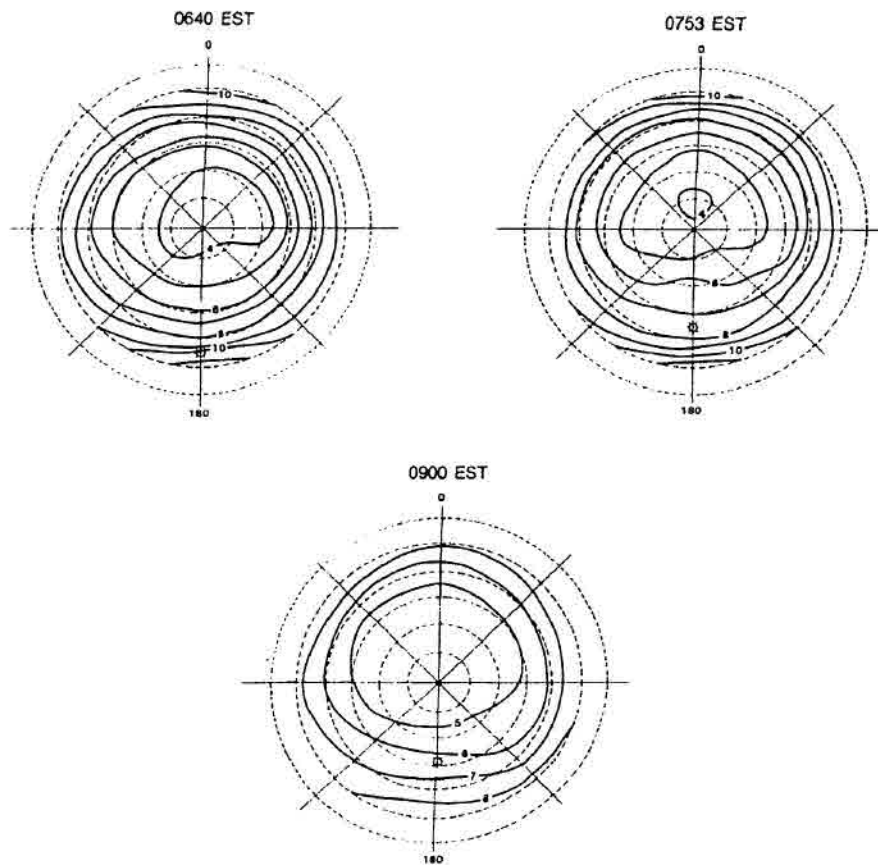


Fig. 2.4 - Gráficos polares da reflectância bidirecional (%) na banda do visível ($0,58-0,68 \mu\text{m}$) para cobertura completa de gramíneas. O sistema de coordenadas polares está descrito na figura 2.2. O AAS está representado sempre como um círculo em cada gráfico e o tempo padronizado também é indicado. AZS ($0540 \text{ EST} = 70^\circ$, $0753 \text{ EST} = 56^\circ$, $0900 \text{ EST} = 42^\circ$)

FONTE: Kimes (1983) p. 1367.

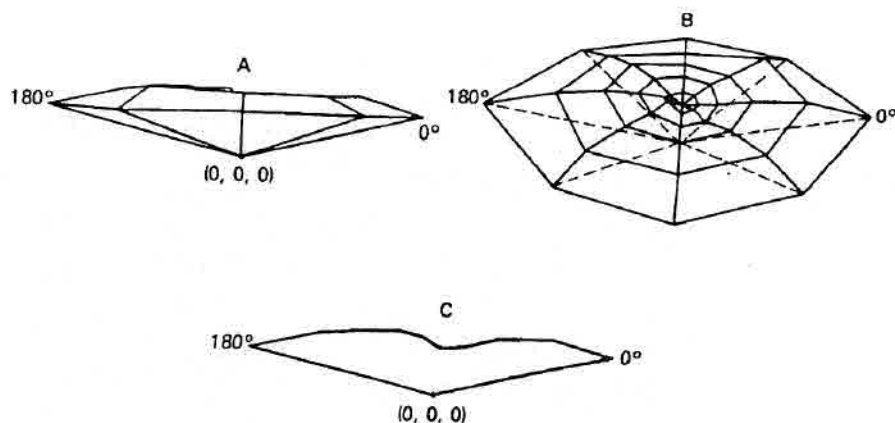


Fig. 2.5 - Gráficos tri-dimensionais da reflectância bidirecional (%) na banda do visível ($0,58-0,68 \mu\text{m}$) para cobertura de gramíneas na fig. 2.4 (AZS = 70°).

FONTE: Kimes (1983) p. 1637.

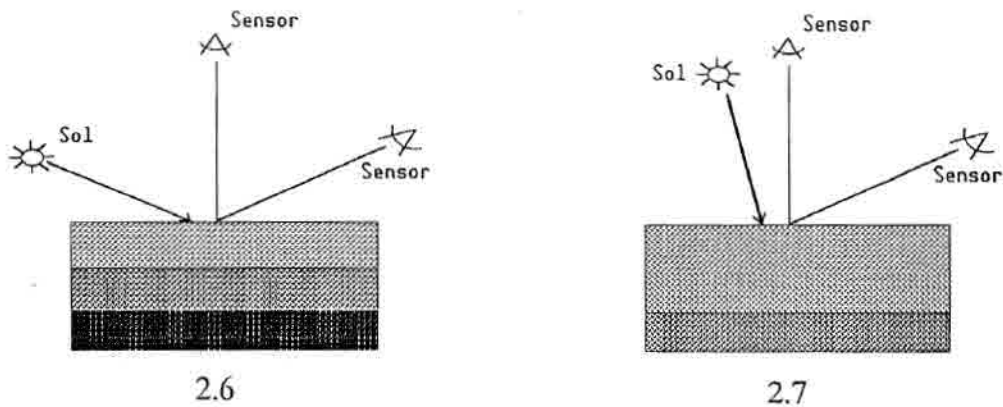
Segundo Kimes (1983) "o efeito 1" é primariamente causado pelo sombreamento das camadas inferiores da cobertura vegetal pelos componentes das camadas superiores e pela visada de diferentes proporções dos componentes das camadas com a variação do ângulo zenital de visada. Os princípios envolvidos são explicados mais rigorosamente a seguir, segundo este mesmo autor.

Considerando-se uma cobertura homogênea abstrata qualquer, com múltiplas camadas de igual geometria, densidade e propriedades ópticas foliares, a probabilidade de descontinuidades ("gaps") para qualquer camada geralmente decresce quando o AZV aumenta. Além disso, para qualquer particular direção de visada, a probabilidade de descontinuidades ("gaps") diminui com o aumento da profundidade dentro da cobertura. Estes fenômenos são o resultado direto da estrutura geométrica da cobertura (Kimes, 1983; Kimes et al., 1985) (Figura 2.6).

Para todas as condições de irradiância, esta estrutura causa o espalhamento máximo do fluxo solar a partir dos componentes do topo da cobertura, decrescendo a um mínimo para as camadas inferiores da cobertura. Adicionalmente, há um decréscimo na proporção dos componentes visados para uma dada profundidade da cobertura com o aumento do ângulo zenital de visada (Kimes et al., 1985).

Assim, a radiância refletida pelos componentes vegetais (excluindo a contribuição do solo) aumenta com o aumento do ângulo zenital de visada, porque no campo de visada instantâneo do sensor, a proporção de componentes da camada superior, que reflete a grande quantidade do fluxo solar, aumenta e a proporção de componentes das camadas inferiores, que refletem uma pequena quantidade do fluxo solar, decresce. Dessa maneira, o mínimo da reflectância ocorre próximo ao $AZV = 0^{\circ}$. O "efeito 1" é diretamente proporcional ao AZS, sendo maximizado para maiores AZS e minimizado para menores AZS.

Para coberturas vegetais completas com baixa biomassa fotosinteticamente ativa, o solo subjacente geralmente apresenta uma maior reflectância que a vegetação nesta faixa, quando o ângulo zenital de visada aumenta; segundo o "efeito 1" a proporção do solo diminui e a proporção de elementos sombreados aumenta no campo de visada do sensor, ocasionando uma reflectância decrescente do solo. Este mecanismo, conseqüente do fenômeno 1, denomina-se "efeito 2" e é responsável pelo aumento da razão da reflectância da vegetação altamente reflectiva do topo da cobertura para a baixa reflectância do solo no campo de visada do sensor com o aumento do AZV (Kimes et al., 1984a) (Figura 2.7). Para grandes AZV, a dinâmica destas coberturas completas com baixa biomassa se assemelha a coberturas completas com alta biomassa, apresentando um aumento da reflexão com o aumento do AZV, independente dos ângulos azimutais e zenitais solares (Guyot, 1984).



Figs. 2.6 e 2.7 - Efeitos do AZS e AZV no fator de reflectância bidirecional (FRB) de coberturas vegetais completas. A intensidade do padrão de níveis de cinza representa o grau relativo com que os componentes das várias camadas interceptam e espalham o fluxo solar. Padrões escuros representam baixa interceptação e espalhamento e os padrões claros alta interceptação. O gradiente de interceptação e espalhamento como função das camadas da cobertura é grande quando o Sol está próximo do horizonte (grande AZS). Em geral, para coberturas homogêneas e completas, para todos os AZS o FRB aumenta para qualquer AAV.

FONTE: Kimes (1983) p.1367

a.1.2 - Variações azimutais

Nas figuras 2.4 e 2.5, as mínimas reflectâncias ocorrem para visadas na direção do Sol (AAV = 0°). Isto deve-se ao fato de que o sensor visa uma alta proporção de faces sombreadas dos componentes da vegetação que não estão expostas à radiação solar direta. Se este fosse o único mecanismo operante, esperar-se-ia o decréscimo da reflectância com a visada na direção do sol, para todos os AZV. Entretanto, a reflectância mínima ocorre somente para AZV até 30° , devido ao "efeito 1" ser dominante para os AZV maiores. Este desvio da reflectância mínima com o aumento do AZV ocorre para AZS menores que 55° , devido à distribuição do fluxo solar interceptado, como uma função da altura na cobertura, ser mais uniforme que em AZS extremos (Kimes, 1983).

Para um melhor entendimento das variações azimutais é necessário a introdução de um novo conceito, pois estas são também dependentes de um outro efeito, denominado na literatura de "Função de fase" (Kimes, 1984, Kimes et al., 1985). O conceito geral da função de fase, foi definido por Chandrasekher (1960), os mecanismos físicos que explicam essa função foram discutidos por Kimes (1984). A "função de fase" é um componente muito importante no controle da dinâmica direcional da resposta espectral de uma cobertura vegetal, pois define o espalhamento anisotrópico para qualquer ponto particular de interação da cobertura,

como sendo uma função do AAS, DAF e, principalmente, das propriedades de reflectância e transmitância foliar (Kimes, 1984).

Conforme Kimes (1985), na simulação de modelos tri-dimensionais da transferência radiativa utiliza-se como ferramenta conceitual a "função de fase". A cobertura vegetal pode ser entendida como um sólido de qualquer dimensão, subdividida em células cúbicas. Cada célula está associada com a informação sobre os componentes de seu interior. Esta informação é utilizada para definir a maneira em que os componentes interagem com a radiação. No caso de coberturas vegetais, cada célula tem informações específicas sobre os componentes (folhas, colmos, inflorescências e solo), tais como índices de área de cada componente, distribuição angular, dispersão espacial e propriedades ópticas. A variação espacial do conteúdo da célula entre as células, determina a distribuição tri-dimensional da radiação. Todo o fluxo radiante é transferido entre as células em um número finito de direções discretas, definido pelo modelo. A irradiância solar direta e difusa incidente sobre o sólido é transferida para o seu interior por processos de reflexão múltipla entre cada célula. As informações do interior de cada célula definem a direção e a magnitude do fluxo em cada setor azimutal e zenital do sólido, como uma função do AAS e AZS. Assim, o modelo simula o comportamento anisotrópico da cobertura, como função da direção da fonte de irradiância e da geometria de observação (Kimes, 1985).

Assim, o "efeito 1" é minimizado para AZV entre 0 e 30°, enquanto o efeito adicional da "função de fase" na diminuição da reflectância com o aumento do AZV é aparente. Para AZV maiores que 30°, o "efeito 1" é maximizado; no entanto, ainda se observa o efeito da "função de fase", que incrementa mais os FRBMs (Fatores de Reflectância Bidirecional Multiespectral no AAV de 180° em relação aos AAV de 0 e 90 graus). Segundo esta lógica, dever-se-ia esperar que com o aumento da densidade da vegetação, menor seria o desvio, desde que o "efeito 1" aumentará. De fato, Kimes (1983) observou desvios para o mínimo de reflectância para coberturas completas e densas de gramíneas para o vermelho e IVP. Entretanto, embora a cobertura seja densa, o desvio para o mínimo ocorreu até o AZV de 45°, o que sugere a ação da "função de fase". Conforme Kimes (1983), adicionalmente ao efeito da variação na proporção de faces sombreadas (quantidade de sombras), deve-se considerar a intensidade do sombreamento, que é dependente do comprimento de onda. Assim, quanto maior a transmitância menor será o desvio, uma vez que a intensidade de sombreamento será menor. Se somente o efeito 1 dominasse e todas as interações da radiação entre os componentes da cobertura fossem isotrópicas, a distribuição seria azimutalmente simétrica, formando uma parábola (figura 2.3). A curvatura para os lados da parábola é função da distribuição angular das folhas, densidade foliar, coeficiente de espalhamento das folhas e do solo, e a distribuição anisotrópica da radiação solar. Em adição ao "efeito 1", observa-se o efeito do sombreamento dos componentes da cobertura e dos mecanismos de retroreflexão e retroespalhamento da vegetação (Kimes et al., 1984a).

Estes resultados obtidos por Kimes (1983) e confirmados por Guyot (1984), demonstram que, geralmente, o retroespalhamento ocorre em superfícies com faces planas (planófilas), enquanto a retroreflexão ocorre em superfícies com estrutura vertical (erectófilas). Todos os componentes espalham o fluxo solar por reflexão ou transmissão. Uma cena com componentes verticais opacos apresenta uma grande variação azimutal, devido às superfícies frontais refletirem o fluxo em direção ao Sol especularmente e difusamente, e as superfícies opostas ao Sol estarem sombreadas.

Adicionalmente, os componentes sombreados projetam suas sombras sobre outros componentes. Conseqüentemente, o pico da reflectância ocorre em direção antisolar ($AAV = 180^\circ$) e a reflectância diminuirá em qualquer direção a partir desta, devido ao aumento da contribuição dos componentes sombreados. Por exemplo, o solo apresenta componentes verticais que apresentam baixa transmitância, e assim o sombreado dos componentes da cena ocorre (Figura 2.8). Na direção antisolar ($AAS = 180^\circ$), somente aquelas superfícies que estão diretamente iluminadas são visadas pelo sensor e assim a reflectância é máxima nesta direção. Segundo Guyot (1984), quando o sensor move-se a partir da direção anti-solar, os seguintes mecanismos causam o decréscimo na reflectância: 1 - No campo de visada do sensor a proporção relativa de superfícies sombreadas aumenta; 2 - No campo de visada do sensor a proporção de faces das partículas que desviam da normal a partir da direção solar aumenta, causando o decréscimo da irradiância solar nestas facetas (função cosseno). Tais variações são apresentadas na Figura 2.9. Em coberturas completas não ocorre variação azimutal extrema, devido a transmitância e a reflectância serem maiores. Assim, a drástica diferença entre retroreflexão e retroespalhamento, característica do solo, não é observada para coberturas vegetais completas (Kimes et al., 1984a).

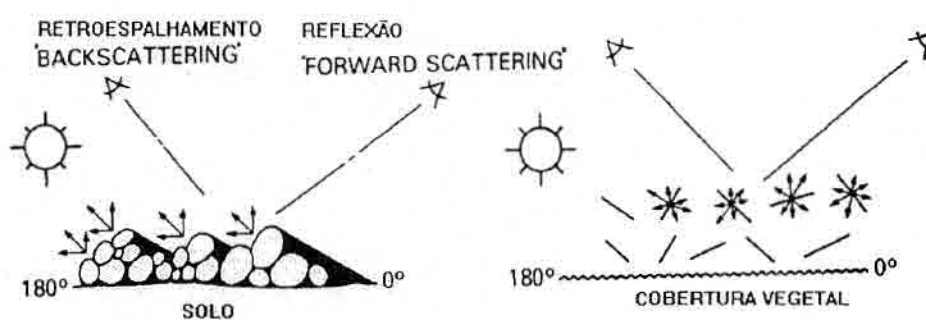


Fig. 2.8 - Reflexão ("Forward scattering") e retroespalhamento ("backscattering") do solo e da vegetação. O solo geralmente exibe forte retroespalhamento e fraca reflexão devido aos componentes verticais (rugosidade) e da opacidade dos componentes. Em contraste, coberturas vegetais completas não exibem variações extremas devido à transmitância e reflectância dos componentes (folhas) serem relativamente iguais.

FONTE: Kimes (1983) p.1367.

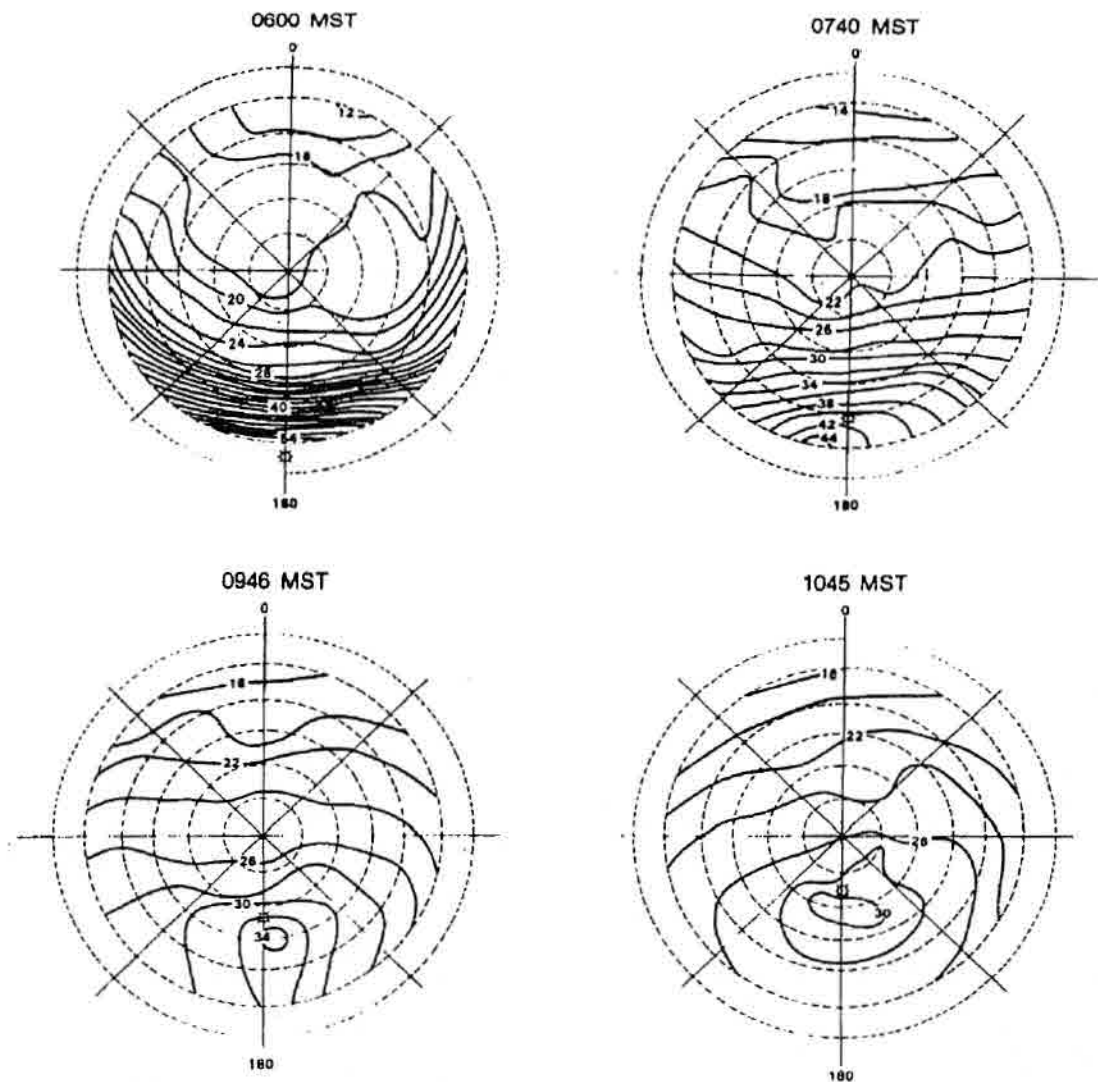


Fig. 2.9 - Gráficos polares da reflectância bidirecional (%) na banda do visível ($0,58 - 0,68 \mu\text{m}$) para o solo exposto. AZS (0600 EST = 82° , 0740 EST = 63° , 0946 = 37° , 1045 = 24°)

FONTE: Kimes (1983) p.1370.

a.2 - Interações no Infravermelho Próximo (IVP) (0,73-1,1m)

Segundo Guyot et al. (1989), a distribuição da reflectância no IVP segue tendências similares à dinâmica na faixa do vermelho, apresentando apenas algumas particularidades: a extrema variação azimutal no VIS é minimizada no IVP, porque a transmitância e a reflectância da vegetação são aproximadamente idênticas no IVP (cerca de 50% e 45%, respectivamente). Além disso, a reflectância foliar no IVP é relativamente alta, com o espalhamento múltiplo resultando em

uma distribuição mais azimutalmente simétrica (Figura 2.10). A forte característica de retroespalhamento do solo não influencia tanto a distribuição da reflectância, devido à baixa reflectância do solo quando comparada à vegetação (Figura 2.11).

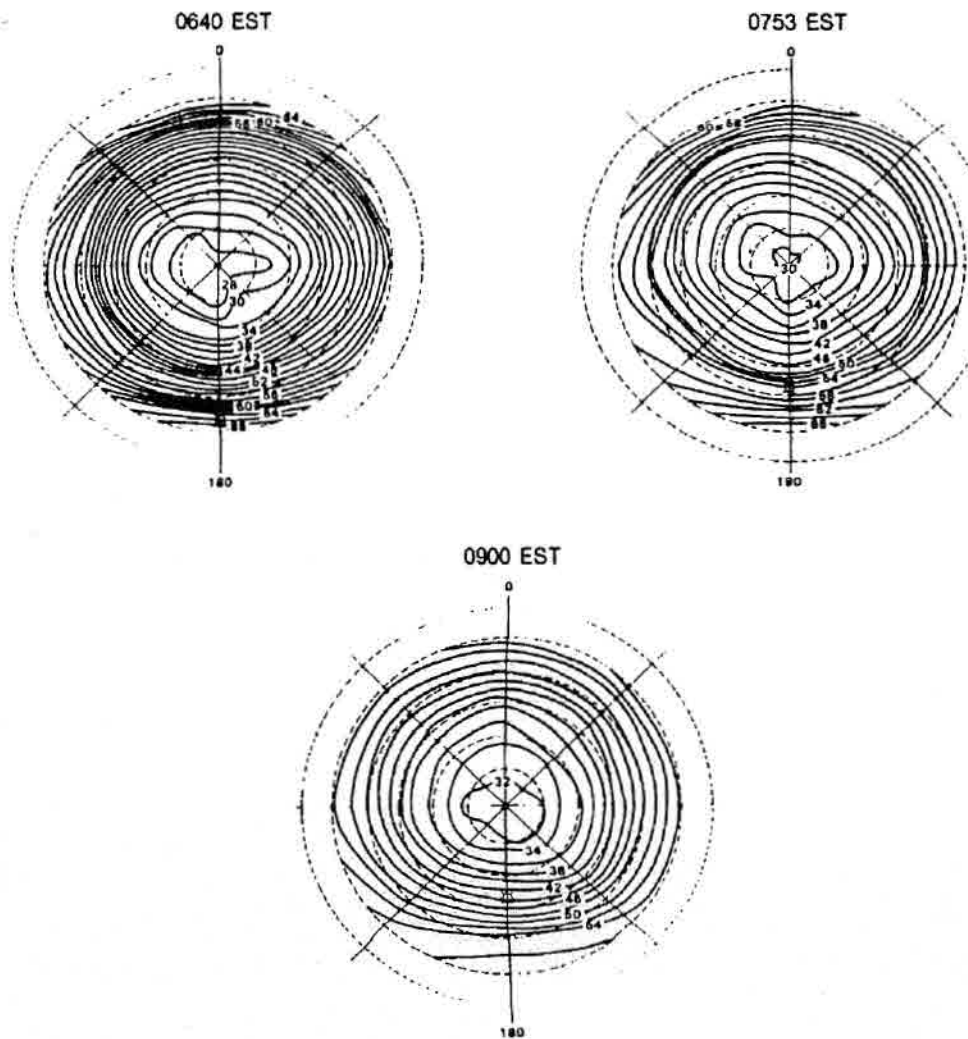


Fig. 2.10 - Gráficos polares da reflectância bidirecional (%) na banda do IVP (0,73-1,1 μ m) para cobertura completa de gramíneas, AZS (0645 EST = 70 $^{\circ}$, 0753 EST = 56 $^{\circ}$, 0900 EST = 42 $^{\circ}$)

FONTE: Kimes (1983) p. 1370 e 1371

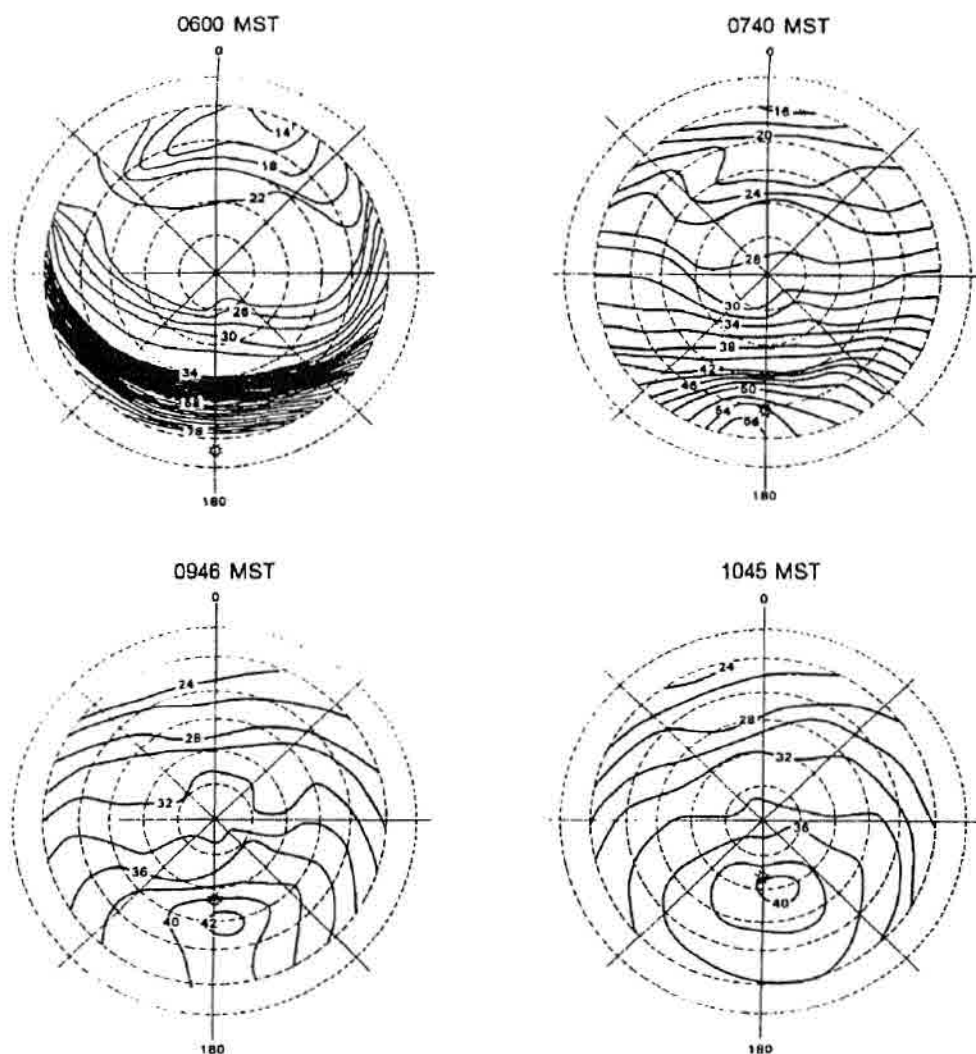


Fig. 2.11 - Gráficos polares da reflectância bidirecional (%) na banda do IVP (0,73-1,1 μ m) para o solo exposto, AZS (0600 EST = 82 $^{\circ}$, 0740 EST = 63 $^{\circ}$, 0946 EST = 37 $^{\circ}$, 1045 EST = 24 $^{\circ}$)

FONTE: Kimes (1983) p. 1370 e 1371

b - Coberturas Vegetais Incompletas

b.1 - Interações na banda do vermelho (0,58-0,68)

b.1.1 - Variações Zenitais

Conforme Kimes (1983) e Guyot et al. (1989) as coberturas vegetais incompletas apresentam grande variabilidade na reflectância direcional com a variação no AZS quando comparadas a coberturas completas. Em geral,

apresentam uma forte retroreflexão em direção antisolar (AAS = 180°). Este pico de retroreflexão é mais pronunciado para a vegetação com baixos índices de cobertura (30%). Entretanto, para grandes AZS a distribuição da reflectância se assemelha à das coberturas completas (figura 2.12).

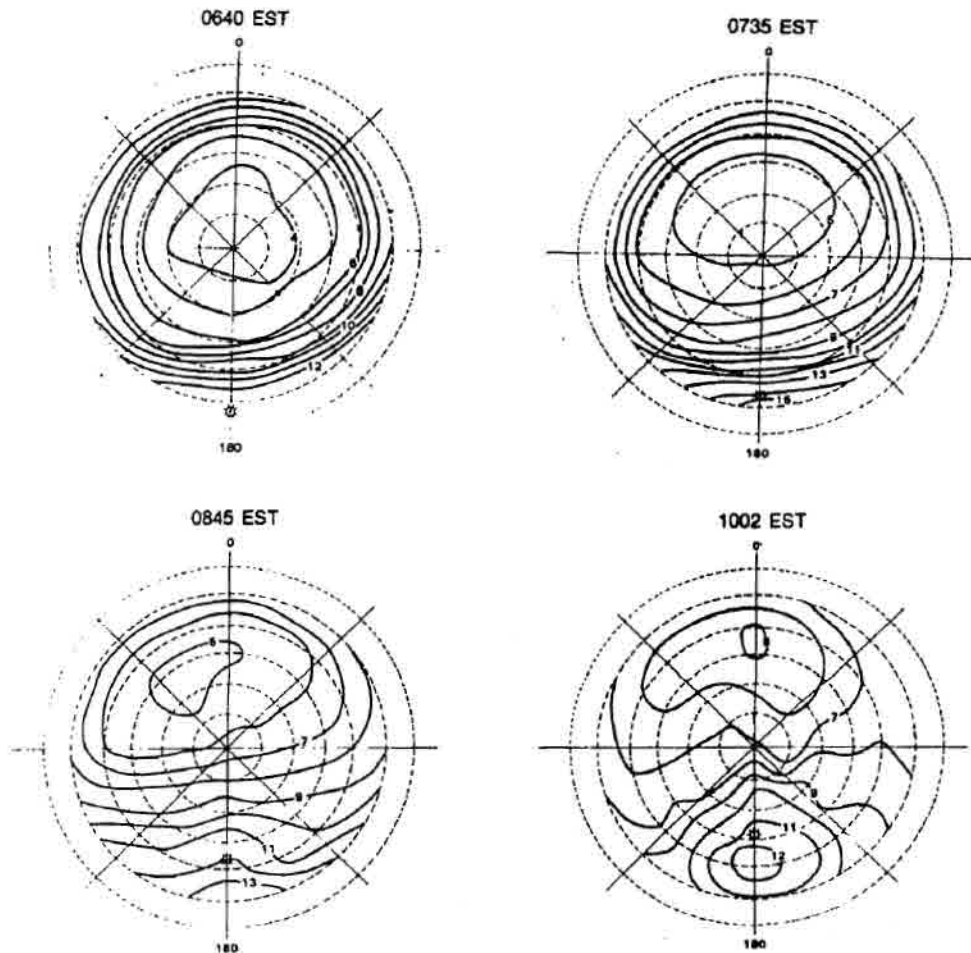


Fig. 2.12 - Gráficos polares da reflectância bidirecional (%) na banda do visível (0,58-0,68 μm) para cobertura incompleta de gramíneas. AZS (0640 EST = 82°, 0735 EST = 63°, 0845 EST = 37°, 1002 EST = 45°).

FONTE: Kimes (1983) p. 1369.

Para coberturas incompletas as propriedades de espalhamento do solo influenciam significativamente a reflectância direcional. Em geral, a reflectância hemisférica do solo é muito maior que a reflectância foliar no vermelho. Além disso, o solo geralmente apresenta forte retroreflexão para todos os AZS. Assim, para moderados a pequenos AZS o solo intercepta e espalha uma grande proporção da irradiância solar direta, ocasionando um forte pico de retroreflexão. Este pico é relativamente não obscurecido pela vegetação para pequenos AZS. Em qualquer direção além deste pico a reflectância decresce devido aos dois mecanismos de reflexão do solo já discutidos.

Adicionalmente, para AZV maiores que o do pico da retroreflexão, a reflectância decresce na medida em que o sensor visa uma crescente proporção de material foliar, que tem menor reflectância que o solo. Para grandes AZS, entretanto, o fluxo solar incidente no solo é insignificante, e assim, a distribuição da reflectância tende a ser similar a das coberturas completas. Estas variações são esperadas para a vegetação com índice de cobertura menor que 30%. Com o incremento do índice de cobertura, ocorre um padrão de distribuição transitório entre o de coberturas incompletas e completas (Kimes et al., 1984a).

As Figuras 2.12, 2.13 e 2.14 mostram gramíneas com 50% de cobertura. Para $AZS = 76^\circ$ a distribuição da reflectância é similar a coberturas completas. Entretanto, com este AZS ocorre um forte pico de retroreflexão do solo em direção antisolar ($AAS = 180^\circ$), devido a uma grande porção do fluxo solar atingir diretamente o solo e também uma alta proporção do solo ser visado na direção antisolar ($AAS = 180^\circ$).

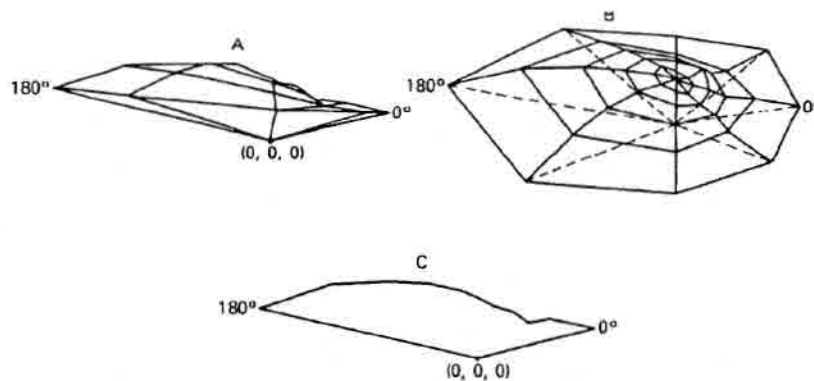


Fig.2.13- Gráficos tri-dimensionais da reflectância bidirecional (%) na banda do visível ($0,58-0,68 \mu\text{m}$) para cobertura incompleta de gramíneas ($AZS = 71^\circ$)

FONTE: Kimes (1983) p. 1369.

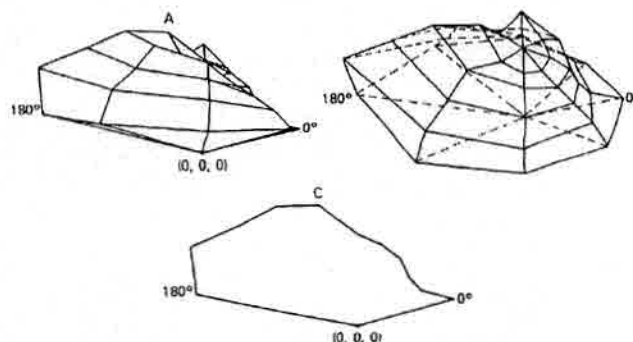


Fig. 2.14- Gráficos tri-dimensionais da reflectância bidirecional (%) na banda do visível ($0,58-0,68 \mu\text{m}$) para cobertura incompleta de gramíneas ($AZS = 45^\circ$)

FONTE: Kimes (1983) p. 1369.

Conforme Kimes (1983), para altos AZS, a reflectância mínima ocorre em visadas na direção do Sol ($AAS = 0^{\circ}$). Vários mecanismos determinam este mínimo: 1- a densidade vegetal é alta o suficiente para causar uma significativa quantidade de sombras na direção do Sol; 2 - como o AZV aumenta na direção do Sol, a reflectância direcional do solo diminui e a proporção visada de vegetação menos refletora aumenta; 3- Para maiores AZV o sensor visa somente a vegetação, para AZV extremos a reflectância aumenta devido ao "efeito 1" dominar os outros mecanismos. Para baixos AZS, a reflectância mínima move a partir do nadir (Figura 2.14), devido à magnitude do efeito 1 diminuir (Guyot, 1984).

b.2 -Interações no Infravermelho Próximo (IVP) (0,73-1,1 μ m)

Em geral a reflectância do solo no IVP é muito menor que a reflectância da vegetação (Kimes, 1983; Tucker, 1977). Como consequência, o forte pico de retroreflexão do solo tem um menor efeito na reflectância direcional nesta faixa. Adicionalmente, o forte espalhamento múltiplo (reflexão difusa) no IVP tende a diminuir as variações azimutais na reflectância. Entretanto, para a vegetação com índices de cobertura menor que 25%, o pico de retroreflexão é mais aparente, particularmente para AZS relativamente pequenos.

Independente da direção azimutal, a partir do ponto de reflectância mínima próximo ao nadir, a reflectância aumenta com o aumento do AZV. Para Kimes (1983), novamente dois mecanismos estão operando com o aumento do AZV: 1 - O sensor visa uma maior proporção de vegetação mais refletora e uma baixa proporção de solo menos refletor; 2 - O sensor visa uma alta proporção de componentes da vegetação.

A figura 2.15 mostra que o ponto mínimo de reflectância com o aumento do AZS pode desviar a partir do ponto nadir na direção do retroespalhamento. Verifica-se o mesmo comportamento da banda no visível operando os mesmos mecanismos, exceto que os efeitos da reflectância do solo são menores no IVP, devido à alta reflectância e transmitância foliar e à baixa reflexão do solo.

Kimes et al. (1984a), baseados na análise da dinâmica da reflectância bidirecional de diversas culturas e para o solo exposto, demonstraram os ângulos de visada oblíquos ótimos em relação a duas estratégias de extração de informação. A primeira estratégia visa a utilização de medidas com AZV oblíquos como extensão à cobertura espectral e temporal à medições em AZV verticais. Os AZV ótimos são aqueles que minimizam a variação na resposta do sensor relativa à resposta no nadir; são AZV que estão na direção azimutal perpendicular ao plano principal do Sol para todas as superfícies vegetais e ângulos solares. As diferenças na reflectância entre AZV verticais e oblíquos neste plano azimutal, decrescem significativamente com o decréscimo do AZV no plano paralelo ao solar.

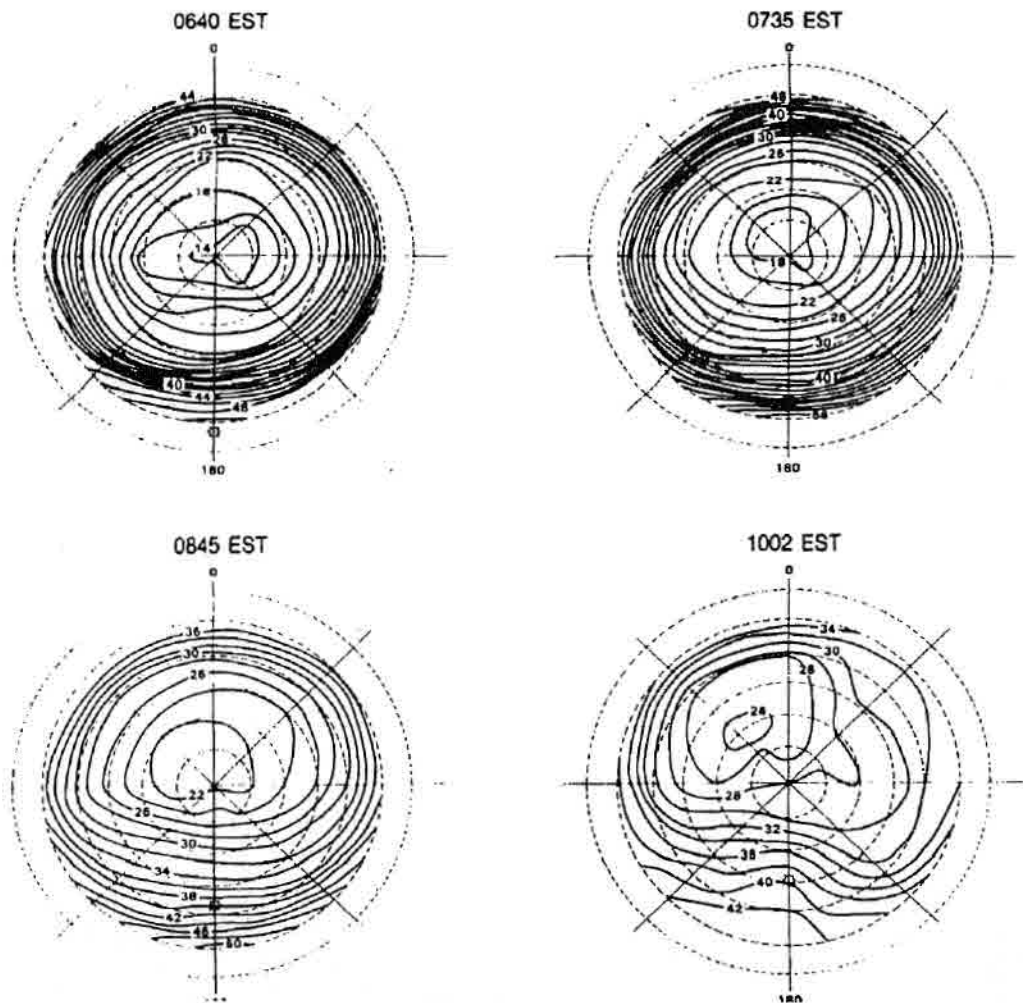


Fig. 2.15- Gráficos polares da reflectância bidirecional (%) na banda do IVP (073-1,1mm) para cobertura incompleta de gramíneas. AZS (0640 EST = 82° , 0735 EST = 71° , 0845 EST = 58° , 1002 EST = 45°).

FONTE: Kimes et al. (1983)

A segunda estratégia visa a utilização de medidas com AZV oblíquos como incrementadores do conteúdo de informação sobre as características físicas do alvo. Os AZV oblíquos ótimos são aqueles que, relativos a AZV verticais, provêm informação adicional e/ou superior sobre as características do alvo. Concluíram que AZV oblíquos ótimos são aqueles com o azimute no plano principal do Sol para todas as superfícies e bandas espectrais. Os autores simularam, pela aplicação do modelo de Dave os efeitos atmosféricos na reflectância direcional para os resultados nas duas estratégias e concluíram que uma atmosfera a meia latitude não altera significativamente as direções ótimas de visada para as duas estratégias. Uma abordagem mais detalhada das estratégias será discutido no item "Definição da geometria de aquisição".

CAPÍTULO 3

MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Material

3.1.1 - Espectroscopia em campo

a - Sistema de aquisição:

O espectroradiômetro Spectron SE-590 foi escolhido como sistema de aquisição numa configuração compatível com as necessidades do processo de aquisição dos dados espectrais. As características que determinaram sua escolha são descritas a seguir:

- 1- Espectroradiômetro Spectron SE-590 - Equipamento portátil, projetado para aquisição de dados espectrais em campo. O sistema Spectron SE-590 compreende uma unidade controladora e armazenadora CE-500 conectada a duas unidades detectoras do tipo CE-390. O sistema de alimentação consiste de uma bateria interna recarregável.

A unidade controladora CE-500 consiste de um microprocessador que permite programar o sistema e o modo de aquisição através de um teclado multinível. Os dados espectrais adquiridos são gravados e armazenados em fitas cassete de formato compacto. A unidade controladora é também utilizada na formatação e transferência dos espectros para os periféricos de saída (osciloscópio, traçador gráfico, impressora matricial) ou para um computador, onde podem ser analisados através do programa Espectro (desenvolvido no Laboratório de Radiometria do Departamento de Sensoriamento Remoto).

A unidade detectora CE-390 tem um campo de visada (FOV) que pode ser ajustado para 1, 10, 15 ou 180 graus, através de coletores ópticos. Baseada numa rede de difração, como elemento dispersivo, e numa matriz de fotodiodos, como detector, adquire em frações de segundo (tempo de integração) um espectro radiométrico em 256 bandas na faixa de 368,4 nm a 1113,7 nm. Para maiores informações ver o manual de referência Steffen (1988):

- 2- Câmera fotográfica SLR (Single Lens Reflex) formato 35mm, equipada com objetiva de distância focal 50mm, f 1,8 (campo de visada na horizontal de 46°).
- 3- Filmes diapositivos e reversíveis coloridos no formato 35mm, ASA 100.

b - Sistema de suporte à aquisição

- 1- Mastro de elevação composto de um braço de extensão que serve de suporte à base de sustentação e posicionamento dos sensores. O mastro pode ser ajustado para permitir a medição em 3 diferentes alturas (2, 3 e 4 metros). O braço de extensão mede 0,70 metro e tem um sistema de encaixe para a base de sustentação dos sensores (figura 3.1).
- 2- Base de sustentação e posicionamento zenital dos sensores. A base tem um sistema de encaixe que permite a sua conexão com o braço de extensão. A base de suporte aos sensores (CE-390) foi especialmente desenvolvida para permitir a variação do ângulo zenital de visada dos sensores em 0, 15, 30, 45 e 60 graus. O sistema de conexão permite o posicionamento de dois sensores e de uma placa padrão: um sensor para medir o fator de reflectância do alvo e outro para medir o fator de reflectância de uma placa padrão.
- 3- Sistemas de controle das variáveis envolvidas no processo de aquisição. Os sistemas foram projetados e estão expostos na seção "Planejamento experimental".

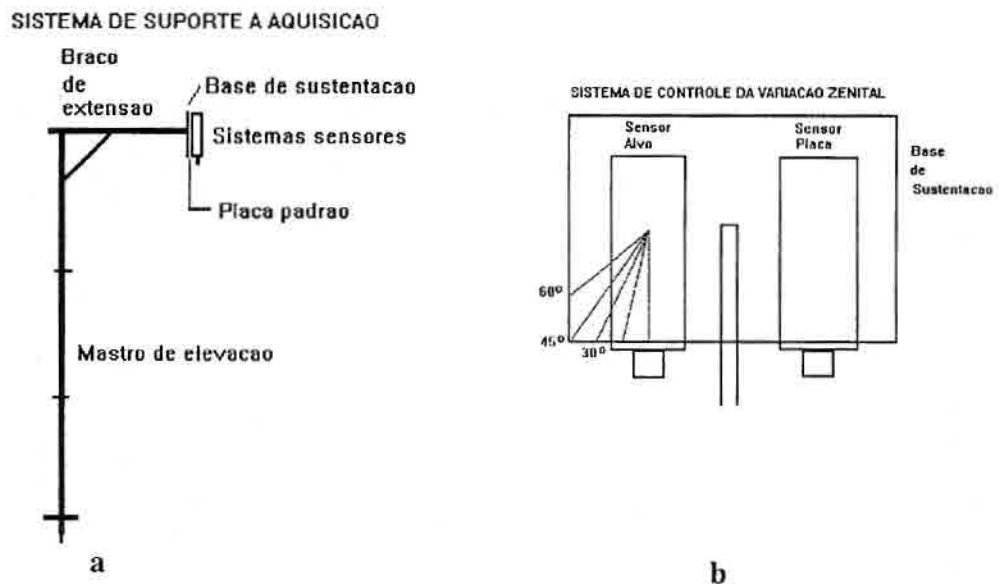


Fig. 3.1- Configuração do sistema de suporte para a aquisição: (a) mastro de elevação e base de sustentação dos sensores; (b) detalhe frontal da base de sustentação e posicionamento dos sensores.

c - Sistema de tratamento da informação

- 1- Computador padrão IBM-PC 386 equipado com co-processador aritmético;
- 2- Programa Espectro desenvolvido no LARAD (Laboratório de Radiometria) do INPE. O programa foi desenvolvido para análise, calibração e transformação dos dados espectrais coletados;
- 3- Pacotes estatísticos Statistica™, Statgraphs™ e SAS™ para análises estatísticas dos dados;
- 4- Programa POLAR (Santos e Morelli, 1992), desenvolvido para organização e descrição gráfica dos dados espectrais e biofísicos.

3.1.2 - Técnicas convencionais

a - Aquisição e processamento

Fitomassa:

- 1- Estacas para marcar o local das amostras;
- 2- Trena para medição da área total amostrada e demarcação das amostras;
- 3- Quadrado de referência de 1m^2 para demarcar a amostra no momento da aquisição;
- 4- Tesourão e "ferro" para o corte da fitomassa;
- 5- Sacos plásticos de 50 litros para armazenamento da fitomassa total fresca em campo;
- 6- Balança de campo para pesar a fitomassa total fresca das amostras em campo;
- 7- Balança semi-analítica para pesagem das subamostras de fitomassa;
- 8- Estufas com ventilação forçada para secagem da fitomassa;
- 9- Bandejas para colocação da fitomassa já separada para secagem;

IAF (Índice de Área Foliar)

- 1- Medidor de área foliar marca Li-cor para medição automática da área foliar em laboratório;
- 2- Fotocopiadora para a reprografia das folhas de gramíneas. As cópias serão utilizadas na planimetria das folhas na estação SGI;
- 3- Estação SGI (Sistema de Informações Geográficas) equipado com o programa Carea para planimetria das cópias reprográficas das folhas;
- 4- Balança semi-analítica para obtenção da relação peso-área foliar.

DAF (Distribuição Angular das Folhas)

- 1- Bússola para medição da orientação foliar;
- 2- Clinômetro para medição da inclinação foliar (AZ);
- 3- Gráfico de coordenadas polares gerado pelo programa Polar para medição do AZ e AA foliar simultaneamente;
- 4- Régua para medição da altura dos estratos da cobertura;
- 5- Biombo de madeira para minimizar os efeitos do vento na orientação da DAF;
- 6- Programa Polar (Santos e Morelli, 1992) desenvolvido para a organização e visualização gráfica da DAF.

IC (Índice de Cobertura)

- 1 - Câmera fotográfica SLR (Single Lens Reflex) formato 35mm, equipada com objetiva de distância focal 50mm, f 1,8 (campo de visada na horizontal de 46°);
- 2- Projetor de "slides" para classificação e medição da área dos diferentes componentes da planta em diferentes condições de iluminação;
- 3- Quadro graduado para projeção e medição da áreas dos componentes.

3.2 - Definição Metodológica

Os experimentos em espectroscopia de campo permitem a aquisição de parâmetros espectrais e biofísicos "in situ", em situações representativas quanto às realmente encontradas em pastagens. Entretanto, a representatividade tem um alto custo: o aumento das dimensões da população amostrada. Assim, à medida em que as dimensões do experimento aumentam, para uma maior representatividade, a variabilidade das condições internas e externas ao experimento aumenta, em prejuízo à necessária uniformidade da população em estudo e aos controles experimentais (Curran e Williamson, 1985).

Tais dificuldades, inerentes aos trabalhos em nível de campo, fizeram necessário um planejamento experimental com duas diretrizes principais: a seleção de situações em campo que mais se aproximem das condições experimentais "ideais" e o estabelecimento de sistemas de controle no processo de aquisição dos dados espectrais e biofísicos.

A seleção de situações em campo que mais se aproximem das condições experimentais "ideais" baseou-se na definição das condições externas ao experimento teoricamente "ideais" e em análises da variabilidade das variáveis biofísicas e espectrais, objetivando a determinação da variabilidade máxima aceitável no experimento e a seleção das situações com as condições das variáveis externas mais homogêneas e adequadas ao experimento.

O estabelecimento de sistemas de controle no processo de aquisição dos dados espectrais e biofísicos foi definido a partir de previsões das situações que induzem à variabilidade nas condições internas do experimento em campo, como os erros inerentes aos processos de medição, objetivando a proposição de técnicas e métodos de controle que os minimizem.

O processo de definição metodológica, direcionado pelas duas diretrizes básicas, foi organizado em módulos operacionais de acordo com suas atividades e objetivos principais. Assim, foram definidos seis módulos: um módulo básico, com a definição dos procedimentos preliminares essenciais à pesquisa, como a revisão bibliográfica; um módulo de Definição metodológica, um módulo de pré-aquisição; um módulo de aquisição; um módulo de organização e um módulo de descrição e análise (figura 3.2).

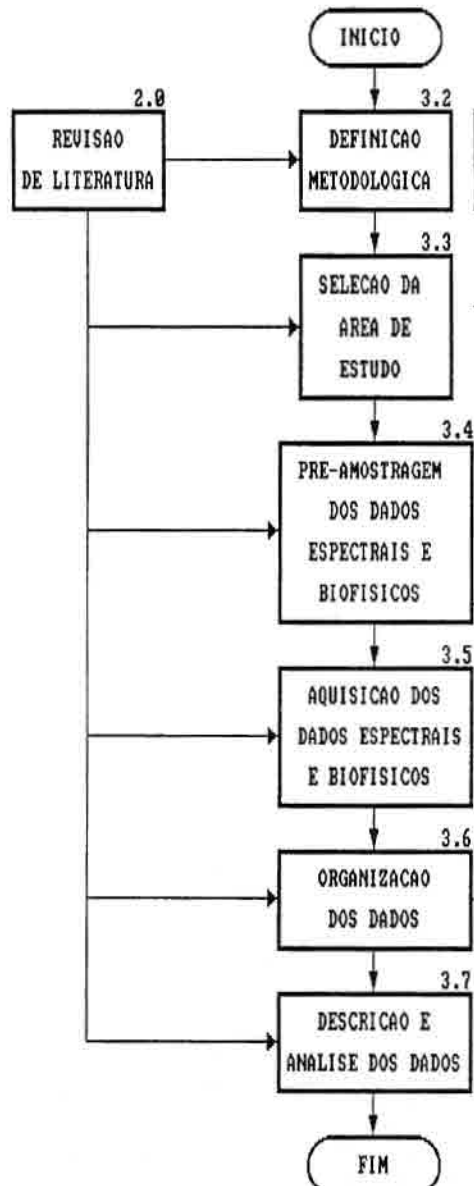


Fig. 3.2- Fluxograma metodológico geral, mostrando a programação lógica seguida na pesquisa.

Fluxogramas específicos detalhados para cada módulo do fluxograma geral são apresentados em cada seção, para permitir um maior entendimento da seqüência lógica, detalhada no texto. O fluxograma específico para os módulos "Básico" e "Definição Metodológica" é o primeiro a ser apresentado (Figura 3.3). A organização lógica das etapas e suas finalidades estão expostas a seguir.

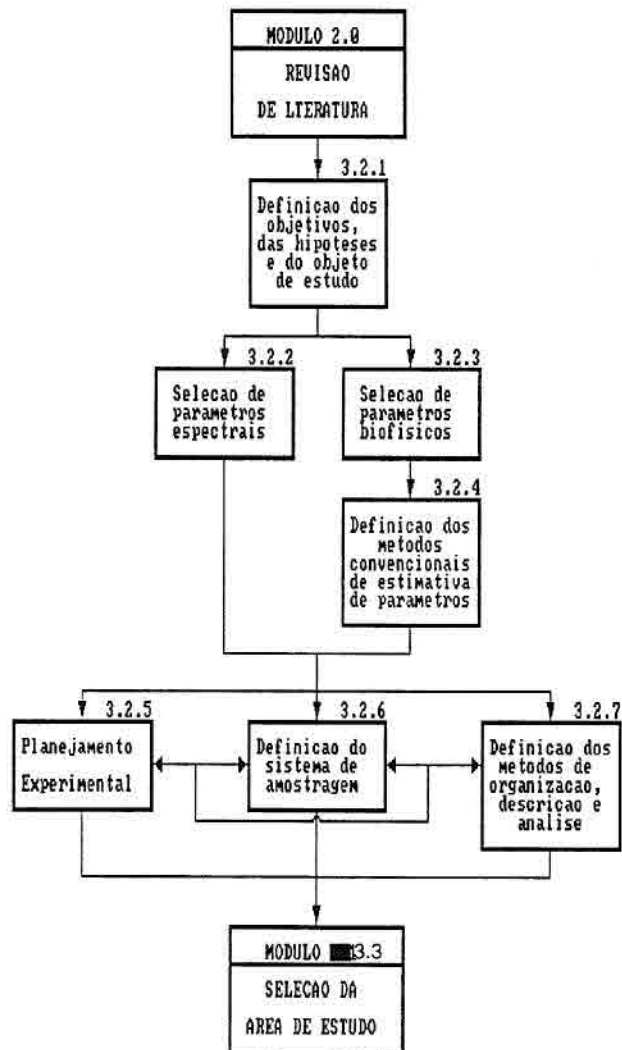


Fig. 3.3 - Fluxograma dos módulos "Básico" e "Definição Metodológica".

3.2.1 - Definição dos objetivos, das hipóteses e do objeto de estudo

3.2.1.1 - Definição dos Objetivos

No processo de aquisição dos dados espectrais a única variável que pode ter sua variação efetivamente controlada é a geometria de visada. Tal possibilidade de controle, explorada na nova geração de satélites, por razões já explicadas, traz problemas para a interpretação dos dados espectrais sobre a vegetação adquiridos em diferentes geometrias de visada. O processo de desenvolvimento de métodos para a extração de informação, para a comparação de dados adquiridos em diferentes geometrias de visada e para a exploração da variabilidade angular dos dados espectrais, inicia-se necessariamente com pesquisas básicas que os subsidiem.

Experimentos que simulem o processo de aquisição dos dados espectrais em função da variação da geometria de visada são essenciais para o desenvolvimento do sensoriamento remoto direcional. Tais experimentos podem ser desenvolvidos a partir de modelagem analítica e experimentos empíricos em campo, de forma a complementarem-se na validação de suas conclusões. Há um grande número de modelos analíticos já desenvolvidos para analisar a dinâmica do espalhamento das coberturas vegetais, mas no Brasil o volume de dados coletados para a inversão e validação destes modelos é inexpressivo. Assim, faz-se necessária a aquisição de dados para nossas condições ambientais e tipos de vegetação, em forma compatível para permitir a inversão destes modelos.

Assim, estabeleceu-se como objetivo principal a avaliação da variação da geometria de visada no comportamento espectral da vegetação herbácea e do solo subjacente em pastagens, através de um experimento empírico em campo, relacionando quantitativamente as variações na resposta espectral devidas à modificação da geometria de visada, com os parâmetros biofísicos da vegetação e do solo subjacente, como exposto na seção 1.1 (Objetivos).

A partir do objetivo principal, como decorrência dos procedimentos inerentes aos métodos analíticos, estabeleceram-se os objetivos específicos. Nos dois primeiros objetivos específicos buscou-se a caracterização dos dados biofísicos e espectrais separadamente, com a descrição do comportamento individual dos dados para cada espécie. O terceiro objetivo envolveu uma análise em nível geral, das tendências das interações entre os parâmetros espectrais e biofísicos para as diferentes geometrias de visada, para uma descrição de seu relacionamento.

3.2.1.2 - Definição da hipótese

No emprego de provas estatísticas na pesquisa científica, formalizam-se as hipóteses de trabalho, deduzidas a partir de conceitos teóricos, a fim de determinar o seu grau de aceitabilidade e decidir sobre o seu significado (Siegel, 1975). Na revisão de literatura abordaram-se os conceitos teóricos dos efeitos da variação da geometria de visada no comportamento espectral da vegetação, formando a base teórica e as premissas para a formulação das hipóteses de nulidade (H_0 , formulada com o propósito de ser rejeitada) e de pesquisa (H_1 , a predição deduzida da teoria que está sendo comprovada). Assim, as hipóteses de trabalho são:

H_0 - A variação da geometria de visada **não** influencia o comportamento espectral de pastagens e o seu relacionamento com os parâmetros biofísicos da vegetação herbácea e do solo subjacente.

H_1 - A variação da geometria de visada influencia o comportamento espectral de pastagens e o seu relacionamento com os parâmetros biofísicos da vegetação herbácea e do solo subjacente.

3.2.1.3 - Definição do Objeto de Estudo

O tipo de vegetação estudada foi estabelecido a partir das prioridades e interesses do grupo de estudos em agricultura do Departamento de Sensoriamento Remoto. As pastagens foram escolhidas pois apresentam características como grande importância econômica, grande extensão em área e problemas no monitoramento por técnicas convencionais. Tais características direcionam para a aplicação das técnicas de sensoriamento remoto; entretanto, estas não estão operacionais, devido aos problemas no processo de aquisição dos dados espectrais já mencionados. Avanços nos métodos de aquisição podem tornar as técnicas espectrais viáveis. O sensoriamento remoto direcional, com a capacidade de variação da geometria de visada, é um dos métodos de aquisição com grande potencial de aplicação, mas são necessários estudos básicos da dinâmica direcional da REM de pastagens. Há escassez de estudos básicos específicos em pastagens e inexistem pesquisas sobre a dinâmica da reflectância bidirecional de pastagens no Brasil, demonstrando a necessidade do início destes estudos básicos.

3.2.2 - Seleção de parâmetros espectrais

3.2.2.1 - Geometria de aquisição

Na revisão de literatura, a análise da dinâmica da reflectância bidirecional da vegetação e do solo apresentada demonstrou os mecanismos físicos de reflexão destas superfícies e os efeitos das variações azimutais e zenitais de visada no padrão de reflectância. A caracterização da dinâmica da reflectância bidirecional permite o estabelecimento de geometrias de aquisição ótimas para a avaliação dos efeitos da variação da geometria de visada no comportamento espectral e suas influências no relacionamento com os parâmetros biofísicos da vegetação e do solo. Objetivando a maximização da representatividade angular da reflectância bidirecional com um número mínimo de amostras estabeleceram-se as geometrias segundo duas estratégias lógicas primárias investigadas por Kimes (1983), Kimes et al. (1984a); Guyot, 1984; Guyot et al. (1989):

- 1) a maximização da variação da resposta da vegetação e do solo em função da geometria de visada;
- 2) a minimização da variação da resposta da vegetação e do solo em função da geometria de visada.

Na primeira estratégia os AZV ótimos são aqueles que aumentem a atuação dos "efeitos 1 e 2", ou seja: AZV oblíquos máximos. Os AZS ótimos são os maiores possíveis. O plano azimutal paralelo ao plano solar ($AAV = 0$ e

180 graus) é o que apresenta maior variação em função da geometria de visada, como demonstrado por Kimes et al. (1984a).

Na segunda estratégia os AZV ótimos são aqueles que minimizam os "efeitos 1 e 2", ou seja, AZV verticais ou próximos à vertical. Os AZS ótimos são os menores possíveis. Azimutalmente o plano perpendicular ao solar (AAV = 90 graus) é o ótimo, pois minimiza a variação da resposta espectral em função da geometria de visada.

Análises da distribuição angular compreendem a observação da dinâmica de espalhamento da radiação de coberturas vegetais em função da geometria de aquisição. A variação da geometria de aquisição, principalmente o ângulo de visada, fornece informação adicional sobre as características de alvos anisotrópicos. Assim, ângulos azimutais e zenitais de visada devem ser escolhidos quanto a apresentarem maiores variações na distribuição de reflectância direcional de um alvo, diretamente relacionadas às características físicas da cena.

Adicionalmente, para a análise da Distribuição da Reflectância Bidirecional, há necessidade da maior variabilidade dos dados espectrais em função da geometria de visada. Assim, priorizou-se a primeira estratégia (maximização da variação), medindo-se em dois setores do plano azimutal (0° e 180°) cinco ângulos zenitais de visada (0, 15, 30, 45 e 60 graus), para grandes ângulos zenitais de iluminação (45 a 55 graus). A segunda estratégia (minimização da variação) é importante para permitir a comparação entre os dados obtidos sob diferentes geometrias de visada, sendo aplicada para um setor do plano azimutal (90°) nos cinco ângulos zenitais já mencionados.

A intenção na seleção da geometria de visada foi a de maximizar o conteúdo de informação ganho a partir de um alvo particular em função da variação das respostas do alvo ao sensor para diferentes ângulos de visada. Considera-se a premissa de que a quantidade de informação adicional e/ou superior ganha (em relação à somente ao nadir) pelo uso de diferentes ângulos de visada, aumenta tanto quanto o número de ângulos aumenta.

3.2.2.2 - Seleção da faixa espectral

A seleção da faixa espectral foi determinada pela escolha do sistema de aquisição e pelas restrições da configuração disponível no LARAD. O espectroradiômetro Spectron SE-590, com a unidade detetora CE-390, permite a aquisição de espectros radiométricos em 256 bandas na faixa espectral aproveitável de 400 a 1100 nm.

A presença de ruídos (principalmente na faixa do azul) e o efeito de harmônico (manifestação dos ruídos da faixa do azul nos comprimentos de onda do final do IVP, alterando os padrões de reflectância destes) intrínseco do equipamento Spectron SE-590, restringiu a faixa medida à recomendada por Steffen (comunicação pessoal) de 399,5 a 1009,9 nm.

Nas etapas de caracterização dos dados biofísicos e espectrais e análise da relação entre os dados espectrais e biofísicos, considerou-se a informação a nível de bandas espectrais. Para tanto, fez-se necessário a redução dos dados com o cálculo da reflectância média para as bandas espectrais do Spectron compreendidas entre as bandas TM1 (450-520 nm), TM2 (520-600 nm), TM3 (630-690 nm) e TM4 (760-900 nm). Selecionaram-se as bandas para permitir a padronização e comparação dos dados com os de outros trabalhos.

Dada a complexidade de estudar a variabilidade dos índices de vegetação como função da variação da geometria de visada e da necessidade de aprofundar-se nos objetivos principais da pesquisa, não serão utilizados índices de vegetação.

3.2.3 - Seleção de parâmetros biofísicos

3.2.3.1 - Vegetação herbácea

A seleção dos parâmetros biofísicos da vegetação baseou-se na necessidade de representatividade da sua composição, estrutura e funcionalidade. Para representar a estrutura geométrica da vegetação, baseando-se em Kimes e Kirchner (1984), selecionou-se a DAF (distribuição angular das folhas), o IAF (índice de área foliar), o IC (índice de cobertura), a projeção de sombras e a altura da cobertura. A representatividade estrutural e funcional da vegetação herbácea foi necessária pois os parâmetros biométricos serão utilizados como balizadores nas análises de correlação e regressão para os índices espectrais adquiridos a diferentes geometrias de visada.

A fitomassa, um parâmetro de presença obrigatória relacionado à produção primária e produtividade, foi selecionado como básico para a estimativa de parâmetros derivados que representassem o estado fenológico da vegetação herbácea. A partir da fitomassa coletada estimaram-se parâmetros derivados como: a proporção de fitomassa verde (FTV_PS) e seca (FTS_PS), a proporção de fitomassa verde fresca (FTV_PU) e seca (FTS_PU), o teor de água total (TAFTT), o teor de água da fitomassa verde (TAFTV), o teor de água da fitomassa seca (TAFTS), proporção de colmos verdes (MV) e secos (MS).

3.2.3.2 - Substrato e solo subjacentes

Na seleção dos parâmetros biofísicos do substrato e do solo subjacente considerou-se a caracterização das propriedades espectro-ópticas e de sua estrutura superficial que influenciariam a resposta espectral.

O substrato subjacente em pastagens é constituído por folhas secas e em decomposição, húmus e lúter, que podem influenciar a resposta espectral da vegetação, mascarando a reflectância do solo.

As propriedades espectro-ópticas do solo dependem de sua composição mineral, teor de matéria orgânica e teor de umidade. Os parâmetros textura e rugosidade foram seleccionados por influenciarem grandemente a distribuição da REM (Norman et al., 1985).

Os parâmetros do solo seleccionados foram:

- composição mineral;
- identificação do solo segundo a classificação brasileira e americana;
- teor de umidade;
- teor de matéria orgânica;

3.2.4 - Definição dos métodos convencionais de estimativa de parâmetros biofísicos

Na revisão de literatura foram discutidas as principais metodologias aplicadas à estimativa dos parâmetros biofísicos da vegetação herbácea e do solo subjacente, constituindo as bases teóricas para a seleção dos métodos convencionais. Fatores como a limitação em equipamentos e análises da relação custos operacionais-benefícios experimentais determinaram os métodos seleccionados. A seguir são apresentados os métodos seleccionados e as respectivas justificativas.

3.2.4.1 - Estrutura Geométrica da Vegetação

a - DAF (Distribuição Angular das Folhas)

A técnica para a medição da DAF seleccionada foi a utilizada por Ranson et al. (1981), que utiliza um círculo graduado em coordenadas polares acoplado a uma bússola e a um clinómetro. Esta técnica foi seleccionada por ser a

mais prática, simples e direta, permitindo medições simultâneas do AA e do AZ das folhas em um menor intervalo de tempo e com maior precisão.

Os trabalhos de Kimes (1983), Kimes e Kirchner (1984) e Ranson et al. (1981) demonstraram os diferentes graus de contribuição das camadas foliares dentro das coberturas vegetais para a dinâmica da reflectância direcional. Kimes e Kirchner (1984) avaliaram o comportamento diferenciado quanto às variações arquiteturais para cada camada da cobertura vegetal, durante um dia solar. Tais trabalhos evidenciam a importância da estratificação da DAF por altura da cobertura para a análise da contribuição de cada camada na variação espectral e angular da vegetação.

A DAF estratificada por altura compreende a distribuição tridimensional da orientação nos planos azimutal e zenital da superfície superior das folhas, coletadas em faixas de altura dos colmos previamente determinadas. A unidade de amostragem adotada foi o colmo de cada sistema radicular e a unidade amostral foram as folhas destes colmos. As faixas de altura são determinadas através de análises quantitativas dos aspectos morfológicos e arquiteturais em colmos amostrados aleatoriamente, para cada espécie de gramínea.

As análises envolvem o reconhecimento de medidas padrão para a distância entre cada camada foliar. Primeiramente, foi realizada uma análise da literatura especializada para verificação dos padrões estabelecidos para a medição em gramíneas. Na literatura (EMBRAPA, 1984) a medida biométrica utilizada é a distância entre nós dos colmos de gramíneas. Sendo o colmo dividido em nós e entre nós e sendo que nos nós se desenvolve a bainha das folhas, mede-se a distância entrenós, ou seja a distância entre a origem das folhas de cada camada amostrada.

Características estruturais consideradas importantes para o estudo radiométrico, como o comprimento das folhas e a distância entre a superfície superior e inferior de cada camada de folhas foram amostradas. Tais medidas são importantes para a estimativa do grau de sobreposição foliar entre camadas, determinante do sombreamento e da transmitância e reflectância da cobertura. Mensuradas as características arquiteturais das amostras, desenvolve-se a análise biométrica, com a extrapolação dos resultados amostrais para o restante da população.

Foram obtidas medidas DAF em dois ângulos: o ângulo zenital, formado pelo vetor normal à superfície superior da folha e a superfície superior foliar e o ângulo azimutal, formado pelo vetor direção norte geográfico e o centro da superfície superior da folha, no sentido horário.

b - IAF (Índice de Área Foliar)

Para a medição do IAF foram selecionados o medidor de área foliar Li-cor e as técnicas de planimetria por digitalização. O medidor foi utilizado na etapa de pré-amostragem dos dados espectrais e foi selecionado por apresentar um menor tempo de medição aliada a uma boa precisão. Como o medidor não estava disponível no período da aquisição dos dados, optou-se pela utilização de técnicas de planimetria por digitalização em mesas digitalizadoras e o emprego do programa CAREA, especialmente desenvolvido para o cálculo de áreas a partir da digitalização de perímetros.

c - IC (Índice de Cobertura)

As técnicas fotográficas são de uso obrigatório nos experimentos de espectroscopia de campo para a medição e documentação da área radiometricamente medida, permitindo a determinação do estágio de desenvolvimento, do estado fitossanitário e a estimativa e quantificação de parâmetros como o IC. Das fotografias podem ser extraídas informações como a área iluminada e sombreada constituída por folhas verdes, folhas secas, material verde, material seco, solo exposto e substrato exposto.

3.2.4.2 - Fitomassa

O método do corte e pesagem da biomassa foi selecionado por permitir, a partir das medidas originais, a estimativa de parâmetros derivados de sub-amostras, como a proporção dos vários constituintes da planta coletados, o teor de água de cada um de seus constituintes e outras medidas importantes. Características como o baixo custo e a confiabilidade na precisão das medidas foram outros fatores que determinaram a escolha.

3.2.4.3 - Substrato e solo subjacentes

Para o solo subjacente foram utilizadas as estimativas pré-existent de descrição e análise realizadas pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) na área experimental do Instituto de Zootecnia de Nova Odessa.

3.2.5 - Planejamento Experimental

O planejamento experimental foi definido segundo as diretrizes de seleção de situações em campo que mais se aproximem das condições experimentais ideais e de controle das variáveis. Os objetivos do planejamento experimental foram os de otimização do processo de aquisição dos dados, aumento da eficiência e precisão das medições e conseqüentemente minimização dos erros sistemáticos inerentes aos trabalhos em nível de campo.

O processo de planejamento experimental envolveu, para cada diretriz, as seguintes atividades, conforme o procedimento lógico exposto no fluxograma específico "planejamento experimental" (Figura 3.4).

As etapas de definição das condições experimentais foram básicas para o planejamento experimental propriamente dito, onde ocorreram a operacionalização do processo de aquisição e a definição dos critérios para a avaliação do planejamento operacional. A seguir apresenta-se uma explicação de cada etapa do processo.

3.2.5.1 - Definição das condições experimentais ideais

Nesta etapa procurou-se conceituar o que teoricamente seriam as condições experimentais ideais, definindo-se os parâmetros iniciais para o estabelecimento das estratégias de implantação das duas diretrizes principais.

No processo de definição das condições experimentais ideais consideraram-se os objetivos, as características do processo de aquisição e do objeto de estudo.

Como definido pelo objetivo, o experimento caracteriza-se por ser comparativo e relacional (Chase e Bown, 1986), sendo o objeto de comparação as respostas espectrais obtidas a diferentes geometrias de visada, e os objetos de relacionamento as respostas espectrais com os parâmetros biofísicos.

A caracterização do processo de aquisição, definida pelo objetivo do experimento, exige que no processo de aquisição dos dados espectrais em diferentes geometrias de visada, as demais variáveis envolvidas (AAS, AZS, área amostrada, local amostrado, parâmetros biofísicos) devem permanecer constantes ou com variação mínima controlada para limites de variabilidade estatisticamente aceitos. Além disso, as suposições do modelo teórico de aquisição devem ser respeitadas.

As características do objeto de estudo requeridas para o experimento são a adequação ao estudo em radiometria e a homogeneidade de sua composição e estrutura.

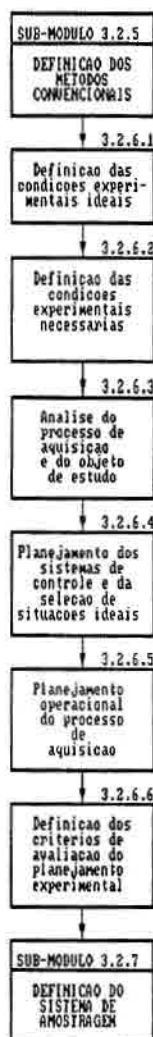


Fig. 3.4 - Fluxograma específico "Planejamento experimental".

3.2.5.2 - Definição das condições experimentais necessárias

Nesta etapa transportaram-se conceitos teóricos do experimento "ideal" à realidade de um trabalho prático em campo. Deste confronto, estabeleceu-se, através do sistema de amostragem, as condições necessárias para a validade do experimento, com a definição estatística dos níveis de precisão e exatidão e seus respectivos limites de variabilidade.

3.2.5.3 - Análise do processo de aquisição e do objeto de estudo

Foram analisados integradamente os processos de aquisição e de seleção de situações ideais, objetivando subsidiar o planejamento do sistema de controle e o estabelecimento de critérios para seleção de situações experimentais mais próximas às ideais.

Na análise do processo de aquisição foi caracterizado o comportamento das variáveis-"chave", fundamentais para o experimento, permitindo o estabelecimento de princípios dos mecanismos de controle das variáveis no processo de aquisição. Para auxiliar o processo de seleção de situações experimentais mais próximas às ideais, estabeleceram-se premissas que permitem a definição de critérios para a seleção, baseando-se nas características biofísicas e dinâmico-temporais das pastagens.

3.2.5.4 - Planejamento dos sistemas de controle e de seleção de situações experimentais

O planejamento da seleção de condições experimentais objetivou a determinação dos limites de variabilidade, baseando-se em critérios temporais (melhor período para a aquisição) e condicionais (melhores condições do objeto de estudo). Planejados para atuarem como um "ajuste fino" da variabilidade dentro dos limites de variabilidade fixados no processo de seleção, os sistemas de controle foram concebidos para funcionarem integradamente, constituindo um único sistema de aquisição. O controle experimental consiste num meio efetivo para a obtenção de estimativas válidas dos efeitos da variação da geometria de visada e das respostas espectrais dos parâmetros biofísicos associados a estas. Os sistemas foram concebidos para funcionarem integradamente, complementando-se no controle experimental. Os seguintes sistemas foram planejados:

- a.1 - Sistema de controle do posicionamento azimutal do sensor em relação a AAS;
- a.2 - Sistema de controle do posicionamento azimutal do sensor em relação à unidade amostral;
- a.3 - Sistema de controle do posicionamento azimutal do sensor em relação a EGV;
- a.4 - Sistema de controle do posicionamento azimutal do sensor em relação a área medida;
- a.5 - Sistema de controle da variação zenital do sensor;
- a.6 - Sistema de controle das interferências na área amostrada;
- a.7 - Sistema de controle do sombreamento da área amostrada;
- a.8 - Sistema de controle do sombreamento da placa padrão.

O processo de planejamento de cada sistema está exposto em Morelli (1993b).

O processo de seleção de situações que mais se aproximem das condições experimentais ideais, objetivou a adequação das condições externas ao processo de aquisição e à homogeneização das características do objeto de estudo.

A seleção foi baseada em critérios temporais e condicionais. Os critérios temporais selecionaram o período em melhores condições para a aquisição dos dados espectrais e biofísicos. Os critérios condicionais definiram as condições experimentais ideais para a seleção.

Foram definidos critérios condicionais para a seleção da espécie e do campo experimental na etapa de "seleção da área de estudo" e critérios condicionais-temporais para a seleção do período de aquisição, e para a homogeneização dos parâmetros biofísicos na etapa de "pré-amostragem dos dados espectrais e biofísicos.

Crítérios para a seleção do período de aquisição:

Quanto às características da vegetação:

Estado fenológico: - maior quantidade de material verde;
 - menor variação do estado fenológico;
 - maiores condições de homogeneidade.

Quanto ao processo de aquisição dos dados espectrais:

Geometria de iluminação: - menor variação do AZS
 - menor cobertura por nuvens

Crítérios para a seleção da espécie e do campo experimental:

espécie: - adequação ao estudo por sensoriamento remoto;
 - adequação ao estudo em radiometria
 - adequação a variação da geometria de visada

campo experimental: - controle das condições de manejo;
 - homogeneidade dos parâmetros biofísicos;
 - adequabilidade aos estudos radiométricos.

Definidos os critérios para a seleção das espécies e do campo experimental, definiu-se para a etapa de pré-amostragem uma homogeneização, com análises de variabilidade para conduzir às situações experimentais ideais.

3.2.5.5 - Planejamento operacional do processo de aquisição

3.2.5.5 - Planejamento operacional do processo de aquisição

a - Planejamento do processo de organização da área experimental

No planejamento da subdivisão da área de estudo, sua ordenação e indexação, considerou-se a precisão desejada no processo, a necessidade de não interferência nas unidades amostrais (UA) e o limite temporal de aquisição.

Planejou-se a organização de um mapa da área com as UA ordenadas e indexadas para referenciar no processo de amostragem aleatória. Assim, faz-se o sorteio de todas as UA previamente à organização propriamente dita no campo. Somente após o conhecimento das UAs sorteadas é que são medidas as distâncias e demarcadas as UAs sorteadas, evitando-se o pisoteio das demais UAs e minimizando-se a interferência na área experimental.

b - Planejamento operacional da simulação do processo de aquisição dos dados espectrais

O planejamento operacional do processo de aquisição objetivou a análise da configuração do sistema de aquisição, visando o sinergismo dos sistemas de controle para a otimização e o dimensionamento experimental.

Uma modelagem da lógica operacional dos processos foi realizada através da construção de algoritmos e fluxogramas operacionais para cada sistema de controle, resultando no fluxograma operacional de aquisição. (Figura 3.5).

Devido à necessidade de uma menor variação das condições e do estado da vegetação herbácea, do substrato e do solo subjacente entre a aquisição dos dados espectrais e biofísicos e às limitações inerentes ao experimento, como as impostas pela dimensão da amostragem e pelas técnicas convencionais, planejou-se um processo completo de aquisição e processamento dos dados espectrais e biofísicos para cada espécie. Assim, planejaram-se duas missões completas, uma para cada espécie, com uma mesma lógica operacional.

Um dos maiores condicionantes da lógica operacional e da configuração do sistema de aquisição, foi o planejamento do processo de aquisição organizado por AZV (medição de todos os AAV em todas as amostras para um mesmo AZV), objetivando uma menor variação do AZS para um mesmo AZV. Para minimizar a variação do AZS entre diferentes AZV, foi organizada a medição em dias diferentes, mas em um mesmo período de aquisição (mesmo intervalo de AAS e AZS), como definido pelas exigências de controle do posicionamento azimutal do sensor em relação à EGV e ao AAS.

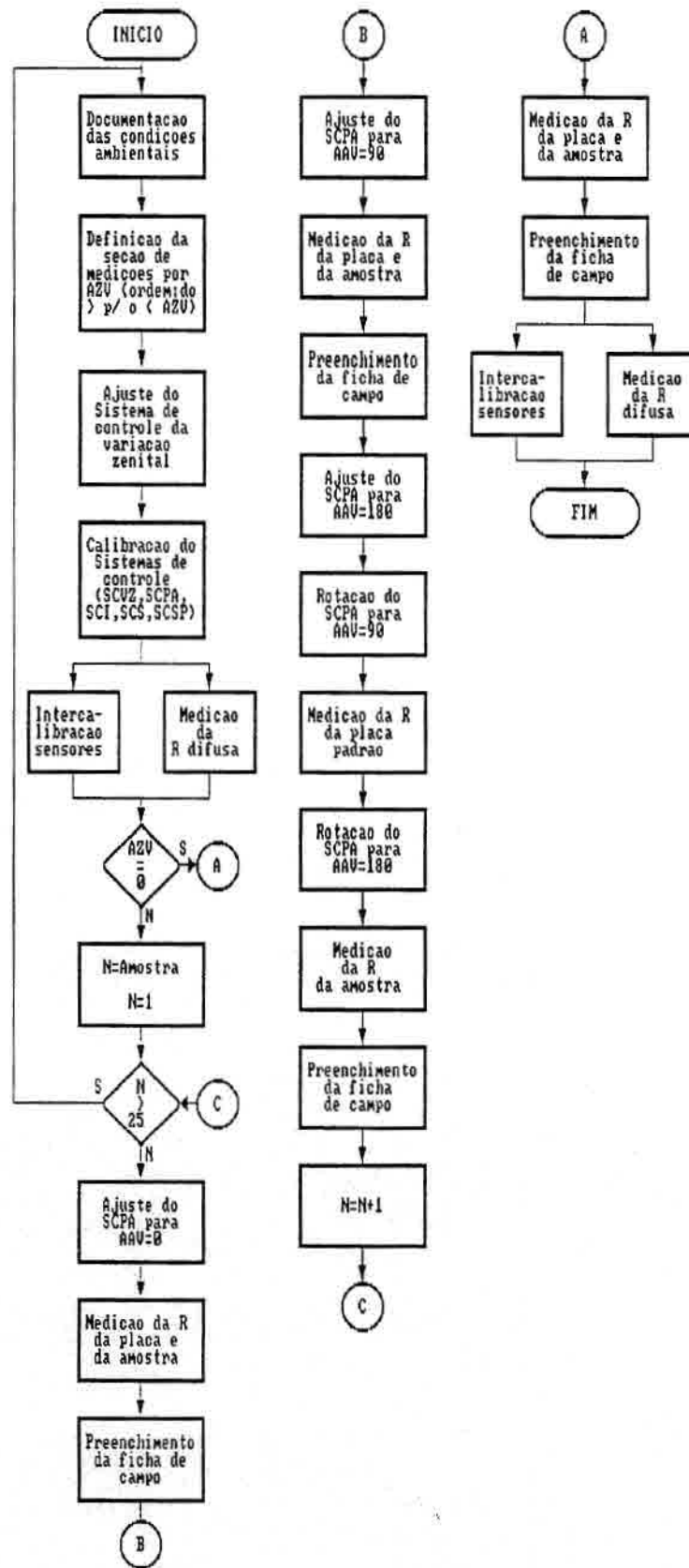


Fig. 3.5 - Fluxograma específico "Planejamento operacional do processo de aquisição".

Os procedimentos principais do processo de aquisição dos dados espectrais são, na seqüência: os ajustes dos sistemas de controle experimentais, a medição do fator de reflectância e a documentação do processo. Os ajustes dos sistemas de controle e a medição foram discutidos na etapa de planejamento dos sistemas de controle experimentais.

Para a documentação do processo de aquisição (indexação das amostras espectrais às amostras biofísicas), do local de estudo, da área medida e das condições ambientais foi planejada uma ficha de campo. Confiabilidade, segurança e praticidade na transcrição em campo e na transferência para gerenciadores de bancos de dados em computadores foram os critérios para o planejamento. A ficha de campo foi configurada de maneira a refletir a lógica operacional do processo de aquisição, inclusive ressaltando com ícones mnemônicos os detalhes operacionais que não podiam ser esquecidos, como a intercalibração no início e no final da aquisição, o final da minifita para a troca de lado da fita e outros procedimentos operacionais importantes.

3.2.5.6 - Definição dos critérios de avaliação do planejamento experimental

Foram definidos os critérios para avaliação do planejamento experimental considerando-se a representatividade amostral e o planejamento operacional de aquisição.

Para avaliação da representatividade amostral, definiram-se limites de variabilidade dentre os previstos nos testes estatísticos de análise de variabilidade, selecionados na fase de "Definição dos métodos de descrição e análise".

Para a avaliação do planejamento operacional foi prevista, para a etapa de pré-aquisição dos dados espectrais, uma simulação do processo para testar na prática a seqüência lógica das operações. Analisou-se a integração das operações quanto à exatidão das medições, ao tempo de aquisição e à operacionalidade de cada sistema. Tal análise foi fundamental para os necessários redimensionamentos de cada sistema de controle e para uma estimativa do dimensionamento experimental.

A avaliação da exatidão das medições foi planejada baseando-se na aferição de todos os sistemas de controle através da comparação das medidas dos ângulos e distâncias realizados pelos sistemas planejados e por medição direta com a bússola, o clinômetro e a trena. Para a avaliação do tempo de aquisição foi planejada a cronometragem de cada etapa de aquisição. Também foram planejados testes para a avaliação da aprendizagem das técnicas e métodos de operação dos sistemas de controle.

3.2.6 - Definição do sistema de amostragem

O sistema de amostragem definiu os métodos, o tamanho e a abrangência do experimento, assim como os níveis de exatidão e seus respectivos limites de variabilidade. O sistema de amostragem foi determinado pela contraposição entre a necessidade de representatividade da distribuição angular da reflectância bidirecional e de representatividade amostral dos parâmetros biofísicos de pastagens.

Como o objetivo principal é avaliar os efeitos da variação da geometria de visada no comportamento espectral de pastagens, estabeleceu-se uma estratégia que maximizasse a representatividade angular e minimizasse o número de amostras biofísicas, sem prejudicar o grau de precisão necessário para as análises estatísticas.

3.2.6.1 - Representatividade angular da distribuição da reflectância bidirecional

A FDRB, apesar de ser a descrição mais completa do padrão de reflectância de uma vegetação, tem a sua aplicação restrita, uma vez que sua determinação é empírica, portanto dependente de facilidades para medições radiométricas onerosas (Kimes, 1983). Assim, embora as medidas do fator de reflectância bidirecional sejam a melhor aproximação possível da FDRB (Gerstl, 1986), há um número limitado de geometrias de visada possíveis em um experimento em campo, determinado pela necessidade de controle das variáveis como geometria de iluminação e da variação da geometria de visada em relação à EGV analisadas e previstas pelo controle experimental.

Dada a limitação do número de geometrias de visadas possíveis e a necessidade de representatividade da FDRB de pastagens, procurou-se, com base na revisão de literatura, a seleção das geometrias de visada mais representativas. O processo de seleção foi exposto na seção "Seleção de parâmetros espectrais".

3.2.6.2 - Representatividade amostral dos parâmetros biofísicos da vegetação herbácea e do solo subjacente

Tratando-se de uma avaliação entre os indicadores espectrais e os parâmetros biofísicos, para uma representatividade amostral há necessidade da definição de métodos de amostragem compatíveis com a escala de mensuração, com as características da população amostrada e do processo de aquisição e com as análises estatísticas a serem empregadas.

3.2.6.3 - A escala de mensuração

A escala de mensuração dos parâmetros biofísicos (peso, dimensões) é a escala de razões, que permite a atribuição de valores numéricos não somente aos seus próprios objetos, como também aos intervalos entre os números.

As provas estatísticas adequadas são as paramétricas, como as de medidas de posição (média geométrica, mediana e moda) e de dispersão (variância, desvio padrão e coeficiente de variação), permitindo análises de correlação e regressão linear (simples e múltipla) (Siegel, 1975).

3.2.6.4 - Características da população amostrada

Em pastagens, devido às características de crescimento vegetativo das gramíneas, é impossível na prática a individualização dos elementos da população. Por isso, como população alvo assume-se que a pastagem é formada por material contínuo. Nestes casos, segundo Chase e Bown (1986), para a realização da amostragem probabilística, é necessário realizar-se primeiramente uma homogeneização do material e posteriormente uma subdivisão da população em unidades amostrais.

O procedimento de homogeneização foi realizado na etapa de "seleção da área de estudo", através da avaliação da variabilidade dos parâmetros biofísicos (variabilidade estimada por outros experimentos nos campos experimentais) nos campos experimentais. Tais estimativas são uma primeira noção do número de amostras necessário e da área mínima necessária para a representatividade de pastagens. A subdivisão da área de estudo em unidades amostrais, sua indexação e ordenação, foi realizada na etapa de "pré-amostragem dos parâmetros espectrais e biofísicos", sendo necessária para o processo de amostragem aleatória simples sem reposição.

Segundo Chase e Bown (1986), este sistema de amostragem consiste na seleção aleatória de uma série de n observações a partir de uma população de N unidades amostrais, sendo que as unidades amostrais têm uma mesma probabilidade de serem inicialmente selecionadas. Tal processo garante estimativas mais precisas da variabilidade dos parâmetros espectrais na área de estudo para o estabelecimento do número e tamanho das amostras necessárias para o nível de confiança desejado. O nível de confiança deve ser fixado de acordo com a probabilidade de acerto na estimação por intervalo. São desejáveis intervalos com alto nível de confiança e pequena amplitude, o que corresponde à estimação de parâmetros com pequena probabilidade de erro e grande precisão, requerendo-se uma amostragem suficientemente grande, pois para um número fixo de amostras, confiança e precisão variam em sentidos opostos (Costa Neto, 1977).

O intervalo de confiança para a média populacional μ quando o desvio padrão populacional σ é conhecido tem a semi-amplitude e_0 dada pela expressão:

$$e_0 = z_{\alpha/2} \cdot (\sigma/\sqrt{n}) \quad (3.1)$$

onde:

e_0 = semi-amplitude do intervalo de confiança para a média populacional;

σ = desvio-padrão populacional;

z_{α} = grau de precisão;

n = número de amostras.

Fixando-se α e e_0 pode-se estimar n , pela expressão:

$$n = ((z_{\alpha/2} \cdot \sigma) / e_0)^2 \quad (3.7)$$

Não se conhecendo os parâmetros populacionais μ e σ , deve-se utilizar uma estimativa do desvio padrão s e aplicar o teste t de Student para o cálculo de n . Ocorre que, para a estimativa de s , é necessária a realização de uma pré-amostragem de n' elementos para, com base nela, obter n , empregando a expressão para pequenas amostras :

$$n = ((t_{n'-1}^2 \cdot (N^2 \cdot s^2)) / (e_0^2 + t_{n'-1}^2 (N \cdot s^2))) \quad (3.2)$$

onde:

$t_{n'-1}$ = valor t de Student para $n'-1$, segundo o grau de precisão desejado;

N = número total de amostras;

Se $n' \leq n$, a pré-amostragem é suficiente para a estimação, caso contrário, proceder-se-á uma amostragem para complementação do tamanho mínimo da amostra (Costa Neto, 1977).

Dadas as características do processo de aquisição e do consequente sistema de amostragem adotado (explicado a seguir), há necessidade de uma nova amostragem completa para as n amostras e não a simples complementação de n' .

3.2.6.5 - Características do processo de aquisição dos dados espectrais e biofísicos

Características do processo de aquisição dos dados como a realização da amostragem espectral no mesmo local (unidade amostral) da amostragem dos parâmetros biofísicos por métodos convencionais, a necessidade da reserva de uma área de segurança ao redor da unidade amostral e a limitação temporal na realização das medidas, condicionaram a definição dos métodos de amostragem.

A aquisição dos dados espectrais e biofísicos no mesmo local é recomendada para diminuir a dispersão dos dados, pois a variabilidade da área de estudo, as diferenças em área amostrada pelo radiômetro ($0,26\text{m}^2$ a $2,34\text{m}^2$) e pelas técnicas convencionais (1m^2), introduzem desvios significativos nos valores espectralmente e convencionalmente medidos (Chase e Bown, 1986). Uma menor dispersão aumenta a validade e precisão das mensurações, permitindo a comparação entre as medidas. Outra razão para a aquisição no mesmo local é a necessidade de uma área de segurança no entorno de cada área amostral, o que limita a área potencialmente amostrável dentro da área de estudo.

O tempo gasto no processo de aquisição é crucial para os sistemas de controle planejados para a variação da geometria de iluminação. Para garantir um menor tempo gasto em trânsito entre amostras é necessário uma menor área de estudo possível e o ordenamento das amostras para a otimização dos trajetos entre amostras.

3.2.6.6 - Definição do método de amostragem no processo de aquisição dos dados espectrais e biofísicos

A população amostrada é formada por material contínuo, subdividido e ordenado artificialmente em unidades amostrais. Adicionalmente a limitação em área útil amostrada dentro da área de estudo e a limitação temporal na realização das medidas fazem necessário um arranjo espacial das amostras otimizado espacialmente. Tais características da população e necessidades do processo de aquisição direcionam para o método de amostragem sistemática (Chase e Bown, 1986). Tal método necessita de elementos da população homogeneizados e ordenados e consiste na amostragem periódica de elementos da população em intervalos espaciais pré-determinados aleatoriamente dentro de certa faixa amostral (Costa Neto, 1977).

A grande vantagem da amostragem sistemática está na facilidade de determinação dos elementos da amostra. Uma desvantagem é o perigo da existência de ciclos de variação da variável (tal possibilidade é avaliada no processo de pré-amostragem dos dados espectrais e biofísicos). No entanto, caso a ordem dos elementos na população não tenha relação com a variável de interesse, então a amostragem sistemática terá efeitos equivalentes à amostragem aleatória simples sem reposição (Chase e Bown, 1986).

3.2.7 - Definição dos métodos de organização, descrição e análise

3.2.7.1 - Definição dos métodos de organização

A metodologia de organização dos dados foi definida em função das características das técnicas de medição espectral e convencionais adotadas e

objetivou a viabilização da aplicação dos métodos de descrição e análise. Foram definidos métodos de organização para os dados espectrais e biofísicos. Dada a complexidade do processo de organização, este foi subdividido em duas fases de tratamento para cada tipo de dado.

a - Dados espectrais:

a.1 - Tratamento Primário

O tratamento primário envolveu as fases de transferência, testes de consistência, armazenamento, e o processamento dos dados, com a filtragem de ruídos, ordenação, cálculo do fator de reflectância, a tradução dos dados, a correção do fator de reflectância e a indexação dos espectros à ficha de campo.

Para a transferência e o processamento dos dados espectrais utilizou-se a metodologia desenvolvida no Larad (Laboratório de Radiometria do INPE) para o tratamento dos dados obtidos pelo SPECTRON SE 590. Tal metodologia foi operacionalizada no programa ESPECTRO, que padroniza o processamento, filtragem de ruídos, ordenação de espectros, o cálculo do fator de reflectância e a tradução do formato LRD para o formato DAT, compatível aos gerenciadores de bancos de dados e programas estatísticos.

Após a tradução dos dados, planejou-se a correção do fator de reflectância, necessária devido à previsão do uso em campo de uma placa padrão secundário, cujas características de reflectância variam com o tempo de uso, devendo ser comparadas a uma placa padrão primária existente no Larad. Através da comparação dos valores de reflectância das duas placas obtêm-se um fator de correção do padrão secundário para cada banda espectral (de 10 nm para o Spectron SE-590) dos espectros amostrados. A indexação dos espectros às fichas de campo, necessária para a organização da documentação do processo de aquisição, foi realizada no gerenciador de bancos de dados DBase III Plus.

a.2- Tratamento Secundário

O tratamento secundário objetivou a transformação e estruturação dos dados espectrais para compatibilizá-los à aplicação das técnicas de descrição e análise. A transformação é necessária para a redução do volume de dados analisados e compreende o cálculo das bandas espectrais relativas ao sensor TM (Thematic Mapper - bandas 1,2,3 e 4) do satélite Landsat 5.

A estruturação do banco de dados espectrais foi necessária para o processo de conversão dos dados em formato compatível aos programas estatísticos e foi realizada pelo Dbase III Plus. O fluxograma para o tratamento primário e secundário dos dados espectrais é apresentado a seguir na figura 3.6.



Fig. 3.6 - Fluxograma específico "Organização dos dados espectrais."

b - dados biofísicos

b.1 - Tratamento primário

b.1.1 - Biomassa e IAF (Índice de Área Foliar)

O tratamento primário envolveu os procedimentos básicos como a separação e pesagem da biomassa para possibilitar a estimativa dos parâmetros biofísicos. A metodologia foi definida em função das técnicas convencionais previamente selecionadas. O fluxograma específico para o tratamento dos dados biofísicos apresenta a sequência lógica planejada (Figura 3.7).

Simultaneamente à coleta de biomassa em campo foi realizada a pesagem desta com uma balança de mola para campo, para a estimativa da biomassa total fresca. Cada amostra com a biomassa fresca referente a 1m^2 foi embalada em sacos plásticos de cor preta com capacidade para 100 litros, imediatamente pesada e armazenada em local fresco à sombra. Tal procedimento visa impedir a perda de água pela transpiração e alteração das características originais.

Após a coleta e pesagem em campo, as amostras foram novamente pesadas em laboratório com uma balança semi-analítica, de maior precisão e exatidão, para possibilitar uma conferência por comparação entre as duas pesagens.

O processamento das amostras em laboratório inicia-se com a coleta de sub-amostras (com pesos previamente determinados) a partir das amostras de biomassa total fresca já coletadas, para as análises da biomassa e do IAF. Obtidas as sub-amostras, separa-se o material quanto a seus componentes estruturais e condições funcionais. Assim, são separados para as análises de biomassa o material verde (folhas mais colmos verdes) do material seco (folhas e colmos secos) e para as estimativas de IAF as folhas verdes, folhas secas, colmos verdes e colmos secos.

Tal procedimento objetivou:

- Para as análise da fitomassa: dar a composição, relativa ao peso, dos componentes funcionais fotossinteticamente e não fotossinteticamente ativos na biomassa total fresca e seus respectivos teores de umidade;

- Para as análises de IAF: dar a composição, relativa ao peso e área (para as folhas verdes), de cada componente estrutural e funcional da biomassa total fresca e seu teor de umidade.

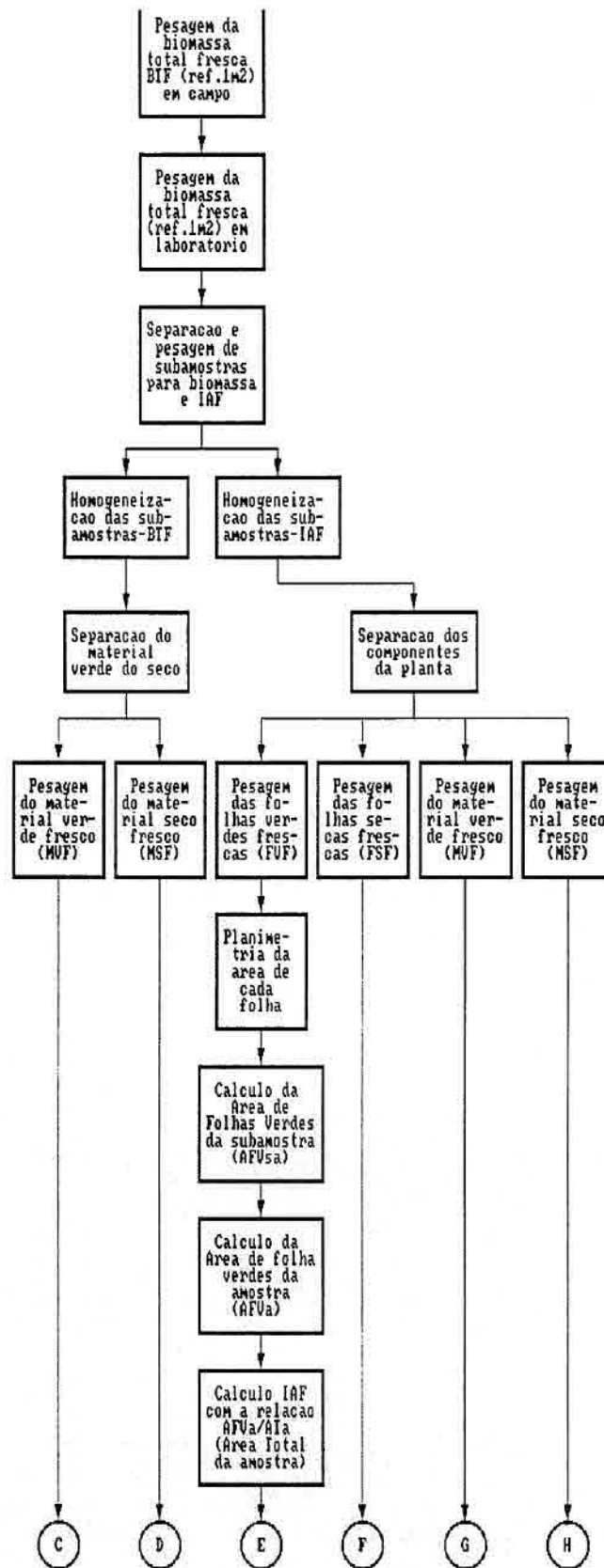


Fig. 3.7 - Fluxograma específico "Organização dos dados biofísicos".(continua)

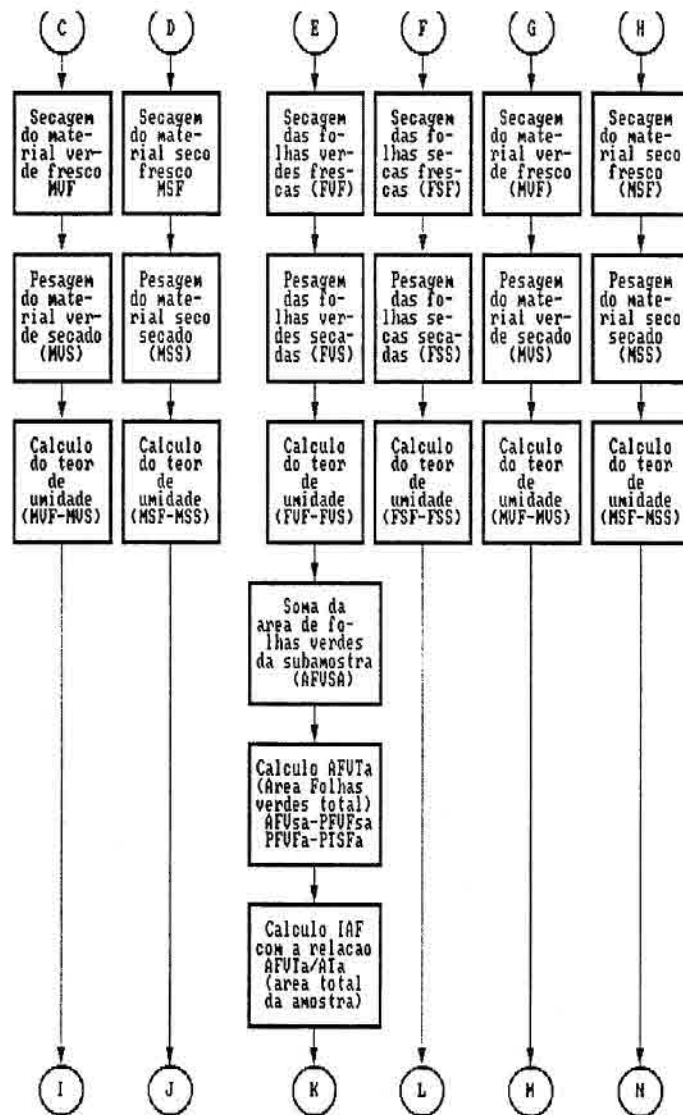


Fig. 3.7 - Fluxograma específico "Organização dos dados biofísicos".(conclusão)

As sub-amostras para estimativa do IAF receberam o mesmo tratamento, sendo que para as folhas verdes foram adicionalmente realizadas reprografias em máquinas Xerox e planimetria em estações SGI equipadas com mesa digitalizadora e o programa CAREA, para o cálculo da área foliar para cada sub-amostra.

Para permitir a comparação dos dados de biomassa e IAF com outros estudos e permitir a estimativa do teor de água em cada componente estrutural da gramínea, foi realizada a secagem das sub-amostras em estufas com ventilação forçada por 72 horas e posterior pesagem de cada componente.

b.1.2 - DAF (Distribuição Angular das Folhas)

Os dados coletados para a estimativa da DAF foram organizados e estruturados no DBase III Plus e processados pelo programa POLAR, especialmente desenvolvido para a projeção dos dados referentes aos AA e AZ foliares num sistema de coordenadas polares. Os AA e AZ foliares foram também analisados separadamente no programa estatístico Statgraphs.

b.1.3 - IC (Índice de Cobertura)

O tratamento primário dos dados objetiva a classificação e a contagem da área dos diversos componentes quanto à estrutura e função da cobertura (folhas verdes (fotossinteticamente ativas), folhas secas, solo exposto, substrato exposto) e às condições de iluminação (iluminadas e sombreadas) para a estimativa dos respectivos índices de cobertura.

A área de amostragem registrada nos diapositivos é projetada em um papel transparente sobreposto a um quadro graduado, procedendo-se à classificação das estruturas com a separação das classes quanto à estrutura e função da cobertura.

Após a classificação e a transposição dos perímetros das classes para o papel transparente é realizado o cálculo de suas respectivas áreas através da digitalização de seus perímetros em estações SGI e o emprego do programa CAREA.

b.1.4 - Substrato e solo subjacentes

O tratamento primário dos dados referentes ao substrato e solo subjacente incluiu a organização dos dados já tabelados e processados em CNS (198).

b.2 - Tratamento Secundário

A estimativa dos parâmetros biofísicos a nível amostral e a extrapolação para o nível populacional foram os procedimentos planejados para os dados biofísicos. A partir dos pesos dos diversos componentes estruturais da gramínea no estado fresco e seco, foram calculados os parâmetros derivados. Baseando-se nas estimativas a nível de amostragem extrapolam-se os parâmetros biofísicos para o nível populacional.

3.2.7.2 - Definição dos métodos de descrição e análise

Nesta seção definiram-se os métodos estatísticos descritivos e indutivos para cada etapa de avaliação do relacionamento entre os parâmetros biofísicos e os dados espectrais obtidos com visadas verticais e oblíquas.

a - Descrição

A seleção das técnicas estatísticas descritivas foi definida basicamente pelas características de comparabilidade do experimento e baseou-se nas características dos dados espectrais e biofísicos, nas técnicas indutivas selecionadas e na compatibilidade com o sistema de amostragem adotado.

Segundo Costa Neto (1977) as técnicas estatísticas descritivas utilizadas para a descrição dos dados são as técnicas gráficas (histogramas de frequência) e as técnicas numéricas das distribuições de frequência (medidas de posição, medidas de dispersão, assimetria e de achatamento ou curtose).

A apresentação gráfica dos dados amostrais orientou a tarefa de especificação do modelo teórico da distribuição de probabilidades, através da caracterização da forma de distribuição de frequências associadas à população, que podem ser confirmadas por testes de aderência aos modelos teóricos existentes (ex. normal, poisson, binomial). A especificação do modelo teórico é básica para a estimação de parâmetros (Spiegel, 1985).

A caracterização numérica de uma distribuição de frequências é realizada com a quantificação de alguns de seus aspectos de interesse denominados medidas de distribuição de frequências. As medidas possíveis para uma distribuição de frequências são as medidas de posição (média, moda e mediana), medidas de dispersão (variância, desvio padrão e coeficiente de variação). As medidas de posição e de dispersão serviram para localizar as distribuições e caracterizar sua variabilidade, tendo grande importância na aplicação em problemas de estatística indutiva (Spiegel, 1985). Assim, para a descrição gráfica dos dados amostrais selecionaram-se os polígonos de frequência, os gráficos de frequência acumulada e o diagrama de barras. Para a caracterização numérica das distribuições de frequências foram selecionadas as medidas de posição e de dispersão.

Os dados espectrais e biofísicos foram tratados isoladamente, embora sejam utilizadas as mesmas técnicas, para uma melhor compreensão do comportamento interno das variáveis para cada tipo de dado. O processo de caracterização dos dados biofísicos iniciou-se com a descrição numérica e gráfica de cada grupo de parâmetros que caracterizaram a composição da fitomassa (a produ-

ção, a disponibilidade de componentes e o teor de água) e sua estrutura geométrica (o IAF, o IC e a DAF), utilizando-se as técnicas descritivas já definidas na seção anterior. Para os dados espectrais descreveram-se separadamente as variações azimutais, zenitais, azimutais e zenitais em relação ao nadir e a variabilidade amostral.

b - Análise

Nesta seção discutem-se as técnicas estatísticas indutivas definidas para a análise dos dados espectrais e dos parâmetros biofísicos. Foram selecionadas técnicas específicas para cada objetivo da pesquisa.

Primeiro e segundo objetivos:

Para uma análise da relação interna dos FRBMs e dos parâmetros biofísicos aplicou-se a análise de correlação linear simples (modelo de Pearson) (Chase e Bown, 1986). Na análise gráfica a nível indutivo, foram selecionados o diagrama de dispersão e o diagrama de correlação (correlograma).

Iniciou-se a análise das correlações para os dados espectrais com uma análise a nível global das relações entre os FRBMs obtidos sem variação da geometria de visada, os obtidos com variação azimutal, zenital, azimutal e zenital e azimutal e zenital em relação ao nadir, por banda espectral, AAV e AZV. Para os dados biofísicos analisaram-se as correlações para cada grupo de parâmetros biofísicos que caracterizaram a composição da fitomassa, a produção, a disponibilidade de componentes e teor de água e sua estrutura geométrica (IAF).

As análises de correlação para as variáveis espectrais e biofísicas foram fundamentais para a identificação de tendências de variações conjuntas e de redundância de informação por similaridade entre os parâmetros.

Terceiro Objetivo:

As técnicas estatísticas indutivas utilizadas para a avaliação do relacionamento funcional das variáveis espectrais e dos parâmetros biofísicos são as análises de correlação simples (Costa Neto, 1977). Empregou-se a análise de correlação linear simples (modelo de Pearson) entre os FRBMs obtidos nos diferentes AAVs e AZVs e os parâmetros biofísicos, para cada amostra.

Primeiramente, realizou-se uma descrição a nível geral da distribuição dos valores dos coeficientes, destacando os valores médios dos coeficientes por AAV, AZV, banda espectral e parâmetro biofísico. Realizada a descrição geral, analisaram-se as relações específicas de cada grupo de parâmetros caracterizadores da fitomassa e os FRBMs obtidos com a variação da geometria de visada.

3.3 - Seleção da área de estudo

O processo de seleção da área de estudo baseou-se nos critérios condicionais e temporais definidos na etapa de planejamento da seleção de situações experimentais "ideais".

Selecionou-se o Instituto de Zootecnia de Nova Odessa como o local de estudo, por ser reconhecidamente uma das principais instituições de pesquisas sobre pastagens.

3.3.1 - Seleção das espécies

Para a seleção foram realizadas pesquisas bibliográficas e consultas aos pesquisadores do Instituto de Zootecnia quanto às características biométricas das diferentes espécies e da sua representatividade em área cultivada no Brasil, visando a adequação à aplicação das técnicas de sensoriamento remoto. Para avaliação das espécies mais representativas, utilizaram-se as estimativas das áreas e da distribuição das principais forrageiras em pastagem cultivada no estado de São Paulo entre os anos de 1984 e 1989 realizados pelo IEA (Instituto de Economia Agrícola) (Ferreira et al., 1990).

Na análise dos critérios de representatividade em área cultivada considerou-se além dos dados absolutos e relativos, a extensão dos cultivos, pois é fundamental para a aplicação do sensoriamento remoto orbital o cultivo em grandes extensões.

Outros critérios para a seleção da espécie foram os de adequação ao estudo em radiometria de campo e ao estudo da variação da geometria de visada e formação de coberturas homogêneas e completas. Por adequação aos estudos radiométricos, entende-se a possibilidade da aplicação das técnicas radiométricas, apesar das limitações em equipamentos, dadas as características da espécie. A principal limitação para o equipamento utilizado é a altura máxima de elevação dos sensores, restrita a 4 metros, impossibilitando a aplicação em gramíneas de grande porte, visto que o sensor deve estar acima de 3 metros do topo da cobertura.

Para a adequação a este particular estudo da variação da geometria de visada, exigem-se coberturas homogêneas (pequena variabilidade espacial dos parâmetros biofísicos) e completas (não dispostas em fileiras ou com solo subjacente exposto). Aplicou-se o critério de homogeneidade dada a necessidade de minimização da amostragem biofísica e de uma menor complexidade estrutural.

As gramíneas que satisfizeram todas as exigências do processo de seleção foram as do gênero *Brachiaria sp.*, selecionando-se as espécies *Brachiaria decumbens* e *Brachiaria brizantha*. As duas espécies são as mais cultivadas extensivamente em área no Brasil e continuam em processo de expansão da área cultivada. Conforme Ferreira et al. (1990), o gênero *Brachiaria* é o capim mais plantado no Brasil, sendo que em São Paulo predomina com mais de 50% da área de pastos plantados. Essa preferência é refletida em todo o Brasil o que levou Ghisi (1991) a estimar que o gênero ocupa 37 milhões de ha, sendo que, só nos cerrados *Brachiaria decumbens* ocupava em 1980 de 8 a 10 milhões de ha.

3.3.2 - Seleção dos campos experimentais

Para *Brachiaria decumbens* foi selecionada uma área onde fôra realizado o experimento em produção e melhoramento genético de sementes. Para *Brachiaria brizantha* selecionaram-se os campos experimentais do experimento em produtividade de pastagens.

3.3.3 - Seleção da área de estudo

Para a seleção da área experimental baseou-se em dados pré-existentes dos campos experimentais selecionados e em um segundo trabalho de campo, realizado no final de abril de 1991.

Foram analisados no reconhecimento em campo as características biofísicas quanto aos seguintes critérios de adequação ao estudo por Sensoriamento remoto, ao estudo da variação da geometria de visada e a sua homogeneidade.

Selecionaram-se duas áreas retangulares de 1000 m², uma para cada espécie. O dimensionamento da área foi determinado a partir de estimativas iniciais do espaço necessário para um número máximo de amostras necessárias para a aplicação dos testes estatísticos baseados na distribuição normal. Assim, os campos podem suportar no máximo 30 amostras cada, o suficiente para a representação populacional.

3.4- Pré-amostragem dos dados espectrais e biofísicos

A pré-amostragem dos dados espectrais e biofísicos constou de uma simulação do processo de aquisição e teve como objetivos principais: (a) a avaliação do processo de aquisição e processamento dos dados, (b) a análise estatística da variabilidade da área de estudo, para o dimensionamento experimental e (c) a aquisição de dados auxiliares à seleção do melhor período de aquisição.

a -Avaliação do processo de aquisição

- a.1 - Organização da área experimental;
- a.2 - Configuração do sistema de aquisição;
- a.3 - Testes de precisão e exatidão dos sistemas de aquisição, de controle e de processamento;
- a.4 - Estimativas do tempo gasto na calibração e no ajuste dos sistemas de aquisição, de controle e de processamento;
- a.5 - Aprendizagem das técnicas e métodos de operação dos sistemas de aquisição e processamento das amostras;
- a.6 - Testes do processo de documentação da aquisição dos dados espectrais e biofísicos.

b - Dimensionamento experimental

- b.1 - Dimensionamento do número de amostras biofísicas necessárias para o processo de pré -aquisição;
- b.2- Determinação da variabilidade dos dados biofísicos;
- b.3 - Avaliação da existência de ciclos de variação das variáveis espectrais e biofísicas;

c - Seleção do período de aquisição

- c.1 - Aquisição dos dados auxiliares básicos
- c.2 - Análise dos dados auxiliares
- c.3 - Seleção do período de aquisição

a.1 - Organização da área experimental;

A organização da área experimental constou de uma subdivisão da área de estudo em unidades amostrais (UA) e posterior ordenação e indexação destas. A área de estudo de aproximadamente 1000 m² foi subdividida em 1000 UA com 1m² cada e ordenada em fileiras, sendo cada UA indexada com um número da fileira (linha) e coluna, para possibilitar a localização das UAs amostradas.

a.2 - Configuração dos sistemas de aquisição:

Conforme definido na etapa de planejamento operacional do processo de aquisição, realizaram-se os cálculos para o dimensionamento dos sistemas de controle, considerando-se as já conhecidas características das áreas experimentais. As Tabelas 3.1 e 3.2 apresentam os resultados do dimensionamento para o campo experimental de *Brachiaria decumbens* e *Brachiaria brizantha*, respectivamente. As Figuras 3.8 e 3.9 ilustram a configuração espacial dos sistemas de controle para as espécies *B.decumbens* e *B.brizantha*, respectivamente.

TABELA 3.1 - DIMENSIONAMENTO DOS SISTEMAS DE CONTROLE PARA A ESPÉCIE *Brachiaria decumbens*

AZV (graus)	dsa (m)	dma*a (m)	área UA (m2)	â (graus)	φ long. área
0	0	0,70	0,31	90	0,80
15	0,64	0,95	0,35	47,5	0,90
30	1,39	1,55	0,49	27	1,10
45	2,40	2,50	0,92	16,5	1,30
60	4,16	4,22	2,79	9,5	1,90

Legendas: dsa-distância sensor-alvo, dma-distância mastro-alvo, â-ângulo sensor-alvo , φ long. área-diâmetro longitudinal da área

TABELA3.2 - DIMENSIONAMENTO DOS SISTEMAS DE CONTROLE PARA A ESPÉCIE *Brachiaria brizantha*.

AZV (graus)	dsa (m)	dma*a (m)	área UA (m2)	â (graus)	φ long. área
0	0	0,70	0,26	90	0,80
15	0,59	0,91	0,29	50	0,90
30	1,27	1,45	0,41	30	1,10
45	2,20	2,30	0,77	18	1,30
60	3,81	3,87	2,35	11	1,90

Legendas: dsa-distância sensor-alvo, dma-distância mastro-alvo, â-ângulo sensor-alvo , φ long. área-diâmetro longitudinal da área

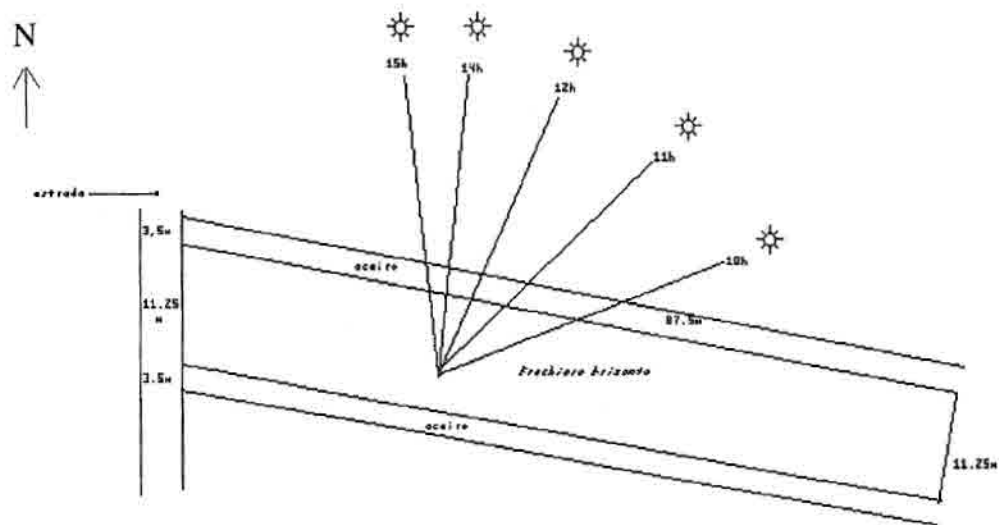


Fig. 3.8 - Configuração da área de estudo de *Brachiaria brizantha*, em relação com a geometria de iluminação.

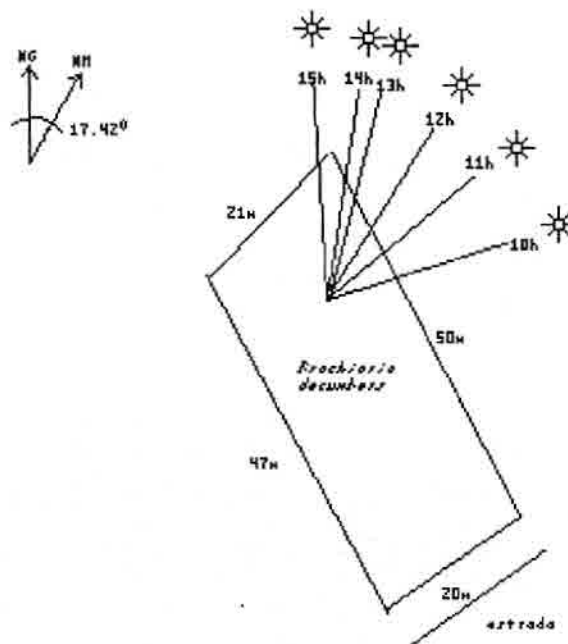


Fig. 3.9 - Configuração da área de estudo de *Brachiaria decumbens*, em relação à geometria de iluminação.

b.1 - Dimensionamento do número de amostras biofísicas necessárias para a seleção do período de aquisição

Foi dimensionada para uma população de 1000 UAs ($N = 1000$) uma amostragem aleatória simples de 10 UA ($n' = 10$), um número de amostras suficiente para a determinação dos parâmetros populacionais necessários para a estimativa de n' (X , s^2 e s), segundo NAS-NRC (1962) e para os objetivos de simulação.

a.3 - Testes de precisão e exatidão dos sistemas de aquisição, de controle e de processamento

A simulação do processo de aquisição seguiu a lógica definida na etapa "Planejamento operacional do processo de aquisição" e permitiu o teste dos sistemas de aquisição segundo os critérios de avaliação definidos na seção 3.2.5.6 "Definição dos critérios de avaliação do planejamento experimental".

Na aquisição dos dados espectrais, os sistemas de controle foram aferidos, primeiramente, de modo isolado e posteriormente, integrados. Isoladamente todos os sistemas tiveram uma variação inferior a 5% em suas medições, quando comparadas às medições diretas com trena e bússola. Entretanto, integralmente os subsistemas de controle azimutal em relação ao AAS e à UA apresentaram variação superior a 5% e tiveram que ser redimensionados.

Quanto à aquisição dos dados biofísicos, não houve problemas de dimensionamento, dada a simplicidade dos métodos convencionais empregados.

a.4 - Estimativas do tempo gasto na calibração e no ajuste dos sistemas de aquisição, de controle e processamento

As estimativas temporais de cada etapa do processo de aquisição (principalmente dos dados espectrais) são vitais para o dimensionamento experimental (número de amostras possíveis de serem medidas com uma variação do AZS e do AAS aceitáveis), para a definição dos AZV a serem medidos em um mesmo dia e o número de dias necessários para a medição de todos os AZV e AAV selecionados. Além disso, a cronometragem de cada tipo de procedimento demonstra os processos mais lentos, para a predição das causas da lentidão e alternativas para a otimização dos processos.

Para os dados biofísicos as estimativas temporais foram importantes para o dimensionamento da equipe de trabalho e do tempo de utilização dos equipamentos e material de laboratório.

TABELA 3.3 - ESTIMATIVAS DO TEMPO GASTO EM CADA ETAPA DO PROCESSO DE AQUISIÇÃO PARA $AZV \neq 0^{\circ}$ (Seg.)

Calibração dos sistemas	Intercalibração e difusa.	Ajuste sistemas controle	Medição R placa e alvo	Trânsito entre amostras	Total por AV
20	40	40	20	40	160

TABELA 3.4 - ESTIMATIVAS DO TEMPO GASTO EM CADA ETAPA DO PROCESSO DE AQUISIÇÃO PARA $AZV = 0^{\circ}$ (Seg.)

Calibração dos sistemas	Intercalibração e difusa.	Ajuste sistemas controle	Medição R placa e alvo	Trânsito entre amostras	Total por AZV
0	40	5	20	40	105

Analisando as Tabelas 3.3 e 3.4 verifica-se o grande tempo perdido no trânsito entre amostras (dado que estas foram amostradas aleatoriamente), podendo este ser minimizado com a amostragem sistemática, que organiza a distribuição das UAs em intervalos espaciais pré-determinados.

A calibração e os ajustes dos sistemas de controle para $AZV \neq 0$, foram os processos mais dispendiosos, mas pela experiência em campo não há como minimizar o tempo gasto, dada a necessidade de grande precisão nos ajustes para uma maior confiabilidade dos dados. É possível uma minimização do tempo gasto na medição da reflectância do alvo e da placa através de um maior treinamento nas técnicas de aquisição e entrosamento da equipe.

a.5 - Aprendizagem das técnicas e métodos de operação dos sistemas de aquisição e processamento das amostras

O entrosamento dos membros da equipe é fundamental para a otimização do processo de aquisição quanto ao tempo de aquisição e precisão e exatidão das medidas. Para tanto, foram realizados treinamentos prévios tanto na operação do Spectron, como nos ajustes dos sistemas de controle.

a.6 - Testes na documentação do processo de aquisição

Nos testes avaliou-se a adequabilidade e funcionalidade da ficha de campo na documentação do processo operacional de aquisição e dos dados auxiliares, sendo esta aprovada.

c - Seleção do período de aquisição

Foram coletados dados auxiliares para a seleção do período de aquisição conforme critérios temporais e condicionais pré-definidos na etapa de planejamento da seleção de situações experimentais ideais. Foram coletados dados quanto às características da vegetação e à geometria de iluminação.

B. decumbens e *B. brizantha* se encontravam bem estabelecidas, com recobrimento completo do solo, altura de aproximadamente 80 cm e em florescimento.

Caracterizou-se a geometria de iluminação através da estimação da variação do AAS e do AZS durante o período das 9 às 16 horas, determinando-se o período do dia com uma menor variação para a aquisição. Para facilitar a análise dos dados, estes foram plotados em um gráfico, conforme demonstrado a seguir na Figura 3.10.

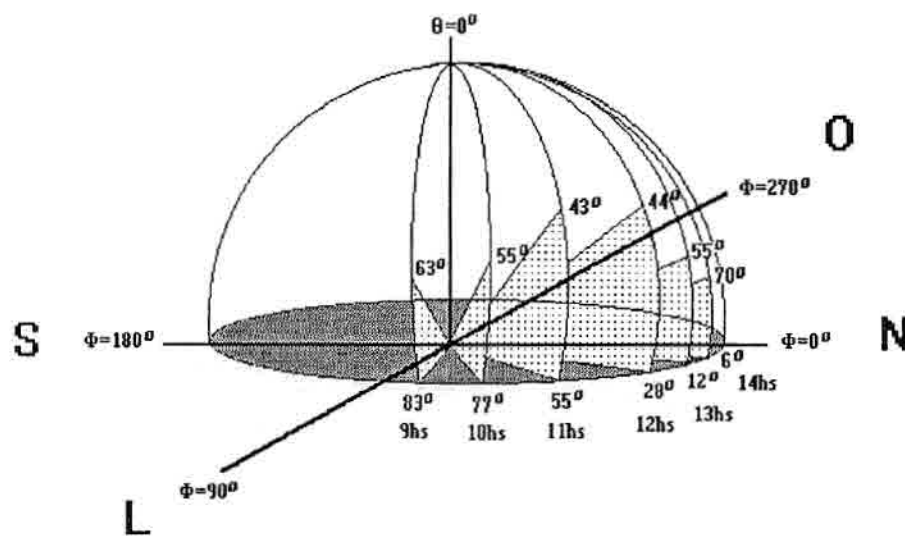


Fig. 3.10 - Variação da geometria de iluminação no período de um dia para o mês de junho de 1991.

c.1 - Análise dos dados auxiliares

Além dos dados auxiliares adquiridos sobre a variação da geometria de iluminação, analisaram-se dados obtidos por simulação e revisão de literatura quanto à variação anual do AAS e AZS (considerando-se a variação no período de um dia) e da frequência da cobertura de nuvens.

Através da análise dos dados obtidos no "Nomogramas de altura solar" (Steffen, 1977), obteve-se a variação do AZS e do AAS para o período das 9 às 15 horas durante todo o ano de 1991. Tal variação permitiu a verificação do período com menor variação do AZS, variável chave para o experimento, uma vez que a variação do AAS é compensada pelos sistemas de controle. Verificou-se que o período compreendido entre os meses de abril, maio, junho e julho é o que apresenta uma menor variação e por isso preferencial quanto à aquisição dos dados espectrais.

Analisando-se a frequência da cobertura de nuvens em dados Landsat para Nova Odessa, no período de 1973 a 1981, obtidos Mendonça e Camara Neto (1983), verificou-se que os meses de maio a setembro apresentam uma menor frequência de nuvens. No entanto, deve-se ressaltar que os meses de agosto e setembro apresentam grande ocorrência de névoa e fumaça, prejudicial à realização de radiometria.

Considerando-se a aquisição dos dados biofísicos, analisou-se a variação da produção anual para os capins do gênero *Brachiaria*. Os dados constantes da tabela 3.5 evidenciam a pronunciada variação na produção entre o inverno e o verão. Tal variação deve-se principalmente ao crescimento estacional nos trópicos, próprio da fisiologia de plantas, como resposta aos fatores limitantes temperatura e umidade, dada a sensibilidade deste gênero às baixas temperaturas e deficiência hídrica que ocorrem no inverno.

TABELA 3.5 - COMPARAÇÃO ENTRE A PRODUÇÃO DE FITOMASSA VERDE (FTV) POR *Brachiaria* sp. NO PERÍODO DO VERÃO E INVERNO

PRODUÇÃO FTV (Kg/ha)			% PRODUÇÃO	
Anual	Verão	Inverno	Verão	Inverno
14500	12780	1720	88	12

FONTE: BASEADO EM PEDREIRA E MATTOS (1981)

c.2 - Seleção do período de aquisição

Para a seleção do período de aquisição quanto aos dados espectrais prevaleceu a exigência de uma menor variação do AZS, pois esta é uma variável impossível de ser controlada em condições de campo, enquanto a frequência de cobertura de nuvens e a ocorrência de névoas determina as condições atmosféricas mais favoráveis. Assim, concluiu-se que o melhor período para a aquisição dos dados espectrais está compreendido entre os meses de abril a julho, pois neste período há conciliação de uma menor variação do AZS e menor frequência de nuvens.

Para os estudos de sensoriamento remoto da vegetação há necessidade de uma maior disponibilidade de material fotossinteticamente ativo para que ocorra um contraste com o solo subjacente. Nos meses de junho a julho há ainda uma maior disponibilidade de componentes fotossinteticamente ativos. Assim, o melhor período está entre março a julho. Integrando-se os períodos selecionados quanto à aquisição dos dados espectrais e biofísicos resultou por sobreposição os meses de maio, junho e julho como os melhores.

b.2- Determinação da variabilidade dos dados biofísicos

Como produto da pré-amostragem obtiveram-se estimativas de média, desvio padrão e variância da fitomassa total (fresca e seca), do teor de seus componentes e do IAF. Sobre estes valores aplicou-se a expressão 3.8 para o cálculo de n, baseando-se no test "t" de Student, como definido na seção de definição do sistema de amostragem.

TABELA 3.6 - VALORES ESTIMADOS DA MÉDIA, DESVIO PADRÃO E NÚMERO DE AMOSTRAS RELATIVOS A 10 AMOSTRAS DE *B. decumbens*

	H (cm)	FTT(pu) (g)	MV(pu) (g)	MV(ps) (g)	MS(pu) (g)	MS(ps) (g)	IAF	DAF(ϕ) (graus)	DAF(θ) (graus)
Média	87,50	1845,2	117,42	52,23	119,15	88,42	5,779	133,74	27,98
Desvio	11,24	405,75	21,29	5,87	22,69	17,66	0,838	37,59	8,01
n'	9	25	17	7	19	21	11	---	----
LEGENDAS: H- altura, FTT - Fitomassa total (peso úmido), MV(pu) - Material verde (peso úmido), MV(PS) - Material Verde (peso seco), MS(PU) - Material Seco (peso úmido), MS(PS) Material Seco (peso seco), IAF - Índice de Área Foliar, DAF (ϕ) - Distribuição Angular das Folhas (ângulo azimutal), DAF (θ) - Distribuição Angular das Folhas (ângulo zenital), n' = número de amostras necessário segundo a estimativa t 'Student									+

TABELA 3.7 - VALORES ESTIMADOS DA MÉDIA, DESVIO PADRÃO E NÚMERO DE AMOSTRAS RELATIVOS À 10 AMOSTRAS DE *B. brizantha*

	H (cm)	FT(pu) (g)	MV(pu) (g)	MV(ps) (g)	MS(pu) (g)	MS(ps) (g)	IAF	DAF(ϕ) (graus)	DAF(θ) (graus)
Média	88,20	6686,7	174,54	60,65	54,50	28,15	15,54	104,76	20,81
Desvio	11,59	1476,7	9,16	6,38	21,94	5,57	1,53	57,72	11,11
n'	9	25	2	6	32	20	6	---	---
LEGENDAS: H- altura, FTT - Fitomassa total (peso úmido), MV(pu) - Material verde (peso úmido), MV(PS) - Material Verde (peso seco), MS(PU) - Material Seco (peso úmido), MS(PS) Material Seco (peso seco), IAF - Índice de Área Foliar, DAF (ϕ) - Distribuição Angular das Folhas (ângulo azimutal), DAF (θ) - Distribuição Angular das Folhas (ângulo zenital), n' = número de amostras necessário segundo a estimativa t 'Student									+

As tabelas 3.6 e 3.7 consideram um nível de precisão para "t" = 0,95 e 9 graus de liberdade. Analisando o número mínimo de amostras necessárias para a representação de cada parâmetro biofísico, observou-se uma variação muito grande (n de 2 a 25). Assim, considerou-se como o mínimo necessário o

maior número de n exigido para representar a fitomassa total (25), pois este é um parâmetro fundamental, dos quais derivam os demais caracterizadores da produção e composição da fitomassa.

Analisaram-se os parâmetros média, desvio-padrão e variância para cada amostra biofísica e não foi observada a ocorrência de ciclos de variação, ou seja, a variação dos dados não está relacionada à sua organização espacial, podendo-se aplicar o processo de amostragem sistemática.

3.5 - Aquisição de dados espectrais e biofísicos

A tabela 3.8 demonstra os períodos de aquisição e tratamento dos dados espectrais e biofísicos.

TABELA 3.8- PERÍODOS DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO PRIMÁRIO DOS DADOS ESPECTRAIS E BIOFÍSICOS

ESPÉCIES	PERÍODO					
	Aquisição	Tratamento 1º		Aquisição	Tratamento 1º	
	Aquisição Espectral	Transferên- -cia	Inspeção espectros	Aquisição biofísicos	Processa- mento	Estimativas
<i>B.decumbens</i>	01a03/06	04a05/06	06/06	07a08/06	09a21/06	25/06a30/8
<i>B.brizantha</i>	16a18/06	19a20/07	21/07	22a23/07	24/07a4/08	05/08a30/8

O processo de organização objetivou otimizar o espaço utilizado para a amostragem, uma vez que a necessidade de uma área de segurança em torno das áreas amostrais diminuiu grandemente a área potencialmente amostrável.

Considerando a área de segurança para a amostragem de cada UA são necessários 60 m^2 , mas como $n = 25$ e a área de estudo tem 1000 m^2 a área disponível para cada UA é de cerca de 40 m^2 .

Para resolver este problema foi dimensionada uma parte da área de trânsito das UAs periféricas para fora da área de estudo e houve um compartilhamento da área de segurança entre as UAs

Tais procedimentos garantiram um menor tempo gasto em trânsito entre UAs, dado pela facilidade de locomoção nas áreas externas a área de estudo, uma menor interferência no campo experimental e uma maior área efetiva para a amostragem.

3.5.1 - Aquisição de dados espectrais

Para a aquisição dos dados espectrais foram realizadas medições radiométricas para 25 amostras da vegetação e para uma amostra do solo em áreas experimentais de 1000 m², para cada espécie. As medidas da reflectância bidirecional multiespectral (500 a 1100 nm) foram obtidas nos ângulos zenitais de 0, 15, 30, 45 e 60 graus para 3 setores do plano azimutal (0, 90 e 180 graus), com a variação do ângulo zenital solar controlada para uma amplitude de 10 graus (45°-55°) e a variação azimutal solar compensada no método de aquisição. A variação azimutal em relação a EGV (Estrutura Geométrica da Vegetação) foi minimizada intra ângulos zenitais de visada, pelo curto período de aquisição (aproximadamente 1 hora para cada ângulo zenital), e compensada entre ângulos azimutais de visada, pela aquisição em dias diferentes, mas no mesmo período (horário) de aquisição (mesmo AZS (Ângulo Zenital Solar) e AAS (Ângulo Azimutal Solar)). Fotografias verticais e do perfil da vegetação documentaram os locais e a área amostrada, para o estabelecimento do índice de cobertura da fitomassa verde, da fitomassa seca, do solo exposto e a distribuição e intensidade de sombras em cada um destes componentes, além de registrar o estágio fenológico da vegetação. As tabelas 3.9 e 3.10 descrevem o período, o horário e a variação da geometria de aquisição.

TABELA 3.9 - DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE AQUISIÇÃO DOS DADOS ESPECTRAIS PARA *Brachiaria decumbens*: HORÁRIO, VARIAÇÃO DO AAS E AZS PARA CADA AAV E AZV (em graus)

AZV	DIA	Hora Início	Hora final	VAR Hora	AAS início	AAS final	VAR AAS	AZS início	AZS final	VAR AZS
0	03/06	10:25	11:15	00:50	65	48	17	49	43	6
15	02/06	11:20	12:55	1:35	47	14	33	43	44	1
30	02/06	13:00	14:00	1:00	12	6	6	44	55	11
45	01/06	12:30	14:00	1:30	20	1	19	44	55	11
60	01/06	12:00	13:30	1:30	28	15	13	43	49	6

TABELA 3.10- DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE AQUISIÇÃO DOS DADOS ESPECTRAIS PARA *Brachiaria brizantha*: HORÁRIO, VARIAÇÃO DO AAS E AZS PARA CADA AAV E AZV (em graus)

AZV	DIA	Hora Início	Hora final	VAR Hora	AAS início	AAS final	VAR AAS	AZS início	AZS final	VAR AZS
0	18/07	13:00	13:40	00:40	12	8	4	44	51	7
15	18/07	11:30	13:00	1:30	41	12	29	43	44	1
30	17/07	13:00	14:00	1:00	12	6	6	44	55	11
	18/07	10:55	11:25	0:30	57	45	12	44	43	1
45	17/07	12:05	13:20	1:15	26	10	16	43	48	5
60	16/07	10:30	12:10	1:40	66	22	44	49	43	6

3.5.2 - Aquisição de dados biofísicos

Obtiveram-se os seguintes parâmetros biométricos da vegetação: Fitomassa total fresca (FIT_PU) e seca (FTT_PS), fitomassa verde fresca (FTV_PU) e seca (FTV_PS), fitomassa seca fresca (FTS_PU) e seca (FTS_PS), teor de água total (TAFTT) e da biomassa verde (TAFTV) e seca (TAFTS), folhas verdes fresca (FV_PU), folhas secas (FS_PU), colmos verdes (MV_PU) e secos (MS_PU), índice de área foliar (IAF), área foliar total (AFT), índice de cobertura (IC) e distribuição angular das folhas estratificada por altura da cobertura (DAFE) e altura da cobertura (H). Parâmetros biofísicos coletados do solo foram a classificação da cor do solo segundo a tabela Munsell, textura e rugosidade.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Composição e aspectos geométricos da vegetação herbácea e do solo subjacente *Brachiaria brizantha*

4.1.1 - Estatística descritiva

4.1.1.1 - Composição da fitomassa aérea

Apresentam-se as estatísticas descritivas que caracterizam a fitomassa aérea: a produção, a disponibilidade dos componentes, a variabilidade da produção e o teor de água. Na Tabela 4.1 são apresentadas as estatísticas descritivas dos parâmetros que caracterizam a fitomassa aérea.

TABELA 4.1 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DOS PARÂMETROS BIOFÍSICOS QUE CARACTERIZAM A COMPOSIÇÃO DA FITOMASSA E OS ASPECTOS GEOMÉTRICOS DA COBERTURA DE *Brachiaria brizantha*.

Parâmetros	Valores mín.	Valores máx.	Média	Desvio Padrão
FTT(PU)	2 100,00	7 000,00	4 136,00	892,50
FTT(PS)	1 293,48	3 944,85	2 519,45	504,25
FTV(PU)	1 432,08	4 496,48	2 734,40	586,41
FTV(PS)	807,80	2 785,85	1 505,92	427,67
FTS(PU)	485,96	2 503,51	1 401,60	443,57
FTS(PS)	278,47	1 599,20	993,47	353,89
FV(PU)	471,07	1 778,69	1 062,65	320,66
FS(PU)	0,00	1 895,77	566,45	389,29
MV(PU)	1 196,68	4 392,39	2 165,77	627,74
MS(PU)	0,00	735,47	334,02	226,67
TAFTT	806,52	3 055,14	1 616,63	504,50
TAFTV	611,20	2 033,15	1 228,49	369,62
TAFTS	178,76	953,18	408,13	169,95
IAF	2,67	9,84	5,64	1,59

FTT(PU) Fitomassa total (peso úmido) - FTT(PS) Fitomassa total (peso seco) - FTV(PU) Fitomassa verde (peso úmido) - FTV(PS) Fitomassa verde (peso seco) - FTS(PU) Fitomassa seca (peso úmido) - FTS(PS) Fitomassa seca (peso seco) - FV(PU) Folhas verdes (peso úmido) - FS(PU) Folhas secas (peso úmido) - MV(PU) Material verde (peso úmido) - MS(PU) Material seco (peso úmido) - TAFTT - Teor de água da fitomassa total - TAFTV Teor de água da fitomassa verde - TAFTS - Teor de água da fitomassa seca - IAF - Índice de Área Foliar

a - Produção

Os valores observados para a produção de fitomassa foram coerentes com os encontrados na literatura como demonstrado na Tabela 4.2.

TABELA 4.2 - VARIABILIDADE DA PRODUÇÃO MÉDIA ANUAL DE FITOMASSA TOTAL DE *B.brizantha* OBSERVADOS NA LITERATURA.

LITERATURA	PRODUÇÃO (g/m ²)
EMBRAPA (1985)	3 920 a 5 410
EMBRAPA (1984)	4 000 a 8 100
NUNES et al. (1984)	8 000 a 20 000
PORZECANSKI et al. (1979)	4 000 a 8 000

b - Disponibilidade dos Componentes

A Tabela 4.3 apresenta a proporção e variabilidade relativa dos componentes da fitomassa.

TABELA 4.3 - PROPORÇÃO E VARIABILIDADE RELATIVA DOS COMPONENTES DA FITOMASSA DE *B. brizantha*

PARÂMETRO	PROPORÇÃO (%)	VARIABILIDADE (%)
FTT(PU)	100,00	21,00
FTT(PS)	100,00	20,00
FTV(PU)	66,11	21,01
FTV(PS)	59,77	27,82
FTS(PU)	33,89	31,01
FTS(PS)	39,43	34,90
FV(PU)	39,09	29,32
FS(PU)	80,55	69,18
MV(PU)	23,1	34,11
MS(PU)	38,83	63,18
TAFTT	39,09	30,58
TAFTV	44,93	29,48
TAFTS	29,12	40,80

FTT(PU) Fitomassa total (peso úmido) - FTT(PS) Fitomassa total (peso seco) - FTV(PU) Fitomassa verde (peso úmido) - FTV(PS) Fitomassa verde (peso seco) - FTS(PU) Fitomassa seca (peso úmido) - FTS(PS) Fitomassa seca (peso seco) - FV(PU) Folhas verdes (peso úmido) - FS(PU) Folhas secas (peso úmido) - MV(PU) Material verde (peso úmido) - MS(PU) Material seco (peso úmido) - TAFIT - Teor de água da fitomassa total - TAFIV Teor de água da fitomassa verde - TAFTS - Teor de água da fitomassa seca - IAF - Índice de Área Foliar

Existem poucos trabalhos sobre a distribuição dos componentes da fitomassa de *B.brizantha* na literatura. O trabalho realizado na EMBRAPA (1984) foi o único em condições de comparabilidade com este estudo e está demonstrado na Tabela 4.4.

TABELA 4.4 - VALORES ABSOLUTOS E RELATIVOS DE FITOMASSA TOTAL (FTT), FITOMASSA VERDE (FTV) E SECA (FTS) E SEUS COMPONENTES (MV, MS, FV, FS). OBSERVADOS POR EMBRAPA(1984).

	FTV (g/m ²)				FTS (g/m ²)				FTT (g/m ²)	
	FV		MV		FS		MS		(g/m ²)	%
	(g/m ²)	%	(g/m ²)	%	(g/m ²)	%	(g/m ²)	%		
EMBRAPA (1984)	1050	16,8	3500	56	1000	16	700	11,2		
Total	4550		72,8		1700		27,2		6250	100

Analisando a Tabela 4.4 conclui-se que os valores absolutos encontrados para FTV e FTS foram inferiores aos observados por EMBRAPA (1984), mas a distribuição dos valores relativos é semelhante, com uma maior proporção de FTV (72,8 e 79,2%) em relação a FTS (27,2 e 20,8%). Os componentes de FTV e FTS também apresentaram valores relativos semelhantes. Na FTV houve um predomínio do MV (56 e 53%) sobre a FTV (FV (16,8 e 26%), enquanto na FTS predomina a FS (16 e 13,2%) em relação ao MS (11,2 e 7,8%). O predomínio em peso do MV sobre a FV é explicado pela maior densidade do material e do maior teor de água. Já a maior proporção de FS em relação ao MS é justificada pelo próprio processo de senescência foliar, que ocorre anteriormente ao processo de secagem do colmo, que significa a morte da planta.

c - Variabilidade da produção e da proporção dos componentes da fitomassa

Observou-se uma variação média de 20% na produção de fitomassa total (FTT(PS)), de 28% para a FTV e de 35% para FTS. Para os componentes da FTV (MV e FV) verificou-se respectivamente 34% e 29% de variação, enquanto os componentes da FTS (MS e FS) apresentaram 63% e 69%, respectivamente. Tais variações são justificadas por fatores intrínsecos à espécie e às condições experimentais em campo.

Fatores intrínsecos à espécie como o dissincronismo no desenvolvimento, tanto no crescimento vegetativo como na fase reprodutiva, resultaram na ocorrência de plantas com diferentes estágios fenológicos no campo experimental. De fato, Humphreys (1979) e Souza (1991) observam um precário sincronismo no crescimento e na emergência das inflorescências para *Brachiaria brizantha*.

Fatores inerentes ao controle de campos experimentais, como a variação das condições de cultivo, dado pela diferença no grau de compactação do solo por variações da fertilidade, da umidade do solo e a não uniformidade do tratamento pré-plantio (calagem e adubação), podem ser os responsáveis pela variabilidade observada.

d - Teor de Água

Para a FTT, FTV e FTS foram encontrados valores de 39%, 45% e 30% respectivamente, para o teor de água em relação ao peso total de fitomassa. Não foram encontrados na literatura dados de teor de água em condições de comparabilidade com o presente estudo, mas conforme os especialistas na área de pastagens, os valores estão coerentes com o esperado para o mês de julho na região. Embora os índices pluviométricos fossem baixos, não houve déficit hídrico no solo e as plantas estavam hidratadas. Adicionalmente, conforme Ghisi e Pedreira (1986), Alcântara (1986) e Brotel et al. (1990) *B.brizantha* é a espécie mais tolerante à seca no gênero *Brachiaria*, por ter o mais profundo sistema radicular.

Uma variabilidade de 30% para o TAFTT e TAFTV e de 40% para o TAFTS foi observada entre as amostras, provavelmente relacionada à variação do estágio fenológico da vegetação observada entre amostras e às condições de controle experimental já mencionadas no item c.

4.1.1.2 - Estrutura Geométrica da Cobertura

a - DAFE - Distribuição Angular Estratificada das Folhas

Analisando a DAFE de *B. brizantha* constatou-se que os estratos superiores e inferiores da cobertura apresentam características de distribuição pronunciadamente distintas. Os 3 estratos superiores (60 a 90 cm) classificam-se, quanto à frequência dos ângulos de inclinação foliar, como erectófilos (maior frequência de ângulos zenitais entre 0 e 3,6°) e conseqüentemente sem orientação azimutal, enquanto os estratos inferiores (60 cm) classificam-se como plagiófilos (maior frequência de ângulos entre 30 e 40°) e sem preferência de orientação azimutal (ângulos azimutais entre 0 e 360°).

Esta diferença entre os estratos superiores e inferiores pode ser explicada pelo padrão arquitetural (configuração espacial da planta) e pelo processo de ontogenia foliar (processo de formação da folha) em gramíneas. As folhas dos estratos superiores da cobertura estão numa fase inicial de desenvolvimento, apresentando uma bainha total ou parcialmente enrolada ao colmo, ou seja, na vertical.

Nos estratos inferiores encontram-se as folhas mais desenvolvidas; que apresentam uma bainha ainda enrolada ao colmo, mas uma lâmina foliar maior, já com a sua superfície desprendida do colmo, com ângulos zenitais entre 30 e 45°.

A orientação azimutal das folhas está relacionada ao padrão arquitetural de *B. brizantha*, que apresenta filotaxia alterna, ou seja, os pontos de inserção das folhas em relação ao colmo apresentam-se intercalados em alturas determinadas do colmo, formando estratos foliares com alternância de aproximadamente 90° para as folhas de um mesmo estrato. Para diferentes estratos não se encontram padrões de orientação foliar devido ao processo de crescimento em espiral do colmo, que rotaciona um estrato em relação ao outro.

Esta diferenciação encontrada na DAFE entre os estratos superiores e inferiores é de vital importância para o entendimento do comportamento espectral de *B. brizantha* nas diferentes geometrias de visada, dada as diferentes contribuições relativas de cada estrato em relação aos ângulos zenital e azimutal de aquisições.

b - IAF - Índice de Área Foliar

O valor médio do IAF encontrado (5,64) foi 3 vezes inferior ao observado por Alcântara et al. (1986) (15,48), mas não há condições de comparação destes valores, pois os autores não especificaram a época do ano e o estágio fenológico da vegetação.

Para auxiliar o entendimento do IAF observado é importante a análise da relação Folha-Colmos (FV/MV). O baixo valor médio encontrado (0,51) em relação ao obtido pelos autores (1,17) indica uma maior contribuição do MV em relação a FV e, conseqüentemente, um menor IAF.

c - IC - Índice de Cobertura

O IC observado foi de 100% em todas as amostras, valor compatível com o encontrado por Botrel et al. (1990)(IC = 83%) e que caracteriza a cobertura como completa.

4.1.1.3 - Substrato

O substrato é constituído de solo exposto, serrapilheira, parte dos colmos e raízes superficiais. Os colmos e as raízes não foram retirados para não modificar as condições originais do substrato e da rugosidade superficial. O solo do local é classificado como Podzólico Vermelho-amarelo variação Laras, segundo caracterização da Comissão Nacional de Solos (CNS_SNPA, 1988).

Sua análise química revelou a seguinte composição: pH = 5,6; carbono 1,10%; e, em e.mg por 200 ml de TFSA, $PO_4^{-3} = 0,08$; $K^+ = 0,18$; $Ca^{++}Mg^{++} = 1,30$; Al = ausente.

4.1.2 - Análise de correlação entre os parâmetros biofísicos

A análise de correlação linear simples-Modelo de Pearson, foi realizada para 14 parâmetros que representam a composição e a estrutura geométrica da vegetação. Adicionalmente aos valores dos peso seco da fitomassa, foram utilizados os seus respectivos pesos frescos, para permitir a correlação com os parâmetros MV, MS, FV e FS que tiveram calculados somente o seus pesos frescos. A Tabela 4.5 apresenta os coeficientes de correlação obtidos para os parâmetros biofísicos. Restringiu-se a discussão das análises das correlações dos parâmetros agrônômicos apenas àqueles de interesse para as discussões relacionadas com a dinâmica bidirecional dos FRBMs.

TABELA 4.5 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS BIOFÍSICOS DE *B. brizantha*.

	FTT (PU)	FTV (PU)	FTS (PU)	FTT (PS)	FTV (PS)	FTS (PS)	FV (PU)	FS (PU)	MV (PU)	MS (PU)	TAFTT	TAFTV	TAFTS	IAF
FTT (PU)	1,00	0,90	0,82	0,88	0,77	0,68	0,55	0,48	0,73	0,30	0,88	0,54	0,72	0,24
FTV (PU)		1,00	0,49	0,83	0,78	0,33	0,53	0,38	0,71	0,19	0,77	0,69	0,59	0,11
FTS (PU)			1,00	0,68	0,51	0,93	0,41	0,48	0,53	0,36	0,77	0,19	0,67	0,34
FTT (PS)				1,00	0,79	0,54	0,66	0,34	0,56	0,38	0,57	0,40	0,66	0,24
FTV (PS)					1,00	0,31	0,45	0,30	0,61	0,17	0,56	0,08	0,68	0,25
FTS (PS)						1,00	0,37	0,35	0,44	0,33	0,67	0,16	0,35	0,36
FV (PU)							1,00	-0,08	0,30	0,05	0,31	0,31	0,28	0,67
FS (PU)								1,00	-0,03	0,38	0,52	0,25	0,51	-0,17
MV (PU)									1,00	-0,22	0,73	0,42	0,48	0,13
MS (PU)										1,00	0,15	0,10	0,25	-0,04
TAFTT											1,00	0,56	0,61	0,18
TAFTV												1,00	0,15	-0,12
TAFTS													1,00	0,12
IAF														1,00

FTT(PU) Fitomassa total (peso úmido) - FTT(PS) Fitomassa total (peso seco) - FTV(PU) Fitomassa verde (peso úmido) - FTV(PS) Fitomassa verde (peso seco) - FTS(PU) Fitomassa seca (peso úmido) - FTS(PS) Fitomassa seca (peso seco) - FV(PU) Folhas verdes (peso úmido) - FS(PU) Folhas secas (peso úmido) - MV(PU) Material verde (peso úmido) - MS(PU) Material seco (peso úmido) - TAFTT - Teor de água da fitomassa total - TAFTV Teor de água da fitomassa verde - TAFTS - Teor de água da fitomassa seca - IAF - Índice de Área Foliar

4.1.2.1 - Composição da Fitomassa aérea

a - Produção e disponibilidade dos componentes

As variáveis que representam os parâmetros FTT(PS) e FTV(PS) apresentaram altos valores de correlação ($r = 0,794$, $p = 0,000$), enquanto as que representam os parâmetros FTT(PU) e FTS(PU) tiveram apenas valores moderados para os coeficientes de correlação ($r = 0,536$; $p = 0,005$). Altos valores de coeficientes são esperados para estas correlações, dada a relação funcional: $FTT = FTV + FTS$ existente. A moderada correlação entre FTT(PS) e FTS(PS), deve-se provavelmente à alta variabilidade apresentada entre as amostras de FTT(PS) (20% em relação ao peso total) e FTS(PS) (31%).

b - Teor de água

Observaram-se correlações moderadas entre o parâmetro TAFTT e os parâmetros FTT(PS); FTV(PS) e FTS(PS), ($r=0,57$, $r=0,56$ e $r=0,67$, respectivamente); entre os parâmetros FTT(PS) e TAFTV e TAFTS ($r=0,40$ e $r=0,66$, respectivamente); para a relação TAFTS e FTS(PS) ($0,35$) e entre o TAFTT e os parâmetros TAFTV ($0,56$) e TAFTS ($0,61$). Baixos valores de correlação foram verificados entre os parâmetros TAFTV e FTV(PS) ($r=0,07$; $p=0,71$).

Valores superiores dos coeficientes de correlação são esperados para as relações entre os parâmetros que caracterizam o teor de água da fitomassa (TAFTT, TAFTV e TAFTS) e os parâmetros que caracterizam a composição da fitomassa (FTT, FTV e FTS) dada a relação funcional existente entre estes parâmetros.

Os valores moderados e baixos encontrados para os coeficientes de correlação podem ser justificados pela alta variabilidade observada nos parâmetros que caracterizam o teor de água na planta (30% para TAFTT e 29% para TAFTV e 40% para TAFTS). A variabilidade do teor de água da fitomassa pode ser consequente da variação na produção e na proporção dos componentes da fitomassa.

4.1.2.2. Estrutura Geométrica da Vegetação

a - IAF - Índice de Área Foliar

O parâmetro IAF apresentou valores dos coeficientes de correlação não significativos ao nível de 95% de probabilidade para as relações com a FTT(PS) ($r=0,236$; $p=0,251$), FTV(PS) ($r=0,250$; $p=0,236$) e MV(PU) ($r=0,132$; $p=0,236$), somente apresentando uma boa correlação com o parâmetro FV ($r=0,668$; $p=0,000$). A figura 4.1 representa graficamente as relações entre os parâmetros FTV(PS) e IAF.

Os baixos valores dos coeficientes de correlação encontrados para as relações entre os parâmetros FTT(PS) e IAF e FTV(PS) e IAF são justificados pela maior proporção do componente MV em relação a FV na FTT e FTV e pelo fato dessa contribuição sofrer um aumento diretamente proporcional ao incremento da FTT e FTV. Justificando esse comportamento têm-se os maiores valores dos coeficientes para as correlações entre a FTT(PU) e MV(PU) ($0,734$; $p=0,000$) e entre a FTV(PU) e o MV(PU) ($0,710$; $p=0,000$). Para a relação entre FV(PU) e IAF esperava-se uma alta correlação, dada a relação direta entre o peso e a área foliar. A moderada correlação pode ser explicada também pela variabilidade da pro-

dução dos componentes da fitomassa, relacionada ao dissincronismo intrínseco da espécie e à variabilidade de experimentos em campo.

A variação na relação peso foliar por unidade de área entre amostras com diferentes valores totais de fitomassa, ocasionou uma subestimação do parâmetro IAF, principalmente para as amostras com maior FTT. Uma explicação mais rigorosa para essa afirmativa é apresentada a seguir. Em amostras com altos valores de FTT, predominam as plantas maiores, (já na fase reprodutiva), que apresentam folhas bastante desenvolvidas, com um maior peso por unidade de área em relação às plantas com menor FTT, pois apresentam-se mais espessas e fibrosas. Como foram coletadas subamostras de 50 gramas para todas as amostras, para as plantas maiores foram coletados um menor número de folhas e conseqüentemente uma menor área foliar em relação às plantas menores. Adicionalmente, as folhas de plantas menores, por apresentarem um maior teor de água, perdem mais peso do que as folhas de plantas maiores. Considerando o horário de coleta (12hs) e o tempo entre a coleta e a pesagem das folhas (1 hora), as folhas de plantas menores podem ter perdido mais água, ficando com um peso por unidade de área ainda menor do que as folhas das plantas maiores.

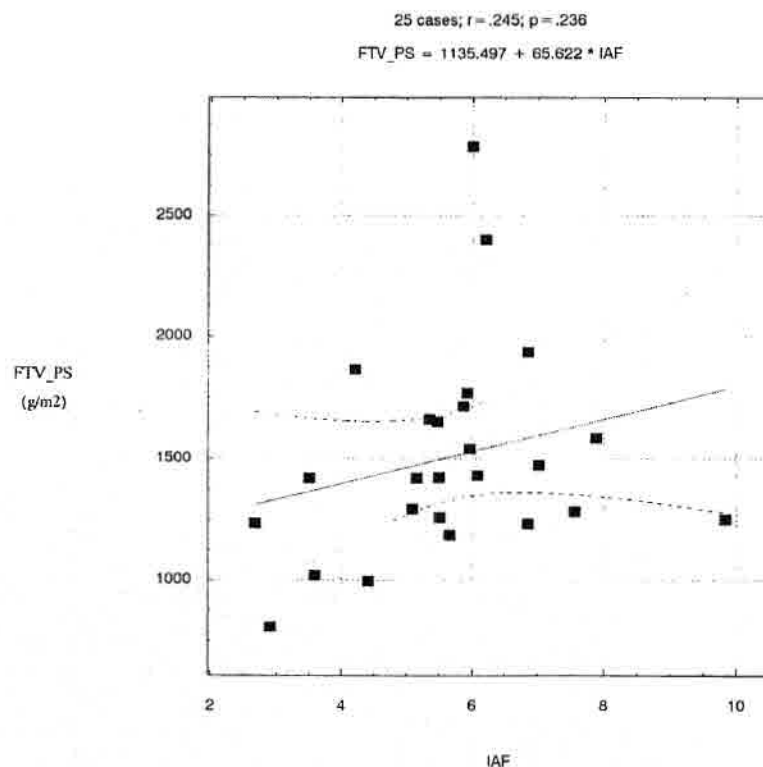


Fig. 4.1 - Diagrama de dispersão da correlação entre FTV(PS) e IAF.

4.2 - Composição e aspectos geométricos da vegetação herbácea e do solo subjacente *Brachiaria decumbens*.

4.2.1 - Estatística Descritiva

4.2.1.1 - Composição da fitomassa aérea

Nesta seção são apresentadas as estatísticas descritivas que caracterizam a produção, a disponibilidade dos componentes e o teor de água da fitomassa de *Brachiaria decumbens*. A Tabela 4.7 apresenta as estatísticas descritivas desses parâmetros.

TABELA 4.7 - ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS PARÂMETROS BIOFÍSICOS QUE CARACTERIZAM A COMPOSIÇÃO DA FITOMASSA E OS ASPECTOS GEOMÉTRICOS DA COBERTURA DE *B. decumbens*.

Parâmetros	Valores mín.	Valores máx.	Média	Desvio Padrão
FTT(PU)	1150,00	2 600,00	1 792,60	360,90
FTT(PS)	870,13	2 062,71	1 414,48	295,89
FTV(PU)	738,70	1 696,17	1 101,66	244,66
FTV(PS)	282,22	957,16	601,66	162,04
FTS(PU)	263,56	1 049,64	690,94	196,12
FTS(PS)	144,45	898,21	548,62	222,15
FV(PU)	167,42	979,57	450,80	178,18
FS(PU)	163,14	934,15	406,71	159,77
MV(PU)	324,51	1 229,55	654,82	216,20
MS(PU)	114,80	580,60	257,58	149,94
TAFTT	223,32	656,16	378,12	97,85
TAFTV	204,91	952,91	499,99	159,20
TAFTS	25,43	388,37	142,33	91,21
IAF	1,80	5,41	3,49	1,00

FTT(PU) Fitomassa total (peso úmido) - FTT(PS) Fitomassa total (peso seco) - FTV(PU) Fitomassa verde (peso úmido) - FTV(PS) Fitomassa verde (peso seco) - FTS(PU) Fitomassa seca (peso úmido) - FTS(PS) Fitomassa seca (peso seco) - FV(PU) Folhas verdes (peso úmido) - FS(PU) Folhas secas (peso úmido) - MV(PU) Material verde (peso úmido) - MS(PU) Material seco (peso úmido) - TAFTT- Teor de água da fitomassa total - TAFTV Teor de água da fitomassa verde - TAFTS - Teor de água da fitomassa seca - IAF - Índice de Área Foliar

a - Produção

A produção da fitomassa total de *Brachiaria decumbens* foi de 1414,48 g/m², valor próximo ao encontrado por Ghisi e Pedreira (1986) (2120g/m²), para a forragem disponível num momento do ciclo.

b - Disponibilidade dos Componentes

A Tabela 4.8 apresenta a proporção e variabilidade relativa dos componentes da fitomassa.

TABELA 4.8 - PROPORÇÃO E VARIABILIDADE RELATIVA DOS COMPONENTES DA FITOMASSA DE *B. decumbens*

PARÂMETRO	PROPORÇÃO (%)	VARIABILIDADE (%)
FTT(PU)	100,00	19,86
FTT(PS)	100,00	20,00
FTV(PU)	61,43	21,76
FTV(PS)	42,54	26,39
FTS(PU)	38,53	27,81
FTS(PS)	38,79	39,67
FV(PU)	40,93	38,69
FS(PU)	58,86	38,49
MV(PU)	59,44	32,35
MS(PU)	37,28	57,04
TAFTT	21,08	25,36
TAFTV	45,39	31,20
TAFTS	20,60	62,79

FTT(PU) Fitomassa total (peso úmido) - FTT(PS) Fitomassa total (peso seco) - FTV(PU) Fitomassa verde (peso úmido) - FTV(PS) Fitomassa verde (peso seco) - FTS(PU) Fitomassa seca (peso úmido) - FTS(PS) Fitomassa seca (peso seco) - FV(PU) Folhas verdes (peso úmido) - FS(PU) Folhas secas (peso úmido) - MV(PU) Material verde (peso úmido) - MS(PU) Material seco (peso úmido) - TAFTT - Teor de água da fitomassa total - TAFTV Teor de água da fitomassa verde - TAFTS - Teor de água da fitomassa seca - IAF - Índice de Área Foliar

Como para *B. brizantha*; foi verificado para *B. decumbens* uma maior disponibilidade de FTV (61,43%) em relação a FTS (38,53%), resultados esperados e considerados normais para a época.

c - Variabilidade da produção e da proporção dos componentes da fitomassa

B. decumbens apresentou uma variabilidade média de 20% para a FTT(PS), 26% para a FTV(PS) e 40% para a FTS(PS). Variações semelhantes foram verificadas para *B. brizantha* (FTT = 20%, FTV = 28% e FTS = 35%), que apresentou plantas em diferentes estágios fenológicos no campo experimental, causado por um dissincronismo no desenvolvimento, tanto no crescimento vegetativo como na fase reprodutiva. Tal fato também foi verificado no campo de *B. brizantha* e pode estar associado à variabilidade amostral. Humphreys (1979) e Souza (1991) já haviam relatado este fenômeno para pastagens de *B. decumbens*. Outros fatores relacionados ao controle dos campos experimentais também podem ter influenciado nas variações e já foram expostos para *B. brizantha*.

d - Teor de água

Foram verificados para a FTT, FTV e FTS, respectivamente 21%, 45% e 20% de proporção em teor de água em relação ao peso total da fitomassa. Os valores indicam que as plantas estavam bem hidratadas e são justificados pela razoável tolerância de *B. decumbens* à escassez de água, conforme Ghisi e Pedreira (1986) e Alcântara (1986).

Quanto à variabilidade do teor de água entre as amostras, a FTT, FTV e FTS apresentaram respectivamente uma variação de 25%, 31% e 63%. Estas altas variações no teor de água entre as amostras podem ser justificadas pela variabilidade do estágio fenológico da vegetação verificado e explicado pelas diferenças fisiológicas existentes entre plantas em crescimento vegetativo e plantas em fase reprodutiva. As plantas em fase reprodutiva ou de transição para a fase reprodutiva apresentam o processo de translocação de água e fotoassimilados das folhas e colmos para as partes reprodutivas (inflorescências). As plantas em crescimento vegetativo apresentam um maior teor de água em relação às plantas em fase reprodutiva Alcântara(1986).

4.2.1.2 - Estrutura Geométrica da Cobertura

a - DAFE - Distribuição Angular Estratificada das Folhas

A *Brachiaria decumbens* apresenta distribuições angulares das folhas diferenciadas para os estratos superiores e inferiores. Quanto à frequência dos ângulos de inclinação das folhas apresenta os 2 estratos superiores classificados como erectófilos ($AZ = 0^{\circ}$) e os 6 estratos inferiores classificados como plagiófilos (AZ entre 30° e 45° e AA entre 0° e 240°). Da mesma forma que a *B. brizantha*, a *B. decumbens* apresenta filotaxia alterna, com um processo de ontogenia foliar e padrão arquitetural semelhante, explicando a configuração da DAFE observada.

b - IAF - Índice de Área Foliar

O IAF de *B. decumbens* (3,49) foi metade do encontrado por Alcântara (1986) (7,95). O contraste entre estes valores pode ser devido a fases diferentes dentro do ciclo de crescimento da cobertura, melhor entendido pela análise de suas relações folha/haste (FV/MV). O baixo valor médio encontrado (0,69) em relação ao obtido pelo autor (1,29) indica a maior contribuição do MV no peso total e, conseqüentemente, um menor número de folhas. Esse contraste corrobora a afirmativa de que as coberturas devem estar em diferentes fases de desenvolvimento vegetativo, mas como o autor não relatou detalhadamente as condições de estabelecimento do campo experimental, não há como evidenciá-la.

c - IC - Índice de Cobertura

O IC foi de 100% em todas as amostras, valor semelhante ao obtido por Botrel et al. (1990) (IC = 98%), caracterizando a cobertura como completa.

4.2.1.3 - Substrato

Como para *B. brizantha*, o substrato de *B. decumbens* é constituído de solo exposto, serrapilheira, parte dos colmos e raízes superficiais. Os colmos e as raízes não foram retirados para não modificar as condições originais do substrato e da rugosidade superficial. O solo do local é o mesmo já descrito para *B. brizantha*.

4.2.2 - Análise de correlação entre os parâmetros biofísicos

Foram realizadas análises de correlação linear simples modelo de Pearson entre os parâmetros biofísicos de *Brachiaria decumbens* que caracterizam a composição da fitomassa aérea e a estrutura geométrica da vegetação. A Tabela 4.9 apresenta os coeficientes de correlação obtidos para as análises entre os 14 parâmetros biofísicos. Como para *B. Brizantha*, restringiu-se a discussão das análises das correlações dos parâmetros agronômicos apenas àqueles de interesse para as discussões relacionadas com a dinâmica bidirecional dos FRBMs.

TABELA 4.9 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS BIOFÍSICOS DE *B. decumbens*.

	FTT (PU)	FTV (PU)	FIS (PU)	FTT (PS)	FTV (PS)	FIS (PS)	FV (PU)	FS (PU)	MV (PU)	MS (PU)	TAFTT	TAFTV	TAFTS	IAF
FTT (PU)	1,00	0,86	0,77	0,97	0,48	0,64	0,53	0,59	0,89	0,57	0,74	0,83	0,10	0,68
FTV (PU)		1,00	0,33	0,84	0,77	0,21	0,56	0,47	0,80	0,54	0,63	0,76	0,20	0,54
FIS (PU)			1,00	0,91	-0,07	0,91	0,26	0,50	0,64	0,38	0,58	0,59	-0,07	0,59
FTT (PS)				1,00	0,41	0,65	0,52	0,57	0,84	0,56	0,57	0,87	0,02	0,64
FTV (PS)					1,00	-0,26	0,35	0,33	0,43	0,33	0,53	0,56	0,48	0,24
FIS (PS)						1,00	0,30	0,41	0,52	0,25	0,39	0,59	-0,47	0,63
FV (PU)							1,00	0,46	0,64	0,12	0,46	0,38	0,51	0,46
FS (PU)								1,00	0,67	0,34	0,27	0,47	0,09	0,27
MV (PU)									1,00	0,52	0,72	0,79	0,10	0,53
MS (PU)										1,00	0,42	0,48	0,20	0,20
TAFTT											1,00	0,43	0,30	0,59
TAFTV												1,00	-0,18	-0,58
TAFTS													1,00	-0,26
IAF														1,00

FTT (PU) Fitomassa total (peso úmido) - FTT (PS) Fitomassa total (peso seco) - FTV (PU) Fitomassa verde (peso úmido) - FTV (PS) Fitomassa verde (peso seco) - FIS (PU) Fitomassa seca (peso úmido) - FIS (PS) Fitomassa seca (peso seco) - FV (PU) Folhas verdes (peso úmido) - FS (PU) Folhas secas (peso úmido) - MV (PU) Material verde (peso úmido) - MS (PU) Material seco (peso úmido) - TAFTT - Teor de água da fitomassa total - TAFTV Teor de água da fitomassa verde - TAFTS - Teor de água da fitomassa seca - IAF - Índice de Área Foliar

4.2.2.1 - Composição da Fitomassa Aérea

a - Produção e disponibilidade dos componentes

Para as correlações entre as variáveis que representam o parâmetro FTT(PS), ou seja FTV(PS) e FTS(PS), altos valores dos coeficientes de correlação são esperados. Entretanto estas correlações tiveram valores moderados e bons de coeficientes, respectivamente 0,41 ($p=0,040$) e 0,65 ($p=0,000$). Adicionalmente, foi observado um valor menor do coeficiente para a correlação entre FTT(PS) e FTV(PS) em relação ao valor da relação FTT(PS) e FTV(PS). A principal justificativa para estes valores moderados está na variabilidade da fitomassa (FTT(PS) 20%, FTV(PS) 26% e FTS(PS) (40%) encontrada no campo experimental.

O valor menor do coeficiente para FTT(PS) e FTV(PS), mesmo com a FTS(PS) apresentando um maior coeficiente de variação pode ser explicado pela alta contribuição da FTV(PS) na FTT(PS) (61,43%) em comparação à FTS(PS) (21%), que gera variações em valores absolutos superiores.

b - Teor de Água

O TAFTT apresentou valores moderados dos coeficientes para as correlações com a FTT(PS) ($r=0,57$; $p=0,003$), FTV(PS) ($r=0,53$; $p=0,003$) e a FTS(PS) ($r=0,39$; $p=0,020$). As variações do TAFTT (25,35%) adicionada as da FTT(PS) (20,54%), da FTV (26%) e da FTS (40%) foram responsáveis pelos valores moderados.

O TAFTV apresentou alta correlação com a FTT(PS) ($r=0,87$; $p=0,000$), enquanto que com a FTV(PS) foi encontrada apenas uma baixa correlação ($r=0,16$; $p=0,444$). Novamente, embora apresentando menores variações relativas, as maiores variações nos valores absolutos ocorridas para a FTV em relação a FTS, geraram uma maior dispersão dos dados e menores valores de coeficientes, como pode ser observado nos diagramas de dispersão para essas correlações.

Altas correlações são esperadas para o relacionamento do TAFTV com os parâmetros FTT(PS) e FTV(PS). O baixo valor para a correlação entre o TAFTV e a FTV(PS) deve-se à alta variabilidade do TAFTV (31%), adicionada ao efeito da variação da FTV (26%), ocasionando uma dispersão dos dados.

Os valores de correlação entre o TAFTV e os componentes MV e FV são esperados (Alcântara, 1986) e podem ser explicados pela proporção em peso destes componentes.

O parâmetro TAFTS apresentou baixa correlação com a FTT(PS) ($r = 0,02$; $p = 0,923$), com o MS(PU) ($r = 0,20$; $p = 0,933$) e com o FS(PU) ($r = 0,09$; $p = 0,995$) e um valor negativo moderado do coeficiente para a relação com a FTS (PS) ($r = -0,47$; $p = 0,018$). Estes valores baixos são justificados pela alta variação do TAFTS (63%). O valor negativo deve-se ao fato de que com o aumento da FTT(PU) há uma maior proporção de FTS(PU) na forma de serrapilheira, que possui um menor peso por unidade de área, do que a FTS ainda anexa à planta. (Embrapa, 1984).

4.2.2.2 - Estrutura Geométrica da Vegetação

a - IAF - Índice de Área Foliar

O IAF apresentou correlações moderadas com a FTT(PS), FV(PU) e MV(PU) ($r = 0,68$; $p = 0,001$), ($r = 0,46$; $p = 0,019$) e ($r = 0,53$; $p = 0,016$), respectivamente) e uma baixa correlação com a FTV(PS) ($r = 0,24$; $p = 0,244$). A Figura 4.2 ilustra graficamente as relações entre os parâmetros FTV(PS) e IAF.

O baixo e os moderados valores para as correlações estão relacionados à proporcionalidade entre os componentes da fitomassa, como a diminuição da relação FV/MV com o aumento da fitomassa.

Para a relação entre a FTV(PS) e o IAF é esperado um valor de coeficiente maior do que o da correlação entre a FTT(PS) e o IAF. Uma explicação é que a FTT inclui a FTS, que "amortece" um pouco o efeito da diminuição da relação entre colmos e folhas ocorrida nas amostras de maior fitomassa, visto que a FTS possui uma maior proporção de FS (23%) em relação ao MS (14%) e esta aumenta com o incremento da fitomassa.

O efeito das diferentes proporções entre o MV e a FV para amostras com diferentes valores de FTT, como observado para *B. brizantha*, causa um mascaramento do comportamento do parâmetro IAF, principalmente para as amostras com uma maior fitomassa (maior valor da relação MV/FV em relação as amostras de menor fitomassa) e conseqüentemente, valores menores para os coeficientes.

Para a correlação entre o componente FV(PU) e o IAF um alto valor do coeficiente é esperado. O moderado valor observado pode ser explica-

do pela variação na relação peso por unidade de área foliar entre amostras com diferentes FTT. Para as amostras com maior fitomassa predominam as plantas maiores, na fase reprodutiva, que apresentam folhas bastante desenvolvidas, com um maior peso por unidade de área em relação as plantas menores das amostras com menor fitomassa, pois apresentam-se mais espessas e fibrosas. Como foi coletado um mesmo peso de folhas verdes para todas as amostras, para as amostras de maior fitomassa (plantas maiores) foram coletadas um menor número de folhas e conseqüentemente uma menor área foliar em relação as plantas menores. Essa diferença na relação peso por unidade de área resultou em uma subestimação do IAF para plantas com maior fitomassa total e, conseqüentemente uma baixa relação entre o componente FV(PU) e o IAF.

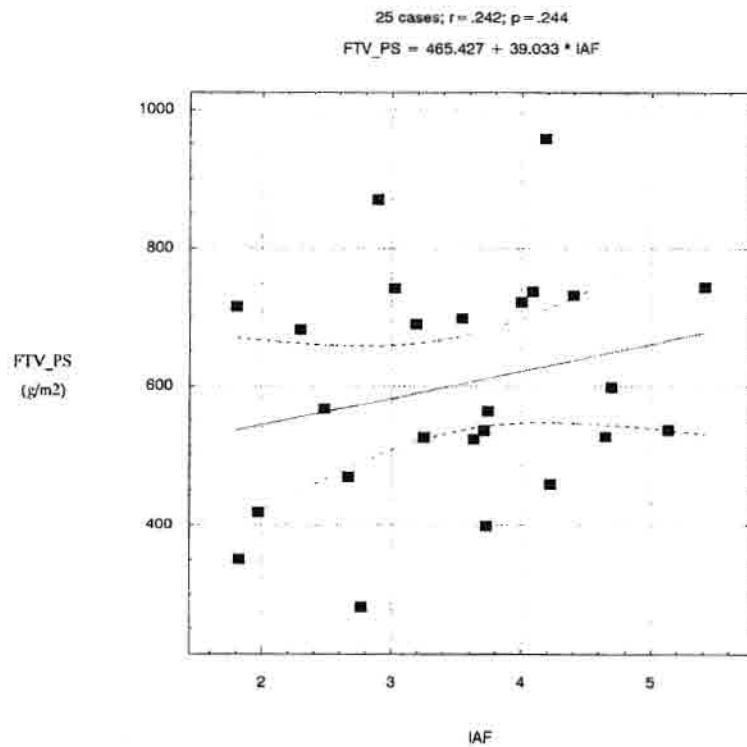


Fig. 4.2 - Diagrama de dispersão da correlação entre FTV(PS) e IAF.

4.3 - Distribuição angular da reflectância bidirecional multiespectral obtida em diferentes geometrias de visada da vegetação herbácea e do substrato em pastagens compostas por *Brachiaria brizantha*.

4.3.1 - Estatística descritiva

Apresentam-se as estatísticas descritivas que caracterizam os FRBMs (Fatores de Reflectância Bidirecional Multiespectral) obtidos em diferentes geometrias de visada, quanto à variação absoluta e relativa entre ângulos (azimutal e zenital) e variabilidade amostral. Os padrões observados para a dinâmica dos FRBMs são discutidos e os principais mecanismos físicos envolvidos, analisados.

As variações foram comparadas com os dados coletados em campo por Guyot (1984) e Kimes (1983) e obtidos por simulação de modelos por Goel e Grier (1987), Kimes (1984) e Kimes et al. (1985).

A Tabela 4.10 apresenta as estatísticas descritivas dos FRBMs (valores mínimos e máximos, média e desvio padrão) para as faixas espectrais correspondentes às bandas TM1, TM2, TM3 e TM4, respectivamente no azul (450 a 520 nm), verde (520 a 600 nm), vermelho (630 a 690 nm) e IVP (760 a 900 nm), da vegetação herbácea e os valores absolutos para a amostra do substrato subjacente, que servirão de base para as análises de amplitude, variação angular e variabilidade amostral.

TABELA 4.10 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DOS FRBMS OBTIDOS COM A VARIAÇÃO DA GEOMETRIA DE VISADA, NAS BANDAS ESPECTRAIS TM1, TM2, TM3 E TM4 PARA *Brachiaria brizantha*.

BANDAS ESPECTRAIS	VALORES MÍNIMOS	VALORES MÁXIMOS	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
TM1 ----- 00	0,024	0,090	0,064	0,014
TM2 ----- 00	0,052	0,184	0,132	0,028
TM3 ----- 00	0,037	0,165	0,102	0,028
TM4 ----- 00	0,217	0,544	0,417	0,077
TM1 180 15	0,479	0,102	0,730	0,015
TM2 180 15	0,099	0,207	0,150	0,029
TM3 180 15	0,073	0,193	0,120	0,030
TM4 180 15	0,319	0,606	0,470	0,070
TM1 090-15	0,034	0,094	0,597	0,012
TM2 090-15	0,072	0,195	0,125	0,026
TM3 090-15	0,052	0,180	0,096	0,024
TM4 090-15	0,278	0,581	0,423	0,071

LEGENDAS: TM* - AAV - AZV - TM* = TM1, TM2, TM3 e TM4 - AAV = 0, 90 e 180 graus - AZV = 15, 30, 45 e 60 graus

(Continua)

TABELA 4.10 - Conclusão

BANDAS	VAL. MIN.	VAL.MÁX.	MÉDIA	DESVIO
TM1 000 15	0,029	0,075	0,473	0,012
TM2 000 15	0,065	0,153	0,101	0,024
TM3 000 15	0,047	0,135	0,078	0,021
TM4 000 15	0,281	0,523	0,377	0,059
TM1 180 30	0,048	0,097	0,074	0,013
TM2 180 30	0,105	0,200	0,153	0,023
TM3 180 30	0,076	0,166	0,121	0,022
TM4 180 30	0,340	0,624	0,475	0,058
TM1 090 30	0,029	0,079	0,057	0,099
TM2 090 30	0,067	0,174	0,121	0,020
TM3 090 30	0,054	0,130	0,090	0,018
TM4 090 30	0,321	0,539	0,421	0,056
TM1 000 30	0,021	0,071	0,045	0,011
TM2 000 30	0,045	0,133	0,099	0,021
TM3 000 30	0,031	0,110	0,072	0,018
TM4 000 30	0,257	0,482	0,385	0,058
TM1 180 45	0,073	0,107	0,088	0,009
TM2 180 45	0,146	0,208	0,182	0,017
TM3 180 45	0,109	0,189	0,145	0,018
TM4 180 45	0,459	0,629	0,555	0,035
TM1 090 45	0,450	0,076	0,062	0,008
TM2 090 45	0,094	0,166	0,133	0,018
TM3 090 45	0,067	0,124	0,098	0,016
TM4 090 45	0,360	0,580	0,478	0,068
TM1 000 45	0,030	0,596	0,045	0,008
TM2 000 45	0,074	0,123	0,097	0,015
TM3 000 45	0,049	0,098	0,073	0,016
TM4 000 45	0,292	0,429	0,373	0,037
TM1 180 60	0,065	0,109	0,091	0,011
TM2 180 60	0,137	0,232	0,184	0,022
TM3 180 60	0,100	0,179	0,146	0,020
TM4 180 60	0,402	0,679	0,562	0,054
TM1 090 60	0,052	0,084	0,063	0,007
TM2 090 60	0,110	0,177	0,131	0,015
TM3 090 60	0,077	0,132	0,097	0,012
TM4 090 60	0,351	0,544	0,436	0,046
TM1 000 60	0,033	0,078	0,055	0,009
TM2 000 60	0,085	0,158	0,113	0,015
TM3 000 60	0,063	0,125	0,081	0,013
TM4 000 60	0,354	0,472	0,413	0,028

LEGENDAS: TM* AAV AZV - TM* = TM1, TM2, TM3 e TM4 - AAV = 0, 90 e 180 graus - AZV = 15, 30, 45 e 60 graus

4.3.1.1 - Variações azimutais e zenitais

Para a estratégia adotada de maximização da variação do FRBM em relação aos obtidos no nadir, a dinâmica observada foi, a nível geral, coerente com o relatado na literatura por Barnsley (1984), Guyot (1984) e Kimes (1983).

a - Variações Zenitais

Brachiaria brizantha

A Tabela 4.11 demonstra as variações zenitais entre os valores dos FRBMs obtidos nos diferentes AZV. A Figura 4.3 apresenta os gráficos das variações zenitais para a vegetação herbácea.

TABELA 4.11 - VARIAÇÃO ABSOLUTA E RELATIVA (%) ENTRE OS VALORES DOS FRBMS OBTIDOS NOS AZV DE 15, 30, 45 E 60 GRAUS, PARA OS AAV DE 0, 90 E 180 GRAUS PARA A VEGETAÇÃO HERBÁCEA EM PASTAGENS DE *Brachiaria brizantha*.

AAV = 0	15-30		30-45		45-60		Variação Banda	
Bandas	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%
TM1	-0,002	-4,44	0,000	0,00	0,010	18,18	0,012	22,62
TM2	-0,002	-2,02	-0,002	-2,06	0,016	14,15	0,020	18,24
TM3	-0,006	-8,48	0,001	1,50	0,008	9,87	0,015	19,86
TM4	0,008	2,07	-0,015	-4,05	0,040	9,75	0,063	15,88
Var. AZV	0,018	17,02	0,017	7,62	0,074	51,97	0,110	76,40
AAV = 90	15-30		30-45		45-60		Variação Banda	
Bandas	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%
TM1	-0,002	-3,51	0,005	8,06	0,000	0,00	0,007	11,57
TM2	-0,004	-3,30	0,012	9,02	0,003	-2,30	0,019	14,63
TM3	-0,006	-6,66	0,008	8,16	0,001	-1,03	0,015	15,86
TM4	-0,003	-0,71	0,058	12,13	0,048	-11,16	0,109	24,01
Var. AZV	0,015	14,19	0,083	37,38	0,052	14,50	0,150	66,07
AAV = 180	15-30		30-45		45-60		Variação Banda	
Bandas	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%
TM1	0,001	1,35	0,014	15,91	0,002	2,22	0,017	19,48
TM2	0,002	1,31	0,030	16,48	0,002	1,08	0,034	18,88
TM3	0,001	0,82	0,024	16,55	0,001	0,68	0,026	18,06
TM4	0,005	1,05	0,075	13,63	0,010	1,78	0,090	16,47
Var. AZV	0,009	4,54	0,143	62,58	0,015	5,77	0,167	72,89

LEGENDAS: ABS = Variação no valor absoluto Ex. 15-30 ABS (FRBM NO AZV = 30° - FRBM NO AZV = 15°)
 15-30 (%) = ((FRBM NO AZV = 30° - FRBM NO AZV = 15°) · 100) / FRBM NO AZV = 30°
 Var. AZV = Σ var ABS ou %

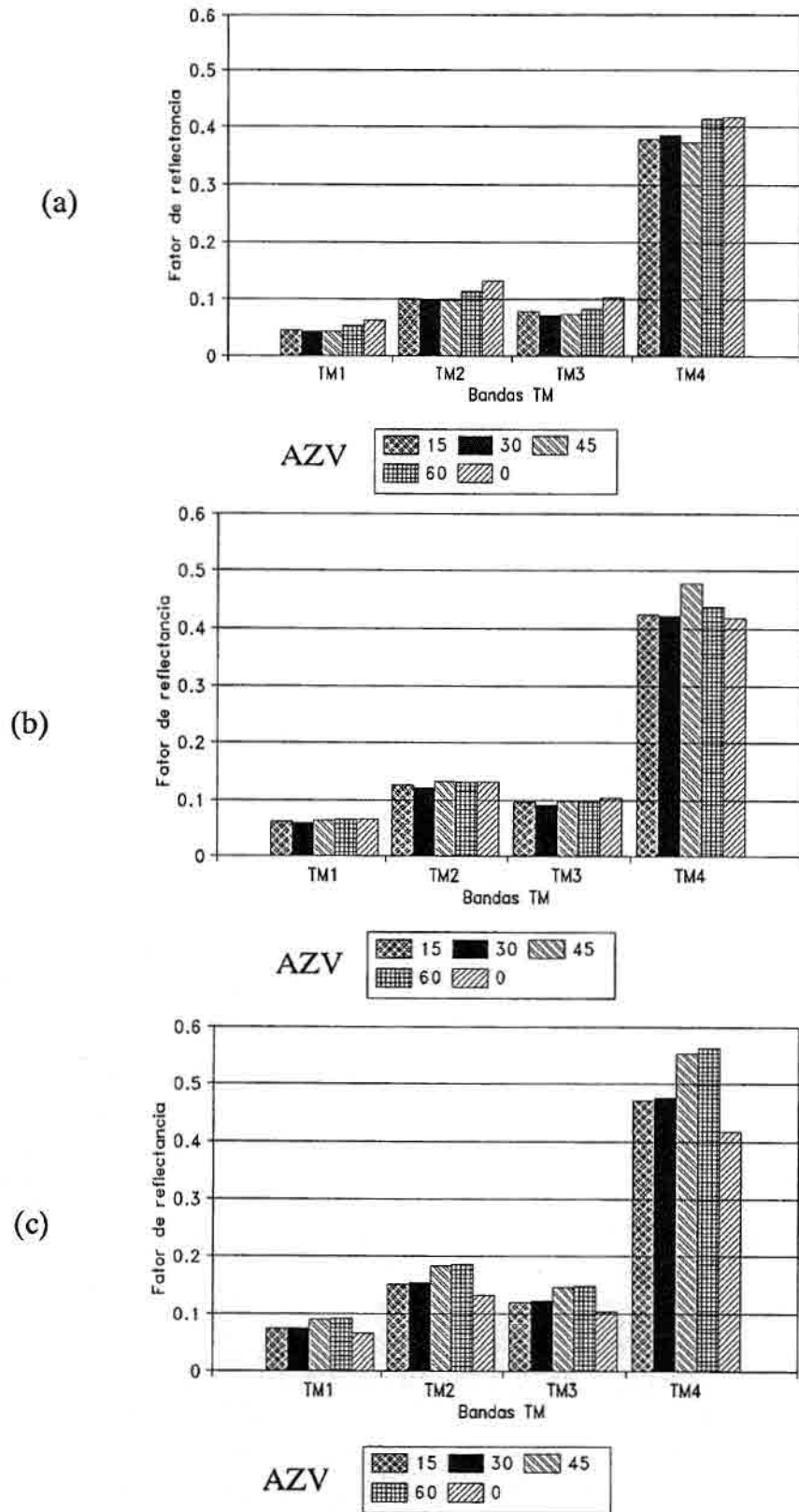


Fig. 4.3- Variação zenital dos FRBMs de *B.Brizantha* para os AAV de 0°(a), 90° (b) e 180° (c).

Segundo Guyot (1984), Kimes (1983), Kimes (1984) e Kimes et.al. (1984a), em nível geral o fator de reflectância aumenta com o incremento do AZV, para todos os AAS, AZS e bandas espectrais.

No entanto, somente o AAV de 180° apresentou tal comportamento, sendo que, para os AAV de 0 e 90 graus, observaram-se efeitos assimétricos da variação do AZV para os valores do FRBM.

No AAV de 0° , os AZV de 30 e 45 graus apresentaram valores inferiores dos FRBMs obtidos no AZV de 15° , ocorrendo valores superiores somente no AZV de 60° .

O AAV de 90° também apresentou valores inferiores aos dos FRBMs obtidos no AZV de 15° para os AZV de 30 e 60 graus, com valores superiores ocorrendo somente no AZV de 45° . Para um melhor entendimento desses comportamentos, analisaram-se as variações absolutas e relativas dos FRBMs entre os AZV.

Segundo a Tabela 4.12, para os valores absolutos dos FRBMs, as maiores variações ocorreram entre os AZV de 30 e 45 graus, na sequência decrescente, para os AAV de 180° (0,143) e AAV de 90° (0,083) e entre os AZV de 45 e 60 graus, para o AAV de 0° (0,074). As menores variações ocorreram entre os AZV de 15 e 30 graus para os AAV de 180° (0,009) e 90° (0,015) e entre os AZV de 30 e 45 graus para o AAV de 0° (-0,018). Quanto à variação dos valores relativos dos FRBMs, as maiores variações também ocorreram entre os AZV de 30 e 45 graus para o AAV de 180° (62%), entre 45 e 60 graus para o AAV de 0° (51,9%) e entre 30 e 45 graus para o AAV de 90° (37,38%). As menores variações ocorreram entre os AZV de 15 e 30 graus para os AAV de 180 (4,55%) e 90 (14,19%) e entre os AZV de 30 e 45 graus para o AAV de 0° (-7,62%).

Em relação ao total das variações zenitais por banda espectral, as bandas na região do visível apresentaram as maiores variações relativas e a banda TM4 a menor, no plano paralelo ao plano solar (AAV de 0 e 180 graus). Para o plano perpendicular ao solar, houve o comportamento inverso, com as menores variações ocorrendo no visível e as maiores no IVP. As menores variações, em termos absolutos, ocorreram para a banda TM1 (0,007; 0,012 e 0,017, respectivamente para os AAV de 90, 180 e 0 graus) e as maiores para a TM4 (0,109; 0,090 e 0,063, respectivamente para os AAV de 90, 180 e 0 graus), em todos os AAV. Para as variações nos valores relativos, a TM4 apresentou variações mínimas nos AAV de 0° (15,8%) e 180° (16,5%) e máximas nos AAV de 90° (24%), enquanto a TM1 apresentou as maiores variações para os AAV de 0 e 180 graus (22,6 e 19,5%, respectivamente) e as menores para o AAV de 90° (11,57%).

Em relação às variações zenitais por banda espectral, para o AAV de 0°, a TM1 apresentou a menor variação entre os AZVs de 30 e 45 graus (0%) e a maior entre os AZVs de 45 e 60 graus (18,18%); no AAV de 90°, também a TM1 apresentou a menor variação (0%) entre os AZVs de 45 e 60 graus e a maior para a TM4 entre os AZV de 30 e 45 graus (12,13%). No AAV de 180° a TM3 foi a banda que menos variou entre os AZVs de 45 e 60 graus (0,68%) e a que mais variou entre os AZVs de 30 e 45 graus (16,55%).

Substrato

A Tabela 4.12 mostra as variações zenitais entre os valores dos FRBMs obtidos nos diferentes AZV e a Figura 4.4 apresenta os gráficos das variações zenitais para o substrato.

TABELA 4.12 - VARIAÇÃO ABSOLUTA E RELATIVA (%) ENTRE OS VALORES DOS FRBMS OBTIDOS NOS AZV DE 15, 30, 45 E 60 GRAUS, PARA OS AAV DE 0, 90 E 180 GRAUS - SUBSTRATO.

AAV = 0	15-30		30-45		45-60		Variação Banda	
Bandas	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%
TM1	-0,02	-28,57	0,00	0,00	0,01	20,00	0,03	48,57
TM2	-0,02	-15,38	-0,01	-9,09	-0,01	-10,00	0,04	34,47
TM3	0,03	20,00	0,06	33,33	0,02	8,33	0,11	61,66
TM4	-0,02	-7,14	0,02	7,69	0,02	7,14	0,06	21,97
Var. AZV	0,09	71,09	0,09	50,11	0,06	45,47	0,24	166,69
AAV = 90	15-30		30-45		45-60		Variação Banda	
Bandas	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%
TM1	0,01	12,50	0,02	22,22	0,00	0,00	0,03	34,72
TM2	0,00	0,00	0,02	16,66	0,00	0,00	0,02	16,66
TM3	0,01	6,66	0,08	50,00	0,06	25,00	0,15	81,66
TM4	0,03	10,00	0,02	6,06	0,02	5,71	0,07	21,77
Var. AZV	0,05	29,16	0,14	94,94	0,08	30,71	0,27	154,83
AAV = 180	15-30		30-45		45-60		Variação Banda	
Bandas	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%
TM1	0,01	9,09	0,02	16,67	0,00	0,00	0,03	25,75
TM2	0,02	11,76	-0,01	-5,26	0,01	5,55	0,04	22,58
TM3	0,03	13,63	0,05	20,00	0,04	13,33	0,12	46,96
TM4	0,03	9,67	0,04	11,76	0,04	10,52	0,11	31,96
Var. AZV	0,09	44,17	0,12	53,69	0,09	29,41	0,30	154,83

LEGENDAS: ABS = Variação no valor absoluto Ex. 15-30 ABS (FRBM NO AZV = 30° - FRBM NO AZV = 15°)
 - 15-30 (%) ((FRBM NO AZV = 30° - FRBM NO AZV = 15°) • 100) / FRBM NO AZV = 30°
 Var.AZV = Σ var ABS ou %

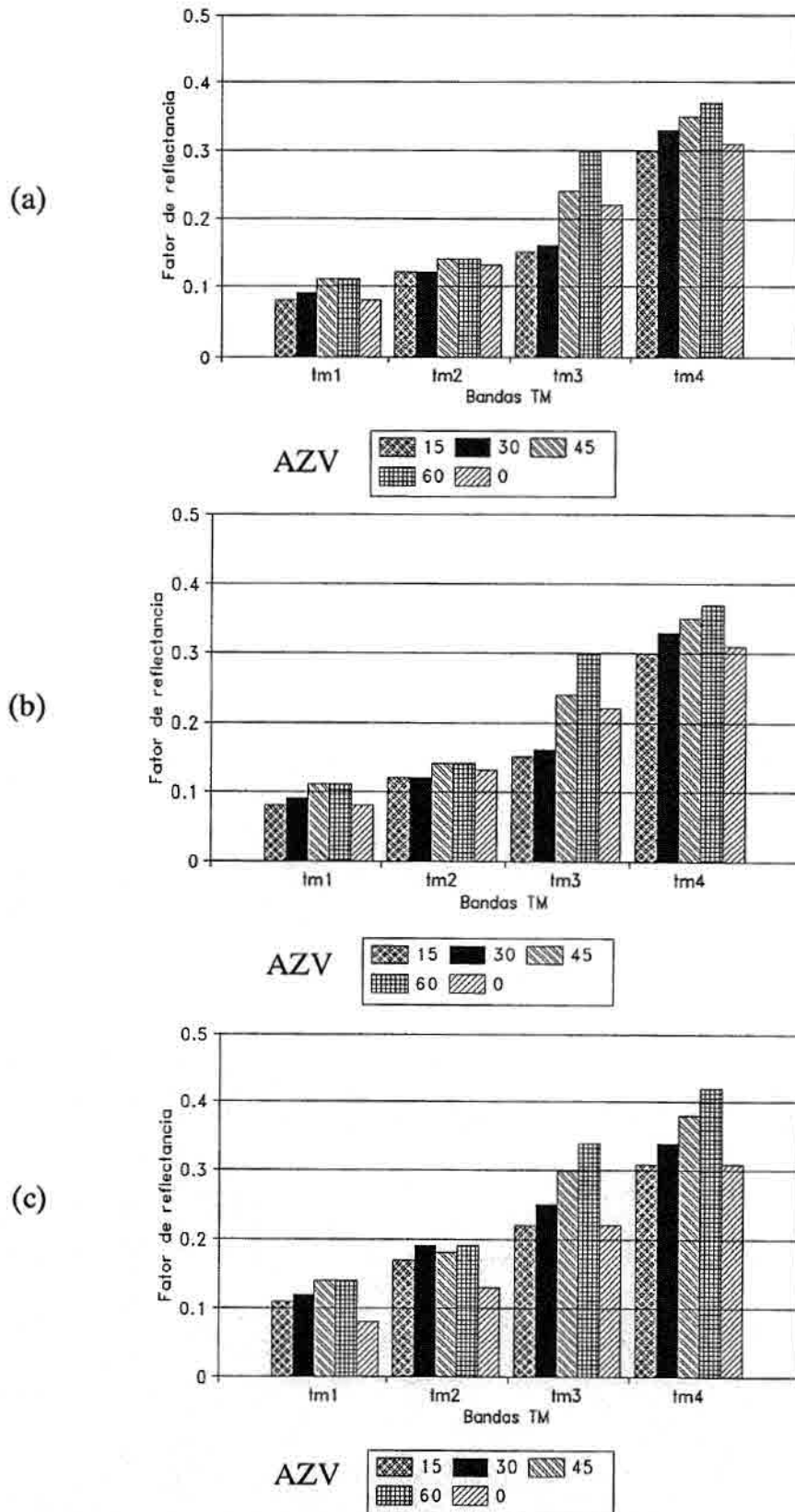


Fig. 4.4- Variação zenital dos FRBMs do substrato de *B. brizantha* para os AAV de 0° (a), 90° (b) e 180° (c).

Com exceção do AAV de 0° , para todas as bandas espectrais analisadas houve um aumento do FRBM com o aumento do AZV.

As maiores variações absolutas e relativas ocorreram entre os AZV de 15 e 30 graus para o AAV de 0° (0,09 e 71,09%) e entre 30 e 45 graus para os AAV de 90° (0,14 e 94,95%) e 180° (0,12 e 53,69%). As menores variações aconteceram entre os AZV de 45 e 60 graus para os AAV de 0° (0,06 e 45,47%) e 180° (0,09 e 29,41%) e entre 15 e 30 graus para o AAV de 90° (0,05 e 29,17%).

Em relação à variação por banda espectral, a TM3 apresentou as maiores variações relativas para todos os AAV (0,15 e 81,67%; 0,12 e 46,97% e 0,11 e 61,67%, respectivamente para os AAV de 90, 180 e 0 graus). A TM2 apresentou as menores variações relativas para os AAV de 90° (16,67%) e 180° (22,58%) e a menor variação absoluta para o AAV de 90° (0,02). A TM4 apresentou a menor variação relativa para o AAV de 0° .

b - Variações Azimutais

Brachiaria brizantha

A Tabela 4.13 apresenta as variações entre os AAV de 0, 90 e 180 graus para *Brachiaria brizantha* e a Figura 4.5 as demonstram graficamente.

TABELA 4.13 - VARIAÇÃO ABSOLUTA E RELATIVA (%) ENTRE OS VALORES DOS FRBMS OBTIDOS NOS AAV DE 0, 90 E 180 GRAUS, PARA OS AZV DE 15, 30 45 E 60 GRAUS - *Brachiaria brizantha*.

AZV = 15	0-90		0-180		90-180		Variação Banda	
	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%
TM1	0,012	20,33	0,026	35,61	0,014	19,18	0,052	75,13
TM2	0,024	19,20	0,049	32,66	0,025	16,66	0,098	68,52
TM3	0,018	18,75	0,042	35,00	0,024	20,00	0,084	73,75
TM4	0,046	10,87	0,093	19,78	0,047	10,00	0,186	40,66
Var. AZV	0,100	69,16	0,210	123,07	0,110	65,84	0,420	258,06
AZV = 30	0-90		0-180		90-180		Variação Banda	
	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%
TM1	0,012	21,05	0,029	39,18	0,026	22,97	0,058	83,21
TM2	0,022	18,18	0,053	34,86	0,049	20,39	0,106	73,44
TM3	0,018	20,11	0,049	40,57	0,047	25,62	0,098	86,30
TM4	0,035	8,33	0,090	18,94	0,072	11,58	0,180	38,86
Var. AZV	0,087	67,67	0,221	133,58	0,194	80,56	0,442	281,81
AZV = 45	0-90		0-180		90-180		Variação Banda	
	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%
TM1	0,017	27,41	0,043	48,86	0,026	29,54	0,086	105,82
TM2	0,036	27,06	0,085	46,70	0,049	26,92	0,170	100,69
TM3	0,025	25,51	0,072	49,65	0,047	32,41	0,144	107,57
TM4	0,108	22,59	0,180	32,72	0,072	13,09	0,360	68,41
Var. AZV	0,186	102,59	0,380	177,94	0,194	101,96	0,760	382,49
AZV = 60	0-90		0-180		90-180		Variação Banda	
	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%
TM1	0,007	11,29	0,035	38,88	0,028	31,11	0,070	81,29
TM2	0,017	13,07	0,071	38,58	-0,054	29,35	0,142	81,01
TM3	0,016	16,49	0,065	44,52	0,049	33,56	0,130	94,57
TM4	0,020	4,65	0,150	26,78	0,130	23,21	0,300	54,64
Var. AZV	0,042	45,51	0,321	148,78	117,23	117,23	0,642	311,51

LEGENDAS: ABS = Variação no valor absoluto Ex. 0-90 ABS (FRBM NO AAV = 90° - FRBM NO AAV = 0°)
- 0-90 (%) ((FRBM NO AAV = 90° - FRBM NO AAV = 0°) · 100) / FRBM NO AAV = 90°
Var. AZV = Σ var ABS ou %

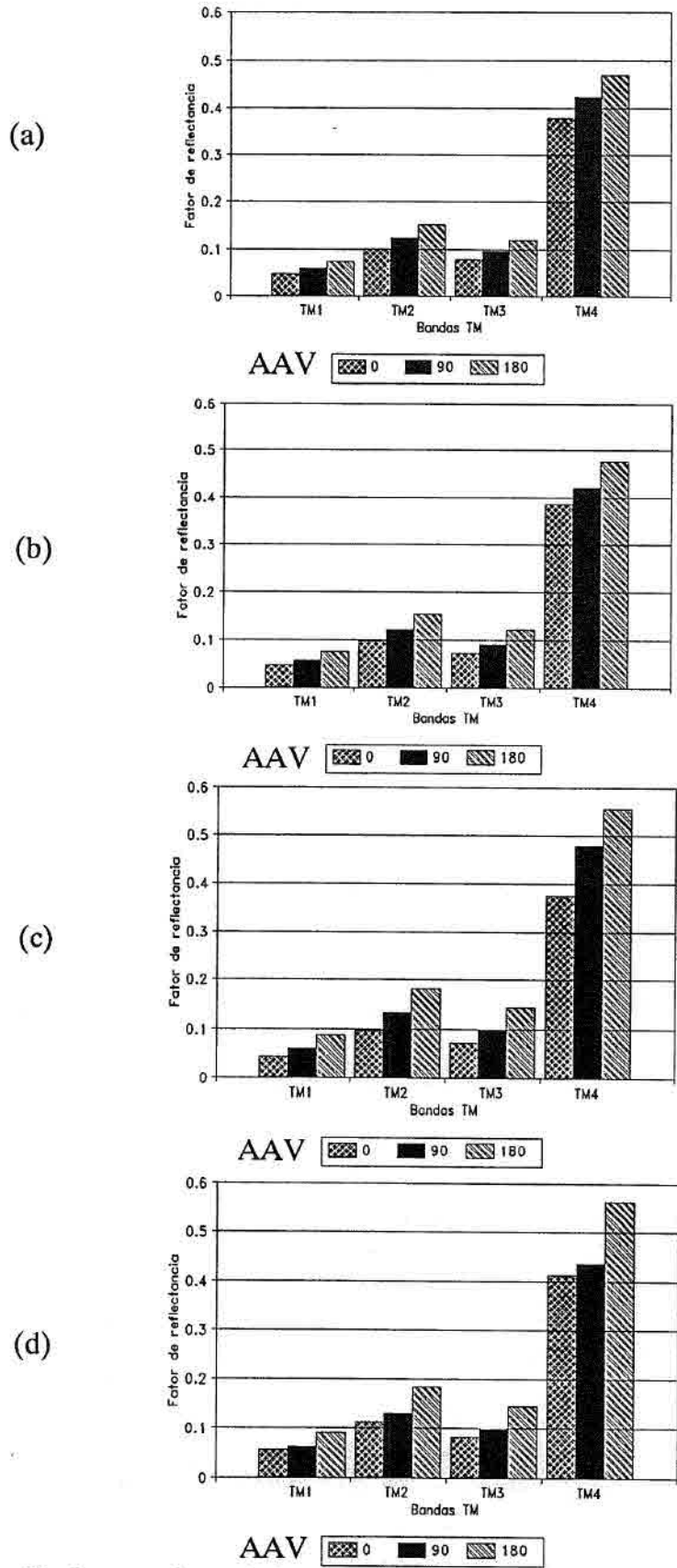


Fig. 4.5 - Variação azimutal dos FRBMs de *B.brizantha* para os AZV de 15° (a), 30°(b), 45° (c) e 60°(d).

Tanto para a vegetação herbácea como para o substrato os maiores valores absolutos dos FRBMs ocorreram no AAV de 180° e os menores para o AAV de 0° , com valores intermediários no AAV de 90° , para todas as bandas espectrais e AZV.

As maiores variações azimutais dos valores absolutos e relativos dos FRBMs ocorreram entre os AAV de 0 e 180 graus, para todos os AZV, sendo máximas no AZV de 45° (0,38 e 177,94%), decrescendo para os AZV de 60° (0,32 e 148,78%), 30° (0,221 e 133,58%) e 15° (0,210 e 123,07%). As menores variações aconteceram entre os AAV de 0 e 90 graus, para todos os AZV, com valores mínimos para os AZV de 60° (0,042 e 45,51%), incrementando para os AZV de 30° (0,087 e 67,68%), 15° (0,100 e 69,16%) e 45° (0,186 e 102,59%).

Considerando-se as variações por banda espectral, a TM4 apresentou uma maior variação absoluta e a banda TM1, a menor, para todos os AZV, com as reflectâncias na TM4 variando de 0,360; 0,321; 0,221 e 0,210, respectivamente para os AZV de 45, 60, 15 e 30 graus; e as reflectâncias na TM1 variando de 0,052; 0,058; 0,007 e 0,086, respectivamente para os AZV de 15, 30, 60 e 45 graus.

Para os valores relativos, a TM4 apresentou as menores variações para todos os AZV, sendo mínimos nos AZV de 30° (38,8%), 15° (40,66%), 60° (54,64%) e 45° (68,00%), enquanto as maiores variações foram observadas na banda TM1 para o AZV de 15° (75,13%) e na banda TM3 para os AZV de 45° (107,57%), 60° (94,57%) e 30° (86,31%).

Substrato

A Tabela 4.14 apresenta as variações entre os AAV de 0, 90 e 180 graus para o *substrato*. A Figura 4.6 ilustra essas variações.

TABELA 4.14 - VARIAÇÃO ABSOLUTA E RELATIVA (%) ENTRE OS VALORES DOS FRBMS OBTIDOS NOS AAV DE 0, 90 E 180 GRAUS, PARA OS AZV DE 15, 30 45 E 60 GRAUS - *Substrato*.

AZV = 15	0-90		0-180		90-180		Variação banda	
	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%
Banda								
TM1	-0,01	-14,28	-0,04	-67,14	-0,03	-37,60	0,08	119,02
TM2	0,01	7,89	-0,04	-30,76	-0,06	-41,66	0,11	80,31
TM3	0,00	0,00	-0,07	-46,66	-0,07	-46,66	0,14	93,32
TM4	-0,02	-7,14	-0,03	-10,71	-0,01	-3,33	0,06	21,18
Var. AZV	0,04	29,31	0,18	146,29	0,16	-128,17	0,38	313,83
AZV = 30	0-90		0-180		90-180		Variação banda	
	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%
Banda								
TM1	-0,04	-80,00	-0,07	-140,00	-0,03	-33,33	0,14	153,33
TM2	-0,01	-8,09	-0,08	-72,73	-0,07	-68,33	0,16	149,15
TM3	0,02	11,11	-0,07	-38,88	-0,09	-68,26	0,18	118,25
TM4	-0,07	-28,92	-0,08	-30,78	-0,01	-3,03	0,16	62,73
Var. AZV	0,14	115,91	0,30	282,39	0,20	160,85	0,64	516,46
AZV = 45	0-90		0-180		90-180		Variação banda	
	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%
Banda								
TM1	-0,06	-120,00	-0,09	-180,00	-0,03	-27,27	0,18	327,27
TM2	-0,04	-40,00	-0,06	-80,00	-0,04	-28,67	0,14	148,67
TM3	0,00	0,00	-0,06	-26,00	-0,06	-26,00	0,12	52,00
TM4	-0,07	-26,00	-0,10	-36,71	-0,03	-8,67	0,20	71,38
Var. AZV	0,17	186,00	0,31	-320,71	0,16	-88,41	0,64	599,32
AZV = 60	0-90		0-180		90-180		Variação banda	
	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%
Banda								
TM1	-0,05	-83,33	-0,08	-133,33	-0,03	-27,27	0,16	143,93
TM2	-0,05	-66,66	-0,06	-111,11	-0,05	-36,71	0,16	114,48
TM3	-0,04	-16,38	-0,08	-30,76	-0,04	-13,33	0,16	66,47
TM4	-0,07	-23,33	-0,12	-40,00	-0,05	-13,61	0,24	76,94
Var. AZV	0,21	-177,81	-0,38	-316,21	0,17	-88,83	0,76	401,82

LEGENDAS: ABS = Variação no valor absoluto Ex. 0-90 ABS (FRBM NO AAV = 90° - FRBM NO AAV = 0°)
 - 0-90 (%) (((FRBM NO AAV = 90° - FRBM NO AAV = 0°) · 100) / FRBM NO AAV = 90°)
 Var. AZV = Σ var ABS ou %

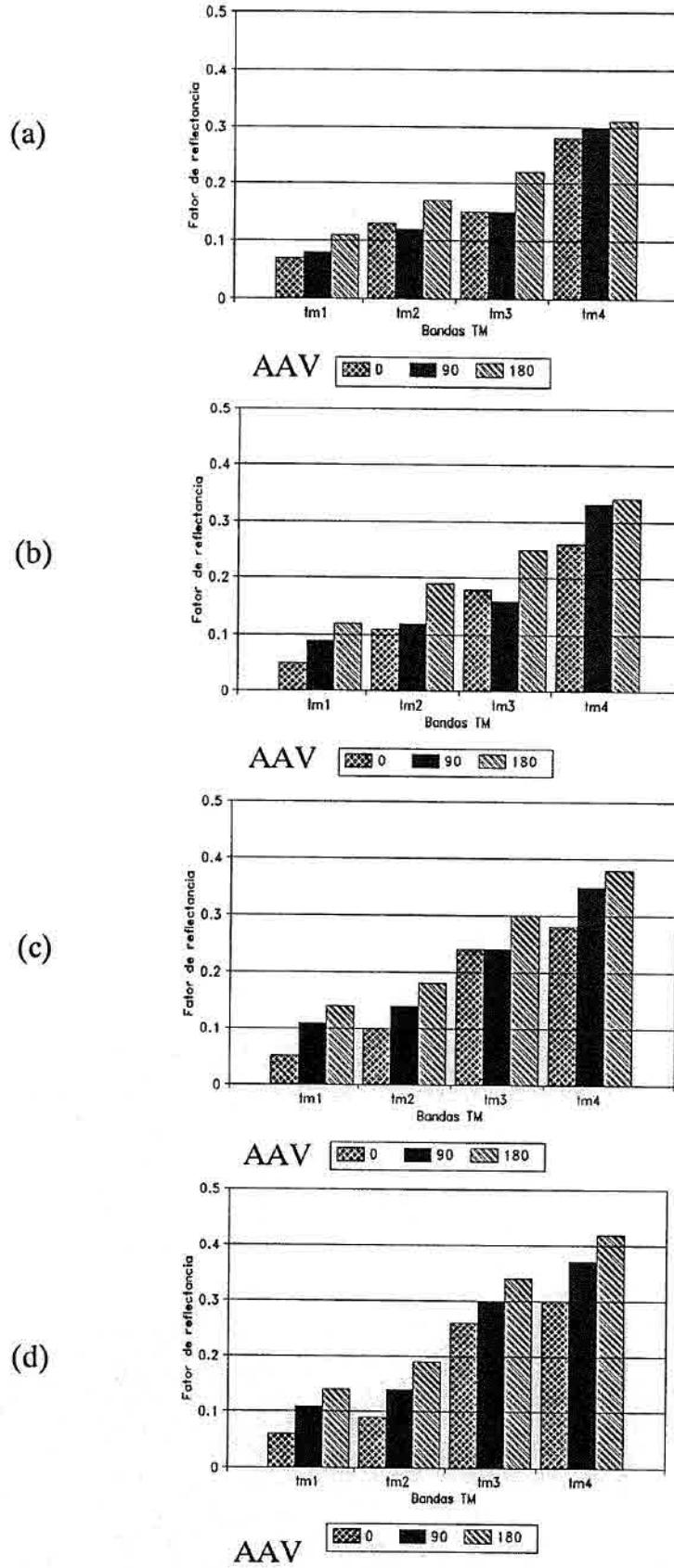


Fig. 4.6- Variação azimutal dos FRBMs para o substrato de *B.brizantha* para os AZV de 15° (a), 30° (b), 45° (c) e 60° (d).

Em termos absolutos e relativos as maiores variações azimutais ocorreram entre os AAV de 0 e 180 graus, para todos os AZV (0,18 e 145,29%; 0,30 e 282,38%; 0,33 e 320,71% e 0,38 e 315,21%, respectivamente para os AZV de 15, 30, 45 e 60 graus) e as menores entre os AAV de 0 e 90 graus para os AZV de 15° (0,04 e 291,2%) e 30° (0,18 e 145,29%) e entre os AAV de 90 e 180 graus para os AZV de 45° (0,16 e 89,41%) e 60° (0,17 e 89,83%).

Considerando-se a variação por banda espectral, as maiores variações absolutas ocorreram para as bandas TM3 nos AZV de 15° (0,14) e 30° (0,18) e na TM4 para os AZV de 45° (0,20) e 60° (0,24). As menores ocorreram para a TM4 nos AZV de 15° (0,06) e 30° (0,16) e para a TM3 nos AZV de 45° (0,12) e 60° (0,16). Quanto às variações relativas, as maiores ocorreram para a TM1 em todos os AZV e as menores para a TM4 nos AZV de 15° (21,18%) e 30° (60,71%) e para a TM3 nos AZV de 45° (50,00%) e 60° (59,47%).

c - Variações zenitais e azimutais em relação ao nadir

Brachiaria brizantha

A Tabela 4.15 apresenta as variações zenitais e azimutais em relação ao nadir ($AZV=0^{\circ}$) para *Brachiaria brizantha* e a Figura 4.3 as demonstram graficamente.

TABELA 4.15 - VARIAÇÃO ABSOLUTA E RELATIVA (%) ENTRE OS VALORES DOS FRBMS OBTIDOS NOS AZV DE 15, 30, 45 E 60°, PARA OS AAV DE 0, 90 E 180 GRAUS E OS OBTIDOS NO NADIR ($AZV=0^{\circ}$) - *Brachiaria brizantha*.

AAV=0	15		30		45		60		Var. Banda	
Bandas	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%
TM1	-0,016	-34,04	-0,018	-40,00	-0,018	-40,00	-0,008	-14,64	0,06	128,68
TM2	-0,030	-30,38	-0,033	-33,03	-0,035	-36,77	-0,018	-16,64	0,116	116,74
TM3	-0,024	-31,66	-0,031	-42,83	-0,028	-40,68	-0,021	-28,79	0,106	141,87
TM4	-0,041	-10,78	-0,033	-8,49	-0,047	-12,88	-0,007	-1,87	0,128	34,06
Var. AZV	0,112	106,9	0,114	124,36	0,130	129,36	0,068	68,76	0,410	420,37
AAV=90	15		30		45		60		Var. Banda	
Bandas	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%
TM1	-0,004	-6,77	-0,006	-10,62	-0,001	-1,61	-0,001	-1,61	0,012	20,63
TM2	-0,006	-6,36	-0,011	-8,84	0,001	0,87	-0,001	-1,31	0,020	16,48
TM3	-0,006	-6,97	-0,013	-14,11	-0,004	-4,79	-0,006	-6,87	0,029	31,76
TM4	0,006	1,26	0,023	0,64	0,080	12,61	0,012	2,86	0,080	17,27
Var. AZV	0,0223	20,37	0,031	34,02	0,067	20,00	0,020	11,66	0,140	86,06
AAV=180	15		30		45		60		Var. Banda	
Bandas	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%
TM1	0,010	13,89	0,011	14,86	0,026	28,41	0,027	30,00	0,073	86,97
TM2	0,018	12,20	0,020	13,36	0,060	27,63	0,062	28,42	0,141	81,61
TM3	0,017	14,41	0,018	16,12	0,042	29,17	0,043	29,86	0,121	88,37
TM4	0,062	11,12	0,067	12,05	0,132	24,06	0,142	26,41	0,384	72,86
Var. AZV	0,098	61,44	0,106	66,41	0,249	108,27	0,264	113,49	0,720	329,6
LEGENDAS: ABS = Variação no valor absoluto Ex. 15_ABS = (FRBM NO AZV = 15° - FRBM NO AZV = 0°)										
- 15_(%) = ((FRBM NO AZV = 15° - FRBM NO AZV = 0°) · 100) / FRBM NO AZV = 15°)										
Var. AZV = Σ var ABS ou %										

Em relação aos valores absolutos e relativos dos FRBMs obtidos no nadir ($AZV = 0$), as maiores variações ocorreram no plano paralelo ao plano solar, com as maiores variações positivas no AAV de 180° (0,72 e 329,62%), as maiores negativas no AAV de 0° (-0,41 e -420,37%), e as menores aconteceram no plano perpendicular ao solar, no AAV de 90° (0,14 e 86,06%), para todos os AZV e bandas espectrais.

Considerando-se por AZV, as maiores variações absolutas ocorreram no AZV de 60° para o AAV de 180° (0,26) e no AZV de 45° para o AAV de 0° (0,13) e de 30° para o AAV de 90° (0,07). As menores foram verificadas no AZV de 60° para os AAV de 90° (0,02) e de 0° (0,06) e no AZV de 15° para o AAV de 180° (0,09).

As maiores variações relativas ocorreram no AZV de 45° para o AAV de 0° (129,35%), no AZV de 60° para o AAV de 180° (113,49%) e no AZV de 30° para o AAV de 90° (34,03%). As menores no AZV de 60° para o AAV de 90° (11,66%) e 0° (59,76%) e no AZV de 15° para o AAV de 180° (51,44%).

Analisando a variação total entre os AZV por banda espectral, a TM1 apresentou a menor variação nos valores absolutos dos FRBMs, enquanto na TM4 a variação foi a maior para todos os AAV e AZV. A TM2 apresentou a segunda maior variação para os AAV de 180° (0,14) e 0° (0,12) e a TM3 a segunda maior para os AAV de 90° (0,029).

Para os AAV de 0 e 90 graus, as bandas espectrais na região do visível apresentaram valores absolutos inferiores aos obtidos no nadir, para todos os AZV, enquanto a banda TM4 apresentou valores absolutos menores somente no AAV de 0° , para todos os AZV. Todas as bandas espectrais apresentaram valores absolutos superiores aos obtidos no nadir no AAV de 180° , para todos os AZV.

Nas variações dos valores relativos, a TM4 foi a banda com menor variação, enquanto a banda TM3 apresentou a maior, para todos os AAV. A TM1 apresentou a segunda maior variação, seguido da TM2, para todos os AZV.

Substrato

A Tabela 4.16 apresenta as variações zenitais e azimutais em relação ao nadir ($AZV = 0^{\circ}$) para o substrato em pastagens compostas por *Brachia-ria brizantha* e a Figura 4.4 as demonstram graficamente.

TABELA 4.16 - VARIAÇÃO ABSOLUTA E RELATIVA (%) ENTRE OS VALORES DOS FRBMS OBTIDOS NOS AZV DE 15, 30, 45 E 60°, PARA OS AAV DE 0, 90 E 180 GRAUS E OS OBTIDOS NO NADIR ($AZV = 0^{\circ}$) -

Substrato - B. Brizantha

AAV = 0	15		30		45		60		Var. Banda	
Bandas	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%
TM1	-0,01	-14,28	-0,03	-60,00	-0,03	-60,00	-0,02	-33,33	0,09	167,62
TM2	0,00	0,00	-0,02	-18,18	-0,03	-30,00	-0,04	-44,44	0,09	92,62
TM3	-0,07	-46,67	-0,04	-22,22	0,02	8,33	0,04	15,38	0,17	92,61
TM4	-0,03	-10,71	-0,05	-19,23	-0,03	-10,71	-0,01	-3,33	0,12	43,99
Var. AZV	0,11	71,67	0,14	119,63	0,11	109,05	0,11	96,49	0,47	396,84
AAV = 90	15		30		45		60		Var. Banda	
Bandas	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%
TM1	0,00	0,00	0,01	11,11	0,03	27,27	0,03	27,27	0,07	65,65
TM2	-0,01	-8,33	-0,01	-8,33	0,01	7,14	0,01	7,14	0,04	30,95
TM3	-0,07	-46,66	-0,06	-37,50	0,02	8,33	0,08	26,66	0,23	119,16
TM4	-0,01	-3,33	0,02	6,06	0,04	11,42	0,06	16,21	0,13	37,04
Var. AZV	0,09	-58,33	0,10	63,00	0,10	54,17	0,18	77,29	0,47	252,81
AAV = 180	15		30		45		60		Var. Banda	
Bandas	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%
TM1	0,03	27,27	0,04	33,33	0,06	42,85	0,06	42,85	0,19	146,32
TM2	0,04	23,53	0,06	31,57	0,05	27,77	0,06	31,57	0,21	114,46
TM3	0,00	0,00	0,03	12,00	0,08	26,66	0,12	35,29	0,23	73,96
TM4	0,00	0,00	0,03	8,82	0,07	18,42	0,11	26,19	0,21	53,43
Var. AZV	0,07	50,80	0,16	85,73	0,26	115,72	0,35	135,92	0,84	388,18

LEGENDAS: ABS = Variação no valor absoluto Ex. 15_ABS = (FRBM NO AZV = 15° - FRBM NO AZV = 0°)
 15_(%) = ((FRBM NO AZV = 15° - FRBM NO AZV = 0°) · 100) / FRBM NO AZV = 15°
 Var AZV = Σ var ABS ou %

Como para a vegetação herbácea as maiores variações dos valores absolutos e relativos foram encontrados no plano paralelo ao plano solar, com variações positivas ocorrendo no AAV de 180° (0,84 e 388,18%) e variações negativas no AAV de 0° (-0,47 e -396,84%), para todos os AZV. As menores variações também ocorreram em sua maioria no plano perpendicular ao plano solar, no AAV de 90° (0,47 e 252,81%), para os AZV de 30, 45 e 60 graus com exceções para o AZV de 15° no AAV de 180° (0,07 e 50,80%) e no AZV de 60° no AAV de 0° , para as variações absolutas do FRBMs.

Para as variações absolutas e relativas em relação ao AZV, as maiores variações ocorreram no AZV de 60° para os AAV de 180° (0,35 e 135,92%) e 90° (0,18 e 77,29%) e no AZV de 30° para o AAV de 0° (0,14 e 119,63%). As menores aconteceram no AZV de 15° para os AAV de 180° (0,07 e 50,80%), de 90° (0,09 e 58,33%) e 0° (0,11 e 71,66%).

As variações absolutas por banda espectral, foram máximas para a TM3 em todos os AAV e mínimas para a TM1 nos AAV de 0 e 180 graus e na TM2 para os AAV de 90° . Variações relativas máximas foram encontradas também para a TM1 nos AAV de 0 e 180 graus e para a TM3 no AAV de 90° , variações mínimas ocorreram na TM4 para os AAV de 0 e 180 graus e na TM2 para o AAV de 90° .

4.3.1.2 - Variabilidade amostral

A Tabela 4.17 apresenta a variabilidade amostral dos valores absolutos e relativos dos FRBMs.

TABELA 4.17 - VARIABILIDADE AMOSTRAL DOS VALORES ABSOLUTOS E RELATIVOS (%) DOS FRBMS OBTIDOS NOS AZV DE 15, 30, 45 E 60 GRAUS, PARA OS AAV DE 0, 90 E 180 GRAUS PARA A VEGETAÇÃO HERBÁCEA EM PASTAGENS DE *Brachiaria brizantha*

AAV = 0	15		30		45		60		Var. Banda	
Bandas	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%
TM1	0,012	26,63	0,011	24,44	0,008	17,77	0,007	18,38	0,038	84,11
TM2	0,024	23,78	0,021	21,21	0,016	16,48	0,016	13,27	0,076	73,71
TM3	0,021	26,82-	0,018	26,03	0,016	21,81	0,012	16,04	0,067	88,92
TM4	0,069	16,84	0,068	16,08	0,037	10,00	0,048	7,07	0,20	47,78
Var. AZV	0,116	81,86	0,108	36,76	0,076	66,17	0,080	62,76	0,380	295,53
AAV = 90	15		30		45		60		Var. Banda	
Bandas	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%
TM1	0,012	21,62	0,008	16,78	0,008	13,05	0,007	11,28	0,038	61,66
TM2	0,026	20,80	0,020	16,62	0,018	13,63	0,016	11,63	0,078	62,40
TM3	0,024	26,00-	0,018	20,00	0,018	16,32	0,012	12,37	0,070	73,69
TM4	0,071	16,78	0,068	13,33	0,088	14,22	0,046	10,69	0,241	66,04
Var. AZV	0,133	84,11	0,103	66,66	0,110	67,16	0,080	46,88	0,427	263,79
AAV = 180	15		30		45		60		Var. Banda	
Bandas	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%	ABS.	%
TM1	0,016	20,54	0,013	17,56	0,009	10,23	0,011	12,22	0,048	60,56
TM2	0,029	19,33	0,023	15,13	0,017	9,34	0,022	11,95	0,091	55,76
TM3	0,030	25,00-	0,022	18,18	0,018	12,41	0,020	13,69	0,090	69,29
TM4	0,070	14,89	0,058	12,21	0,035	6,36	0,0540	9,64	0,217	43,11
Var. AZV	0,144	79,77	0,116	63,09	0,079	38,34	0,107	47,52	0,446	228,72
AZV = 0	Var. Banda		LEGENDAS: Ex. 15° ABS = valor absoluto do desvio padrão do FRBM no AZV = 15° 15°(%) = valor relativo do desvio padrão do FRBM no AZV = 15° (%) = ((desvio padrão do FRBM • 100)/FRBM)							
Bandas	ABS.	%								
TM1	0,014	22,22								
TM2	0,028	21,26								
TM3	0,027	26,29								
TM4	0,077	18,43								
Var. AZV	0,146	88,20								

A variabilidade absoluta e relativa dos FRBMs entre as amostras foi maior para o AAV de 0° e menor para o AAV de 180° , para todos os AZV, sendo que decresceu com o incremento do AZV, para todos os AAV.

Considerando-se a variabilidade por AZV, valores absolutos e relativos máximos ocorreram no AZV de 15° para todos os AAV, enquanto uma variabilidade mínima foi observada no AZV de 60° para os AAV de 0 e 90 graus e no AZV de 45° para o AAV de 180° . O AZV de 0° apresentou a maior variação absoluta, tendo a segunda maior variação relativa, somente menor que o AZV de 15° para o AAV de 0° .

A variabilidade total nos valores do FRBM entre as amostras foi em termos absolutos, maior para os AAV de 180° (0,446), seguido do AAV de 90° (0,427) e do AAV de 0° (0,380). Em termos relativos o AAV de 0° apresentou a maior variabilidade (295,53%) e o AAV de 180° a menor (228,72%).

Os valores absolutos máximos ocorreram no nadir (0,146) e no AZV de 15° para os AAV de 180° (0,144), 90° (0,133) e 0° (0,116). Para os valores relativos a maior variabilidade foi também observada no AZV de 15° , para os AAV de 0° (91,86%), de 90° (84,11%) e 0° (79,77%). O AZV de 0° apresentou uma menor variação de 88,21%.

Quanto à variabilidade amostral por banda espectral, as maiores variações absolutas ocorreram na banda TM4, para todos os AAV (0,241; 0,217 e 0,200, respectivamente para os AAV de 90, 180 e 0 graus), inclusive no AZV de 0° (0,07) e as menores na banda TM1, também para todos os AAV (0,048; 0,038 e 0,037, respectivamente para os AAV de 180, 0 e 90 graus) e AZV de 0° (0,014). A TM2 foi a segunda banda que mais variou para todos os AAV, seguido da TM3.

As maiores variações relativas foram observadas para a banda TM3 nos AAV de 0° (89,92%), 90° (73,69%) e 180° (69,29%) e para o AZV de 0° (26,29%), as menores na TM4 para os AAV de 90° (55,04%), 0° (47,78%) e 180° (43,11%) e para o nadir (18,43%).

4.3.1.3 - Análise dos mecanismos físicos que influenciam na dinâmica dos FRBMs da cobertura de *Brachiaria brizantha*.

As maiores variações zenitais para o AAV de 180° foram coerentes às encontradas por Goel (1986), Guyot (1984), Kimes (1983), Kimes et al. (1984a) e Kimes (1985), para coberturas completas de gramíneas e estão relacionadas, principalmente ao efeito da EGV conhecido como "efeito 1" (Kirchner et al., 1982; Coulson, 1966; Eaton e Dirmhirn, 1979; Egbert e Ulaby, 1972; Kriebel, 1978; Ranson et al., 1981)

Claramente, as suposições teóricas sobre os princípios envolvidos no "Efeito 1", como a de uma mesma geometria, densidade e propriedades ópticas dos componentes, para todas as camadas da cobertura, não são aplicáveis a este experimento e não são suficientes para justificar os efeitos assimétricos observados para as variações zenitais nos AAV de 0 e 90 graus.

Quanto aos aspectos geométricos, densidade e propriedades ópticas da cobertura de *B. brizantha*, constatou-se que os estratos superiores e inferiores são marcadamente distintos: Os estratos inferiores são plagiófilos, sem preferência de orientação azimutal, possuem uma maior densidade foliar que os superiores e folhas mais desenvolvidas. Os estratos superiores são erectófilos, apresentam uma menor densidade foliar e há presença de estruturas com diferentes propriedades ópticas como as folhas jovens, folhas jovens ainda enroladas ao colmo e inflorescências, que não ocorrem nos estratos inferiores e conferem uma maior complexidade aos padrões observados.

Tais padrões também são dependentes de um outro efeito, denominado na literatura de "Função de fase" (Kimes, 1984, Kimes et al., 1985). O conceito geral da função de fase, foi definido por Chandrasekher (1960), os mecanismos físicos que explicam essa função foram discutidos por Kimes (1984).

Se somente o "efeito 1" dominasse e todas as interações da radiação entre os componentes da cobertura fossem isotrópicas, a distribuição seria azimutalmente simétrica, formando uma parábola. A curvatura para os lados da parábola é função da distribuição angular das folhas, densidade foliar, coeficiente de espalhamento das folhas e do solo, e a distribuição anisotrópica da radiação solar. Em adição ao "efeito 1", observa-se o efeito da "função de fase" no sombreamento dos componentes da cobertura e dos mecanismos de retroreflexão e retroespalhamento da vegetação (Kimes et al., 1984a).

Estes resultados obtidos por Kimes (1983), e confirmados por Guyot (1983), demonstram que, geralmente, o retroespalhamento ocorre em superfícies com faces planas (planófilas), enquanto a retroreflexão ocorre em superfícies

com estrutura vertical (erectófilas). Todos os componentes espalham o fluxo solar por reflexão ou transmissão. Uma cena com componentes verticais opacos apresenta uma grande variação azimutal, devido às superfícies frontais refletirem o fluxo em direção ao Sol especularmente e difusamente, e as superfícies opostas ao Sol estarem sombreadas.

Adicionalmente, os componentes sombreados projetam suas sombras sobre outros componentes. A quantidade de sombras é incrementada com o aumento do AZS e do AZV, sendo maximizado para grandes AZS e AZV, visto que as projeções horizontais de superfícies verticais podem tornar-se muito maior que em AZV menores (Norman et al., 1985). Consequentemente, o pico da reflectância ocorre em direção antisolar ($AAV = 180^\circ$) e a reflectância diminuirá em qualquer direção a partir desta, devido à contribuição dos componentes sombreados aumentar, conforme as suposições da função de fase.

De fato, as mínimas reflectâncias ocorreram para visadas na direção do Sol ($AAV = 0^\circ$), ocorrendo valores negativos em relação ao nadir. Segundo Kimes (1983) e Kimes (1984), isto se deve ao efeito aditivo da função de fase: o sensor visa uma alta proporção de faces sombreadas dos componentes da vegetação que não estão expostas à radiação solar direta. Entretanto, se este fosse o único mecanismo operante, esperar-se-ia o decréscimo da reflectância com a visada na direção do sol, para todos os AZV, o que não aconteceu. Teoricamente, conforme Guyot (1984), a reflectância mínima deve ocorrer somente para AZV até 30° , devido ao "efeito 1" ser dominante para os AZV maiores. Este desvio da reflectância mínima com o aumento do AZV ocorre para AZS maiores que 55° , devido à distribuição do fluxo solar interceptado, como uma função da altura na cobertura ser mais uniforme que em AZV extremos (AZS maiores que 55°) (Kimes, 1983).

Assim, o "efeito 1" é minimizado para AZV entre 0° e 30° , enquanto o efeito da "função de fase" na diminuição da reflectância com o aumento do AZV é aparente. Para AZV maiores que 30° , o "efeito 1" é maximizado; no entanto, ainda se observa o efeito da "função de fase", que incrementa mais os FRBMs no AAV de 180° em relação aos AAV de 0 e 90 graus.

Seguindo esta lógica, deve-se esperar que, com o aumento da densidade da vegetação, menor será o desvio, visto que se intensifica o "efeito 1".

Kimes (1983) observou desvios para o mínimo de reflectância para coberturas completas e densas de gramíneas para o vermelho e IVP. Entretanto, embora a cobertura fosse densa, o desvio para o mínimo ocorreu até o AZV de 45° , onde ainda ocorreram valores menores que os do nadir, sugerindo uma maior ação da função de fase.

Conforme Kimes (1983), adicionalmente ao efeito da variação na proporção de faces sombreadas (quantidade de sombras), deve-se considerar a intensidade do sombreamento, que é dependente do comprimento de onda. Assim, quanto maior a transmitância menor será o desvio, uma vez que a intensidade de sombreamento será menor.

Para as monocotiledôneas, como a gramínea *B. brizantha*, que apresentam mesófilos compactos, há uma maior transmitância para o visível e IVP do que para as dicotiledôneas (que apresentam o mesófilo diferenciado), uma vez que eles possuem pouca superfície de contato entre o ar dos espaços intercelulares e as paredes celulares, o que resulta numa menor frequência na mudança de trajetória da radiação (Knipling, 1970a). Se para uma maior transmitância foliar é esperado um menor desvio, outros componentes da cobertura podem ter influenciado. Um fator adicional que pode estar interferindo é a presença de inflorescências e colmos nas camadas superiores. A associação de componentes verticais e opacos, como já visto, provoca a maximização da variação azimutal e conseqüentemente do desvio para o mínimo no AAV de 0° , num efeito aditivo da função de fase.

Segundo Kimes (1984), quando a reflectância da cobertura é significativamente maior que a sua transmitância, a reflectância mínima ocorre em uma grande extensão, a partir do nadir em direção ao AAV de 0° e 90° . Isso pode explicar os valores dos FRBMs inferiores ao do nadir para todos os AZV, indicando um domínio da função de fase, principalmente para as bandas de absorção do visível, devido às propriedades de transmitância e reflectância da cobertura determinarem a essas bandas uma alta absorção, resultando em uma maior desvio relativo.

Ainda, para o AAV de 90° a maior influência da função de fase causou uma mínima variação nos FRBMs com o incremento do AZV, devido à redistribuição do fluxo espalhado entre as camadas da cobertura ser mais uniforme neste AAV, sendo o "efeito 1" minimizado relativamente aos outros planos azimutais (Kimes, 1984). Estes mesmos mecanismos explicam também as maiores variações azimutais observadas entre os AAV de 0 e 180 graus e as menores entre os AAV de 0 e 90 graus.

O menor valor do FRBM do AZV de 60° em relação ao de 45° no AAV de 90° foi determinado por uma conjugação entre o "efeito 1" e a "função de fase": Segundo o "efeito 1", com o aumento do AZV, aumenta a contribuição relativa das camadas superiores (geralmente mais refletoras), em relação aos componentes das camadas inferiores. Ocorre que as camadas superiores da cobertura de *B. brizantha*, além de serem erectófilas, possuem estruturas opacas (inflorescências e colmos) e bastante refletoras, que determinam uma maior retro-reflexão e, conseqüentemente, um menor espalhamento múltiplo e distribuição do fluxo nessas

camadas, ocorrendo esta queda no fator de reflectância com o incremento do AZV para o AAV de 90° .

A tendência de uma maior variação absoluta e relativa entre os AZV de 30 e 45° nos AAV de 90 e 180 graus, pode ser decorrente da ocorrência dos picos principal e secundário de reflexão próximos ao AZV de 45° , visto que o AZS variou de 45 a 55 graus no período de aquisição.

Gerstl (1986); Goel e Grier (1986) e Simmer e Gerstl (1985) também verificaram a ocorrência de uma maior variação da reflectância próximo aos picos principal (AAV de 180°) e secundário (AAV de 90°) de reflexão.

Conforme Kimes et al. (1985), a exata posição do pico de reflexão em coberturas vegetais é determinada por uma complexa interação de vários fenômenos, incluindo, o espalhamento anisotrópico do solo, o efeito geométrico da vegetação, a "função de fase" para uma particular distribuição, orientação e propriedades ópticas e o "efeito 1".

Para o AAV de 0° , dada a menor amplitude do pico de reflexão, uma maior variação entre os AZV de 45 e 60 graus é esperada, como consequência da maior intensidade do "efeito 1" nestes AZV extremos, pelos mecanismos físicos já mencionados.

As menores variações entre os AZV de 15 e 30 graus, para os AAV de 90 e 180 graus, também são consequência da minimização do efeito 1, já que este ocorre com menor intensidade entre ângulos zenitais mínimos. A menor variação entre os AZV de 30 e 45 graus no AAV de 0° é consequência do efeito aditivo da função de fase ao efeito 1, a ser explicada para as variações azimutais.

Considerando as variações zenitais em relação às bandas espectrais, uma menor variação relativa zenital e azimutal para a banda TM4 em todos os AAV é esperada, porque a transmitância e a reflectância da vegetação são aproximadamente idênticas nessa banda (cerca de 50% e 45% , respectivamente). Além disso, a reflectância foliar no IVP é relativamente alta, com o espalhamento múltiplo resultando em uma melhor distribuição entre as camadas da cobertura e, conseqüentemente, uma distribuição mais azimutalmente simétrica. Havendo um menor gradiente de interceptação e espalhamento da REM em função das camadas da cobertura, minimiza-se a atuação do efeito 1 (maior controlador das variações zenitais) e a função de fase intensifica-se.

No entanto, as menores variações na TM4 ocorreram somente nos AAV de 0 e 180 graus, pois para o AAV de 90° esta banda foi a que mais va-

riou. Esse comportamento deve-se principalmente à já discutida queda do valor do FRBM para o AZV de 60° , visto que esta banda foi a que apresentou a queda mais acentuada (11,16% na TM4 contra os 0,0%, 2,3% e -1,0% que ocorreram respectivamente para a TM1, TM2 e TM3).

Este comportamento também foi observado por Barnsley (1984), mas a explicação para este comportamento anômalo do IVP e os mecanismos físicos que atuaram não estão ainda esclarecidos na literatura. Talvez, para este estudo, estejam relacionados às propriedades ópticas dos componentes opacos, que podem ter ocasionado a queda, mas que normalmente afetariam mais os FRBMs da banda do visível, pelo fato de serem fotossinteticamente ativos. Espera-se com as próximas análises de correlação entre os parâmetros biofísicos e os indicadores espectrais uma melhor explicação para este comportamento.

A menor variação relativa para a TM1 no AAV de 90° não foi coerente com a literatura. Para os demais AAV, como já esperado, as maiores variações ocorreram no visível, dada a maior intensidade do sombreamento foliar nesta região do espectro, mas incoerentemente foi a banda do TM1 a que mais variou entre as do visível. Para o azul é esperado uma menor variação, dada a tendência de uma maior intensidade do processo de espalhamento atmosférico nesta banda, ocasionar uma melhor distribuição da REM incidente na cobertura e, conseqüentemente, um menor gradiente de interceptação e espalhamento em função das camadas da cobertura (Knipling, 1970a; Kimes et al., 1985). Uma maior variação no vermelho é esperada, pois nessa faixa as folhas absorvem a maioria da radiação incidente (Allen et al., 1969), resultando uma maior intensidade de sombreamento, sem o espalhamento atmosférico observado para o azul. Kimes (1983), Guyot (1984) e Goel e Thompson (1985) observaram uma maior variação do vermelho para coberturas completas de gramíneas.

Entretanto, deve-se salientar que a diferença da TM1 em relação às outras bandas do visível foi pequena, com variações zenitais de 4,37% e 0,6% para a TM2 e 2,75% e 1,42% para a TM3; e com variações azimutais de 6,6%, 0,77%, 5,11% e 0,28% em relação à TM2, e de 1,38%, 3,09%, 1,75% e 13,3% em relação à TM3, respectivamente nos AZV de 15, 30, 45 e 60 graus.

A menor variação azimutal absoluta e relativa na banda TM4 e as maiores para a banda do visível (na TM1 para o AZV de 15° e na TM3 para o AZV de 30, 45 e 60 graus) foram coerentes, tendo o comportamento explicado pelos mesmos mecanismos atuantes nas variações zenitais.

As variações azimutais foram superiores às zenitais para todos os AZV e AAV, indicando que embora o efeito geométrico da vegetação ("efeito 1") domine sobre os outros mecanismos físicos para as variações zenitais, o efeito

aditivo das variações previstas pela "função de fase", como orientação foliar, densidade das camadas e propriedades ópticas, dominou para as variações azimutais e alterou expressivamente a distribuição angular dos FRBMs, principalmente para as bandas do visível.

Neste experimento, pelo fato da cobertura ser densa, erectófila e o AZS ser grande (AZS entre 45 e 55 graus) o efeito 1 foi maximizado, porque foi baixa a probabilidade de descontinuidades ("gaps"), ou seja, da radiação penetrar nas camadas inferiores, ficando uma grande proporção de irradiância solar espalhada pelas camadas superiores.

Como consequência da maximização do efeito 1 ocorreu uma grande variação entre os valores dos FRBMs obtidos no nadir ($AZV=0$) e os oblíquos ($AZV \neq 0$). As maiores variações no plano paralelo e as menores no perpendicular ao plano solar, foram coerentes com a teoria do efeito 1 e da função de fase, os mecanismos que explicam esses fenômenos. Tal comportamento também foi observado em dados obtidos em campo (Kimes, 1983 e Guyot, 1984) e por modelagem (Kimes, 1985; Simmer e Gerstl, 1985).

Nos AAV de 0 e 90 graus, as maiores variações verificadas para os AZV de 45 e 30 graus, respectivamente, são justificadas pela maximização do "desvio para o mínimo" ocorrida nos valores dos FRBMs nestes planos azimutais.

A maior variação no AZV de 60° e a menor no de 15° para o AAV de 180° é consequência da amplitude na intensidade do "efeito 1" com a variação do AZV, maior para grandes AZV e menor para pequenos AZV. No AAV de 90° a "queda" da reflectância na TM4 entre os AZV de 45 e 60 graus, ocasionou a menor variação negativa neste azimute.

Para a banda do visível todos os valores dos FRBMs foram inferiores aos obtidos no nadir para os AAV de 0 e 90 graus. As maiores variações ocorridas na banda do vermelho e as menores no IVP eram esperadas e já tiveram seus princípios físicos explicados nas teorias do "efeito 1" e da "função de fase".

Conforme Kimes (1984) é esperado que coberturas próximas a erectófilas exibam relativamente pouca variação na forma geral da distribuição da reflectância, porque o "efeito 1" domina fortemente sobre os outros mecanismos. Entretanto, segundo o mesmo autor, análises de sensibilidade da reflectância e transmitância foliar e de outras estruturas da cobertura, demonstraram que variações nesses parâmetros podem alterar significativamente o comportamento azimutal, principalmente nas bandas do visível.

A menor variabilidade amostral observada para o AAV de 180° e a maior no AAV de 0°, pode estar relacionada à variação dos componentes da cobertura que condicionam os mecanismos físicos "efeito 1" e "função de fase". No AAV de 180°, o principal mecanismo que determina os valores dos FRBMs é o efeito 1, mais relacionado à estrutura geométrica da cobertura, enquanto para os AAV de 0 e 90 graus, os valores são determinados pela função de fase, mais relacionado à composição e propriedades ópticas dos constituintes da cobertura.

Embora somente o parâmetro DAF, tenha sido estratificado para este estudo, através da observação visual em campo, verificou-se que as variações em densidade foliar e na composição da fitomassa entre camadas (folhas jovens, folhas velhas, inflorescências, maior contribuição de colmos), foram relativamente maiores que as observadas para a estrutura geométrica.

Enquanto essas são apenas algumas suposições, há necessidade de estudos mais detalhados da variação vertical dos componentes da cobertura, do ponto de vista estrutural e da composição.

Não foram encontrados estudos sobre a variabilidade amostral de dados espectrais obtidos em diferentes geometrias de visada. O comportamento inversamente proporcional observado entre a variabilidade e o AZV, para todos os AAV e bandas espectrais, pode estar relacionado ao aumento da área amostrada com o incremento do AZV, e conseqüentemente da representatividade amostral. Para o AZV de 0° o radiômetro integrou uma área de aproximadamente 0,26m², aumentando para 0,29; 0,41; 0,77 e 2,36 m², respectivamente para os AZV de 15, 30, 45 e 60 graus. Conforme Formaggio e Epiphanyo (1990), quaisquer variações na amostragem introduzem desvios significativos nos valores medidos. Estes desvios podem ter sido minimizados com o aumento da área amostrada.

Quanto à variabilidade dos FRBMs por banda espectral, as maiores variações no TM3 e as menores na TM4, para todos os AAV, estão coerentes com as variações esperadas em decorrência do "efeito 1" e da "função de fase". Esse comportamento pode ter um aspecto positivo ou negativo: negativo, se a variabilidade está associada à variação de características dos parâmetros biofísicos e o aumento do AZV mascarou tais variações; e positivo, se a variabilidade está ligada a "ruídos" na aquisição, resultantes da interferência de fatores exógenos à cultura, p.ex. do solo subjacente, e o incremento do AZV amenizou os ruídos.

4.3.1.4 - Análise dos mecanismos físicos que influenciam na dinâmica dos FRBMs do substrato para *B. brizantha*.

Conforme Kimes (1984), para coberturas vegetais completas e densas, o efeito da reflectância do substrato subjacente na distribuição da reflectância é mínimo. O autor justifica tal afirmativa por resultados obtidos com radiometria de campo, onde observou que na faixa do vermelho, o solo refletiu um total de 0,1% da irradiância total em uma cobertura com um AZS de 25,7°.

De fato, para a cobertura de *B. brizantha* não foi verificada a influência do espalhamento anisotrópico do solo, sendo sua dinâmica explicada pelos mecanismos físicos para o espalhamento anisotrópico da vegetação. Assim, considera-se nesse trabalho que o fluxo do solo e seu efeito na reflectância da cobertura foi mínimo, sendo analisados separadamente.

O aumento dos FRBMs com o incremento do AZV para os AAV de 90 e 180 graus foi coerente com o observado por Kimes (1983) e Kimes et al. (1984b) e deve-se principalmente ao efeito 1. Os valores mínimos dos FRBMs observados para o AAV de 0°, em relação aos obtidos no nadir, foram correspondentes às suposições teóricas e devem-se, principalmente, às grandes variações azimutais observadas.

Como para a vegetação herbácea, as maiores variações observadas entre os AZV de 30 e 45 graus nos AAV de 90 e 180 graus, devem-se à ocorrência dos picos principal e secundário de reflectância próximos ao AZV de 45°.

A maior variação entre 15 e 30 graus para o AAV de 0°, corresponde à maior queda dos valores dos FRBMs, conseqüentes do desvio para o mínimo de reflectância para este plano azimutal, regido pelos mesmos princípios físicos observados para a vegetação herbácea.

As grandes variações azimutais ocorridas em todos os AZV para o substrato, devem-se principalmente ao forte espalhamento anisotrópico do solo exposto, explicado pelo mecanismo da função de fase. O solo apresenta componentes verticais que apresentam baixa transmitância, e assim o sombreamento dos componentes da cena ocorre. No AAS de 180° somente aquelas superfícies que estão diretamente iluminadas são visadas pelo sensor e assim a reflectância é máxima nesta direção. Segundo Guyot (1983) quando o sensor move-se a partir da direção antisolar, os seguintes mecanismos causam o decréscimo na reflectância: 1 - No campo de visada do sensor a proporção relativa de superfícies sombreadas aumenta; 2 - No campo de visada do sensor a proporção de faces das partículas que desviam da normal a partir da direção solar aumenta, causando o decréscimo da irradiância solar nestas facetas (função cosseno).

Considerando as variações zenitais por banda espectral, para o solo podzólico vermelho-amarelo, logicamente há uma maior reflectância na faixa do vermelho, mas a maior variação observada em todos os AAV para essa banda e a menor para a TM4 no AAV de 0° , não foram coerentes com a literatura (Kimes, 1984).

Conforme Norman et al. (1985), a FDRB do solo depende do comprimento de onda, devido às propriedades espectrais do material e do nível de iluminação das faces sombreadas.

Para a região do visível, o espalhamento atmosférico é muito maior que para o IVP. Portanto, as áreas sombreadas são provavelmente mais brilhantes no visível e as variações nos FRBMs com as variações do AZV são menores do que no IVP. Além disso, no vermelho a reflectância hemisférica do solo é muito maior que a reflectância do IVP.

Outros fatores como a forma dos agregados do solo também afetam, mas segundo os autores, na prática este efeito não é tão acentuado. Talvez, para este estudo a presença de serrapilheira, partes de colmos e raízes superficiais possam ter mascarado a reflectância do solo, ocasionando a maior variação na TM3. A menor variação para a TM2 nos AAV de 90 e 180 graus foi coerente com a literatura, pelos princípios explicados acima. Para as variações azimutais por banda espectral, ocorreram maiores variações para a TM1 e menores na TM4. Somente foram coerentes as menores variações apresentadas para a TM3 entre os AZV de 45 e 60° .

4.3.2 - Análise das correlações entre os FRBMs (Fator de Reflectância Bidirecional Multiespectral) obtidos nas diferentes geometrias de visada para *Brachiaria brizantha*

Realizaram-se as análises de correlação linear simples, modelo de Pearson (Costa Netto, 1977), para os FRBMs obtidos com variação da geometria de visada da gramínea *Brachiaria brizantha*.

Dada a complexidade da matriz de correlação, analisaram-se em nível geral as variações dos valores médios dos coeficientes de correlação e as tendências dos relacionamentos entre os FRBMs. Descreveu-se separadamente o comportamento para as correlações entre os FRBMs obtidos num mesmo AAV e AZV (Tabela 4.18), entre os obtidos com variações azimutais (Tabela 4.19), zenitais (Tabela 4.20), azimutais e zenitais (Tabela 4.21), e variações em relação ao nadir (Tabela 4.22). No final, realizou-se uma análise conjunta dos mecanismos físicos que condicionaram as relações descritas entre os FRBMs.

4.3.2.1 - Correlações entre os FRBMs obtidos com mesmos AAV e AZV

TABELA 4.18 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE OS FRBMS OBTIDOS COM MESMOS AAV e AZV

ÂNGULOS		BANDAS ESPECTRAIS TM								
AAV	AZV	TM1xTM2	TM1xTM3	TM1xTM4	TM2xTM3	TM2xTM4	TM3xTM4	Média	Desvio	
180	60	0,94	0,97	0,66	0,96	0,67	0,58	0,79	0,16	
90	60	0,95	0,95	0,63	0,94	0,75	0,60	0,80	0,15	
0	60	0,94	0,93	0,57	0,96	0,69	0,65	0,79	0,16	
180	45	0,89	0,88	0,26	0,81	0,46	0,06	0,56	0,32	
90	45	0,92	0,94	0,58	0,89	0,79	0,64	0,79	0,14	
0	45	0,94	0,97	0,45	0,95	0,65	0,55	0,75	0,21	
180	30	0,96	0,95	0,61	0,94	0,77	0,63	0,81	0,15	
90	30	0,95	0,92	0,63	0,88	0,78	0,59	0,79	0,14	
0	30	0,96	0,96	0,75	0,96	0,85	0,74	0,87	0,10	
180	15	0,98	0,97	0,78	0,96	0,85	0,72	0,87	0,10	
90	15	0,97	0,93	0,75	0,93	0,85	0,73	0,86	0,09	
0	15	0,98	0,97	0,77	0,97	0,83	0,75	0,87	0,10	
VALORES MÉDIOS DOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO POR AAV E AZV										
Média AAV		TM1xTM2	TM1xTM3	TM1xTM4	TM2xTM3	TM2xTM4	TM3xTM4	Média	Desvio	
180		0,94	0,94	0,58	0,92	0,69	0,50	0,76	0,18	
90		0,95	0,94	0,65	0,91	0,79	0,64	0,81	0,13	
0		0,96	0,96	0,64	0,96	0,76	0,67	0,82	0,14	
Média AZV		TM1xTM2	TM1xTM3	TM1xTM4	TM2xTM3	TM2xTM4	TM3xTM4	Média	Desvio	
60		0,94	0,95	0,62	0,95	0,70	0,61	0,79	0,16	
45		0,92	0,93	0,43	0,88	0,63	0,42	0,70	0,22	
30		0,96	0,94	0,66	0,93	0,80	0,65	0,82	0,13	
15		0,98	0,96	0,77	0,95	0,84	0,73	0,87	0,10	
Média Total		0,95	0,95	0,62	0,93	0,75	0,60	0,79	0,80	
LEGENDAS: ÂNGULOS: AAV AZV = (AAV,AZV)x(AAV,AZV)										

As correlações entre os FRBMs obtidos em uma mesma geometria de visada apresentaram altos valores dos coeficientes com uma média geral de 0,79.

Os mais altos coeficientes de correlação entre todas as bandas espectrais ocorreram no AZV de 15° (0,87), enquanto os mais baixos ocorreram para o AZV de 45° (0,70), para todos os AAV.

As maiores correlações ocorreram no AAV de 0° (0,82) e as menores no AAV de 180° (0,76).

Para as correlações entre as bandas espectrais na região do visível (VIS) ocorreram altos valores dos coeficientes de correlação, em todos os AAV e AZV, com valores médios de 0,95; 0,95 e 0,93, respectivamente para as correlações entre a TM1 e a TM2, a TM1 e a TM3 e a TM2 e TM3. O mesmo não ocorreu para as correlações entre as bandas do VIS e IVP, onde moderadas e baixas correlações dominaram para a TM3 (0,60), TM1 (0,62) e TM2 (0,75).

4.3.2.2 - Correlações entre os FRBMs obtidos com variações azimutais

TABELA 4.19 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE OS FRBMS OBTIDOS COM VARIAÇÕES AZIMUTAIS

ÂNGULOS			BANDAS ESPECTRAIS TM																Média	Desvio	
AZV	AAV 1	AAV 2	1 1	1 2	1 3	1 4	2 1	2 2	2 3	2 4	3 1	3 2	3 3	3 4	4 1	4 2	4 3	4 4			
60	180	90	0,59	0,59	0,57	0,37	0,63	0,67	0,61	0,52	0,61	0,63	0,61	0,41	0,48	0,52	0,43	0,58	0,55	0,08	
	180	0	0,00	-0,04	-0,07	-0,20	0,15	0,12	0,11	0,00	0,05	0,00	0,02	0,00	-0,10	-0,06	-0,10	-0,07	0,02	0,09	
	90	0	0,29	0,19	0,17	-0,08	0,35	0,32	0,31	0,07	0,21	0,13	0,15	-0,20	0,49	0,52	0,51	0,30	0,23	0,19	
45	180	90	0,16	0,05	0,31	-0,08	0,02	0,03	0,16	-0,02	0,11	0,05	0,28	0,00	-0,40	-0,30	-0,40	-0,02	0,02	0,22	
	180	0	0,39	0,33	0,32	-0,07	0,42	0,42	0,38	0,18	0,41	0,36	0,32	-0,07	-0,07	0,04	-0,08	0,25	0,22	0,19	
	90	0	0,23	0,14	0,23	0,04	0,29	0,25	0,29	0,25	0,25	0,17	0,26	0,03	0,31	0,36	0,35	0,40	0,24	0,10	
30	180	90	0,31	0,18	0,32	0,01	0,39	0,31	0,38	0,19	0,43	0,31	0,05	0,11	0,49	0,46	0,39	0,47	0,30	0,15	
	180	0	0,69	0,61	0,64	0,43	0,70	0,65	0,65	0,49	0,74	0,66	0,72	0,45	0,53	0,49	0,44	0,49	0,59	0,10	
	90	0	0,33	0,20	0,25	0,08	0,23	0,16	0,17	0,08	0,45	0,34	0,43	0,13	0,13	0,15	0,07	0,16	0,21	0,12	
15	180	90	0,83	0,85	0,82	0,81	0,82	0,87	0,80	0,85	0,81	0,84	0,84	0,77	0,72	0,76	0,58	0,84	0,80	0,07	
	180	0	0,77	0,80	0,82	0,66	0,75	0,79	0,79	0,67	0,75	0,78	0,82	0,62	0,56	0,61	0,55	0,71	0,72	0,09	
	90	0	0,76	0,74	0,79	0,54	0,78	0,80	0,83	0,60	0,77	0,77	0,85	0,51	0,72	0,78	0,74	0,81	0,74	0,10	
VALORES MÉDIOS DOS COEFICIENTES POR AAV E AZV																					
ÂNGULOS			1 1	1 2	1 3	1 4	2 1	2 2	2 3	2 4	3 1	3 2	3 3	3 4	4 1	4 2	4 3	4 4	Média	Desvio	
Média	180	90	0,47	0,42	0,51	0,28	0,47	0,47	0,49	0,38	0,49	0,46	0,45	0,32	0,32	0,35	0,24	0,43	0,407	0,08	
	180	0	0,45	0,42	0,43	0,22	0,51	0,49	0,48	0,33	0,49	0,45	0,47	0,25	0,22	0,27	0,20	0,35	0,306	0,11	
	90	0	0,40	0,32	0,36	0,14	0,41	0,38	0,40	0,25	0,42	0,35	0,42	0,12	0,41	0,45	0,42	0,42	0,355	0,09	
AAV	Média	60	0,47	0,42	0,51	0,28	0,47	0,47	0,49	0,38	0,49	0,46	0,45	0,32	0,32	0,35	0,24	0,43	0,407	0,08	
	AZV	45	0,45	0,42	0,43	0,22	0,51	0,49	0,48	0,33	0,49	0,45	0,47	0,25	0,22	0,27	0,20	0,35	0,376	0,11	
		30	0,40	0,32	0,36	0,14	0,41	0,38	0,40	0,25	0,42	0,35	0,42	0,12	0,41	0,45	0,42	0,42	0,355	0,10	
		15	0,33	0,27	0,36	0,18	0,31	0,30	0,34	0,25	0,34	0,30	0,29	0,22	0,20	0,22	0,13	0,28	0,75	0,06	
Média Total			0,41	0,36	0,41	0,20	0,42	0,41	0,43	0,31	0,43	0,39	0,41	0,22	0,29	0,32	0,25	0,37	0,36	0,09	

LEGENDAS: ÂNGULOS: AZV|AAV1|AAV2 = (AAV1,AZV)x(AAV2,AZV) BANDAS: 1 1 = TM1xTM1

Os maiores valores dos coeficientes ocorreram para as correlações entre os AAV de 90 e 180 graus (0,407) e os menores entre os AAV de 0 e 180 (0,355). Analisando-se por AZV, as maiores correlações entre os FRBMs de diferentes AAV aconteceram no AZV de 15° (0,750) e as menores no AZV de 45° (0,146). Por faixa espectral, as maiores correlações ocorreram entre a mesma banda espectral nos diferentes AAV, com valores de 0,450; 0,449 e 0,440; respectivamente para a TM3, a TM2 e a TM1. Em seguida, as correlações entre as diferentes bandas do visível, destacando-se as entre a TM3 e a TM1 (0,470), TM2 e TM3 (0,460) e TM2 e TM1 (0,460). Os menores coeficientes ocorreram para as correlações entre as bandas do VIS e IVP (0,340), em todos os AAV e AZV, sendo mínimas as correlações entre a TM4 e as bandas TM1 (0,210) e TM3 (0,230).

4.3.2.3 - Correlações entre os FRBMs obtidos com variações zenitais

TABELA 4.20- MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE OS FRBMS OBTIDOS COM VARIAÇÕES ZENITAIS

ÂNGULOS			BANDAS ESPECTRAIS TM																Média	Desvio
AAV	AZV 1	AZV 2	1_1	1_2	1_3	1_4	2_1	2_2	2_3	2_4	3_1	3_2	3_3	3_4	4_1	4_2	4_3	4_4		
180	60	45	0,44	0,27	0,32	0,10	0,41	0,26	0,31	0,00	0,43	0,30	0,38	0,00	0,24	0,17	0,02	0,46	0,26	0,15
90	60	45	0,32	0,26	0,25	0,00	0,31	0,31	0,24	0,06	0,16	0,10	0,11	-0,20	0,27	0,42	0,19	0,34	0,20	0,15
0	60	45	0,46	0,35	0,39	0,22	0,46	0,41	0,43	0,37	0,49	0,46	0,47	0,39	0,33	0,38	0,41	0,59	0,41	0,08
180	60	30	0,55	0,52	0,54	0,33	0,45	0,39	0,43	0,15	0,54	0,51	0,55	0,26	0,09	0,10	0,06	0,11	0,35	0,18
90	60	30	0,52	0,44	0,44	0,29	0,46	0,43	0,42	0,31	0,54	0,47	0,48	0,34	0,14	0,19	0,13	0,28	0,37	0,13
0	60	30	0,00	0,01	0,02	0,05	0,00	-0,02	0,00	0,03	-0,05	-0,02	0,00	0,00	-0,11	-0,04	-0,02	0,02	0,01	0,04
180	60	15	0,30	0,33	0,25	0,38	0,36	0,38	0,33	0,39	0,36	0,40	0,33	0,42	0,25	0,24	0,20	0,28	0,32	0,06
90	60	15	0,53	0,52	0,44	0,46	0,54	0,56	0,50	0,51	0,49	0,47	0,41	0,38	0,32	0,36	0,33	0,46	0,45	0,07
0	60	15	0,25	0,29	0,21	0,20	0,29	0,34	0,26	0,26	0,20	0,25	0,18	0,16	0,31	0,38	0,33	0,35	0,27	0,06
180	45	30	0,33	0,32	0,35	0,11	0,13	0,16	0,13	-0,01	0,28	0,26	0,33	0,01	-0,03	-0,02	0,03	0,09	0,11	0,22
90	45	30	0,19	0,06	0,21	-0,30	0,04	-0,01	0,04	-0,26	0,11	0,00	0,12	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	0,10	0,17
0	45	30	0,28	0,29	0,34	0,04	0,17	0,22	0,26	0,03	0,16	0,18	0,24	0,00	-0,03	-0,01	-0,02	-0,08	0,29	0,18
180	45	15	0,45	0,42	0,48	0,11	0,48	0,47	0,52	0,14	0,40	0,39	0,47	0,07	0,09	0,08	0,04	0,10	0,34	0,06
90	45	15	0,34	0,33	0,33	0,28	0,36	0,40	0,36	0,42	0,37	0,36	0,35	0,30	0,24	0,31	0,25	0,50	0,39	0,12
0	45	15	0,49	0,48	0,52	0,22	0,49	0,49	0,54	0,28	0,43	0,42	0,48	0,19	0,21	0,27	0,28	0,39	0,42	0,03
180	30	15	0,44	0,44	0,40	0,42	0,44	0,47	0,40	0,49	0,39	0,40	0,37	0,38	0,20	0,28	0,15	0,46	0,11	0,15
90	30	15	0,27	0,20	0,10	-0,07	0,23	0,28	0,09	-0,05	0,36	0,27	0,28	-0,05	0,00	0,00	-0,07	0,00	0,46	0,11
0	30	15	0,60	0,55	0,52	0,41	0,54	0,53	0,49	0,47	0,59	0,55	0,55	0,38	0,28	0,31	0,21	0,43	0,29	0,12
VALORES MÉDIOS DOS COEFICIENTES POR AAV E AZV																				
ÂNGULOS			1_1	1_2	1_3	1_4	2_1	2_2	2_3	2_4	3_1	3_2	3_3	3_4	4_1	4_2	4_3	4_4	Média	Desvio
Média AAV	180	0,42	0,38	0,39	0,24	0,38	0,35	0,35	0,19	0,40	0,38	0,41	0,19	0,10	0,12	0,07	0,24	0,407	0,08	
	90	0,36	0,30	0,30	0,11	0,32	0,33	0,28	0,16	0,34	0,27	0,29	0,07	0,10	0,15	0,08	0,20	0,306	0,11	
	0	0,35	0,33	0,33	0,19	0,32	0,33	0,33	0,24	0,30	0,31	0,32	0,18	0,13	0,20	0,18	0,29	0,355	0,09	
Média AZV	60x45	0,41	0,29	0,32	0,10	0,39	0,33	0,33	0,14	0,36	0,29	0,32	0,07	0,28	0,32	0,21	0,46	0,407	0,08	
	60x30	0,36	0,32	0,33	0,22	0,29	0,27	0,28	0,16	0,34	0,32	0,34	0,20	0,04	0,08	0,06	0,14	0,376	0,11	
	60x15	0,36	0,38	0,30	0,35	0,40	0,43	0,36	0,39	0,35	0,37	0,31	0,32	0,29	0,33	0,29	0,36	0,355	0,10	
	45x30	0,27	0,22	0,30	0,00	0,11	0,12	0,14	0,08	0,18	0,13	0,23	0,10	0,30	0,20	0,30	0,10	0,113	0,30	
	45x15	0,43	0,41	0,44	0,20	0,44	0,45	0,47	0,28	0,40	0,39	0,43	0,19	0,18	0,22	0,19	0,33	0,112	0,29	
	30x15	0,44	0,40	0,34	0,25	0,40	0,43	0,33	0,30	0,45	0,41	0,40	0,24	0,15	0,19	0,10	0,29	0,116	0,31	
MÉDIA TOTAL			0,38	0,34	0,34	0,18	0,34	0,33	0,32	0,20	0,35	0,32	0,34	0,15	0,11	0,16	0,10	0,24	0,118	0,31

LEGENDAS: ÂNGULOS: AAV|AZV1|AZV2 = (AAV,AZV1)|(AAV,AZV2) BANDAS: 1 1 = TM1xTM1

As correlações entre os FRBMs obtidos com diferentes AZVs para mesmos AAVs, apresentaram baixos valores de coeficientes, com uma média geral de 0,262.

Os maiores valores dos coeficientes ocorreram para as correlações entre os AZV de 15 e 30 graus (0,350), e os menores entre os AZV de 30 e 45 graus (0,036), para todos os AAV.

Quanto ao comportamento azimutal, os maiores valores de coeficientes de correlação ocorreram no AAV de 90° (0,298) e os menores no AAV de 0° (0,270).

Analisando os coeficientes de correlação quanto as bandas espectrais, as maiores correlações foram entre a mesma banda espectral nos diferentes AZV, com as bandas do visível apresentando os mais altos valores, principalmente para a TM1 (0,380) e a TM3 (0,340). Para as correlações entre as bandas do visível os maiores coeficientes foram obtidos entre a TM3 e a TM1 (0,350). As piores correlações ocorreram entre o VIS e o IVP, com menores valores entre a TM4 e as bandas TM3 (0,110) e TM1 (0,180).

4.3.2.4 - Correlações entre os FRBMs obtidos com variações azimutais e zenitais

TABELA 4.21 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE OS FRBMS OBTIDOS COM VARIAÇÕES AZIMUTAIS E ZENITAIS

ÂNGULOS				BANDAS ESPECTRAIS TM																
AAV1	AZV1	AAV2	AZV2	1 1	1 2	1 3	1 4	2 1	2 2	2 3	2 4	3 1	3 2	3 3	3 4	4 1	4 2	4 3	4 4	média
180	60	90	45	0,35	0,26	0,40	0,19	0,47	0,43	0,50	0,31	0,41	0,35	0,46	0,25	0,10	0,10	0,10	0,02	0,29
180	60	0	45	0,31	0,31	0,29	0,11	0,45	0,46	0,43	0,23	0,43	0,42	0,41	0,16	0,02	0,15	0,07	0,32	0,29
90	60	0	45	0,44	0,36	0,38	0,09	0,57	0,53	0,53	0,27	0,49	0,40	0,42	0,04	0,53	0,56	0,54	0,55	0,42
180	60	90	30	0,22	0,13	0,22	-0,06	0,16	0,09	0,17	-0,10	0,26	0,18	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09
180	60	0	30	0,42	0,38	0,40	0,28	0,30	0,25	0,29	0,13	0,41	0,36	0,39	0,24	-0,10	-0,20	-0,20	-0,10	0,20
90	60	0	30	0,23	0,11	0,11	-0,08	0,22	0,14	0,14	-0,05	0,26	0,14	0,14	-0,08	-0,10	-0,10	-0,20	-0,10	0,04
180	60	90	15	0,39	0,36	0,29	0,29	0,42	0,40	0,37	0,33	0,47	0,45	0,39	0,31	0,10	0,09	0,04	0,19	0,31
180	60	0	15	0,37	0,34	0,29	0,26	0,42	0,38	0,35	0,26	0,39	0,36	0,33	0,20	0,17	0,17	0,14	0,29	0,29
90	60	0	15	0,48	0,45	0,40	0,36	0,50	0,49	0,44	0,39	0,39	0,35	0,32	0,23	0,28	0,29	0,26	0,35	0,37
180	45	90	30	0,15	0,06	0,20	-0,10	0,03	0,05	0,06	-0,03	0,14	0,07	0,23	-0,05	-0,20	0,00	-0,20	0,21	0,04
180	45	0	30	0,35	0,30	0,43	0,01	0,10	0,13	0,21	-0,07	0,33	0,33	0,46	0,10	-0,03	-0,20	-0,20	-0,06	0,12
90	45	0	30	0,24	0,16	0,23	0,07	0,10	0,09	0,10	0,06	0,27	0,21	0,30	0,09	0,07	0,18	0,11	0,29	0,16
180	45	90	15	0,41	0,41	0,45	0,25	0,36	0,39	0,44	0,26	0,36	0,35	0,43	0,12	-0,20	-0,09	-0,11	0,10	0,25
180	45	0	15	0,48	0,49	0,53	0,26	0,34	0,41	0,45	0,23	0,35	0,36	0,42	0,07	-0,14	-0,03	-0,08	0,24	0,27
90	45	0	15	0,42	0,37	0,34	0,18	0,38	0,38	0,33	0,26	0,42	0,39	0,37	0,19	0,28	0,34	0,27	0,37	0,33
180	30	90	15	0,62	0,56	0,47	0,42	0,60	0,56	0,46	0,45	0,63	0,56	0,53	0,35	0,28	0,30	0,10	0,31	0,45
180	30	0	15	0,66	0,62	0,60	0,49	0,64	0,63	0,60	0,54	0,63	0,58	0,60	0,42	0,38	0,40	0,31	0,48	0,54
90	30	0	15	0,10	0,04	0,03	-0,06	0,03	0,00	0,00	-0,04	0,21	0,13	0,17	0,00	-0,04	-0,09	-0,11	0,07	0,02
180	45	90	60	0,39	0,30	0,20	0,19	0,38	0,33	0,21	0,21	0,36	0,25	0,20	0,13	0,30	0,10	0,00	0,18	0,23
180	45	0	60	0,09	0,19	0,14	-0,10	0,00	0,11	0,01	-0,11	0,00	0,13	0,05	-0,10	0,03	0,18	-0,02	-0,08	0,02
90	45	0	60	0,37	0,46	0,29	0,31	0,30	0,43	0,22	0,33	0,26	0,40	0,20	0,32	0,42	0,56	0,43	0,58	0,37
180	30	90	60	0,43	0,42	0,39	0,32	0,36	0,36	0,34	0,24	0,42	0,40	0,40	0,26	-0,03	-0,03	-0,05	-0,05	0,26
180	30	0	60	-0,11	-0,11	-0,10	-0,09	-0,13	-0,13	-0,12	-0,13	-0,16	-0,12	-0,14	-0,11	-0,14	-0,16	-0,19	-0,23	0,14
90	30	0	60	0,17	0,24	0,16	0,28	0,03	0,13	0,05	0,23	0,06	0,18	0,08	0,33	-0,03	-0,02	-0,02	-0,02	0,06
180	15	90	60	0,56	0,58	0,48	0,60	0,58	0,61	0,53	0,62	0,44	0,46	0,36	0,50	0,51	0,53	0,46	0,61	0,53
180	15	0	60	0,24	0,29	0,25	0,26	0,24	0,29	0,26	0,26	0,20	0,26	0,22	0,23	0,27	0,28	0,34	0,16	0,25
90	15	0	60	0,14	0,21	0,22	0,20	0,12	0,22	0,25	0,25	0,09	0,19	0,23	0,21	0,12	0,23	0,27	0,36	0,21
180	30	90	45	0,13	0,09	0,15	0,00	0,00	-0,02	-0,02	-0,09	0,22	0,15	0,21	-0,03	0,03	-0,01	-0,07	-0,12	0,04
180	30	0	45	0,27	0,19	0,27	-0,20	0,24	0,18	0,23	-0,02	0,25	0,15	0,24	-0,30	0,00	0,04	-0,02	-0,13	0,08
90	30	0	45	0,04	0,03	0,22	0,02	-0,13	-0,10	0,04	-0,01	-0,04	-0,08	0,12	-0,08	0,12	-0,09	-0,16	0,05	0,02
180	15	90	45	0,33	0,36	0,38	0,29	0,43	0,47	0,49	0,45	0,38	0,39	0,45	0,29	0,40	0,43	0,42	0,46	0,40
180	15	0	45	0,55	0,52	0,52	0,32	0,55	0,52	0,54	0,31	0,51	0,47	0,50	0,26	0,36	0,35	0,40	0,32	0,44
90	15	0	45	0,52	0,52	0,65	0,38	0,45	0,47	0,62	0,40	0,47	0,47	0,62	0,37	0,23	0,27	0,34	0,36	0,45
180	15	90	30	0,06	0,11	0,07	0,25	0,03	0,10	0,05	0,28	0,13	0,15	0,14	0,21	-0,01	0,05	-0,05	0,28	0,12
180	15	0	30	0,26	0,28	0,22	0,33	0,27	0,30	0,23	0,37	0,28	0,29	0,27	0,26	0,07	0,13	0,02	0,33	0,24
90	15	0	30	0,44	0,42	0,40	0,32	0,40	0,41	0,39	0,37	0,46	0,43	0,46	0,29	0,11	0,14	0,04	0,23	0,33
VALORES MÉDIOS DOS COEFICIENTES POR AAV																				
ÂNGULOS				1 1	1 2	1 3	1 4	2 1	2 2	2 3	2 4	3 1	3 2	3 3	3 4	4 1	4 2	4 3	4 4	X
MÉDIA	180	90	45	0,34	0,30	0,31	0,22	0,32	0,31	0,30	0,24	0,35	0,31	0,34	0,19	0,12	0,12	0,05	0,18	0,25
	90	0	45	0,32	0,32	0,32	0,16	0,28	0,29	0,29	0,17	0,30	0,30	0,31	0,12	0,05	0,10	0,05	0,13	0,22
	0	90	45	0,30	0,28	0,29	0,17	0,25	0,27	0,26	0,20	0,28	0,27	0,29	0,16	0,11	0,17	0,13	0,24	0,23
LEGENDAS: Ângulos: (AAV1,AZV1)x(AAV2,AZV2) Bandas espectrais: 1_1 = TM1xTM1																				

(CONTINUA)

TABELA 4.21 - CONCLUSÃO																		
VALORES MÉDIOS DOS COEFICIENTES POR AZV																		
ÂNGULOS		1 1	1 2	1 3	1 4	2 1	2 2	2 3	2 4	3 1	3 2	3 3	3 4	4 1	4 2	4 3	4 4	média
MÉDIA	60 45	0,37	0,31	0,36	0,13	0,50	0,47	0,49	0,27	0,44	0,39	0,43	0,15	0,22	0,27	0,24	0,30	0,33
AZV	60 30	0,29	0,21	0,24	0,05	0,23	0,16	0,20	0,02	0,31	0,23	0,26	0,04	0,01	0,10	0,10	0,08	0,11
	60 15	0,41	0,38	0,33	0,30	0,45	0,42	0,39	0,33	0,42	0,39	0,35	0,25	0,18	0,18	0,15	0,28	0,36
	45 30	0,25	0,17	0,29	0,10	0,08	0,09	0,12	0,10	0,25	0,20	0,33	0,05	0,10	0,04	0,10	0,15	0,11
	45 15	0,44	0,42	0,44	0,23	0,36	0,39	0,41	0,25	0,38	0,37	0,41	0,13	0,07	0,07	0,02	0,24	0,28
	30 15	0,46	0,41	0,37	0,28	0,42	0,40	0,35	0,32	0,49	0,42	0,43	0,24	0,19	0,21	0,10	0,29	0,34
	45 60	0,28	0,32	0,21	0,12	0,22	0,29	0,15	0,14	0,20	0,26	0,15	0,10	0,25	0,28	0,12	0,22	0,21
	30 60	0,16	0,18	0,15	0,17	0,09	0,12	0,09	0,11	0,11	0,15	0,11	0,16	0,10	0,10	0,20	0,20	0,13
	15 60	0,31	0,36	0,32	0,35	0,31	0,37	0,35	0,38	0,24	0,30	0,27	0,31	0,30	0,35	0,36	0,38	0,33
	30 45	0,15	0,10	0,21	0,08	0,04	0,02	0,08	0,04	0,14	0,08	0,19	0,10	0,08	0,04	0,09	0,08	0,04
	15 45	0,47	0,47	0,52	0,33	0,48	0,49	0,55	0,39	0,45	0,44	0,52	0,31	0,33	0,35	0,39	0,38	0,43
15 30	0,25	0,27	0,23	0,30	0,23	0,27	0,22	0,34	0,29	0,29	0,29	0,25	0,06	0,11	0,01	0,28	0,23	
MÉDIA TOTAL		0,32	0,30	0,30	0,18	0,28	0,29	0,28	0,20	0,31	0,29	0,31	0,16	0,09	0,13	0,08	0,18	0,23

LEGENDAS: Ângulos: (AAV1,AZV1)x(AAV2,AZV2) Bandas espectrais: 1 1 = TM1xTM1

Para as correlações entre os FRBMs obtidos em diferentes geometrias de visada predominaram baixos valores de coeficientes, apresentando uma média geral de 0,233.

Os maiores valores dos coeficientes de correlação ocorreram entre os AAV de 180 e 90 graus (0,250) e os menores entre os AAV de 0 e 180 graus (0,219).

Considerando as correlações para todos os AAV, os maiores valores dos coeficientes foram observados para as correlações entre os AZV de 15 e 30 (0,336), 15 e 45 (0,328), 60 e 45 (0,333), 60 e 15 (0,325) e 45 e 15 graus (0,284), e os menores entre os AZV de 30 e 45 (0,035), 30 e 60 (0,063) e 45 e 30 graus (0,108).

Considerando a variação conjunta, os maiores coeficientes ocorreram entre os AAV e AZV de (90,30) e (0,15), (180,30) e (0,15), (90,60) e (0,45), (90,60) e (0,30), (90,60) e (0,15), (90,45) e (0,60), (90,30) e (0,45) e os menores entre (180,60) e (0,30), (180,30) e (90,60), (180,30) e (0,45) e (180,0) e (0,45).

Para as correlações por bandas espectrais, os maiores coeficientes foram observados para correlações entre as mesmas bandas espectrais nos diferentes AAV e AZV, sendo superiores para a TM2 e a TM1. Os menores coeficientes também ocorreram entre as bandas espectrais do VIS e o IVP, sendo inferiores para as correlações da TM1 e da TM3 com a TM4.

4.3.2.5 - Correlações entre os FRBMs obtidos com variações azimutais e zenitais e os obtidos no nadir

TABELA 4.22 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE OS FRBMS OBTIDOS COM VARIAÇÕES AZIMUTAIS E ZENITAIS E OS OBTIDOS NO NADIR

ÂNGULOS		BANDAS ESPECTRAIS TM																
AAV	AZV	1 1	1 2	1 3	1 4	2 1	2 2	2 3	2 4	3 1	3 2	3 3	3 4	4 1	4 2	4 3	4 4	Média
180	60	0,08	0,04	0,06	-0,04	0,19	0,14	0,18	0,04	0,16	0,13	0,15	0,02	-0,10	-0,20	-0,10	-0,20	0,03
90	60	0,41	0,35	0,38	0,25	0,43	0,39	0,41	0,30	0,36	0,32	0,35	0,25	0,30	0,30	0,34	0,32	0,34
0	60	0,37	0,39	0,33	0,44	0,31	0,33	0,28	0,37	0,32	0,37	0,29	0,44	0,28	0,30	0,30	0,27	0,34
180	45	0,35	0,30	0,36	0,09	0,41	0,38	0,41	0,21	0,32	0,30	0,34	0,12	-0,04	-0,03	-0,08	0,03	0,22
90	45	0,13	0,06	0,16	-0,04	0,17	0,13	0,21	0,06	0,09	0,02	0,14	-0,13	0,12	0,14	0,19	0,14	0,39
0	45	0,67	0,67	0,72	0,54	0,64	0,65	0,68	0,53	0,61	0,60	0,67	0,45	0,33	0,35	0,34	0,31	0,55
180	30	0,37	0,32	0,34	0,15	0,33	0,30	0,29	0,18	0,30	0,25	0,29	0,08	0,08	0,10	0,00	0,16	0,22
90	30	0,10	0,04	0,03	0,02	0,06	0,02	-0,01	0,05	0,16	0,09	0,14	0,03	0,03	0,07	-0,05	0,26	0,06
0	30	0,21	0,18	0,18	0,16	0,19	0,18	0,16	0,21	0,24	0,21	0,23	0,15	-0,03	-0,02	-0,11	0,12	0,14
180	15	0,57	0,56	0,66	0,30	0,53	0,51	0,61	0,32	0,53	0,48	0,63	0,23	0,31	0,31	0,37	0,28	0,45
90	15	0,60	0,55	0,69	0,27	0,59	0,56	0,68	0,32	0,63	0,59	0,74	0,31	0,42	0,42	0,51	0,32	0,51
0	15	0,61	0,55	0,63	0,36	0,60	0,56	0,62	0,39	0,61	0,56	0,66	0,34	0,35	0,32	0,35	0,29	0,49
VALORES MÉDIOS DOS COEFICIENTES POR AAV E AZV																		
ÂNGULOS		1 1	1 2	1 3	1 4	2 1	2 2	2 3	2 4	3 1	3 2	3 3	3 4	4 1	4 2	4 3	4 4	Média
média	180	0,34	0,31	0,36	0,13	0,37	0,19	0,33	0,29	0,33	0,29	0,35	0,11	0,05	0,05	0,04	0,06	0,25
AAV	90	0,31	0,25	0,32	0,13	0,31	0,27	0,52	0,18	0,31	0,26	0,34	0,12	0,22	0,23	0,25	0,26	0,22
	0	0,29	0,28	0,27	0,17	0,25	0,27	0,27	0,21	0,28	0,27	0,29	0,15	0,17	0,17	0,13	0,24	0,23
Média total		0,41	0,29	0,32	0,10	0,39	0,33	0,33	0,14	0,36	0,29	0,32	0,07	0,28	0,32	0,21	0,46	0,407
Média	60	0,36	0,32	0,33	0,22	0,29	0,27	0,28	0,16	0,34	0,32	0,34	0,20	0,04	0,08	0,06	0,14	0,376
AZV	45	0,36	0,38	0,30	0,35	0,40	0,43	0,36	0,39	0,35	0,37	0,31	0,32	0,29	0,33	0,29	0,36	0,355
	30	0,27	0,22	0,30	0,00	0,11	0,12	0,15	0,15	0,23	0,18	0,22	0,09	0,03	0,05	0,05	0,18	0,14
	15	0,59	0,55	0,66	0,31	0,57	0,64	0,34	0,59	0,54	0,65	0,68	0,29	0,36	0,35			
LEGENDAS: ÂNGULOS: AAV AZV = (AAV,AZV)x(AZV=0) BANDAS: 1 1 = TM1xTM1																		

O AZV de 15° apresentou os mais altos valores para os coeficientes de correlação (0,331) e o AZV de 30° os mais baixos (0,143), em todos os AAV e bandas espectrais.

Quanto às variações por AAV os maiores coeficientes de correlação ocorreram nos AAV de 90° (0,579), para os AZV de 15° (0,513) e 60° (0,341) e os menores no AAV de 180° (0,229), no AZV de 30° (0,065) e 60° (0,028).

Por banda espectral, correlações moderadas e baixas ocorreram entre as bandas do VIS e IVP (0,320), com menores valores de coeficientes para as relações da TM4 com as bandas TM3 (0,290) e TM2 (0,346) e boas correlações entre as bandas do VIS, com maiores valores entre as bandas TM1 e TM3 (0,370), TM1 e TM2 (0,336) e TM2 e TM3 (0,330).

4.3.2.6 - Análise dos mecanismos físicos que condicionaram as relações entre os FRBMs obtidos a diferentes geometrias de visada.

Observou-se uma tendência de variação dos valores dos coeficientes de correlação relacionada à intensidade dos mecanismos físicos conhecidos como "efeito 1" e "função de fase", generalizáveis a todas as categorias de correlações descritas (correlações entre os FRBMs obtidos com mesmo AAV e AZV, com variações azimutais e zenitais e com variações em relação ao nadir).

Para as correlações entre os FRBMs obtidos com variações zenitais, os maiores valores dos coeficientes ocorreram para o AZV de 15° e os menores no AZV de 45° e devem-se, respectivamente, à menor e à maior intensidade dos mecanismos "efeito 1" e "função de fase" nestes AZV. A menor intensidade dos mecanismos físicos ocasionou mínimas variações nos FRBMs e comportamentos semelhantes entre as bandas espectrais, ao passo que a maior intensidade ocasionou variações máximas e comportamentos diferenciados, visto que os maiores efeitos das propriedades ópticas e da EGV e sua acentuada dependência do comprimento de onda ocasionam padrões distintos.

Considerando que as maiores variações zenitais ocorreram entre os AZV de 30 e 45 graus e as menores entre 15 e 30 graus, para os AAV de 90 e 180 graus, e que as variações são dependentes da intensidade de atuação dos mecanismos físicos, conclui-se que as menores correlações ocorreram onde o "efeito 1" e a "função de fase" são máximos e as menores onde são mínimos. Isto sugere que, onde a atuação dos mecanismos que ocasionam a dependência angular dos FRBMs é máxima, há tendências de variações bastantes distintas, ocasionada pela maior sensibilidade do FRBM à EGV e às propriedades ópticas da cobertura, e consequentemente, um maior conteúdo de informação sobre a distribuição angular dos FRBMs.

De fato, Bunnik (1978) demonstrou que no "hot spot" há uma maior sensibilidade da reflectância às alterações na distribuição da orientação foliar. Gerstl (1986) obteve resultados similares para as alterações no tamanho foliar. Enquanto estes são alguns exemplos de características da cobertura, para este estudo, estruturas como as inflorescências podem também ter afetado, significativamente a dinâmica bidirecional dos FRBMs.

Para as correlações entre os FRBMs obtidas com variações azimutais, a variação na intensidade dos mecanismos "efeito 1" e principalmente "função de fase", condicionou as variações azimutais. Entre os AAV de 0 e 180 graus houve as maiores variações azimutais e zenitais e comportamentos bastante distintos entre os FRBMs desses AAV, o que ocasionou uma baixa relação, com uma maior dispersão dos dados e baixos coeficientes de correlação. Para as correlações entre os AAV de 90 e 180 graus, os valores dos coeficientes foram superiores,

dada a menor variação entre esses AAV. No AZV de 15° a menor intensidade do efeito 1 ocasionou uma menor variação entre os FRBMs de todos os AAV e uma tendência de variação semelhante e altas correlações. A máxima intensidade no AZV de 45° provocou uma maior variação, com tendências diferentes e, conseqüentemente, baixos valores de correlação.

Seguindo a lógica da variação da intensidade dos mecanismos físicos para justificar os coeficientes de correlação, as melhores correlações para o AAV de 90° e as piores para o AAV de 0° , são uma conseqüência da menor e da maior variação apresentada, respectivamente nesses AAV.

Para as relações espectrais, os altos coeficientes de correlação observados entre as bandas do VIS para todas as correlações, refletem os comportamentos similares, já esperados entre estas bandas quanto à atuação do "efeito 1" e da "função de fase". Em contraposição, os médios e baixos valores para os coeficientes nos AZV de 30, 45 e 60 graus entre as bandas do VIS e o IVP são justificados pelas diferentes intensidades de atuação dos mecanismos no VIS e IVP, ocasionando diferentes padrões de variação. Os altos coeficientes obtidos para as correlações entre o VIS e IVP no AZV de 15° , são justificados pela menor intensidade dos mecanismos que causam a dependência angular neste AZV.

Altas correlações entre as bandas do VIS indicam uma similaridade do comportamento dos FRBMs quanto às variações azimutais e zenitais, o que pode ser um indicador de redundância quanto ao conteúdo de informação obtido entre as bandas do VIS. Seguindo esta lógica, as baixas correlações entre as bandas do VIS e o IVP, indicam um maior conteúdo de informação no uso integrado dessas bandas, para a obtenção de informação a partir da variação da geometria de visada.

Para as relações azimutais por banda espectral, a tendência de menores valores de coeficientes para as correlações entre as bandas do VIS e IVP, deve-se à maior intensidade do efeito 1 e, principalmente à função de fase, para a região do VIS em relação ao IVP, devido à maior intensidade de sombreamento no VIS determinar tendências de variações bastante distintas entre as duas regiões do espectro e baixas correlações. O comportamento mais homogêneo entre os FRBMs do VIS, resultante da similaridade estrutural e funcional das folhas frente aos mecanismos físicos, resultou em altos valores dos coeficientes de correlação.

4.4 - Distribuição angular da reflectância bidirecional multiespectral obtida em diferentes geometrias de visada da vegetação herbácea e do substrato em pastagens compostas por *Brachiaria decumbens*.

4.4.1 - Estatística descritiva

Nesta seção são apresentadas as estatísticas descritivas que caracterizam os FRBM (Fator de Reflectância Bidirecional Multiespectral) obtidos em diferentes geometrias de visada, quanto à variação absoluta e relativa entre ângulos (azimutal e zenital) e variabilidade amostral. Analisaram-se os comportamentos observados para a dinâmica dos FRBMs, explicando-se os principais mecanismos físicos que a condicionaram.

Os resultados obtidos foram comparados com os dados coletados em campo por Guyot (1984) e Kimes (1983) e obtidos por simulação de modelos por Goel e Grier (1987), Kimes (1985) e Kimes et al. (1984a e 1985).

A Tabela 4.23 apresenta as estatísticas descritivas dos FRBMs (valores mínimos e máximos, média e desvio padrão) para as bandas espectrais correspondentes às bandas TM1, TM2, TM3 e TM4, respectivamente no azul (450 a 520 nm), verde (520 a 600 nm), vermelho (630 a 690 nm) e IVP (760 a 900 nm), da vegetação herbácea e os valores absolutos para a amostra do substrato subjacente, que servirão de base para as análises de amplitude, variação angular e variabilidade amostral.

TABELA 4.23 - ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS DOS FRBMS OBTIDOS COM VARIAÇÃO DA GEOMETRIA DE VISADA, NAS BANDAS ESPECTRAIS TM1, TM2, TM3 E TM4, PARA *Brachiaria decumbens*.

BANDAS ESPECTRAIS	VALORES MÍNIMOS	VALORES MÁXIMOS	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
TM1 ----- 00	0,032	0,067	0,052	0,009
TM2 ----- 00	0,071	0,142	0,115	0,017
TM3 ----- 00	0,057	0,123	0,095	0,019
TM4 ----- 00	0,158	0,284	0,245	0,029
TM1 180 15	0,047	0,084	0,067	0,085
TM2 180 15	0,106	0,184	0,146	0,017
TM3 180 15	0,088	0,155	0,123	0,017
TM4 180 15	0,240	0,425	0,303	0,040
TM1 090 15	0,040	0,083	0,061	0,009
TM2 090 15	0,100	0,177	0,133	0,017
TM3 090 15	0,082	0,151	0,112	0,016
TM4 090 15	0,228	0,378	0,284	0,039

LEGENDAS: TM* AAV AZV - TM* = TM1, TM2, TM3 e TM4 - AAV = 0, 90 E 180 graus - AZV = 15, 30, 45 e 60 graus

(Continua)

Tabela 4.23 - Conclusão

BANDAS	VAL. MÍN.	VAL. MÁX.	MÉDIA	DESVIO
TM1 000 15	0,037	0,072	0,051	0,009
TM2 000 15	0,087	0,155	0,115	0,015
TM3 000 15	0,067	0,144	0,093	0,019
TM4 000 15	0,208	0,309	0,262	0,026
TM1 180 30	0,050	0,104	0,079	0,015
TM2 180 30	0,121	0,212	0,168	0,028
TM3 180 30	0,087	0,196	0,147	0,032
TM4 180 30	0,257	0,385	0,324	0,037
TM1 090 30	0,043	0,089	0,066	0,011
TM2 090 30	0,105	0,185	0,144	0,022
TM3 090 30	0,071	0,160	0,118	0,020
TM4 090 30	0,239	0,362	0,296	0,036
TM1 000 30	0,032	0,075	0,052	0,009
TM2 000 30	0,083	0,165	0,117	0,019
TM3 000 30	0,051	0,144	0,093	0,019
TM4 000 30	0,175	0,321	0,253	0,033
TM1 180 45	0,085	0,137	0,106	0,012
TM2 180 45	0,164	0,255	0,198	0,020
TM3 180 45	0,141	0,251	0,191	0,026
TM4 180 45	0,291	0,419	0,353	0,035
TM1 090 45	0,066	0,121	0,086	0,014
TM2 090 45	0,130	0,213	0,161	0,022
TM3 090 45	0,112	0,221	0,150	0,026
TM4 090 45	0,257	0,365	0,301	0,028
TM1 000 45	0,043	0,103	0,076	0,015
TM2 000 45	0,104	0,188	0,147	0,023
TM3 000 45	0,078	0,174	0,132	0,026
TM4 000 45	0,221	0,341	0,279	0,032
TM1 180 60	0,086	0,144	0,110	0,015
TM2 180 60	0,182	0,291	0,231	0,031
TM3 180 60	0,131	0,251	0,187	0,032
TM4 180 60	0,371	0,491	0,433	0,031
TM1 090 60	0,064	0,098	0,080	0,009
TM2 090 60	0,144	0,204	0,172	0,0156
TM3 090 60	0,099	0,160	0,131	0,016
TM4 090 60	0,279	0,407	0,352	0,037
TM1 000 60	0,046	0,087	0,068	0,011
TM2 000 60	0,121	0,203	0,157	0,023
TM3 000 60	0,077	0,149	0,113	0,019
TM4 000 60	0,257	0,393	0,322	0,041

LEGENDAS: TM* AAV AZV - TM* = TM1, TM2, TM3 e TM4 - AAV = 0, 90 E 180 graus - AZV = 15, 30, 45 e 60 graus

4.4.1.1 - Variações azimutais e zenitais

A dinâmica angular dos FRBMs para *Brachiaria decumbens* foi coerente com o relatado na literatura por Barnsley (1984), Guyot (1984) e Kimes (1983).

a - Variações Zenitais

Brachiaria decumbens

A Tabela 4.24 demonstra as variações zenitais entre os valores dos FRBMs obtidos nos diferentes AZV. A Figura 4.7 apresenta os gráficos das variações zenitais para a vegetação herbácea.

TABELA 4.24 - VARIAÇÃO ABSOLUTA E RELATIVA (%) ENTRE OS VALORES DOS FRBMs OBTIDOS COM VARIAÇÃO DA GEOMETRIA DE VISADA PARA *Brachiaria decumbens*.

AAV = 0	15-30		30-45		45-60		Variação banda	
Bandas	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)
TM1	0,002	3,84	0,024	31,57	-0,016	-26,67	0,042	62,09
TM2	0,001	1,28	0,030	20,40	0,003	2,00	0,034	23,69
TM3	-0,003	-3,33	0,042	31,81	-0,022	-20,00	0,067	55,15
TM4	-0,009	-3,56	0,026	9,32	0,042	13,08	0,077	22,96
Var. AZV	0,015	12,02	0,122	93,12	0,083	61,75	0,220	166,89
AAV = 90	15-30		30-45		45-60		Variação banda	
Bandas	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)
TM1	0,006	9,09	0,020	23,25	-0,006	-7,50	0,032	39,84
TM2	0,011	7,63	0,018	11,05	0,010	5,87	0,039	24,56
TM3	0,005	4,74	0,032	21,33	-0,020	-15,38	0,057	41,46
TM4	0,011	3,69	0,006	1,99	0,051	14,48	0,068	20,17
Var. AZV	0,033	25,17	0,075	57,63	0,087	43,24	0,196	126,04
AAV = 180	15-30		30-45		45-60		Variação banda	
Bandas	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)
TM1	0,012	15,19	0,027	25,47	0,004	3,63	0,043	44,30
TM2	0,022	13,09	0,030	15,15	0,033	14,28	0,085	42,53
TM3	0,023	15,75	0,045	23,56	-0,004	-2,14	0,072	41,45
TM4	0,021	6,48	0,029	8,21	0,080	18,47	0,130	33,17
Var. AZV	0,078	50,52	0,131	72,39	0,121	38,53	0,330	161,45

LEGENDAS: ABS = Variação no valor absoluto Ex. 15-30 ABS (FRBM NO AZV = 30° - FRBM NO AZV = 15°)
 15-30 (%) (((FRBM NO AZV = 30° - FRBM NO AZV = 15°)*100)/FRBM NO AZV = 30°)
 Var AZV = Σ var ABS ou %

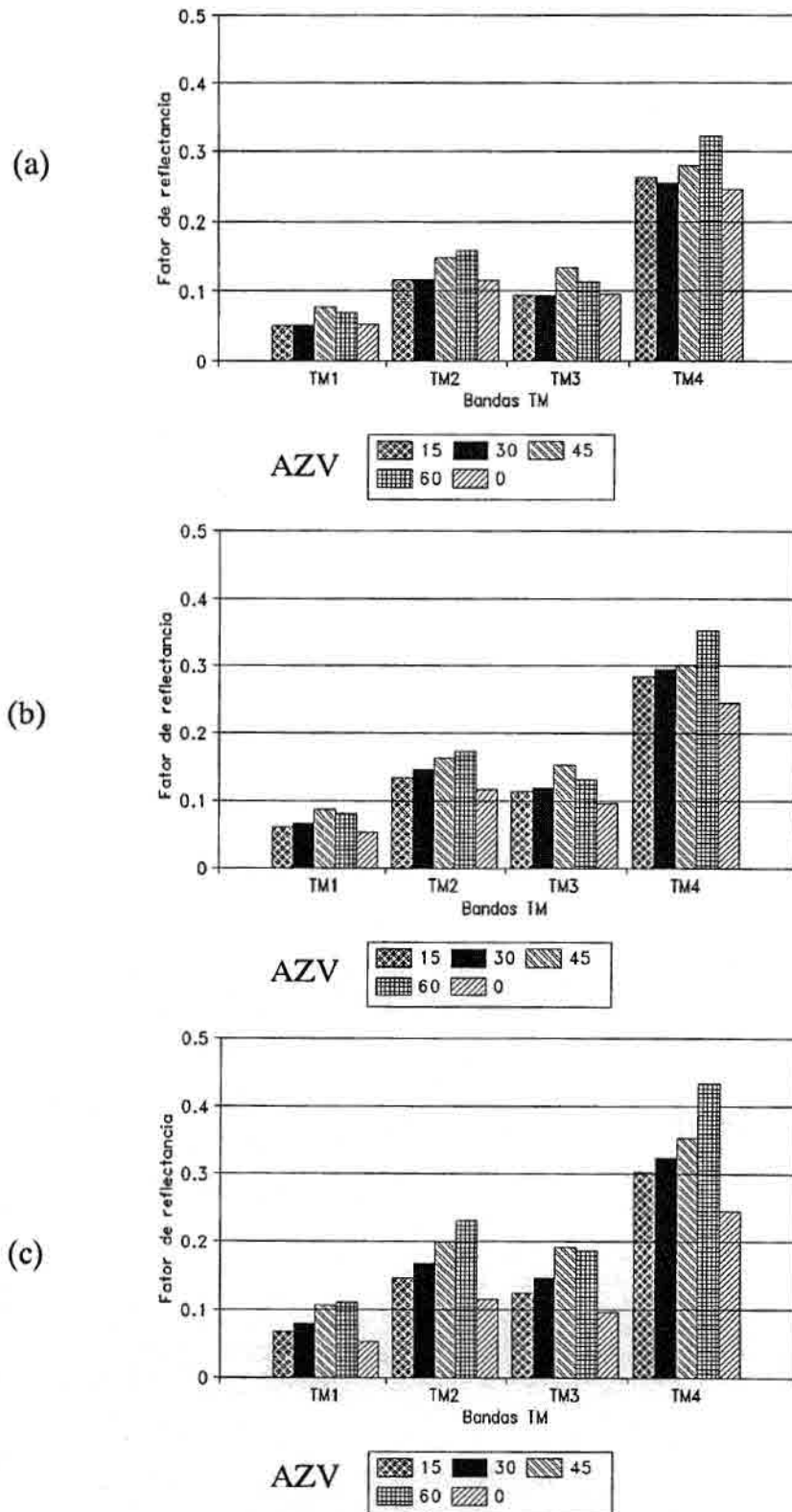


Fig. 4.7 - Variações zenitais dos FRBMs de *B.decumbens* para os AAV de 0° (a), 90° (b) e 180° (c).

Os valores dos FRBMs para todas as bandas espectrais estão coerentes com a literatura (Kimes, 1983), formando a curva espectral típica da vegetação. As maiores variações zenitais nos valores dos FRBMs, em termos absolutos e relativos, ocorreram no plano paralelo ao plano solar (AAV de 0 e 180 graus) e as menores no plano perpendicular ao solar (AAV de 90°). No AAV de 0°, o AZV de 30° apresentou valores inferiores aos encontrados no AZV de 15° e o AZV de 60° apresentou valores menores do que os do AZV de 45°.

Considerando os valores absolutos dos FRBMs, as maiores variações aconteceram entre os AZV de 30 e 45 graus, para os AAV de 180° (0,131) e 0° (0,122) e entre 45 e 60 graus, para o AAV de 90° (0,087). As menores variações ocorreram entre os AZV de 15 e 30 graus para os AAV de 180° (0,078), 90° (0,033) e 0° (0,015).

Para as variações nos valores relativos as maiores variações foram observadas entre os AZV de 30 e 45 graus para os AAV de 0° (93,12%), 180° (72,39%) e 90° (57,64%) e as menores entre os AZV de 15 e 30 graus para o AAV de 0° (12,01%) e 90° (25,17%) entre os AZV de 45 e 60 graus, para o AAV de 180° (38,53%).

Quanto às variações zenitais por banda espectral, as bandas do visível (VIS) apresentaram as menores variações absolutas na TM1, para os AAV de 90° (0,032) e 180° (0,043) e na TM2, para o AAV de 0° (0,034). As maiores variações absolutas ocorreram na TM4, para os AAV de 180° (0,13), 0° (0,077) e 90° (0,068).

As menores variações nos valores relativos dos FRBMs ocorreram na TM4, para os AAV de 90° (20,17%), 0° (25,96%) e 180° (33,17%) e as maiores na TM1 para os AAV de 0° (62,09%) e 180° (44,29%) e na TM3 para o AAV de 90° (41,46%).

Substrato

A Tabela 4.25 demonstra as variações zenitais entre os valores dos FRBMs obtidos nos diferentes AZV e a Figura 4.8 apresenta os gráficos das variações zenitais para o substrato.

TABELA 4.25 - VARIAÇÃO ABSOLUTA E RELATIVA (%) ENTRE OS VALORES DOS FRBMs OBTIDOS NOS AZV DE 15, 30, 45 E 60 GRAUS, PARA OS AAV DE 0, 90 E 180 GRAUS - SUBSTRATO - *B. decumbens*.

AAV = 0	15-30		30-45		45-60		Variação banda	
Bandas	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)
TM1	0,00	0,00	-0,035	-43,75	-0,010	-22,22	0,045	65,97
TM2	0,010	9,09	-0,030	-25,00	-0,010	-11,11	0,050	45,20
TM3	-0,010	-7,69	-0,035	-29,17	-0,010	-11,76	0,055	48,62
TM4	0,060	20,00	0,010	2,77	-0,100	-27,03	0,170	49,80
Var. AZV	0,080	36,78	0,110	100,69	0,130	72,15	0,320	209,60
AAV = 90	15-30		30-45		45-60		Variação banda	
Bandas	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)
TM1	-0,005	-6,25	-0,015	-20,00	0,000	0,00	0,020	26,25
TM2	-0,010	-7,14	-0,020	-15,38	-0,020	-6,06	0,050	28,58
TM3	-0,010	-7,69	-0,030	-25,00	-0,030	-33,33	0,070	66,02
TM4	-0,030	-7,89	-0,020	-5,71	-0,030	-9,09	0,080	22,69
Var. AZV	0,055	28,98	0,085	66,09	-0,080	48,48	0,220	143,56
AAV = 180	15-30		30-45		45-60		Variação banda	
Bandas	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)
TM1	0,010	12,50	0,010	11,11	0,010	10,00	0,030	33,61
TM2	0,010	7,14	0,030	20,00	0,040	22,22	0,080	49,36
TM3	0,010	7,69	0,010	7,14	0,020	13,33	0,040	28,16
TM4	0,020	5,00	0,140	33,33	0,020	3,57	0,180	41,90
Var. AZV	0,050	32,33	0,190	71,58	0,090	49,12	0,330	153,04

LEGENDAS: ABS = Variação no valor absoluto Ex. 15-30 ABS (FRBM NO AZV = 30° - FRBM NO AZV = 15°)
 15-30 (%) (((FRBM NO AZV = 30° - FRBM NO AZV = 15°) * 100) / FRBM NO AZV = 30°)
 Var AZV = Σ var ABS ou %

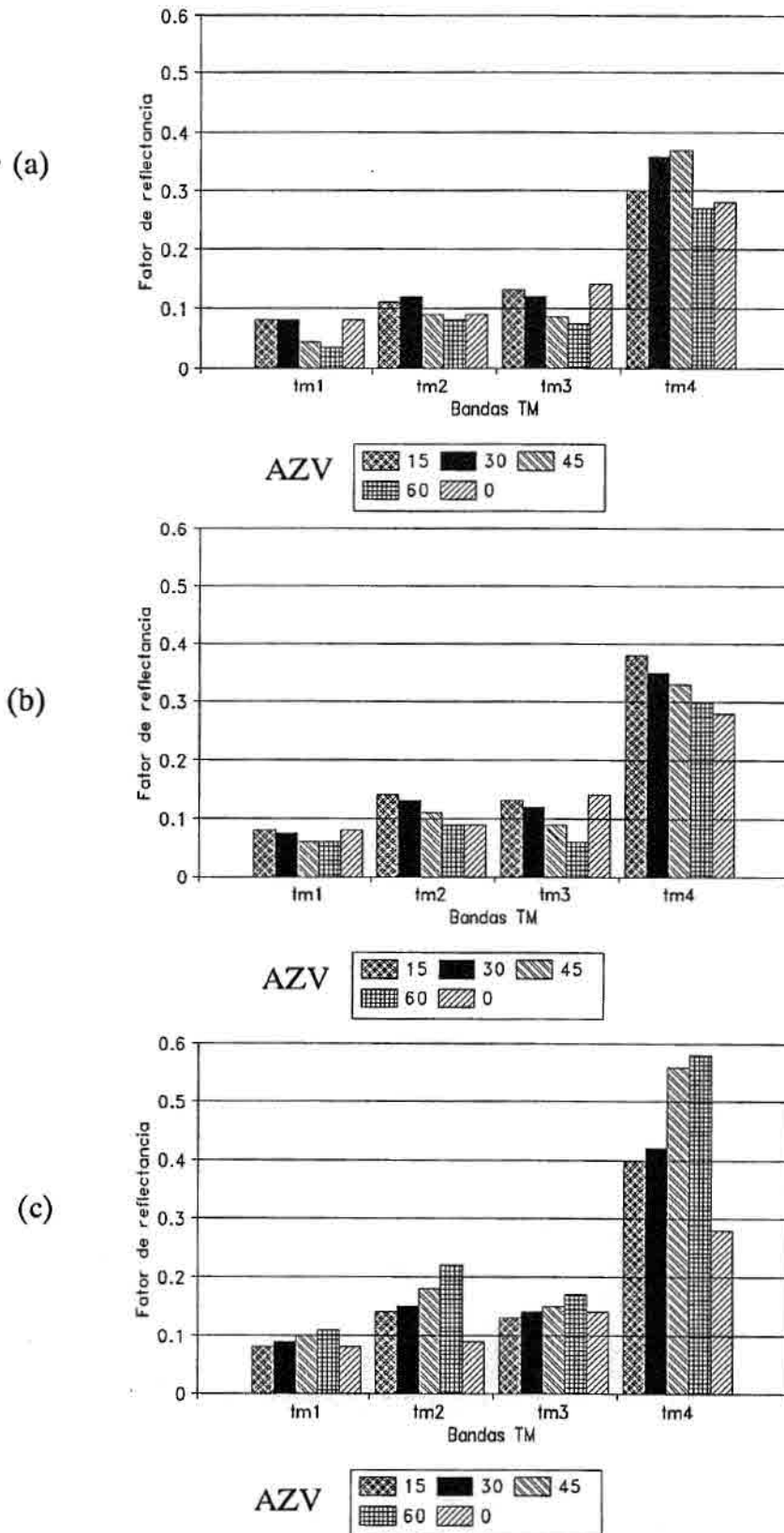


Fig. 4.8 - Variações zenitais dos FRBMs para o substrato de *B. decumbens.*, para os AAV de 0° (a), 90° (b) e 180° (c).

O AAV de 180° apresentou as maiores variações zenitais nos valores absolutos dos FRBMs (0,330) e o AAV de 90° , as menores (0,220). Para os valores relativos, o AAV de 0° apresentou as maiores variações (209,60%) e o AAV de 90° , as menores (143,56%).

As maiores variações nos valores absolutos dos FRBMs ocorreram entre os AZV de 30 e 45 graus, para os AAV de 180° (0,190) e 90° (0,085) e entre os AZV de 45 e 60 graus, para o AAV de 0° (0,130) e as menores entre os AZV de 15 e 30° , para todos os AAV, sendo mínimas no AAV de 180° (0,050). Para as variações relativas, as maiores variações aconteceram entre os AZV de 30 e 45 graus, para todos os AAV, sendo máximas no AAV de 0° (100,69%), 180° (71,59%) e 90° (66,09%) e as menores entre os AZV de 15 e 30 graus, também para todos os AZV, sendo mínimas nos AAV de 90° (28,98%), 180° (32,33%) e 0° (36,78%).

Considerando as variações por banda espectral, a TM4 apresentou as maiores variações nos valores absolutos para todos os AAV (0,180; 0,170 e 0,080, respectivamente para os AAV de 90, 180 e 0 graus). As variações nos valores relativos foram máximas na TM3 para o AAV de 90° (66,02%), na TM1 para o AAV de 0° (65,97%) e na TM2 para o AAV de 180° (49,36%) e mínimas na TM4 para o AAV de 90° (22,69%), na TM3 para o AAV de 180° (28,16%) e na TM2 para o AAV de 0° (45,20%).

b - Variações Azimutais

Brachiaria decumbens

A Tabela 4.26 apresenta as variações entre os AAV de 0, 90 e 180 graus para *Brachiaria decumbens* e a Figura 4.9 as demonstra graficamente.

TABELA 4.26 - VARIACÃO ABSOLUTA E RELATIVA (%) ENTRE OS VALORES DOS FRBMS OBTIDOS NOS AAV DE 0, 90 E 180 GRAUS, PARA OS AZV DE 15, 30 45 E 60 GRAUS - *Brachiaria decumbens*.

AZV = 15	0-90		0-180		90-180		Variação banda	
	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)
Bandas								
TM1	0,010	16,66	0,017	25,37	0,007	10,45	0,034	52,48
TM2	0,017	13,15	0,030	20,89	0,013	8,90	0,061	42,95
TM3	0,019	17,25	0,030	24,39	0,011	8,61	0,060	50,26
TM4	0,022	7,77	0,041	13,53	0,018	6,23	0,082	27,54
Var. AAV	0,069	54,86	0,118	84,18	0,049	34,21	--	--
AZV = 30	0-90		0-180		90-180		Variação banda	
	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)
Bandas								
TM1	0,014	21,21	0,027	34,18	0,013	16,45	0,054	71,84
TM2	0,027	18,75	0,051	30,35	0,024	14,28	0,102	63,39
TM3	0,028	23,72	0,056	38,35	0,028	19,17	0,112	81,26
TM4	0,042	14,23	0,071	21,91	0,029	8,95	0,142	45,10
Var. AAV	0,111	77,93	0,205	124,80	0,094	58,87	--	--
AZV = 45	0-90		0-180		90-180		Variação banda	
	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)
Bandas								
TM1	0,010	11,63	0,030	28,30	0,020	18,87	0,060	58,79
TM2	0,015	9,20	0,051	25,76	0,036	18,23	0,102	53,19
TM3	0,018	12,00	0,059	30,89	0,041	21,46	0,118	64,35
TM4	0,022	7,30	0,074	20,96	0,052	14,73	0,148	43,00
Var. AAV	0,064	40,14	0,214	105,91	0,149	73,29	--	--
AZV = 60	0-90		0-180		90-180		Variação banda	
	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)
Bandas								
TM1	0,020	25,00	0,050	45,45	0,030	27,27	0,100	97,73
TM2	0,022	12,79	0,081	35,06	0,059	25,54	0,162	73,39
TM3	0,020	15,38	0,077	41,17	0,057	30,48	0,154	87,04
TM4	0,031	8,81	0,112	25,87	0,081	18,71	0,224	53,38
Var. AAV	0,093	61,98	0,320	147,56	0,227	102,00	--	--

LEGENDAS: ABS = Variação no valor absoluto Ex. 0-90 ABS (FRBM NO AAV = 90° - FRBM NO AAV = 0°)
0-90 (%) (((FRBM NO AAV = 90° - FRBM NO AAV = 0°)*100)/FRBM NO AAV = 90°)
Var AAV = Σ var ABS ou %

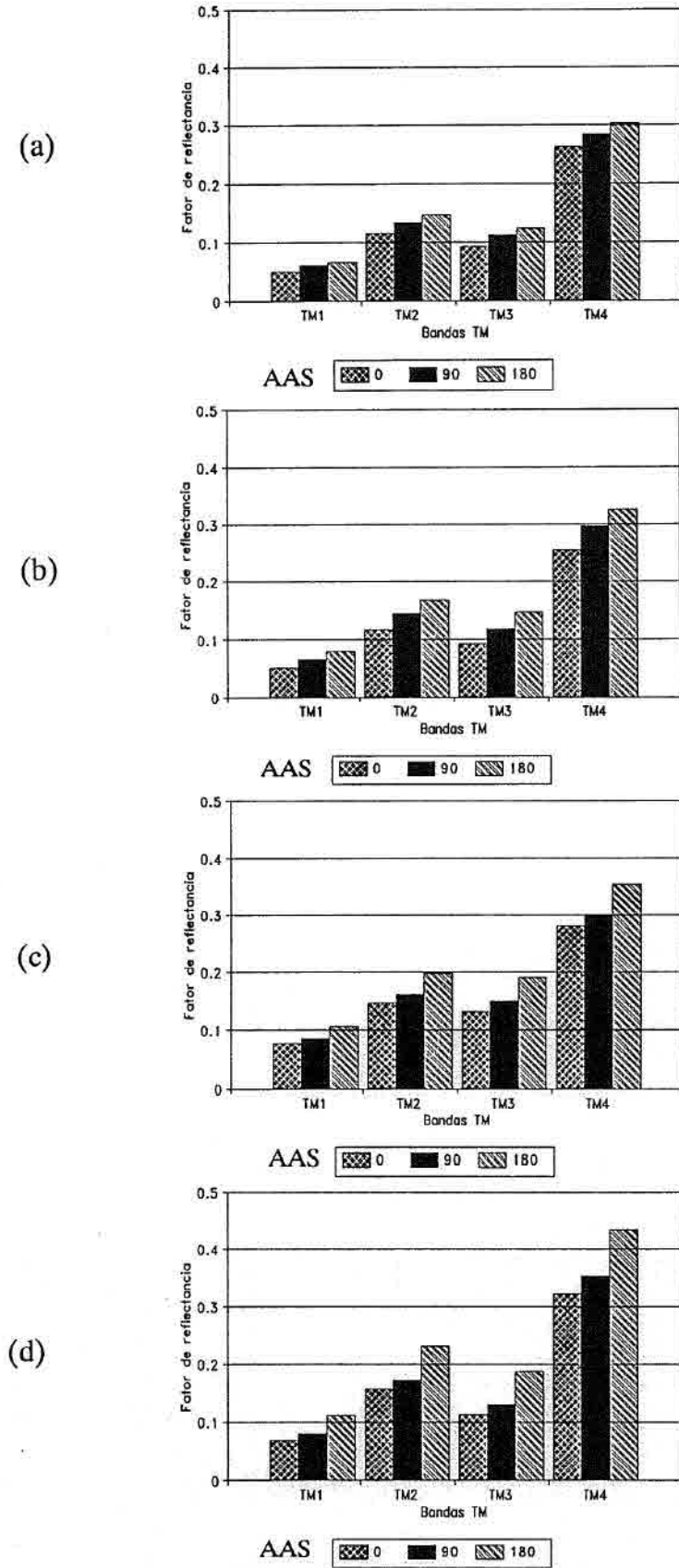


Fig. 4.9 - Variações azimutais dos FRBMs para *B. decumbens* nos AZVs de 15° (a), 30° (b), 45°(c) e 60° (d).

As maiores variações azimutais nos valores dos FRBMs, em termos absolutos e relativos, aconteceram entre os AAV de 0 e 180 graus e aumentaram com o AZV, apresentando os valores absolutos e relativos de (0,118 e 84,18%), (0,205 e 124,80%), (0,214 e 105,91%), (0,320 e 147,56%), respectivamente para os AZV de 15°, 30°, 45° e 60°. As menores variações ocorreram entre os AAV de 90 e 180 graus, para os AZV de 15° (0,049 e 34,20%) e 30° (0,094 e 58,87%) e entre os AAV de 0 e 90 graus para os AZVs de 45° (0,065 e 40,14%) e 60° (0,093 e 61,98%).

Considerando-se as variações por banda espectral, a TM4 apresentou as maiores variações nos maiores valores absolutos e a TM1 as menores, para todos os AZV. As variações aumentaram com o AZV, apresentando na TM4 os valores de 0,082; 0,142; 0,148 e 0,244 e na TM1 os valores de 0,034; 0,054; 0,060 e 0,100, respectivamente para os AZV de 15, 30, 45 e 60 graus.

Para os valores relativos, a TM4 apresentou as menores variações em todos os AZV, variando de 27,54%; 43,00%; 45,10% e 53,00%, respectivamente para os AZV de 15, 45, 30 e 60 graus. As maiores para a TM1 nos AZV de 60° (97,72%) e 15° (52,48%) e para a TM3 nos AZV de 30° (81,26%) e 45° (64,35%).

Substrato

A Tabela 4.27 apresenta as variações entre os AAV de 0, 90 e 180 graus para o *substrato*. A Figura 4.10 ilustra essas variações.

TABELA 4.27 - VARIACÃO ABSOLUTA E RELATIVA (%) ENTRE OS VALORES DOS FRBMS OBTIDOS NOS AAV DE 0, 90 E 180 GRAUS, PARA OS AZV DE 15, 30 45 E 60 GRAUS - *SUBSTRATO*.

AZV = 15	0-90		0-180		90-180		Variação banda	
Bandas	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)
TM1	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00
TM2	-0,030	-27,27	-0,030	-27,27	0,000	0,00	0,060	54,54
TM3	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00
TM4	-0,080	-26,66	-0,100	-33,33	-0,020	-5,26	0,200	65,26
Var. AAV	0,110	53,94	0,130	-60,61	0,020	5,26	0,260	119,81
AZV = 30	0-90		0-180		90-180		Variação banda	
Bandas	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)
TM1	0,005	6,25	-0,010	-12,50	-0,015	-20,00	0,030	38,75
TM2	-0,010	-8,33	-0,030	-25,00	-0,020	-15,38	0,060	48,71
TM3	0,000	0,00	-0,020	-16,67	-0,020	-16,67	0,040	33,33
TM4	0,010	2,78	-0,060	-16,67	-0,070	-20,00	0,140	39,44
Var. AAV	0,025	17,36	0,120	70,83	0,125	72,05	0,270	160,24
AZV = 45	0-90		0-180		90-180		Variação banda	
Bandas	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)
TM1	-0,015	-33,33	-0,055	-122,22	-0,040	-66,66	0,110	222,22
TM2	-0,020	-22,22	-0,090	-100,00	-0,070	-63,63	0,180	185,86
TM3	-0,005	-5,88	-0,065	-76,47	-0,060	-66,66	0,130	149,02
TM4	0,040	10,81	-0,190	-51,35	-0,230	-69,69	0,460	131,86
Var. AAV	0,080	72,24	-0,400	-350,04	-0,400	-266,67	0,880	688,96
AZV = 60	0-90		0-180		90-180		Variação banda	
Bandas	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)
TM1	-0,025	-71,42	-0,075	-214,29	-0,050	-83,33	0,150	369,05
TM2	-0,010	-12,50	-0,140	-175,00	-0,130	-144,44	0,280	331,94
TM3	0,015	20,00	-0,095	-126,67	-0,110	-183,33	0,220	330,00
TM4	-0,030	-11,11	-0,310	-114,81	-0,280	-93,33	0,620	219,26
Var. AAV	0,080	115,04	-0,620	630,77	0,570	504,44	1,270	1250,25

LEGENDAS: ABS = Variação no valor absoluto Ex. 0-90 ABS (FRBM NO AAV = 90° - FRBM NO AAV = 0°)
0-90 (%) (((FRBM NO AAV = 90° - FRBM NO AAV = 0°)*100)/FRBM NO AAV = 90°)

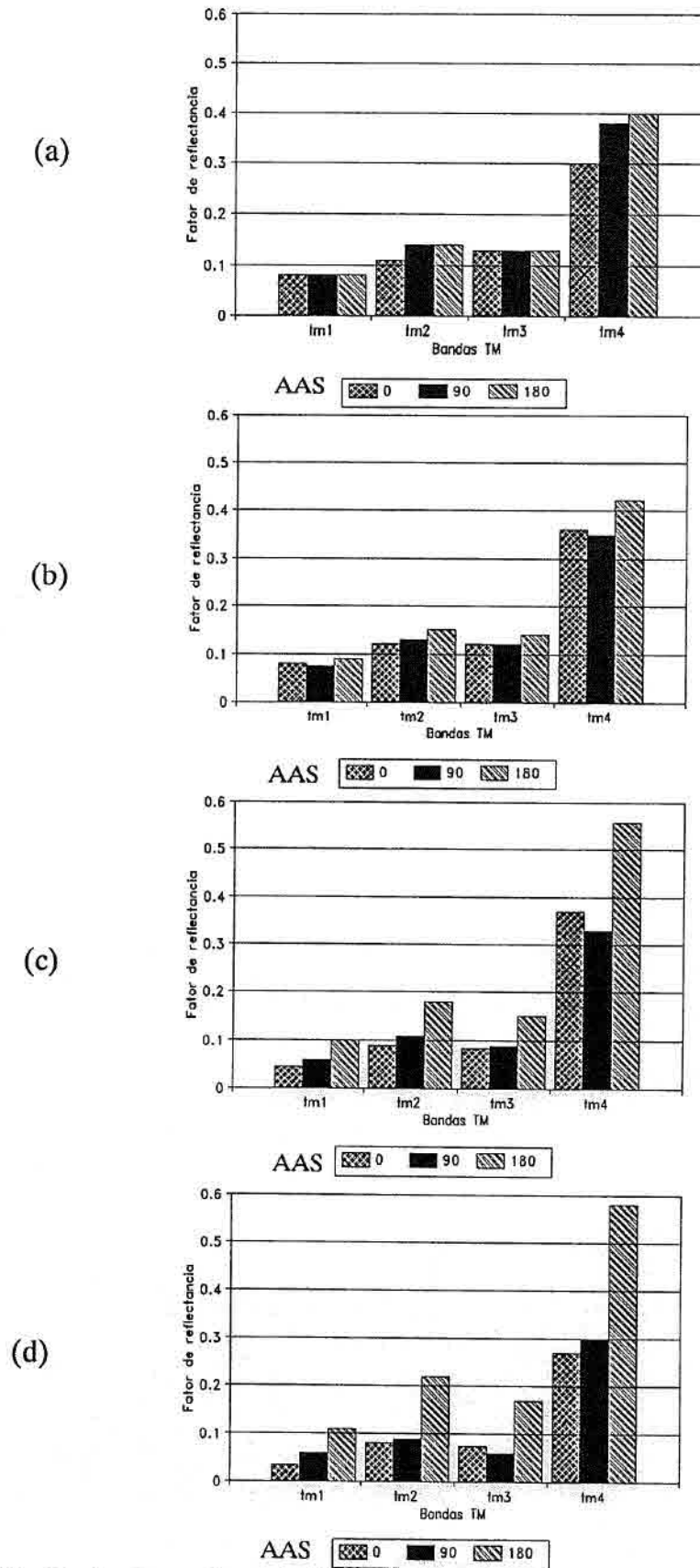


Fig. 4. 10 - Variações azimutais dos FRBMs para o substrato de *B. decumbens*. nos AZVs de 15° (a), 30° (b), 45° (c) e 60° (d).

As maiores variações azimutais totais nos valores absolutos e relativos dos FRBMs ocorreram para os AZV de 60° e as menores no AZV de 15° .

As variações foram superiores entre os AAV de 0 e 180 graus, para os AZV de 60° (0,620 e 630,76%), 45° (0,400 e 350,04%) e 15° (0,130 e 60,61%) e entre os AAV de 90 e 180 graus, para o AZV de 30° (0,125 e 72,05%) e inferiores entre os AAV de 90 e 180 graus (0,020 e 5,26%) e entre os AAV de 0 e 90 graus, para os AZV de 30° (0,025 e 17,36%), 45° (0,400 e 350,04%) e 60° (0,620 e 630,76%).

Considerando as variações por banda espectral, a TM1 e a TM3 não variaram no AZV de 15° , sendo que a TM1 ainda apresentou as menores variações absolutas para os AZV de 30° (0,030), 45° (0,110) e 60° (0,150) e a TM4, as maiores, em todos os AAV, sendo máximas no AZV de 60° (0,620), 45° (0,460), 30° (0,140) e 15° (0,200).

As maiores variações relativas foram observadas, para a TM1 nos AZV de 60° (369,05%) e 45° (222,22%), para a TM4 no AZV de 15° (65,26%) e para a TM2 no AZV de 30° (48,72%). As menores variações relativas ocorreram para a TM3 no AZV de 30° (33,33%) e para a TM4 nos AZV de 45° (131,85%) e 60° (219,26%).

c - Variações zenitais e azimutais em relação ao nadir

Brachiaria decumbens

A Tabela 4.28 apresenta as variações zenitais e azimutais em relação ao nadir ($AZV = 0^\circ$) para a vegetação herbácea em pastagens de *Brachiaria decumbens* e a Figura 4.7 as demonstra graficamente.

TABELA 4.28 - VARIAÇÃO ABSOLUTA E RELATIVA (%) ENTRE OS VALORES DOS FRBMS OBTIDOS NOS AZV DE 15, 30, 45 E 60 GRAUS, PARA OS AAV DE 0, 90 E 180 GRAUS E OS OBTIDOS NO NADIR ($AZV = 0^\circ$) PARA A VEGETAÇÃO HERBÁCEA EM PASTAGENS DE *Brachiaria decumbens*

AAV = 0	15		30		45		60		Var. banda	
Bandas	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)
TM1	-0,003	-5,40	-0,0007	-1,34	0,023	30,66	0,007	12,16	0,034	49,57
TM2	0,0005	0,43	0,002	1,71	0,032	21,77	0,035	23,33	0,069	47,24
TM3	-0,002	-2,58	-0,005	-6,00	0,036	27,73	0,014	13,27	0,059	49,58
TM4	0,017	6,49	0,008	3,16	0,034	12,19	0,076	23,67	0,135	45,51
Var. AZV	0,023	14,90	0,016	12,22	0,126	92,34	0,133	72,45	--	--
AAV = 90	15		30		45		60		Var. banda	
Bandas	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)
TM1	0,007	12,17	0,013	20,15	0,033	38,72	0,027	34,12	0,081	105,2
TM2	0,018	13,53	0,029	20,14	0,047	28,96	0,057	33,13	0,151	95,78
TM3	0,017	15,12	0,023	19,15	0,055	36,40	0,034	26,61	0,129	97,29
TM4	0,039	13,76	0,050	16,95	0,056	18,60	0,107	30,40	0,252	79,71
Var. AZV	0,081	54,59	0,114	76,39	0,191	122,6	0,226	124,3	--	--
AAV = 180	15		30		45		60		Var. banda	
Bandas	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)
TM1	0,014	21,34	0,026	33,29	0,053	50,28	0,057	52,09	0,151	157,0
TM2	0,031	21,23	0,053	31,55	0,083	41,92	0,116	50,21	0,283	144,9
TM3	0,028	22,44	0,051	34,66	0,095	50,05	0,092	48,98	0,265	156,1
TM4	0,058	19,14	0,079	24,38	0,108	30,59	0,188	43,41	0,433	177,5
Var. AZV	0,131	84,16	0,209	123,9	0,340	173,8	0,453	194,7	--	--
LEGENDAS: ABS = Variação no valor absoluto Ex. 15 ABS (FRBM NO AZV = 15° - FRBM NO AZV = 0°) 15 (%) (((FRBM NO AZV = 15° - FRBM NO AZV = 0°)*100)/FRBM NO AZV = 15°) Var. AZV = Σ var ABS ou %										

As maiores variações dos valores absolutos e relativos ocorreram no AAV de 180° (1,132 e 575,58%) e 90° (0,611 e 377,94%) e as menores para os AAV de 0° (0,297 e 191,91%), para todos os AZV e bandas espectrais.

Quanto às variações zenitais, as maiores, em termos absolutos e relativos, ocorreram no AZV de 60° , para os AAV de 180° (0,452 e 194,70%), 90° (0,225 e 124,27%) e 0° (0,132 e 72,44%) e as menores nos AZV de 30° , para o AAV de 0° (0,016 e 12,21%) e 15° para os AAV de 90° (0,08 e 54,58%) e 180° (0,130 e 84,16%).

Analisando a variação total entre os AZV por banda espectral, as menores variações nos valores absolutos ocorreram na TM1 para os AAV de 0° (0,034), 90° (0,252) e 180° (0,433) e as maiores na TM4, para os AAV de 180° (0,433), 90° (0,252) e 0° (0,135). Quanto às variações nos valores relativos as menores foram observadas para a TM4 nos AAV de 0° (45,51%), 90° (79,71%) e 180° (117,54%) e as maiores na TM3, para o AAV de 180° (156,13%), na TM1, para os AAV de 90° (105,16%) e novamente para a TM3 no AZV de 0° (49,58%).

Os AAV de 180° e 90° apresentaram valores absolutos dos FRBMs superiores aos do nadir e o AAV de 0° apresentou valores inferiores nos AZV de 15° e 30° , para as bandas espectrais TM1 e TM3.

Substrato

A Tabela 4.29 apresenta as variações zenitais e azimutais em relação ao nadir ($AZV = 0^{\circ}$) para o substrato em pastagens compostas por *Brachia-ria decumbens* e a Figura 4.8 as demonstram graficamente.

TABELA 4.29 - VARIAÇÃO ABSOLUTA E RELATIVA (%) ENTRE OS VALORES DOS FRBMS OBTIDOS NOS AZV DE 15, 30, 45 E 60 GRAUS, PARA OS AAV DE 0, 90 E 180 GRAUS E OS OBTIDOS NO NADIR ($AZV = 0$) - SUBSTRATO

AAV = 0	15		30		45		60		Var. banda	
Bandas	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)
TM1	0,000	0,00	0,000	0,00	-0,035	77,77	-0,045	-128,6	0,080	206,3
TM2	0,020	18,18	0,030	25,00	0,000	0,00	-0,010	-12,50	0,060	55,68
TM3	-0,010	-7,69	-0,020	-16,67	-0,055	-64,70	-0,065	-86,67	0,150	175,7
TM4	0,020	6,67	0,080	22,22	0,090	24,32	-0,010	-3,70	0,200	56,91
Var. AZV	0,050	32,54	0,130	63,89	0,180	166,8	0,130	231,4	0,490	494,7
AAV = 90	15		30		45		60		Var. banda	
Bandas	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)
TM1	0,000	0,00	-0,005	-6,67	-0,020	-33,33	-0,020	-33,33	0,045	73,33
TM2	0,050	35,71	0,040	30,77	0,020	18,18	-0,020	-22,22	0,130	106,8
TM3	-0,010	-7,69	-0,020	-16,67	-0,050	-55,55	-0,020	-33,33	0,100	113,2
TM4	0,100	26,31	0,070	20,00	0,050	15,15	-0,020	-6,67	0,240	68,13
Var. AZV	0,160	69,72	0,135	74,10	0,140	122,2	0,080	-95,55	0,515	361,6
AAV = 180	15		30		45		60		Var. banda	
Bandas	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)
TM1	0,000	0,00	0,010	11,11	0,020	20,00	0,030	27,27	0,060	58,38
TM2	0,050	35,71	0,060	40,00	0,090	50,00	0,130	59,09	0,330	184,8
TM3	-0,010	-7,69	0,000	0,00	0,010	6,67	0,030	17,64	0,050	32,01
TM4	0,120	30,00	0,140	33,33	0,280	50,00	0,300	51,72	0,840	165,1
Var. AZV	0,180	73,41	0,210	84,44	0,400	126,7	0,490	155,7	1,280	440,2
LEGENDAS: ABS = Variação no valor absoluto Ex. 15 ABS (FRBM NO AZV = 15° - FRBM NO AZV = 0°)										
15 (%) (((FRBM NO AZV = 15° - FRBM NO AZV = 0°) * 100) / FRBM NO AZV = 15°)										
Var. AZV = Σ var ABS ou %										

As maiores variações nos valores absolutos e relativos dos FRBMs em relação aos valores no nadir ocorreram no plano paralelo ao plano solar, com valores superiores ao nadir para o AAV de 180° (1,280 e 440,25%) e valores inferiores para o AAV de 0° (-0,490 e -494,68%). As menores variações aconteceram no plano perpendicular ao solar, no AAV de 90° (-0,515 e -361,60%), também com valores inferiores em relação ao nadir.

Em relação ao AZV, as maiores variações absolutas foram observadas no AZ de 60° para o AAV de 180° (0,490), no AZV de 45° para o AAV de 0° (0,180) e no AZV de 15° para o AAV de 90° (0,160) e as menores no AZV de 15° para os AAV de 0° (0,050) e 180° (0,180) e no AZV de 60° para o AAV de 90° (0,080).

Para os valores relativos, as maiores variações aconteceram no AZV de 60° , para os AAV de 0° (231,44%) e 180° (155,73%) e no AZV de 45° , para o AAV de 90° (122,22%) e as menores no AZV de 15° , para todos os AAV, sendo mínimas no AAV de 0° (32,54%), 90° (69,72%) e 180° (73,41%).

Por banda espectral, as maiores variações absolutas foram para a TM4 nos AAV de 180° (0,840), 90° (0,240) e 0° (0,200) e as menores na TM1, para o AAV de 90° (0,045), na TM3 para o AAV de 180° (0,050) e na TM2 para o AAV de 0° (0,060). As variações nos valores relativos foram maiores para a TM1 no AAV de 0° (206,35%), para a TM2 no AAV de 180° (184,80%) e para a TM3 no AAV de 90° (66,02%) e menores para a TM3 no AAV de 180° (32,00%) e na TM4, para os AAV de 0° (56,91%) e 90° (68,13%).

As bandas TM1 e TM3 apresentaram valores inferiores aos do nadir para todos os AZV nos AAV de 0 e 90 graus e no AZV de 15° para o AAV de 180° . A TM4 foi a única banda espectral que não apresentou valores inferiores aos do nadir para o AAV de 0° , com valores menores apenas no AZV de 60° no AAV de 90° . No AAV de 180° , o único valor inferior foi para a banda TM3 no AZV de 15° (-0,001 e 7,69%).

4.4.1.2 - Variabilidade amostral

A Tabela 4.30 apresenta a variabilidade amostral dos valores absolutos e relativos dos FRBMs.

TABELA 4.30 - VARIABILIDADE AMOSTRAL DOS VALORES ABSOLUTOS E RELATIVOS (%) DOS FRBMS OBTIDOS NOS AZV DE 15, 30, 45 E 60 GRAUS, PARA OS AAV DE 0, 90 E 180 GRAUS PARA A VEGETAÇÃO HERBÁCEA EM PASTAGENS DE *Brachiaria decumbens*

AAV = 0	15		30		45		60		Var. banda	
Bandas	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)
TM1	0,009	18,00	0,009	18,46	0,015	19,74	0,010	16,67	0,043	72,86
TM2	0,014	12,12	0,020	17,01	0,022	14,97	0,023	15,33	0,078	59,43
TM3	0,019	20,43	0,019	21,55	0,026	19,70	0,019	17,27	0,083	78,95
TM4	0,025	9,54	0,033	13,04	0,032	11,47	0,041	12,77	0,131	46,83
Var. AZV	0,067	60,09	0,082	70,07	0,095	65,87	0,093	62,04	--	--
AAV = 90	15		30		45		60		Var. banda	
Bandas	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)
TM1	0,009	15,00	0,011	16,67	0,014	16,28	0,009	11,25	0,043	59,19
TM2	0,017	12,78	0,022	15,28	0,022	13,58	0,015	8,72	0,076	50,37
TM3	0,016	14,23	0,020	16,94	0,026	17,33	0,016	12,31	0,078	60,82
TM4	0,039	13,73	0,036	12,20	0,028	9,30	0,037	10,51	0,140	45,74
Var. AZV	0,081	55,74	0,089	61,10	0,090	56,50	0,077	42,79	--	--
AAV = 180	15		30		45		60		Var. banda	
Bandas	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)	ABS.	(%)
TM1	0,008	12,69	0,015	18,99	0,012	11,32	0,015	13,64	0,050	56,63
TM2	0,017	11,64	0,028	16,67	0,020	10,10	0,031	13,42	0,096	51,83
TM3	0,017	13,82	0,032	21,92	0,025	13,09	0,032	17,11	0,106	65,94
TM4	0,040	13,20	0,037	11,42	0,034	9,63	0,031	7,16	0,142	41,41
Var. AZV	0,082	51,35	0,112	68,99	0,091	44,14	0,109	51,33	--	--
AZV = 0	Var. banda		LEGENDAS: 15° (ABS) = Valor absoluto do desvio padrão do FRBM no AZV = 15° 15° (%) = Valor relativo do desvio padrão do FRBM no AZV = 15° (%) = ((desvio padrão do FRBM * 100)/FRBM)							
Bandas	ABS.	(%)								
TM1	0,009	18,21								
TM2	0,017	14,78								
TM3	0,019	19,91								
TM4	0,029	11,84								
Var. AZV	0,074	64,75								

A variabilidade nos valores absolutos dos FRBMs foi maior para o AAV de 180° (0,394) e menor para o AAV de 0° (0,336), para todos os AZV. Em contraposição, para os valores relativos a maior variação foi para o AAV de 0° (258,06%) e a menor para o AAV de 180° (215,81%).

Considerando-se a variabilidade por AZV, as maiores variações absolutas ocorreram no AZV de 30° para os AAV de 180° (0,112) e 90° (0,089) e no AZV de 45° , para o AAV de 0° (0,095) e as menores no AZV de 0° (0,029).

As maiores variações relativas aconteceram no AZV de 30° para os AAV de 0° (70,06%), 180° (68,99%) e 90° (61,09%) e as menores nos AZV de 60° , para o AAV de 90° (42,78%), de 45° , para o AAV de 180° (44,14%) e de 15° , para o AAV de 0° (60,09%).

A variabilidade absoluta por banda espectral foi superior na TM4 para os AAV de 180° (0,142), 90° (0,140) e 0° (0,131) e inferior para a TM1 nos AAV de 90° (0,043), 0° (0,044) e 180° (0,050). A variabilidade relativa foi maior na TM3 para os AAV de 0° (78,95%), 180° (65,94%) e 90° (60,82%) e menor para a TM4 nos AAV de 180° (41,41%), 90° (45,74%) e 0° (46,82%).

4.4.1.3 - Análise dos mecanismos físicos que influenciam na dinâmica dos FRBMs da cobertura de *Brachiaria decumbens*.

As tendências descritas para a dinâmica angular dos FRBMs de *B. decumbens* foram similares às observadas para *B. brizantha* e também foram coerentes com as previstas pela teoria da dinâmica direcional de coberturas vegetais completas e densas (Kimes, 1984).

As maiores variações zenitais ocorridas no plano paralelo ao plano solar (AAV de 0 e 180 graus) e as menores no plano perpendicular (AAV de 90°), devem-se à interação de mecanismos dependentes da EGV ("Efeito 1") e das propriedades ópticas de seus constituintes ("Função de fase"). Os princípios físicos envolvidos nestes mecanismos foram explicados mais rigorosamente no texto para *B. brizantha* e são válidos para *B. decumbens*.

As maiores variações zenitais entre os AZV de 30 e 45 graus para todos os AAV, aconteceram devido a ocorrência do pico de reflexão próximo ao AZV de 45°. As menores variações entre os AZV de 15 e 30 graus, para os AAV de 0 e 90 graus, são decorrentes da menor intensidade do "efeito 1" neste AZV. Essas tendências são corroboradas pelos resultados obtidos por Gerstl (1986), Goel e Grier (1986), Kimes (1983), Kimes (1984) e Simmer e Gerstl (1985).

Para o AAV de 180° houve uma menor variação entre os AZV de 45 e 60 graus, que pode estar relacionada à "queda" do FRBM no AZV de 60°, em relação ao AZV de 45°, para esse AAV e o de 90°. Conforme as premissas teóricas para o "efeito 1", é esperada uma maior intensidade no AZV de 60°, pois com o aumento do AZV é maior a contribuição relativa das camadas superiores em relação às inferiores da cobertura. No entanto, as camadas superiores de *B. decumbens* são erectófilas, possuem inflorescências e uma maior contribuição de colmos (dado que a densidade foliar é menor), que determinam uma estrutura bastante refletora, com uma maior retro-reflexão e menor espalhamento múltiplo nas camadas superiores, determinando uma diminuição da reflectância a partir deste setor azimutal, para os AAV de 90 e 0 graus. Mas este mecanismo não explica a queda verificada no AAV de 180°, já que a estrutura determina uma maior retroreflexão neste azimute. Uma possível explicação, além do já mencionado pico de retro-reflexão próximo ao AZV de 45°, está relacionada à menor densidade foliar das camadas superiores em relação às inferiores, mas para evidenciá-la são necessários estudos com estratificação da cobertura.

Considerando as variações zenitais por faixa espectral, as maiores variações observadas para a banda do visível foram coerentes, dada a maior intensidade do sombreamento nesta região do espectro em relação ao IVP. Entretanto, as maiores variações para o azul nos AAV de 0 e 180 graus, não eram esperadas, devido à tendência da maior intensidade do processo de espalhamento

atmosférico dessa banda, causar uma melhor distribuição da radiação incidente e, conseqüentemente um menor gradiente de interceptação entre as camadas da cobertura (Knipling, 1970a). Deve-se salientar que a diferença nos valores absolutos do azul em relação às demais bandas do visível é pequena, com 0,008 e 0,007 em relação ao verde, respectivamente nos AAV de 0 e 180 graus e valores inferiores de 0,025 em relação ao vermelho nos AAV de 0 e 90 graus. A maior variação observada para a TM3 no AAV de 90°, deve-se à grande absorção relativa da radiação incidente nesta banda, e ao menor espalhamento atmosférico, resultando numa maior intensidade de sombreamento (Allen et al., 1969).

As menores variações no IVP para todos os AAV foram totalmente coerentes, devido à transmitância e à reflectância da vegetação serem aproximadamente idênticas nesta banda e a reflectância foliar ser relativamente alta, com os espalhamentos múltiplos resultando numa melhor distribuição da REM entre as camadas da cobertura (Kimes, 1983; Kimes et al., 1984a; Kimes, 1985).

As maiores variações azimutais entre os AAV de 0 e 180 graus e as menores entre 90 e 180°, para os AZV de 15 e 30 graus e entre 0 e 90 graus para o AZV de 45 e 60 graus foram coerentes e devem-se ao efeito do mecanismo físico denominado na literatura como "função de fase" (Chandrasekhar, 1960) e cujos princípios físicos foram explicados para *B. brizantha*.

Adicionalmente, o aumento das variações azimutais com o incremento do AZV é justificado pelo efeito 1 não ter sido azimutalmente simétrico, dada a atuação da "função de fase", que define o espalhamento anisotrópico, ser maximizada para estruturas geométricas como a de *B. decumbens* (erectófilas) e para grandes AZV, conforme os princípios já explicados para *B. brizantha*.

As maiores variações dos FRBMs em relação ao nadir para o AAV de 180°, devem-se às máximas variações azimutais e zenitais ocorridas neste azimute, pelos princípios físicos já expostos. Uma menor variação para o AAV de 90° é teoricamente esperada. No entanto, verificou-se a menor variação para o AAV de 0°. Um dos motivos foi o menor desvio para o mínimo de reflectância ocorrido neste azimute (somente até AZV de 30°). Para *B. Brizantha*, que possui características estruturais da cobertura semelhantes, o desvio foi maximizado, ocorrendo até o AZV de 45°, o que sugere que outras características da cobertura influenciaram. De fato, *B. decumbens* apresentou valores de fitomassa total e IAF inferiores a *B. Brizantha*. Porém, para uma menor densidade da cobertura teoricamente é esperado um maior desvio, o que não ocorreu.

A maior variação em relação ao nadir para o AZV de 60° é teoricamente esperada e justificada pela maior atuação do "efeito 1" em AZV extremos ter resultado em valores de reflectância superiores ao nadir.

A menor variabilidade amostral observada para o AAV de 180° e a maior no AAV de 0°, pode estar relacionada à variação dos componentes da cobertura que condicionam os mecanismos físicos "efeito 1" e "função de fase".

No AAV de 180°, o principal mecanismo que determina os valores dos FRBMs é o efeito 1, mais relacionado à estrutura geométrica da cobertura, enquanto para os AAV de 0 e 90 graus, os valores são determinados pela função de fase, mais relacionada à composição e propriedades ópticas dos constituintes da cobertura.

Embora somente o parâmetro DAF tenha sido estratificado para este estudo, através da observação visual em campo, verificou-se que as variações em densidade foliar e na composição da fitomassa entre camadas (folhas jovens, folhas velhas, inflorescências, maior contribuição de colmos), foram relativamente maiores. Enquanto essas são apenas algumas suposições, há necessidade de estudos mais detalhados da variação vertical dos componentes da cobertura, do ponto de vista estrutural e da composição.

A maior variabilidade verificada para o AZV de 30° em todos os AAVs não foi coerente com o esperado, ou seja, uma diminuição da variabilidade com o aumento do AZV, e os motivos não estão claros.

4.4.1.4 - Análise dos mecanismos físicos que influenciam na dinâmica dos FRBMs do substrato de *B. decumbens*

As maiores variações nos valores absolutos e relativos dos FRBMs no plano paralelo ao plano solar e as menores no plano perpendicular, foram coerentes com as observadas na literatura por Kimes (1983) e Kimes et al. (1984a) e devem-se à variação na intensidade do "efeito 1", que caracteriza o forte espalhamento anisotrópico do solo.

Como para a vegetação herbácea, as maiores variações zenitais ocorridas entre os AZV de 30 e 45 graus para o AAV de 90 e 180 graus e entre 45 e 60 para o AAV de 0°, são justificados pela ocorrência do pico principal de reflexão próximos ao AZV de 45°, conforme os princípios físicos explicados para o substrato de *B. brizantha*.

Em relação às variações por banda espectral, as maiores variações para as bandas do visível não foram coerentes com a teoria, devido ao espalhamento atmosférico ser superior ao verificado no IVP, conferindo uma menor intensidade de sombreamento e, conseqüentemente, menores variações para o VIS.

As menores variações na TM3 para o AAV de 180° e da TM2 no AAV de 0°, foram coerentes, dada a menor intensidade do sombreamento. Mas a menor variação no AAV de 90° para o IVP não foi coerente. Cabe salientar que a presença no substrato de serrapilheira, partes de colmos e raízes superficiais podem ter influenciado os resultados.

As maiores variações no AZV de 60° e as menores no AZV de 15°, devem-se à variação na intensidade do efeito 1 com a variação do AZV. As maiores variações entre 0 e 180 graus influenciam a função de fase, que resulta num forte pico de reflectância na direção anti-solar (AAV de 180°). Os menores valores para o AAV de 0°, para todos os AZV, deve-se à minimização do efeito 1 nesse AAV, pelos mecanismos físicos já explicados para o substrato de *B. brizantha*.

As maiores variações azimutais ocorridas no plano paralelo e as menores no plano perpendicular ao plano solar estão coerentes com a teoria e os resultados obtidos e devem-se à já discutida característica de retro-reflexão do solo no AAV de 180° e à baixa reflectância no AAV de 0°, determinado pela opacidade dos componentes do solo que obscurece a cena para as outras posições azimutais de visada. No AAV de 90° a intensidade de sombreamento é menor que no AAV de 0°, ocasionando uma menor variação relativa. A maior variação nos AZV de 60 e 45 graus e a menor no AZV de 15° devem-se, respectivamente à menor e maior intensidade do efeito 1 e da função de fase, conforme os mecanismos de interação descritos para esses efeitos.

A maior variação para as bandas do visível não eram esperadas, devido ao maior espalhamento atmosférico no visível em relação ao IVP, conferir uma melhor distribuição do fluxo incidente sobre o substrato. Assim, as menores variações para a banda do vermelho no AAV de 180° estão coerentes, mas as menores para o IVP nos AAV de 0 e 90 graus não.

4.4.2 - Análise das correlações entre os FRBMs (Fator de Reflectância Bidirecional Multiespectral) obtidos nas diferentes geometrias de visada para *Brachiaria decumbens*

Realizaram-se as análises de correlação linear simples, modelo de Pearson para os FRBMs obtidos com variação da geometria de visada da graminha *Brachiaria decumbens*.

Dada a complexidade da matriz de correlação, analisaram-se em nível geral as variações dos valores médios dos coeficientes de correlação e as tendências dos relacionamentos entre os FRBMs. Descreveu-se separadamente o comportamento para as correlações entre os FRBMs obtidos num mesmo AAV e AZV (Tabela 4.31), entre os obtidos com variações azimutais (Tabela 4.32), zenitais (Tabela 4.33), azimutais e zenitais (Tabela 4.34), e variações em relação ao nadir (Tabela 4.36). No final, realizou-se uma análise conjunta dos mecanismos físicos que condicionaram as relações descritas entre os FRBMs.

4.4.2.1 - Correlações entre os FRBMs obtidos com mesmos AAV e AZV

TABELA 4.31 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE OS FRBMs OBTIDOS, COM MESMOS AAV E AZV, NAS BANDAS ESPECTRAIS TM1, TM2, TM3 E TM4 PARA *Brachiaria decumbens*.

ÂNGULOS		BANDAS ESPECTRAIS								Média	Desvio
AAV	AZV	TM1 TM2	TM1 TM3	TM1 TM4	TM2 TM3	TM2 TM4	TM3 TM4				
180	60	0,95	0,93	0,40	0,94	0,42	0,20	0,64	0,31		
90	60	0,91	0,95	0,23	0,87	0,44	0,50	0,65	0,27		
0	60	0,93	0,97	0,54	0,96	0,72	0,57	0,78	0,18		
180	45	0,89	0,94	0,56	0,81	0,81	0,45	0,74	0,18		
90	45	0,96	0,97	0,64	0,95	0,78	0,64	0,82	0,14		
0	45	0,97	0,98	0,85	0,97	0,92	0,86	0,92	0,05		
180	30	0,97	0,97	0,69	0,96	0,75	0,65	0,83	0,14		
90	30	0,93	0,96	0,49	0,88	0,68	0,48	0,73	0,20		
0	30	0,91	0,98	0,62	0,92	0,83	0,61	0,81	0,15		
180	15	0,92	0,86	0,29	0,77	0,53	-0,06	0,55	0,35		
90	15	0,89	0,87	0,37	0,87	0,62	0,21	0,63	0,27		
0	15	0,96	0,95	0,63	0,92	0,78	0,57	0,80	0,16		
Média		VALORES MÉDIOS DOS COEFICIENTES POR AAV E AZV									
AAV	180										
	90										
	0										
Média	15	2,77	2,68	1,29	2,56	1,93	0,72	1,99	0,77		
AZV	30	2,81	2,91	1,80	2,76	2,26	1,74	2,38	0,48		
	45	2,82	2,89	2,05	2,73	2,51	1,95	2,49	0,37		
	60	2,79	2,85	1,17	2,77	1,58	1,27	2,07	0,74		
Média Tot		2,8	2,83	1,58	2,71	2,07	1,42	2,23			

LEGENDAS: ÂNGULOS: AAV|AZV = (AAV,AZV)_x (AAV, AZV)

As correlações foram positivas, com valores altos de coeficientes (valor médio de 0,74). Os maiores valores dos coeficientes foram observados para as correlações no AAV de 0°, para os AZV de 45° ($r=0,925$), 15° ($r=0,802$) e 60° ($r=0,782$) e no AAV de 180° para os AZV de 30° ($r=0,832$), os menores foram no AAV de 180° para os AZV de 15° ($r=0,552$), 60° ($r=0,640$) e 45° ($r=0,743$) e no AAV de 90° para o AZV de 30° (0,737).

Considerando-se as correlações por banda espectral, as correlações entre as bandas na região do visível apresentaram valores médios de coeficientes maiores, principalmente entre a TM1 e a TM3, nos AZV de 30° ($r=0,940$), 45° (0,960) e 60° (0,950) e entre a TM1 e a TM2 para o AZV de 15° ($r=0,920$). Os menores valores dos coeficientes ficaram para as correlações entre a TM4 e as bandas do visível, sendo mínimas com a TM3 nos AZV de 15° (0,240), 30° (0,580) e 45° (0,650) e com a TM1 no AZV de 60° (0,430).

4.4.2.2 - Correlações entre os FRBMs obtidos com variações azimutais

TABELA 4.32 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE OS FRBMs OBTIDOS, COM VARIAÇÃO AZIMUTAL, NAS BANDAS ESPECTRAIS TM1, TM2, TM3 E TM4 PARA *Brachiaria decumbens*.

ÂNGULOS			BANDAS ESPECTRAIS																\bar{X}	s
AZV	AAV1	AAV2	1 1	1 2	1 3	1 4	2 1	2 2	2 3	2 4	3 1	3 2	3 3	3 4	4 1	4 2	4 3	4 4		
60	180	90	0,47	0,38	0,60	-0,3	0,41	0,40	0,53	-0,3	0,40	0,34	0,56	-0,4	0,19	0,25	0,14	0,01	0,22	0,31
	180	0	0,61	0,53	0,61	0,13	0,64	0,58	0,65	0,12	0,55	0,51	0,60	0,11	0,27	0,18	0,15	0,01	0,39	0,23
	90	0	0,58	0,57	0,54	0,49	0,63	0,68	0,60	0,60	0,61	0,60	0,60	0,45	0,15	0,33	0,16	0,63	0,51	0,15
45	180	90	0,37	0,44	0,40	0,58	0,39	0,52	0,41	0,81	0,52	0,57	0,56	0,58	0,42	0,56	0,40	0,84	0,52	0,13
	180	0	0,55	0,58	0,59	0,56	0,53	0,62	0,56	0,67	0,59	0,60	0,63	0,56	0,48	0,61	0,48	0,66	0,57	0,05
	90	0	0,78	0,78	0,76	0,74	0,78	0,82	0,76	0,80	0,78	0,77	0,76	0,73	0,62	0,71	0,61	0,79	0,74	0,05
30	180	90	0,41	0,51	0,47	0,45	0,48	0,59	0,52	0,53	0,42	0,53	0,49	0,46	0,53	0,65	0,49	0,72	0,51	0,78
	180	0	0,63	0,71	0,68	0,56	0,68	0,79	0,72	0,68	0,62	0,72	0,67	0,56	0,73	0,79	0,69	0,81	0,69	0,07
	90	0	0,39	0,43	0,44	0,49	0,47	0,59	0,52	0,67	0,36	0,41	0,43	0,46	0,39	0,64	0,39	0,86	0,49	0,12
15	180	90	0,80	0,71	0,78	0,11	0,73	0,78	0,77	0,29	0,59	0,48	0,70	-0,2	0,37	0,57	0,21	0,79	0,53	0,28
	180	0	0,41	0,47	0,40	0,41	0,28	0,38	0,28	0,43	0,36	0,39	0,40	0,14	0,07	0,14	-0,0	0,61	0,32	0,16
	90	0	0,59	0,58	0,52	0,51	0,42	0,50	0,38	0,57	0,42	0,50	0,44	0,32	0,16	0,02	0,08	0,55	0,41	0,17
VALORES MÉDIOS DOS COEFICIENTES POR AAV E AZV																				
Média	AAV1	AAV2	1 1	1 2	1 3	1 4	2 1	2 2	2 3	2 4	3 1	3 2	3 3	3 4	4 1	4 2	4 3	4 4	\bar{X}	s
AAV	180	90	0,51	0,51	0,56	0,20	0,50	0,57	0,56	0,34	0,48	0,48	0,58	0,12	0,38	0,51	0,31	0,59	0,45	0,14
	180	0	0,55	0,57	0,57	0,42	0,53	0,59	0,55	0,48	0,53	0,56	0,58	0,34	0,39	0,43	0,32	0,52	0,49	0,08
	90	0	0,59	0,59	0,57	0,56	0,58	0,64	0,57	0,66	0,54	0,57	0,56	0,49	0,33	0,43	0,31	0,71	0,54	0,10
Média AZV	60		0,55	0,49	0,58	0,09	0,58	0,55	0,59	0,14	0,52	0,48	0,59	0,06	0,20	0,26	0,15	0,22	0,38	0,11
	45		0,59	0,60	0,58	0,63	0,59	0,65	0,58	0,76	0,63	0,65	0,65	0,62	0,51	0,63	0,49	0,76	0,62	0,13
	30		0,48	0,55	0,53	0,50	0,54	0,66	0,59	0,63	0,47	0,55	0,53	0,49	0,55	0,69	0,52	0,80	0,59	0,09
	15		0,60	0,59	0,56	0,34	0,48	0,55	0,48	0,43	0,46	0,47	0,51	0,09	0,20	0,24	0,09	0,66	0,42	0,10
Média Total			0,65	0,56	0,59	0,39	0,53	0,60	0,56	0,49	0,52	0,54	0,57	0,32	0,36	0,46	0,31	0,61	0,49	0,12

LEGENDAS: ÂNGULOS: AZV|AAV1|AAV2= (AAV1,AZV) \times (AAV2,AZV) - BANDAS: 1 1=TM1 \times TM1

De modo geral, as correlações foram positivas, predominando valores moderados (0,460). Os maiores valores médios dos coeficientes ocorreram

para as correlações dos FRBMs obtidos entre os AAV de 90 e 0 graus (0,542) e os menores entre 180 e 90 graus (0,450), sendo observados valores superiores no AZV de 45° (0,617) e inferiores no AZV de 60° (0,378).

Os valores dos coeficientes distribuídos por banda espectral foram máximos para as correlações entre as bandas do visível, principalmente entre a TM1 e a TM3 (0,516) e entre a TM2 e a TM3 (0,547), e mínimos para as correlações entre as bandas do visível e o IVP, destacando-se entre a TM3 e a TM4 (0,320).

4.4.2.3 - Correlações entre os FRBMs obtidos com variações zenitais

TABELA 4.33 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE OS FRBMs OBTIDOS, COM VARIAÇÃO ZENITAL, NAS BANDAS ESPECTRAIS TM1, TM2, TM3 E TM4 PARA *Brachiaria decumbens*.

ÂNGULOS			BANDAS ESPECTRAIS																\bar{X}	\bar{s}	
AAV	AZV1	AZV2	1 1	1 2	1 3	1 4	2 1	2 2	2 3	2 4	3 1	3 2	3 3	3 4	4 1	4 2	4 3	4 4			
180	60	45	0,45	0,39	0,50	0,16	0,48	0,46	0,53	0,26	0,36	0,27	0,42	0,00	0,64	0,78	0,66	0,74	0,44	0,20	
90	60	45	0,60	0,55	0,59	0,33	0,49	0,49	0,49	0,43	0,59	0,61	0,30	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	0,03	0,32	0,33	
0	60	45	0,51	0,56	0,53	0,61	0,45	0,48	0,46	0,56	0,44	0,47	0,46	0,54	0,18	0,17	0,16	0,25	0,43	0,14	
180	60	30	0,23	0,25	0,18	0,34	0,31	0,34	0,26	0,41	0,19	0,20	0,13	0,25	0,25	0,25	0,19	0,42	0,26	0,08	
90	60	30	0,59	0,51	0,55	0,31	0,45	0,41	0,44	0,38	0,58	0,49	0,53	0,21	0,10	0,11	0,15	0,44	0,39	0,16	
0	60	30	0,74	0,64	0,64	0,37	0,72	0,63	0,67	0,43	0,69	0,59	0,64	0,37	0,43	0,41	0,41	0,28	0,54	0,14	
180	60	15	0,45	0,49	0,43	0,09	0,48	0,54	0,47	0,14	0,40	0,41	0,43	-0,04	0,43	0,57	0,12	0,71	0,38	0,19	
90	60	15	0,31	0,37	0,38	0,20	0,33	0,42	0,42	0,29	0,29	0,36	0,42	0,13	0,13	0,04	0,07	0,05	0,26	0,13	
0	60	15	0,30	0,26	0,34	-0,04	0,37	0,30	0,38	-0,11	0,30	0,25	0,32	-0,11	0,25	0,13	0,23	-0,02	0,20	0,16	
180	45	30	0,29	0,34	0,29	0,43	0,34	0,42	0,34	0,58	0,33	0,36	0,31	0,33	0,42	0,49	0,41	0,73	0,40	0,11	
90	45	30	0,46	0,43	0,42	0,15	0,39	0,41	0,34	0,23	0,39	0,35	0,34	0,12	0,27	0,35	0,23	0,41	0,33	0,09	
0	45	30	0,60	0,43	0,57	0,38	0,66	0,54	0,63	0,50	0,63	0,48	0,61	0,41	0,61	0,54	0,57	0,53	0,54	0,08	
180	45	15	0,60	0,60	0,39	0,42	0,54	0,59	0,28	0,56	0,52	0,55	0,32	0,42	0,35	0,45	0,16	0,60	0,46	0,13	
90	45	15	0,34	0,51	0,30	0,56	0,33	0,57	0,29	0,68	0,42	0,57	0,34	0,59	0,42	0,66	0,34	0,85	0,48	0,16	
0	45	15	0,33	0,15	0,29	0,09	0,34	0,19	0,32	0,12	0,32	0,14	0,28	0,09	0,27	0,11	0,23	0,06	0,21	0,09	
180	30	15	0,27	0,28	0,36	0,03	0,27	0,27	0,32	0,04	0,25	0,24	0,36	-0,07	0,35	0,33	0,31	0,25	0,24	0,12	
90	30	15	0,34	0,32	0,35	0,05	0,24	0,28	0,24	0,14	0,34	0,29	0,35	0,03	0,10	0,16	0,00	0,29	0,22	0,11	
0	30	15	0,53	0,52	0,52	0,24	0,36	0,40	0,37	0,25	0,48	0,47	0,45	0,24	0,23	0,27	0,26	0,30	0,37	0,11	
VALORES MÉDIOS DOS COEFICIENTES POR AAV E AZV																					
Média AAV	AAV2	1 1	1 2	1 3	1 4	2 1	2 2	2 3	2 4	3 1	3 2	3 3	3 4	4 1	4 2	4 3	4 4	\bar{X}	\bar{s}		
	180	0,38	0,39	0,36	0,25	0,40	0,44	0,37	0,33	0,34	0,34	0,33	0,15	0,41	0,48	0,31	0,58	0,36	0,09		
	90	0,44	0,45	0,43	0,27	0,37	0,43	0,37	0,36	0,44	0,43	0,43	0,23	0,12	0,17	0,08	0,35	0,33	0,12		
	0	0,50	0,43	0,48	0,28	0,48	0,42	0,47	0,29	0,48	0,40	0,46	0,26	0,33	0,27	0,31	0,23	0,38	0,09		
Média	AZV1	AZV2																			
	60	45	0,52	0,50	0,54	0,36	0,47	0,48	0,49	0,43	0,46	0,43	0,50	0,28	0,16	0,22	0,16	0,34	0,39	0,11	
	60	30	0,52	0,47	0,47	0,34	0,49	0,46	0,47	0,41	0,49	0,43	0,43	0,28	0,27	0,27	0,26	0,38	0,39	0,12	
	60	15	0,35	0,37	0,38	0,08	0,39	0,42	0,42	0,11	0,33	0,34	0,38	0,20	0,27	0,25	0,14	0,25	0,28	0,10	
	45	30	0,46	0,40	0,43	0,32	0,46	0,47	0,44	0,44	0,45	0,39	0,42	0,29	0,43	0,46	0,40	0,56	0,43	0,09	
	45	15	0,42	0,42	0,33	0,36	0,40	0,46	0,28	0,46	0,42	0,42	0,31	0,37	0,35	0,40	0,24	0,50	0,38	0,08	
	30	15	0,38	0,37	0,41	0,11	0,29	0,32	0,31	0,14	0,37	0,33	0,39	0,09	0,23	0,26	0,19	0,28	0,28	0,13	
Média Total			0,44	0,42	0,42	0,28	0,41	0,43	0,40	0,33	0,42	0,39	0,40	0,21	0,28	0,30	0,23	0,38	0,38	0,12	
LEGENDAS: ÂNGULOS: AAV AZV1 AZV2 = (AAV,AZV1)x(AAV,AZV2) - BANDAS: 1 1 = TM1xTM1																					

Para as correlações entre os FRBMs obtidos com variações zenitais predominaram baixos valores dos coeficientes (média geral $r=0,360$), sendo máximos para as correlações nos AAV de 0° (média geral do azimute $r=0,381$), entre os AZV de 45 e 30 graus (0,543), 60 e 30 graus (0,541) e 30 e 15 graus (0,300) e mínimos no AAV de 90° (média geral do azimute $r=0,335$), entre os AZV de 30 e 15 graus (0,220) e 60 e 45 graus (0,319).

As correlações entre os AZV de 45 e 30 graus apresentaram os maiores valores dos coeficientes (0,425) e os menores entre 30 e 15 graus (0,276), considerando-se os valores médios para todos os AAV.

Novamente as correlações entre as bandas do visível apresentaram valores superiores aos obtidos para as correlações entre o visível e a TM4. Os coeficientes para as correlações entre a TM2 e as demais bandas do visível foram os maiores (0,395), enquanto os coeficientes para as correlações das bandas do visível com a TM4, os menores.

4.4.2.4 - Correlações entre os FRBMs obtidos com variações azimutais e zenitais

TABELA 4.34 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE OS FRBMs OBTIDOS, COM VARIAÇÃO AZIMUTAL E ZENITAL, NAS BANDAS ESPECTRAIS TM1, TM2, TM3 E TM4 PARA *Brachiaria decumbens*.

ÂNGULOS				BANDAS ESPECTRAIS																
AAV1	AZV1	AAV2	AZV2	1 1	1 2	1 3	1 4	2 1	2 2	2 3	2 4	3 1	3 2	3 3	3 4	4 1	4 2	4 3	4 4	\bar{X}
180	60	90	45	0,55	0,51	0,56	0,38	0,54	0,53	0,54	0,46	0,44	0,38	0,46	0,21	0,54	0,63	0,55	0,85	0,51
180	60	0	45	0,54	0,56	0,59	0,60	0,56	0,61	0,61	0,65	0,50	0,50	0,54	0,50	0,54	0,59	0,52	0,64	0,57
90	60	0	45	0,60	0,58	0,59	0,45	0,54	0,54	0,53	0,46	0,64	0,60	0,64	0,49	-0,2	-0,2	-0,3	-0,2	0,36
180	60	90	30	0,46	0,32	0,40	-0,0	0,39	0,3	0,36	0,03	0,35	0,21	0,32	-0,1	0,29	0,23	0,27	0,25	0,25
180	60	0	30	0,28	0,18	0,26	0,17	0,39	0,31	0,38	0,26	0,28	0,17	0,25	0,14	0,26	0,19	0,25	0,28	0,25
90	60	0	30	0,47	0,44	0,48	0,43	0,56	0,57	0,56	0,52	0,48	0,44	0,49	0,40	0,19	0,29	0,20	0,26	0,42
180	60	90	15	0,35	0,39	0,43	0,10	0,39	0,44	0,45	0,16	0,33	0,32	0,40	-0,0	0,48	0,64	0,37	0,73	0,37
180	60	0	15	0,12	0,03	0,15	-0,1	0,24	0,16	0,25	0,00	0,22	0,09	0,23	-0,2	0,19	0,23	0,14	0,53	0,14
90	60	0	15	0,16	0,06	0,20	0,00	0,24	0,18	0,28	0,00	0,18	0,07	0,25	-0,2	0,11	0,20	0,09	0,21	0,12
180	45	90	30	0,43	0,34	0,44	0,23	0,37	0,39	0,36	0,43	0,41	0,29	0,43	0,07	0,38	0,51	0,37	0,73	0,39
180	45	0	30	0,47	0,36	0,45	0,36	0,45	0,45	0,42	0,56	0,45	0,32	0,46	0,24	0,45	0,58	0,47	0,74	0,45
90	45	0	30	0,42	0,34	0,45	0,31	0,50	0,43	0,52	0,40	0,44	0,34	0,45	0,30	0,48	0,48	0,46	0,53	0,43
180	45	90	15	0,68	0,65	0,50	0,42	0,55	0,62	0,36	0,61	0,69	0,68	0,52	0,44	0,33	0,48	0,19	0,70	0,53
180	45	0	15	0,49	0,40	0,43	0,34	0,32	0,32	0,30	0,45	0,47	0,35	0,38	0,35	0,21	0,27	0,21	0,49	0,36
90	45	0	15	0,21	0,06	0,15	0,14	0,23	0,15	0,19	0,22	0,24	0,09	0,17	0,16	0,20	0,24	0,19	0,41	0,19
180	30	90	15	0,37	0,52	0,48	0,35	0,35	0,50	0,44	0,34	0,35	0,48	0,46	0,27	0,32	0,44	0,28	0,48	0,40
180	30	0	15	0,18	0,17	0,19	0,11	0,21	0,21	0,23	0,12	0,16	0,16	0,18	0,06	0,32	0,33	0,36	0,25	0,20
90	30	0	15	0,20	0,14	0,22	0,08	0,12	0,12	0,17	0,15	0,21	0,13	0,21	0,09	0,08	0,19	0,11	0,38	0,16
180	45	90	60	0,37	0,28	0,40	0,33	0,38	0,36	0,38	0,45	0,35	0,25	0,40	0,22	0,15	0,13	0,01	0,31	0,30
180	45	0	60	0,38	0,34	0,33	0,35	0,42	0,33	0,36	0,30	0,34	0,26	0,31	0,21	0,29	0,16	0,21	0,18	0,30
90	45	0	60	0,43	0,43	0,41	0,42	0,35	0,35	0,33	0,37	0,37	0,36	0,36	0,33	0,05	0,03	0,08	0,09	0,30
180	30	90	60	0,51	0,52	0,43	0,53	0,63	0,64	0,55	0,65	0,54	0,54	0,46	0,51	0,11	0,15	0,14	0,29	0,45
180	30	0	60	0,55	0,58	0,49	0,74	0,57	0,61	0,54	0,73	0,52	0,55	0,48	0,66	0,40	0,41	0,42	0,48	0,55
90	30	0	60	0,51	0,49	0,43	0,29	0,47	0,44	0,42	0,29	0,48	0,44	0,41	0,21	0,37	0,31	0,38	0,29	0,39
180	15	90	60	0,21	0,27	0,30	0,09	0,27	0,35	0,37	0,18	0,25	0,28	0,37	0,00	0,12	0,07	0,11	0,13	0,21
180	15	0	60	0,56	0,56	0,59	0,17	0,46	0,43	0,51	0,10	0,49	0,47	0,53	0,09	0,22	0,09	0,29	-0,1	0,34
90	15	0	60	0,45	0,49	0,54	0,18	0,43	0,43	0,48	0,16	0,44	0,45	0,52	0,11	0,25	0,13	0,23	-0,04	0,33
180	30	90	45	0,56	0,54	0,45	0,49	0,57	0,57	0,47	0,55	0,54	0,51	0,43	0,45	0,52	0,55	0,46	0,66	0,52
180	30	0	45	0,48	0,45	0,40	0,53	0,49	0,49	0,43	0,62	0,47	0,45	0,40	0,53	0,48	0,50	0,42	0,69	0,49
90	30	0	45	0,42	0,36	0,40	0,15	0,44	0,44	0,40	0,27	0,42	0,38	0,40	0,15	0,42	0,45	0,35	0,32	0,36
180	15	90	45	0,11	0,24	0,05	0,35	0,12	0,30	0,03	0,46	0,17	0,28	0,08	0,35	0,32	0,50	0,10	0,67	0,26
180	15	0	45	0,25	0,35	0,21	0,36	0,29	0,41	0,25	0,40	0,30	0,40	0,28	0,35	0,27	0,38	0,19	0,43	0,32
90	15	0	45	0,39	0,52	0,32	0,58	0,37	0,52	0,29	0,61	0,41	0,53	0,33	0,55	0,28	0,44	0,18	0,62	0,43
180	15	90	30	0,33	0,22	0,30	0,00	0,28	0,18	0,26	0,00	0,28	0,15	0,27	-0,1	0,22	0,14	0,15	0,15	0,17
180	15	0	30	0,45	0,46	0,49	0,20	0,36	0,35	0,41	0,13	0,39	0,41	0,45	0,15	0,28	0,25	0,19	0,20	0,32
90	15	0	30	0,48	0,56	0,46	0,38	0,31	0,42	0,31	0,34	0,44	0,53	0,46	0,35	0,20	0,31	0,12	0,39	0,38
VALORES MÉDIOS DOS COEFICIENTES POR AAV E AZV																				
Média AAV	AAV1	AAV2		1 1	1 2	1 3	1 4	2 1	2 2	2 3	2 4	3 1	3 2	3 3	3 4	4 1	4 2	4 3	4 4	\bar{X}
	180	90		0,41	0,40	0,39	0,27	0,40	0,43	0,38	0,37	0,39	0,38	0,38	0,18	0,32	0,37	0,26	0,49	0,36
	180	0		0,39	0,37	0,38	0,32	0,39	0,38	0,38	0,37	0,38	0,34	0,37	0,27	0,33	0,33	0,31	0,39	0,37
	90	0		0,40	0,37	0,39	0,28	0,38	0,38	0,38	0,32	0,39	0,37	0,38	0,23	0,28	0,31	0,25	0,39	0,35
LEGENDAS: ÂNGULOS: AAV AZV1 AZV2= (AAV,AZV1)x(AAV,AZV2) - BANDAS: 1 1=TM1xTM1																				

(CONTINUA)

Tab. 4.35 - Conclusão

Média AZV	AZV1	AZV2	1 1	1 2	1 3	1 4	2 1	2 2	2 3	2 4	3 1	3 2	3 3	3 4	4 1	4 2	4 3	4 4	\bar{X}
	60	45	0,56	0,55	0,58	0,48	0,55	0,56	0,56	0,52	0,53	0,49	0,55	0,40	0,28	0,33	0,27	0,44	0,48
	60	30	0,40	0,31	0,38	0,20	0,45	0,39	0,43	0,27	0,37	0,27	0,35	0,14	0,25	0,24	0,24	0,26	0,31
	60	15	0,21	0,16	0,26	0,00	0,29	0,26	0,33	0,04	0,24	0,16	0,29	-0,1	0,26	0,36	0,20	0,49	0,21
	45	30	0,44	0,35	0,45	0,30	0,44	0,42	0,43	0,46	0,43	0,32	0,45	0,20	0,44	0,52	0,43	0,67	0,42
	45	15	0,46	0,37	0,36	0,30	0,37	0,36	0,28	0,43	0,47	0,37	0,36	0,32	0,25	0,33	0,20	0,53	0,36
	30	15	0,25	0,28	0,30	0,18	0,23	0,28	0,28	0,20	0,24	0,26	0,28	0,14	0,24	0,32	0,25	0,37	0,25
	45	60	0,39	0,35	0,38	0,37	0,38	0,35	0,36	0,37	0,35	0,29	0,36	0,25	0,16	0,11	0,10	0,19	0,30
	30	60	0,52	0,53	0,45	0,52	0,56	0,56	0,50	0,56	0,51	0,51	0,45	0,46	0,29	0,29	0,31	0,35	0,46
	15	60	0,41	0,44	0,48	0,15	0,39	0,40	0,45	0,15	0,39	0,40	0,47	0,05	0,20	0,10	0,21	0,00	0,29
	30	45	0,49	0,45	0,42	0,39	0,50	0,50	0,43	0,48	0,48	0,45	0,41	0,38	0,47	0,50	0,41	0,56	0,46
	15	45	0,25	0,37	0,19	0,43	0,26	0,41	0,19	0,49	0,29	0,40	0,23	0,42	0,29	0,44	0,16	0,57	0,34
	15	30	0,42	0,41	0,42	0,17	0,32	0,32	0,33	0,14	0,37	0,36	0,39	0,12	0,23	0,23	0,15	0,25	0,29
Média Total			0,40	0,38	0,39	0,29	0,39	0,40	0,38	0,34	0,39	0,36	0,38	0,23	0,28	0,31	0,24	0,39	0,35

LEGENDAS: ÂNGULOS: AAV1|AZV1|AAV2|AZV2= (AAV1,AZV1)x(AAV2,AZV2) - BANDAS: 1 1 = TM1xTM1

As correlações entre os FRBMs obtidos em diferentes AAV e AZV foram baixas (média geral de 0,348). Os maiores valores dos coeficientes ocorreram para as correlações entre os AAV de 180 e 90 graus (média geral do azimute de 0,362) e os menores entre os AAV de 90 e 0 graus (média geral de 0,323). Considerando as variações zenitais, valores superiores ocorreram para as correlações entre os AZV de 60 e 45 graus (0,478), 30 e 60 graus (0,462), 30 e 45 graus (0,457) e 45 e 30 graus (0,422) e os valores inferiores ocorreram para as correlações entre os AZV de 60 e 15 graus (0,211), 30 e 15 (0,256), 15 e 30 (0,290) e 15 e 60 (0,292).

A Tabela 4.35 demonstra as geometrias de visada com os maiores e o menores valores dos coeficientes observados.

TABELA 4.35 - GEOMETRIAS DE VISADA COM OS MAIORES E OS MENORES VALORES DOS COEFICIENTES OBSERVADOS PARA OS FRBMS OBTIDOS COM VARIAÇÕES AZIMUTAIS E ZENITAIS

AAV E AZV COM OS MAIORES COEFICIENTES			AAV E AZV COM OS MENORES COEFICIENTES		
(AAV, AZV)	(AAV, AZV)	VALOR (r)	(AAV, AZV)	(AAV, AZV)	VALOR (r)
180,60	0,45	0,566	90,60	0,15	0,122
180,30	0,60	0,546	90,30	0,15	0,163
180,45	90,15	0,526	180,15	90,30	0,168
180,30	90,45	0,489	90,45	0,15	0,191
180,45	0,30	0,452	180,15	90,60	0,208
90,15	0,45	0,434	180,15	0,45	0,258

Conforme a Tabela 4.35, houve uma tendência de maiores coeficientes para as correlações entre as mesmas bandas espectrais nas diferentes geometrias de visada, sendo máximos os valores para as correlações para as bandas TM2 (0,401), TM1 (0,400), TM4 (0,390) e TM3 (0,380). As correlações entre as bandas do visível foram melhores entre a TM2 e a TM1 (0,381) e a TM2 e TM3 (0,380). Novamente as correlações entre a TM4 e as bandas do visível tiveram os mais baixos valores, principalmente para as correlações com a TM3 (0,230) e a TM1 (0,290).

4.4.2.5 - Correlações entre os FRBMs obtidos com variações azimutais e zenitais em relação aos obtidos no nadir

TABELA 4.36 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE OS FRBMs OBTIDOS, COM VARIAÇÃO AZIMUTAL E ZENITAL E OS FRBMs OBTIDOS NO NADIR, NAS BANDAS ESPECTRAIS TM1, TM2, TM3 E TM4 PARA *Brachiaria decumbens*.

ÂNGULOS		BANDAS ESPECTRAIS																
AAV	AZV	1 1	1 2	1 3	1 4	2 1	2 2	2 3	2 4	3 1	3 2	3 3	3 4	4 1	4 2	4 3	4 4	X
180	60	0,41	0,41	0,45	0,16	0,43	0,46	0,50	0,22	0,45	0,42	0,50	0,13	0,24	0,35	0,15	0,54	0,36
90	60	0,61	0,61	0,64	0,37	0,66	0,71	0,70	0,52	0,66	0,64	0,68	0,35	0,19	0,25	0,19	0,31	0,50
0	60	0,58	0,62	0,64	0,38	0,61	0,64	0,66	0,42	0,56	0,49	0,62	0,33	0,54	0,53	0,49	0,38	0,54
180	45	0,43	0,45	0,43	0,36	0,29	0,39	0,30	0,46	0,48	0,50	0,45	0,41	0,17	0,30	0,17	0,43	0,38
90	45	0,38	0,41	0,34	0,37	0,32	0,40	0,29	0,43	0,40	0,43	0,32	0,39	0,26	0,41	0,23	0,58	0,37
0	45	0,43	0,45	0,42	0,39	0,41	0,46	0,42	0,41	0,43	0,47	0,45	0,38	0,35	0,43	0,37	0,47	0,42
180	30	0,43	0,50	0,39	0,31	0,43	0,51	0,42	0,32	0,36	0,42	0,33	0,20	0,39	0,52	0,42	0,52	0,40
90	30	0,53	0,51	0,50	0,23	0,39	0,41	0,38	0,19	0,47	0,44	0,44	0,15	0,07	0,16	0,07	0,17	0,32
0	30	0,49	0,58	0,52	0,43	0,38	0,50	0,42	0,37	0,47	0,57	0,49	0,41	0,24	0,36	0,28	0,30	0,43
180	15	0,55	0,52	0,50	0,21	0,50	0,52	0,47	0,29	0,58	0,52	0,59	0,09	0,03	0,14	0,00	0,41	0,37
90	15	0,59	0,55	0,47	0,30	0,51	0,56	0,40	0,41	0,62	0,59	0,52	0,21	0,04	0,19	0,00	0,51	0,40
0	15	0,60	0,54	0,56	0,37	0,48	0,49	0,44	0,38	0,60	0,55	0,60	0,34	0,08	0,18	0,00	0,36	0,48
VALORES MÉDIOS DOS COEFICIENTES POR AAV E AZV																		
Média	AAV	1 1	1 2	1 3	1 4	2 1	2 2	2 3	2 4	3 1	3 2	3 3	3 4	4 1	4 2	4 3	4 4	X
	180	0,46	0,47	0,44	0,26	0,41	0,47	0,42	0,32	0,47	0,47	0,47	0,21	0,21	0,33	0,18	0,48	0,38
	90	0,53	0,52	0,49	0,32	0,47	0,52	0,44	0,39	0,54	0,53	0,49	0,28	0,14	0,25	0,11	0,39	0,40
	0	0,53	0,55	0,54	0,39	0,47	0,52	0,49	0,40	0,52	0,55	0,54	0,37	0,30	0,38	0,28	0,38	0,45
Média	AZV																	
	60	0,53	0,55	0,58	0,30	0,57	0,60	0,62	0,39	0,56	0,55	0,60	0,27	0,32	0,38	0,28	0,41	0,47
	45	0,41	0,44	0,40	0,37	0,34	0,42	0,34	0,43	0,44	0,47	0,41	0,39	0,26	0,38	0,26	0,49	0,39
	30	0,48	0,53	0,47	0,32	0,40	0,47	0,41	0,29	0,33	0,48	0,42	0,25	0,23	0,35	0,26	0,33	0,38
	15	0,39	0,38	0,38	0,37	0,37	0,36	0,35	0,35	0,35	0,33	0,31	0,28	0,29	0,32	0,34	0,40	0,35
LEGENDAS: ÂNGULOS: AAV AZV = (AAV,AZV) _x (AZV=0) - BANDAS: 1 1=TM1xTM1																		

As correlações entre os FRBMs obtidos no nadir e os obtidos em diferentes geometrias de visada, apresentaram valores moderados (média geral de 0,409). Os maiores valores para os coeficientes ocorreram no AAV de 0° (média azimutal de 0,448), em todos os AZV, com valores de 0,537; 0,421; 0,426 e 0,408, respectivamente para os AZV de 60, 45, 30 e 15 graus. Os menores valores ocorreram no AAV de 180° (média azimutal de 0,378), com valores mínimos para os AZV de 60° (0,364) e 15° (0,369) e no AAV de 90° (média azimutal de 0,400) no AZV de 30° (0,319) e 45° (0,373).

Novamente houve a tendência de maiores valores dos coeficientes para as correlações entre as mesmas bandas espectrais nos diferentes AAV e AZV, com valores superiores para o TM1 (0,600) e o TM3 (0,550). No visível, as maiores correlações foram entre as bandas TM1 e TM3 (0,560) e entre a TM2 e a TM1 (0,550). As correlações entre as bandas do visível e o IVP foram baixas (0,285), com os menores valores para as correlações com a TM3 (0,001) e a TM1 (0,340).

4.4.2.6 - Análise dos mecanismos físicos que condicionaram as relações entre os FRBMs obtidos em diferentes geometrias de visada para *Brachiaria decumbens*

Para a *B. decumbens* observou-se, embora em menor grau, a tendência de variação dos coeficientes de correlação relacionada à intensidade de atuação dos mecanismos físicos "efeito geométrico 1" e "função de fase".

Altos valores são esperados para as correlações entre as bandas espectrais do visível obtidas numa mesma geometria de visada, devido às mesmas condições de aquisição, intensidade dos mecanismos físicos e resposta funcional e fisiológica das folhas nesta região do espectro.

Seguindo esta lógica, os moderados e baixos valores para as correlações entre o visível e o IVP são justificados pelas diferentes respostas à atuação dos mecanismos físicos para essas bandas: como já visto, no visível há uma maior intensidade de sombreamento em relação ao IVP com uma maior atuação do "efeito 1", e conseqüente variação dos FRBMs.

Para as correlações com variações azimutais, os moderados valores dos coeficientes indicam comportamentos bastante distintos entre as bandas espectrais em relação às variações azimutais, justificado pelas diferentes intensidades dos mecanismos físicos "efeito 1" e "função de fase" nesses azimutes, por princípios já expostos.

Assim, os maiores valores dos coeficientes para as correlações entre os AAV de 0 e 90 graus, devem-se às menores variações azimutais apresentadas nesses AAV. Os menores valores dos coeficientes observados entre os AAV de 180 e 90 graus, justificam-se pela maior variação relativa dos FRBMs no AAV de 180° em relação ao AAV de 90° ter produzido uma grande dispersão dos dados.

Os altos valores verificados para as correlações entre as bandas do visível estão coerentes com a literatura, devido às respostas similares dessas bandas à atuação dos mecanismos físicos. Os maiores valores observados para as correlações entre as mesmas bandas espectrais nos diferentes AAV e AZV, devem-se aos padrões intrínsecos de variação de cada banda frente aos mecanismos produzirem uma maior similaridade no comportamento.

As baixas correlações entre as bandas do visível e o IVP são justificadas pelas diferentes intensidades de atuação do "efeito 1" e da "função de fase" para estas bandas, ocasionando comportamentos distintos de variação.

Os valores dos coeficientes para as correlações entre os FRBMs obtidos com variação zenital foram inferiores aos obtidos com variação azimutal, sugerindo que as variações zenitais atuam mais intensamente na configuração da dinâmica bidirecional dos FRBMs.

Os maiores valores dos coeficientes para as correlações entre os FRBMs no AAV de 0° não eram esperados, dada a maior variação azimutal e zenital apresentada neste azimute, ocasionando uma maior dispersão dos dados em relação ao AAV de 90° . Cabe salientar que as variações foram muito pequenas (0,046), podendo não ser estatisticamente significativas.

Os baixos valores dos coeficientes de correlação entre os FRBMs obtidos em diferentes geometrias de visada são esperados. As diferentes intensidades de atuação dos mecanismos físicos e as distintas respostas, dependentes da estrutura geométrica, propriedades ópticas e constituição da cobertura, produzem complexos padrões de variação angular, com comportamentos singulares, que os caracterizam como uma "assinatura angular". Gerstl (1986), baseado em medições radiométricas e modelagem, demonstrou que a distribuição angular da reflectância de superfícies vegetais na região do visível e do IVP, contém "assinaturas angulares" que podem ser utilizadas como identificadoras de culturas.

Assim, os baixos valores dos coeficientes de correlação indicam comportamentos diferenciados dos FRBMs e um maior conteúdo de informação, principalmente no uso integrado dos dados espectrais obtidos a diferentes geometrias de visada.

As melhores correlações entre os FRBMs obtidas entre os AAV de 180 e 90 graus também estão coerentes, dada a menor variação apresentada entre estes AAV. Os menores valores para as correlações entre os AAV de 0 e 90 graus, são justificados pela maior variação azimutal e zenital do AAV de 0° em relação ao de 90° originar comportamentos distintos.

Valores baixos e moderados são esperados para os coeficientes das correlações entre os FRBMs obtidos com diferentes geometrias de visada e os obtidos no nadir, já que houve uma grande variação angular dos FRBMs em relação aos do nadir.

Os maiores valores dos coeficientes para as correlações no AAV de 0° e os menores para o AAV de 180° , devem-se respectivamente, à menor e à maior variação dos FRBMs apresentada nestes azimutes. As maiores correlações no AZV de 60° e as menores no AZV de 15° não estão coerentes devido às maiores variações no AZV de 60° e as menores no AZV de 15° sugerirem um comportamento oposto ao apresentado.

4.5 - Relação funcional entre a reflectância bidirecional multiespectral obtida nas diferentes geometrias de visada e os parâmetros biofísicos da vegetação herbácea em pastagens compostas por *Brachiaria brizantha*.

Os valores dos coeficientes para as correlações entre a reflectância bidirecional multiespectral e os parâmetros biofísicos, estão apresentados na Tabela 4.37, os valores médios dos coeficientes das correlações por AAV, AZV, banda espectral e por parâmetro biofísico, estão na Tabela 4.38 e as representações gráficas desses valores (correlogramas) estão nas figuras 4.11, 4.12 e 4.13.

Primeiramente, realizou-se uma descrição geral da distribuição dos valores dos coeficientes para as correlações entre os FRBMs obtidos em diferentes geometrias de visada e os parâmetros biofísicos. Em seguida analisaram-se as relações específicas entre os FRBMs e os parâmetros biofísicos que caracterizam a produção, a disponibilidade de componentes, o teor de água e a estrutura geométrica da cobertura de *B. brizantha*.

Para tanto, foram calculadas as médias dos valores em módulo (considerando-se todos os coeficientes como positivos) dos coeficientes de correlação por AAV, AZV, banda espectral e parâmetro biofísico.

TABELA 4.37 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE OS FRBMs OBTIDOS NAS DIFERENTES GEOMETRIAS DE VISADA E OS PARÂMETROS BIOFÍSICOS DA VEGETAÇÃO HERBÁCEA EM PASTAGENS COMPOSTAS POR *Brachiaria brizantha*.

BANDAS	FTT_PU	FTV_PU	FIS_PU	FTT_PS	FTV_PS	FIS_PS	FV_PU	FS_PU	MV_PU	MS_PU	TAFTT	TAFTV	TAFTS	IAF
TM1_180_60	0,18	0,09	0,24	0,07	0,30	0,09	-0,24	0,10	0,37	-0,14	0,25	-0,20	0,45	-0,17
TM2_180_60	0,06	0,02	0,11	0,02	0,24	-0,05	-0,26	0,02	0,27	-0,18	0,09	-0,25	0,38	-0,24
TM3_180_60	0,11	0,04	0,17	0,07	0,28	0,02	-0,19	0,03	0,28	-0,16	0,12	-0,26	0,40	-0,16
TM4_180_60	0,35	0,24	0,38	0,22	0,36	0,20	-0,16	0,15	0,41	0,22	0,40	-0,03	0,57	-0,21
TM1_090_60	0,33	0,32	0,24	0,31	0,48	0,10	0,03	0,14	0,34	0,06	0,28	-0,05	0,42	-0,17
TM2_090_60	0,28	0,25	0,24	0,33	0,44	0,09	0,09	0,03	0,29	0,11	0,17	-0,11	0,43	-0,11
TM3_090_60	0,30	0,24	0,29	0,30	0,45	0,18	0,10	0,08	0,30	0,05	0,23	-0,15	0,38	-0,02
TM4_090_60	0,15	0,18	0,06	0,21	0,26	-0,03	0,10	0,00	0,08	0,17	0,05	-0,01	0,22	-0,13
TM1_000_60	-0,16	-0,02	-0,30	0,04	-0,02	-0,26	0,04	-0,08	-0,11	-0,29	-0,32	0,00	-0,22	-0,27
TM2_000_60	-0,15	-0,03	-0,27	0,08	0,00	-0,28	0,11	-0,10	-0,15	-0,20	-0,35	-0,05	-0,11	-0,17
TM3_000_60	-0,14	-0,03	-0,23	0,13	0,00	-0,20	0,24	-0,20	-0,13	-0,21	-0,37	-0,06	-0,17	-0,06
TM4_000_60	-0,32	-0,20	-0,39	-0,14	-0,28	-0,43	-0,03	-0,29	-0,22	-0,16	-0,43	0,01	-0,11	-0,28
TM1_180_45	0,02	0,11	-0,09	0,05	0,08	-0,21	-0,17	-0,19	0,35	-0,31	0,00	0,08	0,19	-0,35
TM2_180_45	0,04	0,07	-0,02	0,15	0,06	-0,12	-0,05	-0,12	0,21	-0,18	-0,08	0,05	0,21	-0,33
TM3_180_45	-0,12	0,02	-0,27	0,00	0,00	-0,33	-0,16	-0,27	0,20	-0,34	-0,21	0,04	-0,02	-0,36
TM4_180_45	0,50	0,35	0,54	0,42	0,36	0,48	0,06	0,33	0,32	0,38	0,46	0,14	0,42	-0,11
TM1_090_45	-0,35	-0,17	-0,48	-0,33	-0,18	-0,53	-0,38	-0,18	-0,15	-0,13	-0,28	-0,06	-0,15	-0,44
TM2_090_45	-0,31	-0,13	-0,44	-0,25	-0,18	-0,50	-0,25	-0,15	-0,18	-0,10	-0,29	-0,01	-0,10	-0,36
TM3_090_45	-0,40	-0,21	-0,53	-0,39	-0,25	-0,58	-0,40	-0,31	-0,07	-0,28	-0,32	-0,05	-0,16	-0,40
TM4_090_45	-0,24	-0,09	-0,37	-0,20	-0,14	-0,44	-0,13	-0,07	-0,18	-0,16	-0,23	0,02	-0,04	-0,12
TM1_000_45	-0,29	-0,17	-0,35	-0,10	0,03	-0,43	-0,02	-0,25	-0,17	-0,25	-0,42	-0,31	-0,02	-0,06
TM2_000_45	-0,22	-0,14	-0,25	0,01	0,08	-0,37	0,04	-0,24	-0,15	-0,11	-0,39	-0,32	0,13	-0,01
TM3_000_45	-0,34	-0,25	-0,35	-0,12	-0,01	-0,42	-0,02	-0,36	-0,19	-0,19	-0,48	-0,38	-0,04	-0,01
TM4_000_45	0,02	-0,01	0,06	0,18	0,06	-0,06	0,06	-0,03	-0,06	0,22	-0,14	-0,08	0,29	-0,10
TM1_180_30	0,25	0,27	0,14	0,20	0,32	-0,04	0,04	0,08	0,40	-0,27	0,24	0,07	0,44	0,12
TM2_180_30	0,42	0,41	0,29	0,38	0,42	0,11	0,18	0,16	0,46	-0,14	0,36	0,17	0,54	0,17
TM3_180_30	0,23	0,26	0,11	0,22	0,33	-0,05	-0,02	0,10	0,33	-0,14	0,18	0,03	0,40	0,06
TM4_180_30	0,71	0,67	0,55	0,60	0,62	0,43	0,36	0,31	0,63	0,05	0,66	0,34	0,54	0,25
TM1_090_30	0,20	0,13	0,23	0,13	0,16	0,29	0,00	-0,01	0,27	0,05	0,22	0,02	0,02	0,01
TM2_090_30	0,29	0,17	0,36	0,25	0,18	0,40	0,10	0,11	0,23	0,15	0,25	0,05	0,09	0,06
TM3_090_30	0,08	0,08	0,05	0,05	0,12	0,08	-0,08	-0,04	0,13	0,08	0,08	-0,02	-0,04	-0,06
TM4_090_30	0,52	0,43	0,48	0,53	0,38	0,54	0,44	0,23	0,27	0,26	0,39	0,24	0,14	0,25
TM1_000_30	0,13	0,22	-0,02	0,07	0,13	-0,11	0,00	0,09	0,21	-0,22	0,17	0,20	0,17	0,05
TM2_000_30	0,16	0,23	0,02	0,12	0,09	-0,06	0,04	0,16	0,15	-0,14	0,17	0,26	0,18	0,05
TM3_000_30	0,03	0,14	-0,12	0,03	0,04	-0,19	-0,05	-0,02	0,16	-0,22	0,03	0,18	0,08	0,00
TM4_000_30	0,21	0,23	0,11	0,15	0,07	0,08	-0,01	0,28	0,13	-0,07	0,22	0,29	0,11	0,01
TM1_180_15	0,20	0,40	-0,14	0,30	0,32	-0,38	0,18	0,03	0,15	0,05	0,05	0,27	0,43	-0,15
TM2_180_15	0,26	0,45	-0,07	0,38	0,38	-0,31	0,23	0,09	0,17	0,06	0,08	0,28	0,46	-0,14
TM3_180_15	0,11	0,32	-0,21	0,25	0,22	-0,04	0,10	-0,04	0,10	0,08	-0,06	0,25	0,37	-0,22
TM4_180_15	0,51	0,61	0,22	0,50	0,48	0,02	0,29	0,31	0,32	0,16	0,39	0,41	0,52	-0,03
TM1_090_15	0,20	0,33	-0,04	0,27	0,28	-0,26	0,12	0,09	0,18	-0,03	0,08	0,19	0,43	-0,11
TM2_090_15	0,23	0,36	-0,01	0,34	0,32	-0,24	0,19	0,12	0,15	0,00	0,07	0,20	0,48	-0,09
TM3_090_15	0,03	0,20	-0,20	0,22	0,21	-0,41	0,09	0,01	-0,02	0,04	-0,16	0,08	0,35	-0,17
TM4_090_15	0,38	0,49	0,12	0,44	0,34	-0,12	0,28	0,26	0,18	0,14	0,23	0,37	0,56	-0,04
TM1_000_15	0,15	0,33	-0,14	0,21	0,28	-0,41	0,04	0,07	0,20	-0,16	0,05	0,20	0,48	-0,14
TM2_000_15	0,21	0,38	-0,09	0,28	0,31	-0,36	0,10	0,11	0,23	-0,14	0,08	0,24	0,53	-0,14
TM3_000_15	0,13	0,32	-0,17	0,24	0,26	-0,44	0,07	0,06	0,15	-0,10	-0,02	0,21	0,49	-0,14
TM4_000_15	0,48	0,59	0,19	0,45	0,36	-0,05	0,11	0,11	0,36	0,10	0,41	0,52	0,61	-0,14
TM1_----_00	-0,01	0,11	-0,17	0,10	0,11	-0,26	0,20	-0,12	0,07	-0,30	-0,11	0,05	0,12	-0,09
TM2_----_00	0,02	0,14	-0,14	0,15	0,16	-0,23	0,29	-0,10	0,06	-0,32	-0,11	0,03	0,13	-0,03
TM3_----_00	-0,07	0,10	-0,27	0,05	0,10	-0,39	0,17	-0,13	-0,02	-0,26	-0,18	0,04	0,10	-0,09
TM4_----_00	0,12	0,18	-0,01	0,19	0,17	-0,04	0,37	0,06	0,03	-0,28	0,01	0,09	0,07	0,04

TABELA 4.38 - VALORES MÉDIOS DOS COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO POR AAV, AZV, BANDA ESPECTRAL E PARÂMETRO BIOFÍSICO

	FTT_PU	FTV_PU	FTS_PU	FTT_PS	FTV_PS	FTS_PS	FV_PU	FS_PU	MV_PU	MS_PU	TAFTT	TAFTV	TAFTS	IAF	\bar{X} banda
Média banda															
TM1	0,19	0,20	0,20	0,17	0,21	0,26	0,13	0,12	0,23	0,18	0,19	0,13	0,27	0,16	0,19
TM2	0,20	0,21	0,18	0,21	0,22	0,24	0,15	0,12	0,21	0,14	0,19	0,15	0,29	0,15	0,19
TM3	0,16	0,17	0,23	0,16	0,17	0,29	0,13	0,13	0,16	0,16	0,19	0,13	0,23	0,13	0,17
TM4	0,34	0,33	0,27	0,32	0,30	0,22	0,18	0,19	0,24	0,18	0,31	0,20	0,32	0,13	0,25
Média AAV															\bar{X} AAV
180	0,29	0,24	0,30	0,25	0,28	0,28	0,15	0,16	0,33	0,20	0,26	0,15	0,34	0,18	0,229
90	0,27	0,24	0,25	0,23	0,28	0,22	0,15	0,14	0,30	0,16	0,25	0,14	0,33	0,19	0,226
0	0,24	0,21	0,22	0,19	0,25	0,16	0,13	0,14	0,29	0,15	0,24	0,11	0,29	0,17	0,216
Média AZV															\bar{X} AZV
60	0,21	0,14	0,24	0,16	0,26	0,16	0,11	0,10	0,24	0,16	0,25	0,10	0,32	0,16	0,19
45	0,24	0,14	0,31	0,18	0,12	0,37	0,14	0,21	0,18	0,22	0,25	0,13	0,15	0,22	0,21
30	0,27	0,27	0,21	0,23	0,24	0,20	0,13	0,13	0,28	0,15	0,27	0,15	0,23	0,09	0,20
15	0,24	0,40	0,13	0,32	0,31	0,29	0,15	0,11	0,18	0,09	0,14	0,27	0,47	0,12	0,23
0	0,05	0,13	0,15	0,12	0,13	0,23	0,26	0,10	0,04	0,29	0,10	0,05	0,10	0,06	0,13
Média total	0,22	0,23	0,22	0,21	0,22	0,25	0,14	0,13	0,21	0,16	0,22	0,15	0,28	0,14	0,20

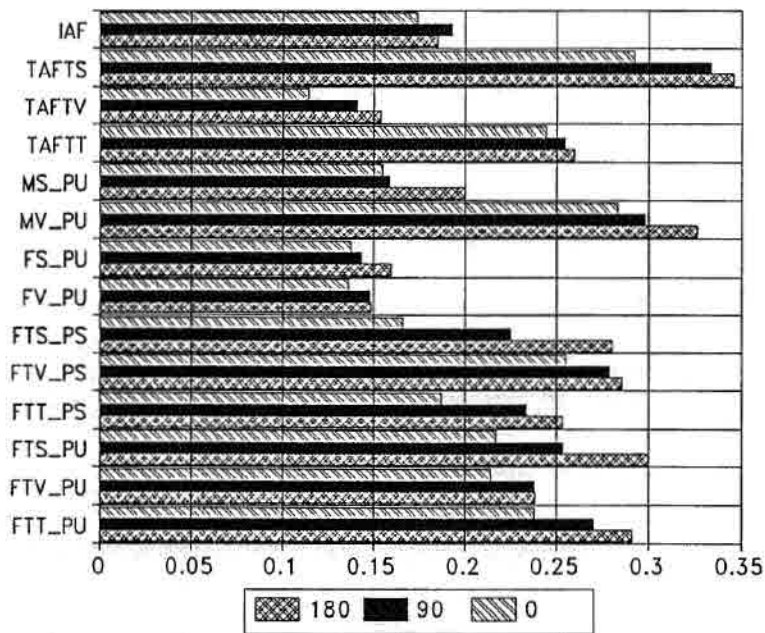


Fig. 4.11 - Correlograma dos valores médios dos coeficientes para cada parâmetro biofísico para cada AAV - *B. brizantha*.

Em geral predominaram valores de coeficientes baixos e positivos, com uma média geral de 0,201.

Os maiores valores médios dos coeficientes ocorreram no AAV de 180° (0,245) e os menores no AAV de 0° (0,201), com valores intermediários para o AAV de 90° (0,226).

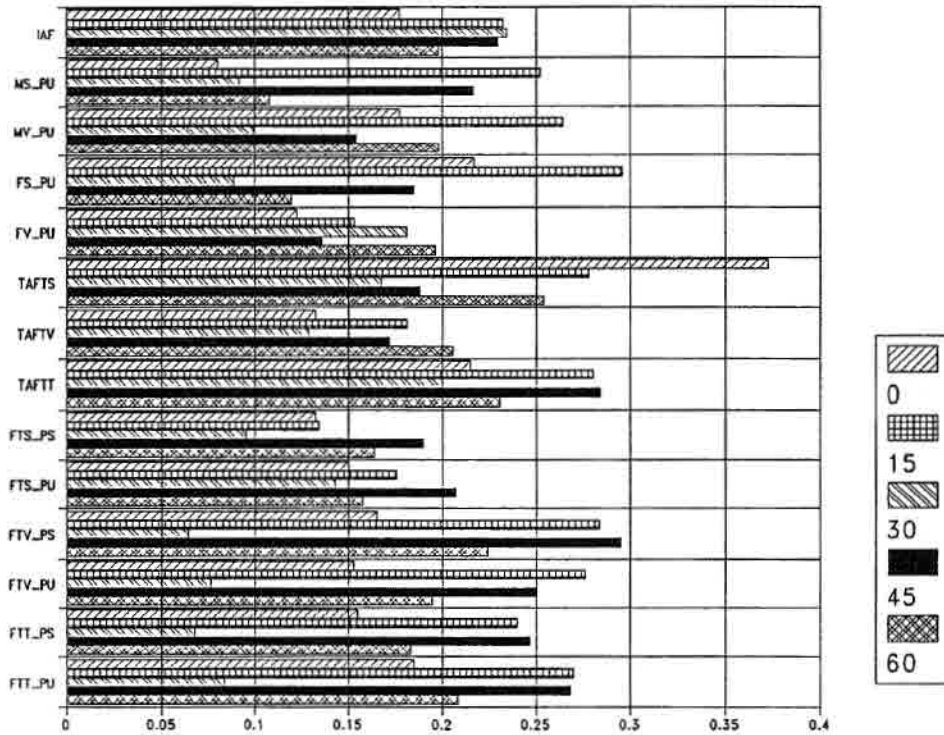


Fig. 4.12 - Correlograma dos valores médios dos coeficientes para cada parâmetro biofísico por AZV - *B. Brizantha*.

O AZV de 15^o apresentou o maior valor médio dos coeficientes (0,231) e o AZV de 0^o, o menor (-0,131).

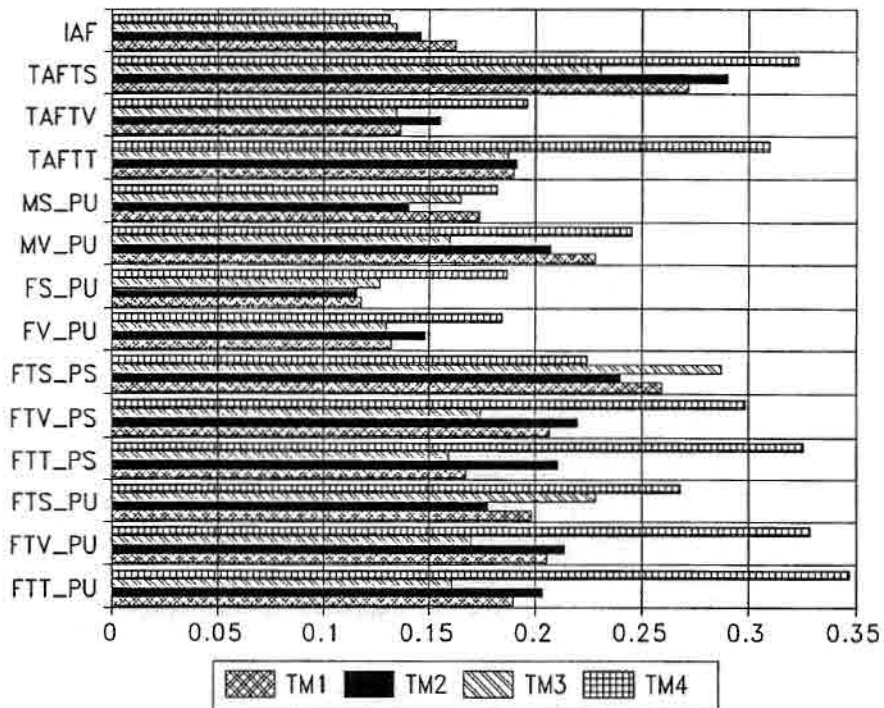


Fig. 4.13 - Correlograma dos valores médios dos coeficientes para cada parâmetro por banda espectral - *B. Brizantha*.

Considerando as correlações por faixa espectral, a TM4 apresentou o maior valor médio para as correlações (0,254) e a TM3, o menor (0,175), para a maioria dos parâmetros biofísicos, com exceção da FTS(PS), onde se observaram valores médios superiores para a TM3 (0,287) e inferiores para a TM4 (0,225), do MS(PU), com valores superiores na TM4 (0,183) e inferiores com a TM2 (0,141), e do IAF, superior na TM1 (0,163) e inferior na TM4 (0,131).

Os parâmetros biofísicos caracterizadores da produção de fitomassa apresentaram os maiores valores dos coeficientes de correlação, seguidos dos indicadores do teor de água, da disponibilidade dos componentes da fitomassa e do IAF.

Para os AZVs de 45 e 60 graus as variações azimutais foram mais marcantes, resultando em alta variação nos valores dos coeficientes entre os diferentes AAVs e em comportamentos bastante distintos para cada tipo de parâmetro biofísico.

Realizada a descrição em nível geral, analisam-se a seguir, as relações específicas de cada grupo de parâmetros caracterizadores da fitomassa e os FRBMs obtidos com a variação da geometria de visada.

4.5.1 - Produção

Em nível geral, para os parâmetros da produção de fitomassa total, FTT(PU) e FTT(PS), as correlações foram fracas, com valores médios de coeficientes de 0,225 e 0,216, respectivamente.

O AAV de 180° apresentou os maiores valores médios dos coeficientes para os valores em peso úmido e seco da fitomassa (0,291 e 0,253), seguido dos AAV de 90° (0,270 e 0,234) e 0° (0,238 e 0,187).

Zenitalmente, as maiores correlações ocorreram nos AZVs de 30° para a FTT(PU)(0,269) e de 15° para a FTT(PS)(0,323) e as menores no AZV de 0° para a FTT(PU)(0,055) e a FTT(PS)(0,122). O AZV de 45°, para os AAV de 0 e 90 graus, e o AZV de 60°, para o AAV de 0°, apresentaram um comportamento diferenciado dos demais AZVs, com tendências de correlações inversas.

Espectralmente, as melhores correlações para a FTT(PU) e para a FTT(PS) ocorreram para a banda TM4 (0,347 e 0,325) e as piores na TM3 (0,161 e 0,159).

Apesar dos baixos valores médios gerais, para determinadas geometrias de visada, observaram-se altos valores de coeficientes para as correlações com a FTT(PU) e FTT(PS). A Tabela 4.39 apresenta os AAV e AZV onde se verificaram as mais fortes correlações e a figura 4.14 as ilustram.

TABELA 4.39 - VALORES MÁXIMOS OBSERVADOS PARA OS COEFICIENTES NAS CORRELAÇÕES ENTRE OS FRBMs E OS PARÂMETROS FTT(PU) E FTT(PS).

VALORES MÁXIMOS			
FTT(PU)		FTT(PS)	
TM4 180 30	0,71	TM4 180 30	0,60
TM4 090 30	0,52	TM4 090 30	0,53
TM4 180 15	0,51	TM4 180 15	0,50
TM4 180 45	0,50	TM4 000 15	0,45
TM4 000 15	0,50	TM4 090-15	0,44
TM2 180 30	0,42	TM4 180 45	0,42
TM3 090-45	0,40		

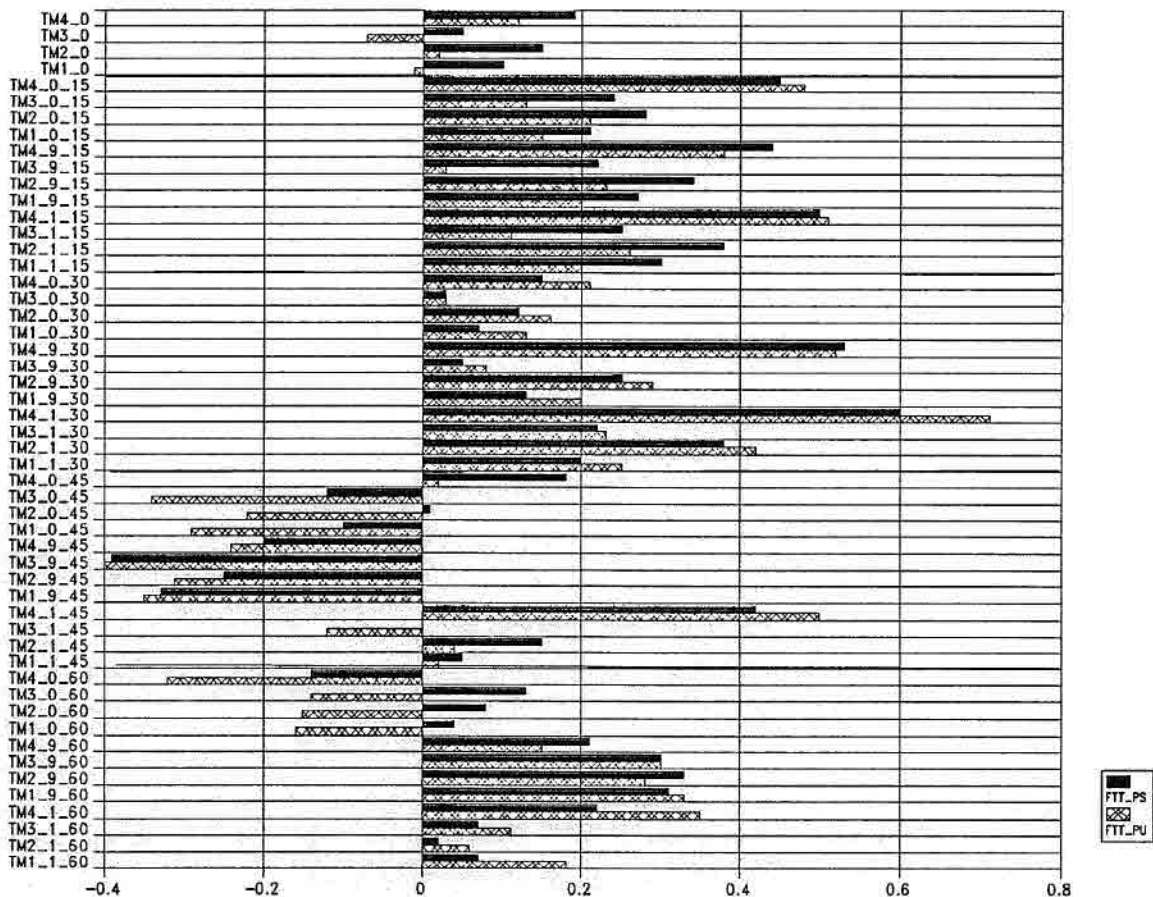


Fig. 4.14 - Correlograma dos valores dos coeficientes para os parâmetros caracterizadores da produção: FTT(PU) e FTT(PS). Leg. TM*_AAV_AZV- B. Brijantha.

Os parâmetros FTT(PU) e FTT(PS) tiveram os maiores valores dos coeficientes nas mesmas geometrias de visada, o que é esperado, dada a alta correlação observada entre os pesos úmidos e secos das medidas de fitomassa ($r = 0,880$; $p = 0,000$).

As melhores correlações ocorridas para os AZVs de 30 e 45 graus nos AAVs de 180 e 90 graus, podem estar associadas à maior intensidade da reflectância nestas geometrias de visada, devido à presença dos picos principal (AAV de 180°) e secundário (AAV de 90°) de reflexão para todas as faixas espectrais, que representaram melhor o volume da fitomassa, por apresentarem uma maior sensibilidade à arquitetura e às propriedades ópticas dos constituintes da cobertura conforme Bunnik (1978); Gerstl (1986); Guyot (1984) e Kimes (1983).

Os maiores valores dos coeficientes observados para as correlações na TM4 estão coerentes com os padrões de reflectância do dossel nesta banda, que responde diretamente à densidade vertical da fitomassa, visto que esta faixa penetra na cobertura e é mais espalhada e refletida em relação às bandas no visível. Além disso, conjugado aos padrões normais da reflectância do IVP no nadir, o efeito geométrico 1, maximiza a reflectância nesta banda, ampliando os limites assintóticos da reflectância e melhor representando a fitomassa amostrada.

Para as bandas TM1 e TM3 eram esperados valores negativos dos coeficientes, dada a alta absorção pela fitomassa nessas faixas (Allen et al., 1968), mas esses só ocorreram no AZV de 45°. Esse comportamento inverso deve-se ao efeito 1, que provoca um aumento da reflectância com o incremento no AZV, principalmente na região do visível (a TM1 e a TM3 apresentaram as maiores variações azimutais, zenitais e em relação ao nadir), devido à menor penetração da radiação na cobertura e à maior contribuição relativa das camadas superiores da cobertura, que refletem uma maior quantidade do fluxo solar (Kimes, 1983).

O AZV de 45° nos AAV de 0 e 90 graus e o AZV de 60° no AAV de 0° apresentaram padrões de reflectância distintos dos demais AZVs. Embora a maioria dos coeficientes não tenham sido estatisticamente significativos (somente a banda TM3 no AAV de 90° e AZV de 45°, foi significativa com $r = -0,400$; $p = 0,046$), este comportamento inverso merece atenção. O AZV de 45° nos AAVs de 0 e 90 graus, apresentou valores dos FRBMs inferiores aos obtidos no AZV de 15° (que apresentou valores inferiores ao nadir), devido à maximização do desvio da reflectância mínima, por princípios físicos já explicados e, principalmente, devido à presença de inflorescências, que determinaram esse comportamento atípico, que pode ter subestimado a fitomassa total e ocasionado as relações inversas observadas. Para o AZV de 60° no AAV de 0° os valores dos coeficientes aumentaram, mas não o suficiente para não subestimar a fitomassa, dados os baixos valores dos coeficientes apresentados nesse azimute.

O comportamento esperado para o AZV de 45° no AAV de 180°, deve-se à alta variação apresentada (as maiores variações azimutais e zenitais para esse azimute), incrementando os valores dos FRBMs e representando melhor as características da fitomassa da cobertura.

4.5.2 - Disponibilidade dos Componentes

Em geral, as correlações entre os parâmetros caracterizadores da disponibilidade de componentes apresentaram baixos valores dos coeficientes. Para os parâmetros FTV e FTS, os valores em peso seco apresentaram coeficientes superiores em relação ao peso úmido, observando-se para a FTV, valores de coeficientes de 0,230 e 0,255 e para a FTS, valores de 0,218 e 0,253, respectivamente para os valores em peso úmido e seco desses parâmetros. Os valores dos coeficientes das correlações entre os FRBMs e os componentes da FTV(PU) e FV(PU) ($r=0,149$) e MV(PU) ($r=0,210$) foram superiores aos verificados para os componentes da FTS(PU), FS(PU) ($r=0,137$) e MS(PU) ($r=0,165$).

Para todos os parâmetros os maiores valores dos coeficientes foram observados para as correlações com os FRBMs obtidos no AAV de 180° e os menores no AAV de 0°.

Considerando os AZVs que apresentaram os maiores e menores coeficientes, houve uma grande variação entre os componentes verdes e secos. A FTV em seus valores em peso úmido e seco, apresentou os maiores coeficientes no AZV de 15° (0,398 e 0,313) e os menores nos AZVs 0° (0,132) e de 45° (0,119). O componente FV(PU) apresentou melhores correlações no AZV de 0° ($r=0,257$) e as piores no AZV de 60° ($r=0,110$) e o componente MV(PU), apresentou as melhores com o AZV de 30° ($r=0,280$) e as piores com o AZV de 0° ($r=0,045$). Já a FTS para seus valores em peso úmido e seco, apresentou melhores correlações com os FRBMs obtidos no AZV de 45° ($r=0,312$ e $0,372$) e as piores com os obtidos no AZVs de 0° ($r=0,147$) e 60° (0,160). O componente FS(PU) correlacionou-se melhor com os FRBMs obtidos no AZV de 45° ($r=-0,208$) e pior com os obtidos no AZV de 0° ($r=0,102$) e o componente MS(PU), melhor com o AZV de 0° ($r=0,290$) e pior com o AZV de 15° (0,088).

A TM4 foi a banda que melhor se correlacionou com os parâmetros FTV(PU) ($r=0,328$) e FTV(PS) ($r=0,298$) e seus componentes FV(PU) ($r=0,185$) e MV(PU) (0,245). Para o parâmetro FTS, a TM4 apresentou melhores correlações com os valores em peso úmido ($r=0,267$) e com os componentes FS(PU) ($r=0,187$) e MS(PU) ($r=0,182$) e a TM3 com os seus valores em peso seco ($r=0,287$).

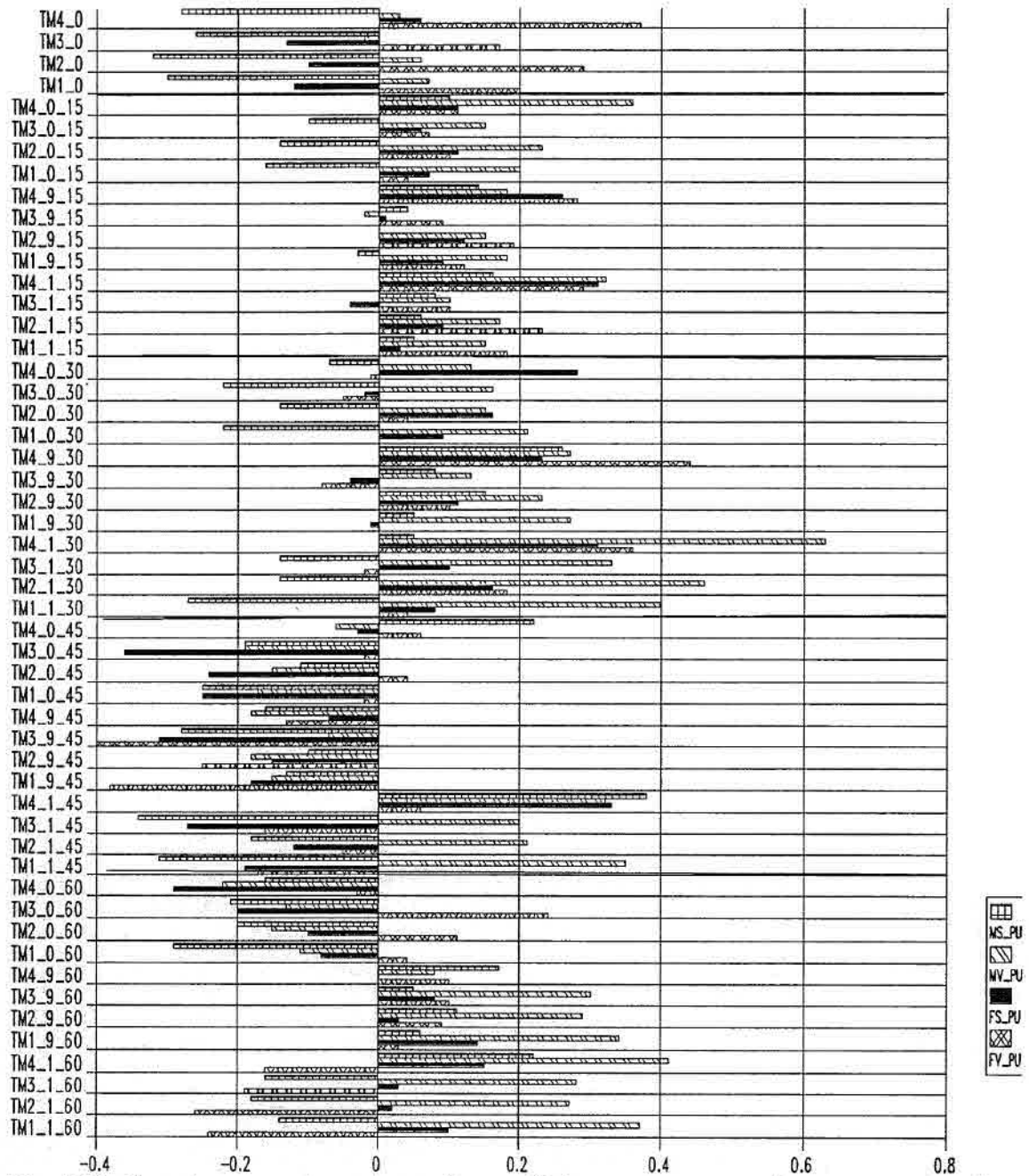
Para a FTV e todos os seus componentes as piores correlações foram com a banda TM3, com valores médios de coeficientes para a FTV(PU) de 0,170, para a FTV(PS) de 0,175, para a FV(PU) de 0,130 e para o MV(PU) de 0,160.

A FTS(PU) e seu componente FS(PU) tiveram as piores correlações com a TM2 ($r = 0,177$ e $0,116$, respectivamente). Já a FTS(PS) e o componente MS(PU) apresentaram correlações mais fracas com a TM4 ($r = 0,225$) e com a TM2 ($r = 0,141$), respectivamente.

A alta variabilidade verificada para os valores dos coeficientes de correlação ocasionou baixos valores médios, que podem ter mascarado os altos coeficientes ocorridos para determinadas geometrias de visada. Assim, faz-se necessário uma análise específica das geometrias de visada que apresentaram os maiores coeficientes, dada a necessidade da seleção dos AAV e AZV mais representativos de cada parâmetro. Neste sentido, a tabela 4.15 apresenta as geometrias de visada que apresentaram os maiores coeficientes de correlação.

TABELA 4.15 - GEOMETRIAS DE VISADA QUE APRESENTARAM VALORES MÁXIMOS DOS COEFICIENTES PARA CADA PARÂMETRO CARACTERIZADOR DOS COMPONENTES DA FITOMASSA.

VALORES MÁXIMOS							
FTV(PU)		FTV(PS)		FTS(PU)		FTS(PS)	
TM4 180 30	0,67	TM4 180 30	0,62	TM4 180 30	0,55	TM3 090 45	-0,58
TM4 180 15	0,61	TM4 180 15	0,48	TM4 180 15	0,54	TM4 090 30	0,54
TM4 000 15	0,59	TM1 090 60	0,48	TM3 090 45	-0,53	TM1 090 45	-0,53
TM4 090 15	0,49	TM3 090 60	0,45	TM4 090 30	0,48	TM2 090 45	-0,50
TM2 180 15	0,45	TM2 090-60	0,44	TM1 090 45	-0,48	TM4 180 45	0,48
TM4 90 30	0,43	TM2 180 30	0,42	TM2 090 45	-0,44	TM4 090 45	-0,44
TM2 180 30	0,41					TM3 180 15	-0,44



sinteticamente ativos, principalmente na região do visível, e às propriedades reflexivas do mesófilo das folhas verdes, para o IVP (Allen, 1969 e Knipling, 1970a), que atuam fortemente nos mecanismos físicos da distribuição angular da reflectância.

Além disso, a degeneração das propriedades ópticas e reflexivas das folhas ocorre de baixo para cima na cobertura, ficando a FTS concentrada nas camadas inferiores e as folhas e o material verde concentrados nas camadas superiores, que apresentam uma maior contribuição relativa na reflectância da cobertura com o aumento do AZV, principalmente para as bandas do visível e deve ter influenciado as respostas nos AZV oblíquos.

Outro fator associado é a maior proporção dos componentes da FTV na cobertura e a menor variabilidade apresentada por esses componentes em relação aos da FTS. De fato, a proporção de FTV é de 79,2% (MV = 53,2% e FV = 26%) e a de FTS é de 20,8% (MS = 7,8% e FS = 13,2%) e a variabilidade é de 29% e 34% para a FV e o MV, respectivamente, em relação a 69% e 63%, apresentados pela FS e MS, respectivamente.

Os maiores valores dos coeficientes observados para o AAV de 180° devem-se à ocorrência do pico de reflexão nesse azimute. Os menores valores para o AAV de 0°, devido às mínimas reflectâncias ocorridas para as visadas na direção do Sol, ocasionaram valores negativos em relação ao nadir, uma vez que o sensor visa uma alta proporção de faces sombreadas dos componentes da vegetação que não estão expostas diretamente à irradiância solar direta (Kimes, 1983). Assim, o sinal da vegetação é muito fraco, com ruídos e baixa informação espectral nesse azimute (Gerstl, 1986).

Conforme Kimes (1983) e Kimes (1984), para coberturas completas de gramíneas, com alta densidade de fitomassa, a discriminação dos componentes fotossinteticamente ativos dos não ativos, relacionado às propriedades ópticas dos componentes da fitomassa, em função da variação da geometria de visada, são mais dependentes da atuação dos mecanismos da "função de fase". Tais mecanismos atuam mais fortemente até o AZV de 30°; a partir desse AZV outro mecanismo, o "efeito geométrico 1", passa a atuar com maior intensidade. Mais relacionado à Estrutura Geométrica da Vegetação (EGV) e os efeitos dos parâmetros estruturais DAF, IAF e IC determinam mais a resposta da cobertura.

Assim, explicam-se as maiores correlações da FTV e seus componentes com os FRBMs obtidos no AZV de 15 e 30 graus, onde o conteúdo de informação sobre as propriedades ópticas das folhas é superior, e as menores nos AZVs de 45 e 60 graus, onde dominam as informações sobre as características reflexivas da cobertura.

Para a FTS e seus componentes não fotossinteticamente ativos, a informação sobre as propriedades ópticas das folhas é mínima, dada a degeneração das propriedades reflexivas, devido à despigmentação ocorrida com o processo de senescência foliar. Por outro lado a senescência não ocasiona a perda das propriedades reflexivas, que são devidas à estrutura do dossel e do mesófilo da folha, que são mais atuantes no IVP. Assim, justificam-se as maiores correlações ocorridas para a FTS e FS no AZV de 45° (no pico de reflexão), onde o conteúdo de informação sobre as características reflexivas da cobertura é máximo. Seguindo esta lógica, o AZV de 60° também deveria apresentar boas correlações. Talvez a presença de inflorescências na camada superior da cobertura (a contribuição relativa desta camada é máxima no AZV de 60°) tenha alterado o padrão normal da reflectância. De fato, para o AZV de 60° nos AAV de 0 e 90 graus, ocorreu uma queda da reflectância em relação ao AZV de 45° , enquanto esperavam-se valores superiores, dada a atuação do efeito 1.

O parâmetro MS apresentou um comportamento bastante distinto dos demais componentes da FTS, para os valores médios. Entretanto, as geometrias de visadas específicas onde ocorreram as maiores correlações com esse parâmetro foram para os FRBMs obtidos no AZV de 45° , onde teoricamente era esperado.

Espectralmente, eram esperadas melhores correlações entre os componentes da FTV e FTS para as bandas no visível, dada a maior discriminação das propriedades ópticas das folhas verdes e secas nessa faixa, porém somente o parâmetro FTS(PS) apresentou melhores correlações com a TM3, sendo que os demais parâmetros se correlacionaram melhor com a TM4. Uma explicação para isso está no fato de que a variação na geometria de visada afetou mais os padrões de reflectância no visível, principalmente no vermelho, conferindo-lhes um comportamento inverso ao esperado normalmente.

Adicionalmente, as baixas correlações verificadas para os componentes da FTV e da FTS deve-se à menor penetração das bandas no visível na cobertura com a variação da geometria de visada, mais sensíveis às propriedades ópticas da vegetação, não alcançando a FTS, que se concentra mais nas camadas inferiores. Embora o IVP penetre mais na cobertura, esta faixa apresenta menor sensibilidade e discriminação entre constituintes fotossinteticamente ativos e não ativos.

Corroborando as afirmações acima, os maiores valores médios dos coeficientes para os parâmetros MS(PU) e FV(PU) foram verificados no AZV de 0° , posição onde o sensor recebe mais o fluxo refletido pelas camadas inferiores da cobertura onde estão concentrados esses componentes.

Considerando as geometrias de visada que apresentaram valores máximos dos coeficientes, novamente para a maioria dos parâmetros biofísicos, os maiores valores dos coeficientes foram observados próximos aos picos principal e secundário de reflexão. Especificamente, a banda TM4 nos AAV de 180 e 90 graus, para os AZVs de 15 e 30 graus apresentaram os maiores coeficientes para os parâmetros FTV(PU), FTV(PS), FV(PU), MV(PU) e o AZV de 45° com os parâmetros FTS(PU), FTS(PS) e MS(PU).

4.5.3 - Teor de água

As correlações entre os parâmetros caracterizadores do teor de água da fitomassa e os FRBMs obtidos com a variação da geometria de visada foram fracas, com os parâmetros TAFTT, TAFTV e TAFTS apresentando valores médios gerais dos coeficientes de 0,220, 0,156 e 0,279, respectivamente.

A Figura 4.16 representa graficamente os valores dos coeficientes para as correlações dos FRBMs e os parâmetros do teor de água.

Azimutalmente, os maiores coeficientes foram observados para as correlações com os FRBMs obtidos no AAV de 180° e os menores no AAV de 0°, para todos os parâmetros, com valores médios de (0,259 e 0,245), (0,154 e 0,114) e (0,346 e 0,292), respectivamente para os AAVs de 180 e 0 graus, para os parâmetros TAFTT, TAFTV e TAFTS.

Zenitalmente, para o parâmetro TAFTT os maiores valores médios dos coeficientes foram observados para as correlações com os FRBMs obtidos no AZV de 30° (0,275) e as piores com os obtidos no AZV de 0° (0,052). Já os parâmetros TAFTV e TAFTS correlacionaram-se melhor com os obtidos no AZV de 15° ($r=0,268$ e $0,476$, respectivamente) e pior com os AZVs de 0°, para o TAFTV ($r=0,052$) e 45°, para o TAFTS ($r=0,105$).

Quanto às correlações por banda espectral, na TM4 ocorreram os maiores valores médios dos coeficientes para todos os parâmetros, com valores de 0,309; 0,196 e 0,323, respectivamente para os parâmetros TAFTT, TAFTV e TAFTS. Os menores coeficientes foram observados na banda TM3 para os parâmetros TAFTT (0,187), TAFTV (0,134) e TAFTS (0,231).

Como para as correlações com os parâmetros caracterizadores da produção e disponibilidade de componentes, observou-se um comportamento distinto do AZV de 45° para os AAV de 0 e 90 graus e do AZV de 60° para o AAV de 0°.

Devido a grande dispersão dos valores dos coeficientes verificada a nível geral, além dos valores médios apresentam-se na tabela 4.41 os valores superiores e inferiores dos coeficientes e suas respectivas geometrias de visada.

TABELA 4.41 - GEOMETRIAS DE VISADA QUE APRESENTARAM VALORES MÁXIMOS DOS COEFICIENTES PARA CADA PARÂMETRO CARACTERIZADOR DO TEOR DE ÁGUA DA FITOMASSA.

VALORES MÁXIMOS					
TAFIT		TAFIV		TAFIS	
TM4 180 30	0,66	TM4 000 15	0,52	TM4 000 15	0,61
TM3 000 45	-0,48	TM4 180 15	0,41	TM4 180 60	0,57
TM4 180 45	0,46	TM3 000 45	-0,38	TM4 090 15	0,56
TM4 000 60	-0,43	TM4 090 15	0,37	TM2 180 30	0,54
TM1 000 45	-0,42	TM4 180-30	0,34	TM4 180 30	0,54
TM4 180 60	0,40			TM2 000 15	0,52
				TM4 180 15	0,49

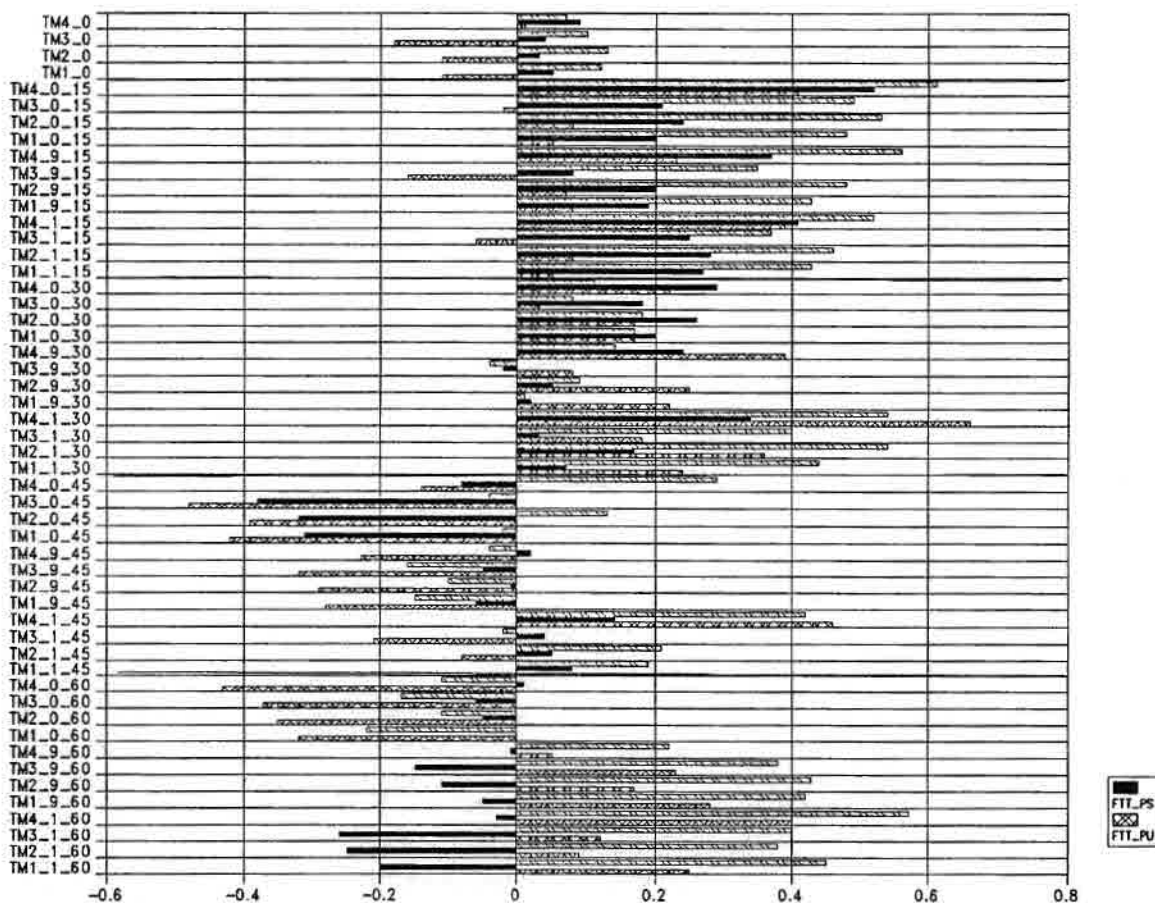


Fig.4.16- Correlograma dos valores dos coeficientes para os parâmetros caracterizadores do teor de água da fitomassa - *B. Brizantha*.

Os maiores valores médios de correlação ocorreram no AAV de 90° (-0,193), seguido dos AAV de 180° (0,185) e 0° (0,174). O AZV de 45° apresentou as melhores correlações (0,221), seguido pelo AZV de 60° (0,166) e as piores correlações ocorreram nos AZVs de 0° (0,062) e 30° (0,090). Considerando as bandas espectrais, a TM1 e a TM3 apresentaram as maiores correlações ($r = 0,163$ e $0,135$, respectivamente) e a TM4, as piores ($r = 0,131$).

Ocorreram valores de coeficientes significativos somente para as bandas TM1 e TM3 para o AAV de 90° no AZV de 45° ($r = -0,440$; $p = 0,040$ e $r = -0,400$; $p = 0,048$). Esses coeficientes negativos observados estão coerentes com o comportamento inverso esperado entre a reflectância e o IAF para essas faixas espectrais.

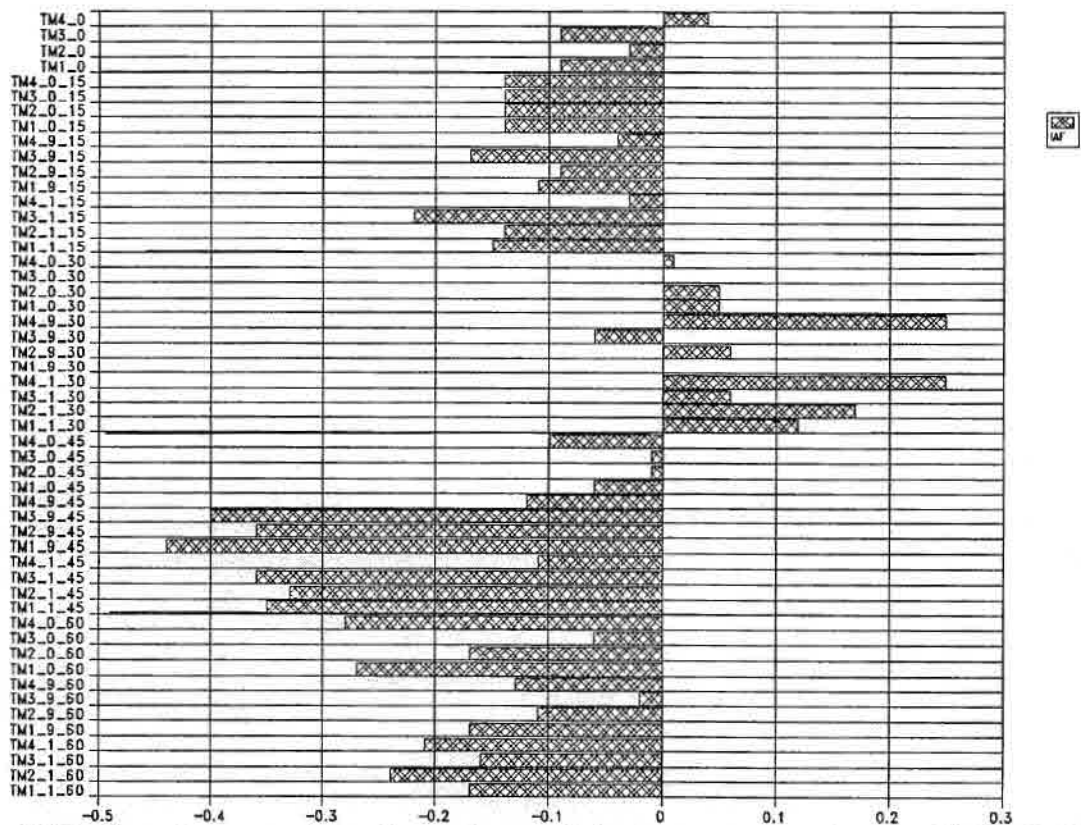


Fig.4.17- Correlograma dos valores dos coeficientes para o parâmetro IAF - *B. Brizantha*.

As melhores correlações verificadas para o AZV de 45° podem ser atribuídas à ocorrência dos picos principal (AAV de 180°) e secundário (AAV de 90°) de reflectância ("hot-spot") próximos a este AZV. Conforme Bunnik (1978) e Gerstl (1986), há uma maior sensibilidade da reflectância às alterações na distribuição angular, tamanho e densidade foliar da cobertura no "hot-spot", uma vez que nestes picos há ausência de sombreamento mútuo das folhas, ou seja, o máximo de área foliar exposta diretamente à irradiância e conseqüentemente, uma

maior reflexão. A ocorrência destes picos e o efeito da "função de fase", que caracteriza a ocorrência da forte retro-reflexão no AAV de 180° , os menores valores no AAV de 0° e valores intermediários no AAV de 90° , conferiram aos AAV de 90° e 180° as melhores correlações e ao AAV de 0° , as piores. Os menores valores no AZV de 0° , devem-se às mínimas reflectâncias que ocorreram nesse AZV, já que para coberturas erectófilas o sensor no nadir visa uma grande proporção de superfície foliar que está aproximadamente paralela ao sensor e sombreada, refletindo pouco na direção do sensor.

Fatores relacionados às características da composição da fitomassa de *B. brizantha*, à técnica convencional de estimativa do IAF utilizada e aos fatores geométricos da variação da geometria de visada, causaram os baixos valores dos coeficientes e os valores negativos para as correlações com a TM2 e a TM4.

A baixa contribuição em peso do parâmetro FV para a FTT (26%) associada à variação na relação do peso por unidade de área foliar ocorrida entre amostras com diferentes FTT, foram as principais causas dos baixos valores. Esses fatores, já explicados na etapa de caracterização e aspectos geométricos da cobertura, provocaram uma subestimação, pelas técnicas convencionais, dos parâmetros FV e IAF para as amostras com maior FTT, sendo responsáveis pelos baixos valores e pelos coeficientes negativos observados para a TM2 e a TM4 nos AZV de 15, 45 e 60 graus.

Adicionalmente, os efeitos geométricos e as propriedades ópticas da cobertura ("efeito 1" e "função de fase") provocaram uma alteração do comportamento assintótico da reflectância obtida no nadir em relação ao IAF. O efeito 1, aumentando os valores dos FRBMs, ampliou os limites da curva de reflectância para os AAV de 90 e 180 graus e a função de fase, diminuindo-os para o AAV de 0° , reduziu os limites da assíntota, principalmente para a bandas na região do visível.

A redução da assíntota com a diminuição dos FRBMs no AAV de 0° , pode ser entendida como uma subestimação do IAF pela variação da geometria de visada, que compensou a subestimação ocorrida pelas técnicas convencionais, justificada pelo fato do AAV de 0° apresentar os maiores valores médios do coeficiente de correlação (-0,121) entre todos os AAV.

Embora não estatisticamente significativa, a tendência de valores positivos dos coeficientes no AZV de 30° , podem ser atribuídas à queda na reflectância ocorrida em relação ao AZV de 15° e ao nadir, para os AAV de 0 e 90 graus, subestimando o IAF e à pequena variação azimutal e zenital ocorrida para este zênite no AAV de 180° .

4.6 - Relação funcional entre a reflectância bidirecional multiespectral obtida nas diferentes geometrias de visada e os parâmetros biofísicos da vegetação herbácea em pastagens compostas por *Brachiaria decumbens*.

Os valores dos coeficientes para as correlações entre a reflectância bidirecional multiespectral e os parâmetros biofísicos, estão apresentados na Tabela 4.42, os valores médios dos coeficientes das correlações por AAV, AZV, banda espectral e por parâmetro biofísico, estão na Tabela 4.43. As representações gráficas desses valores (correlogramas) estão nas Figuras 4.18, 4.19 e 4.20.

Primeiramente, realizou-se uma descrição geral da distribuição dos valores dos coeficientes para as correlações entre os FRBMs obtidos em diferentes geometrias de visada e os parâmetros biofísicos. Em seguida analisaram-se as relações específicas entre os FRBMs e os parâmetros biofísicos que caracterizam a produção, a disponibilidade de componentes, o teor de água e a estrutura geométrica da cobertura de *B. decumbens*.

Para tanto, foram calculadas as médias dos valores em módulo (considerando-se todos os coeficientes como positivos) dos coeficientes de correlação por AAV, AZV, banda espectral e parâmetro biofísico.

TABELA 4.42 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO ENTRE OS FRBM_s OBTIDOS NAS DIFERENTES GEOMETRIAS DE VISADA E OS PARÂMETROS BIOFÍSICOS EM PASTAGENS COMPOSTAS POR *Brachiaria decumbens*.

BANDAS	FTT_PU	FTV_PU	FTS_PU	FTT_PS	FTV_PS	FTS_PS	FV_PU	FS_PU	MV_PU	MS_PU	TAFTT	TAFTV	TAFIS	IAP
TM1_180_60	-0,05	0,02	-0,11	-0,03	0,20	-0,15	-0,12	0,03	-0,12	0,17	-0,07	-0,18	0,13	0,11
TM2_180_60	-0,03	0,01	-0,08	-0,03	0,23	-0,14	-0,19	0,08	-0,13	0,04	-0,03	-0,22	0,18	0,10
TM3_180_60	-0,22	-0,15	-0,23	-0,22	0,15	-0,27	-0,27	0,00	-0,25	-0,01	-0,14	-0,38	0,17	-0,05
TM4_180_60	0,64	0,68	0,34	0,62	0,61	0,26	0,44	0,45	0,50	0,35	0,50	0,42	0,10	0,53
TM1_090_60	0,06	0,14	-0,06	0,02	0,27	-0,23	-0,23	-0,11	0,00	0,20	0,19	-0,07	0,44	-0,14
TM2_090_60	0,21	0,27	0,05	0,15	0,34	-0,17	-0,15	0,01	0,16	0,13	0,30	0,07	0,52	0,19
TM3_090_60	-0,09	-0,01	-0,16	-0,14	0,19	-0,29	-0,24	-0,15	-0,13	0,11	0,08	-0,21	0,38	0,07
TM4_090_60	0,58	0,51	0,42	0,53	0,22	0,26	0,17	0,22	0,56	0,15	0,53	0,56	0,26	0,36
TM1_000_60	0,12	0,13	0,05	0,08	0,15	-0,04	-0,13	0,06	0,07	-0,04	0,20	0,05	0,20	0,30
TM2_000_60	0,16	0,14	0,12	0,12	0,11	0,01	-0,18	0,06	0,13	0,01	0,25	0,10	0,24	0,21
TM3_000_60	0,07	0,06	0,05	0,02	0,09	-0,04	-0,23	0,01	0,04	0,00	0,19	0,00	0,20	0,22
TM4_000_60	0,27	0,22	0,22	0,24	0,13	0,10	0,01	0,25	0,29	0,08	0,29	0,21	0,23	0,10
TM1_180_45	0,46	0,38	0,38	0,42	0,35	0,24	0,08	0,27	0,24	0,31	0,44	0,23	0,22	0,37
TM2_180_45	0,55	0,42	0,49	0,52	0,31	0,41	0,16	0,35	0,34	0,24	0,47	0,34	0,05	0,55
TM3_180_45	0,36	0,29	0,30	0,30	0,37	0,14	0,00	0,28	0,16	0,37	0,42	0,08	0,31	0,22
TM4_180_45	0,59	0,52	0,43	0,56	0,34	0,35	0,20	0,32	0,41	0,13	0,47	0,45	0,06	0,59
TM1_090_45	0,01	0,09	-0,09	-0,02	0,25	-0,18	-0,20	0,01	-0,10	0,26	0,08	-0,12	0,23	0,01
TM2_090_45	0,11	0,13	0,03	0,08	0,24	-0,05	-0,16	0,05	0,00	0,24	0,16	-0,04	0,19	0,11
TM3_090_45	0,05	0,11	-0,04	0,03	0,26	-0,13	-0,19	0,15	-0,03	0,35	0,11	-0,10	0,23	0,02
TM4_090_45	0,53	0,45	0,42	0,51	0,34	0,34	0,15	0,33	0,41	0,26	0,42	0,35	0,06	0,49
TM1_000_45	0,10	0,17	-0,03	0,05	0,34	-0,15	-0,15	0,06	0,00	0,13	0,20	-0,09	0,30	0,02
TM2_000_45	0,14	0,15	0,06	0,10	0,29	-0,05	-0,14	0,10	0,01	0,07	0,21	-0,06	0,25	0,11
TM3_000_45	0,09	0,11	0,03	0,05	0,26	-0,09	-0,17	0,08	-0,02	0,14	0,18	-0,10	0,30	0,02
TM4_000_45	0,23	0,19	0,19	0,20	0,19	0,15	-0,03	0,22	0,13	0,10	0,25	0,10	0,06	0,25
TM1_180_30	-0,02	-0,05	0,02	-0,07	0,08	-0,13	-0,28	-0,07	-0,12	0,03	0,13	-0,16	0,35	0,03
TM2_180_30	0,00	-0,07	0,09	-0,05	0,03	-0,03	-0,30	-0,10	-0,14	-0,03	0,15	-0,14	0,27	0,11
TM3_180_30	-0,03	-0,11	0,09	-0,07	0,02	-0,04	-0,29	-0,08	-0,15	-0,03	0,10	-0,20	0,30	0,02
TM4_180_30	0,21	0,19	0,14	0,18	0,05	0,13	-0,12	0,03	0,11	-0,09	0,21	0,24	-0,01	0,39
TM1_090_30	0,06	0,00	0,11	0,03	0,05	0,05	-0,02	-0,15	-0,12	0,03	0,15	-0,04	0,11	0,34
TM2_090_30	0,02	-0,11	0,18	-0,01	-0,13	0,15	-0,08	-0,15	-0,13	-0,08	0,13	-0,03	0,01	0,37
TM3_090_30	0,05	-0,03	0,05	0,01	0,14	-0,03	-0,09	-0,19	-0,17	0,05	0,14	-0,09	0,19	0,24
TM4_090_30	0,25	0,18	0,23	0,23	-0,02	0,20	-0,04	-0,01	0,13	-0,05	0,23	0,30	0,01	0,45
TM1_000_30	0,08	-0,01	0,17	0,00	0,04	0,04	-0,26	0,12	-0,01	-0,19	0,31	-0,07	0,26	0,14
TM2_000_30	0,07	-0,09	0,23	-0,01	-0,09	0,12	-0,27	0,06	-0,03	-0,22	0,29	-0,04	0,20	0,22
TM3_000_30	0,06	-0,04	0,16	-0,04	0,06	0,02	-0,26	0,08	-0,05	-0,17	0,33	-0,12	0,29	0,12
TM4_000_30	0,15	0,04	0,24	0,11	-0,06	0,20	-0,16	0,02	0,03	-0,13	0,23	0,11	0,01	0,39
TM1_180_15	0,29	0,28	0,19	0,27	0,30	0,04	0,24	0,44	0,23	0,09	0,27	0,13	0,31	0,37
TM2_180_15	0,39	0,38	0,25	0,35	0,44	0,06	0,30	0,44	0,35	0,13	0,40	0,14	0,39	0,44
TM3_180_15	0,00	0,00	-0,01	-0,01	0,13	-0,19	-0,01	0,22	-0,06	-0,16	0,01	-0,13	0,43	0,10
TM4_180_15	0,65	0,66	0,38	0,59	0,49	0,25	0,36	0,41	0,68	0,43	0,64	0,53	0,21	0,43
TM1_090_15	0,35	0,34	0,22	0,32	0,36	0,04	0,05	0,44	0,26	0,35	0,30	0,15	0,38	0,19
TM2_090_15	0,37	0,36	0,23	0,32	0,42	0,05	0,13	0,36	0,33	0,33	0,41	0,13	0,38	0,28
TM3_090_15	0,15	0,21	0,02	0,12	0,40	-0,17	0,10	0,24	0,13	0,16	0,20	-0,09	0,45	0,14
TM4_090_15	0,52	0,50	0,32	0,46	0,35	0,26	0,20	0,36	0,53	0,39	0,51	0,42	0,06	0,30
TM1_000_15	0,00	0,07	-0,08	0,01	0,10	-0,16	-0,12	0,18	-0,08	-0,20	-0,03	0,00	0,22	-0,14
TM2_000_15	0,05	0,11	-0,05	0,05	0,11	-0,11	0,01	0,13	0,01	-0,29	0,03	0,06	0,16	0,03
TM3_000_15	-0,09	0,00	-0,16	-0,06	0,04	-0,19	-0,10	0,03	-0,16	-0,34	-0,15	-0,04	0,13	-0,09
TM4_000_15	0,38	0,40	0,20	0,32	0,26	0,09	0,22	0,30	0,35	0,16	0,41	0,35	0,22	0,28
TM1_----_00	0,09	0,09	0,06	0,07	0,20	-0,15	0,05	0,22	0,07	-0,06	0,14	-0,06	0,48	0,09
TM2_----_00	0,18	0,14	0,16	0,14	0,18	-0,03	0,09	0,24	0,16	-0,09	0,24	0,03	0,42	0,19
TM3_----_00	0,04	0,01	0,06	0,03	0,09	-0,13	-0,09	0,05	-0,04	-0,15	0,06	-0,07	0,44	0,09
TM4_----_00	0,43	0,37	0,32	0,38	0,19	0,22	0,26	0,36	0,44	0,02	0,42	0,37	0,15	0,34

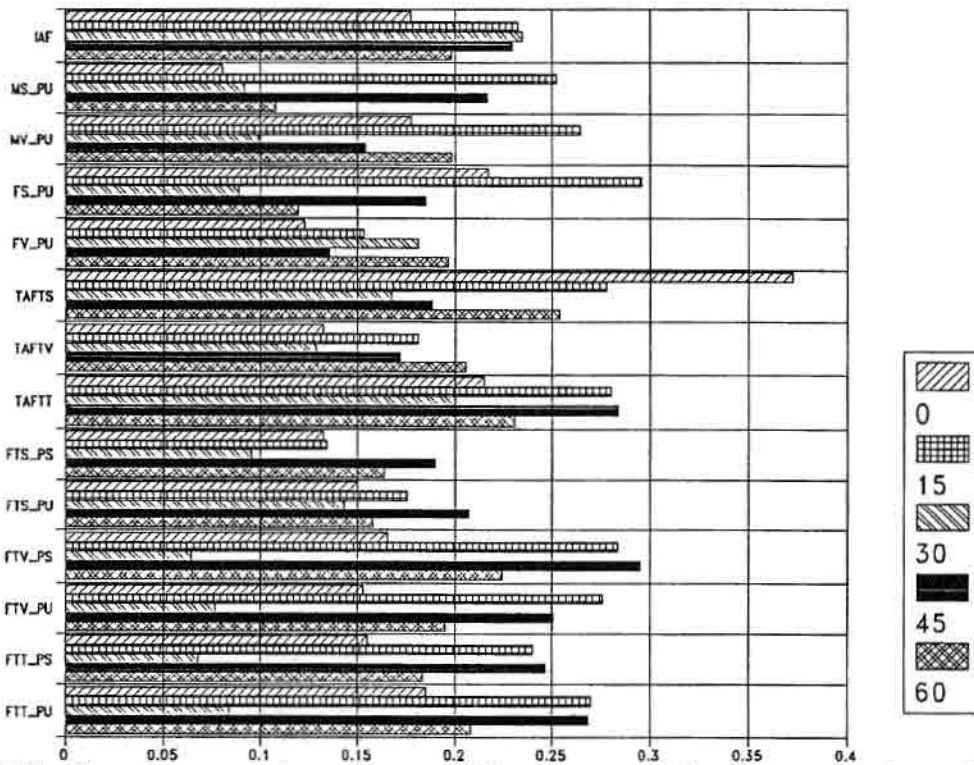


Fig. 4.19- Correlograma dos valores médios dos coeficientes para cada parâmetro biofísico por AZV -*B. decumbens*..

O AZV de 15° apresentou os maiores valores médios dos coeficientes (0,237), seguido dos AZVs de 45, 0, 60 e 30 graus, com valores médios de 0,216; 0,189; 0,174 e 0,123, respectivamente.

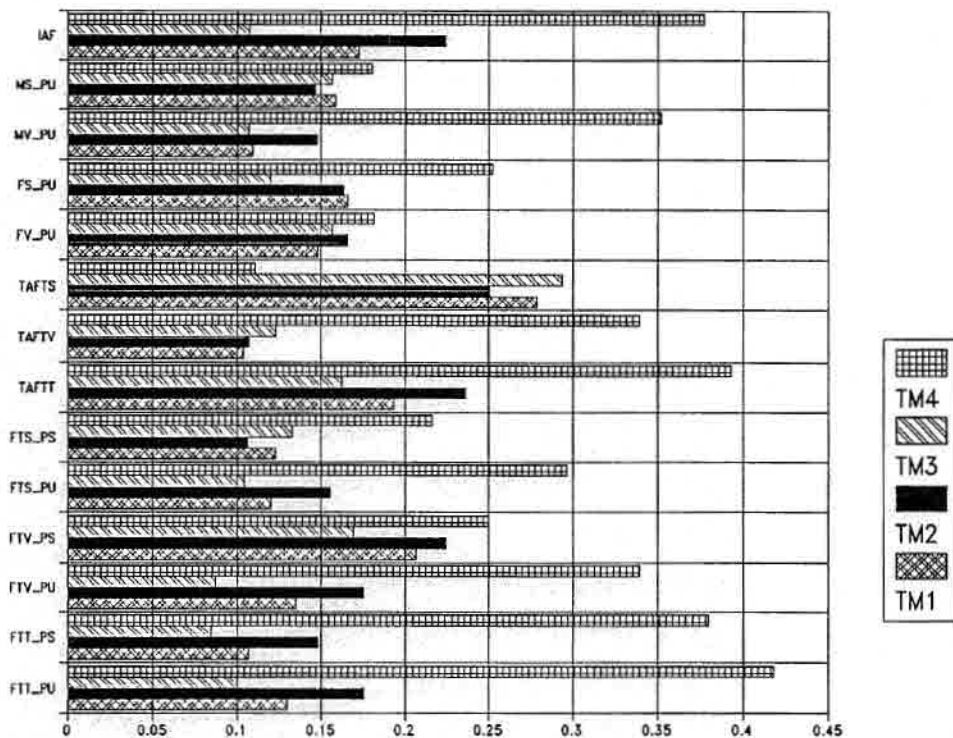


Fig. 4.20 - Correlograma dos valores médios dos coeficientes para cada parâmetro biofísico por banda espectral -*B. decumbens*..

Os valores médios dos coeficientes por faixa espectral foram superiores na banda TM4 (0,294), apresentando um decréscimo para as bandas TM2 (0,174), TM1 (0,154) e TM3 (0,136).

Os parâmetros biofísicos caracterizadores da produção de fitomassa apresentaram os maiores valores médios dos coeficientes de correlação, seguidos dos caracterizadores do teor de água, do IAF e da disponibilidade dos componentes da fitomassa.

4.6.1 - Produção

Em nível geral as correlações foram fracas, sendo que os coeficientes para os parâmetros caracterizadores da produção da fitomassa (FTT) foram maiores para os valores em peso úmido (0,206) em relação aos em peso seco (0,105).

O AAV de 180° apresentou as melhores correlações, com valores médios dos coeficientes de 0,242 e 0,227, e o AAV de 0° as piores, com valores de 0,212 e 0,189, respectivamente para os pesos úmidos e secos da fitomassa total.

Quanto aos ângulos zenitais, as maiores correlações ocorreram nos AZVs de 45°, para a FTT(PU) (0,268) e para a FTT(PS) (0,247) e as menores no AZV de 30° para a FTT(PU) (0,083) e FTT(PS) (0,067).

Em relação às bandas espectrais, as maiores correlações aconteceram para a banda TM4 e as menores para a TM3, para os valores em peso úmido (0,417 e 0,100) e seco (0,379 e 0,084).

Considerando-se as melhores correlações, a Tabela 4.44 apresenta as geometrias de visada com os valores máximos dos coeficientes. A figura 4.21 apresenta o correlograma para os parâmetros da produção de fitomassa.

TABELA 4. 44- GEOMETRIAS DE VISADA QUE APRESENTARAM VALORES MÁXIMOS DOS COEFICIENTES PARA CADA PARÂMETRO CARACTERIZADOR DA PRODUÇÃO DE FITOMASSA.

VALORES MÁXIMOS			
FTT(PU)		FTT(PS)	
TM4 180 15	0,65	TM4 180 60	0,62
TM4 180 60	0,64	TM4 180 15	0,59
TM4 180 45	0,59	TM4 180 45	0,56
TM4 090 60	0,58	TM4 090 60	0,53
TM2 180 45	0,55	TM2 180-45	0,52
TM4 090 45	0,53	TM4 090 45	0,51

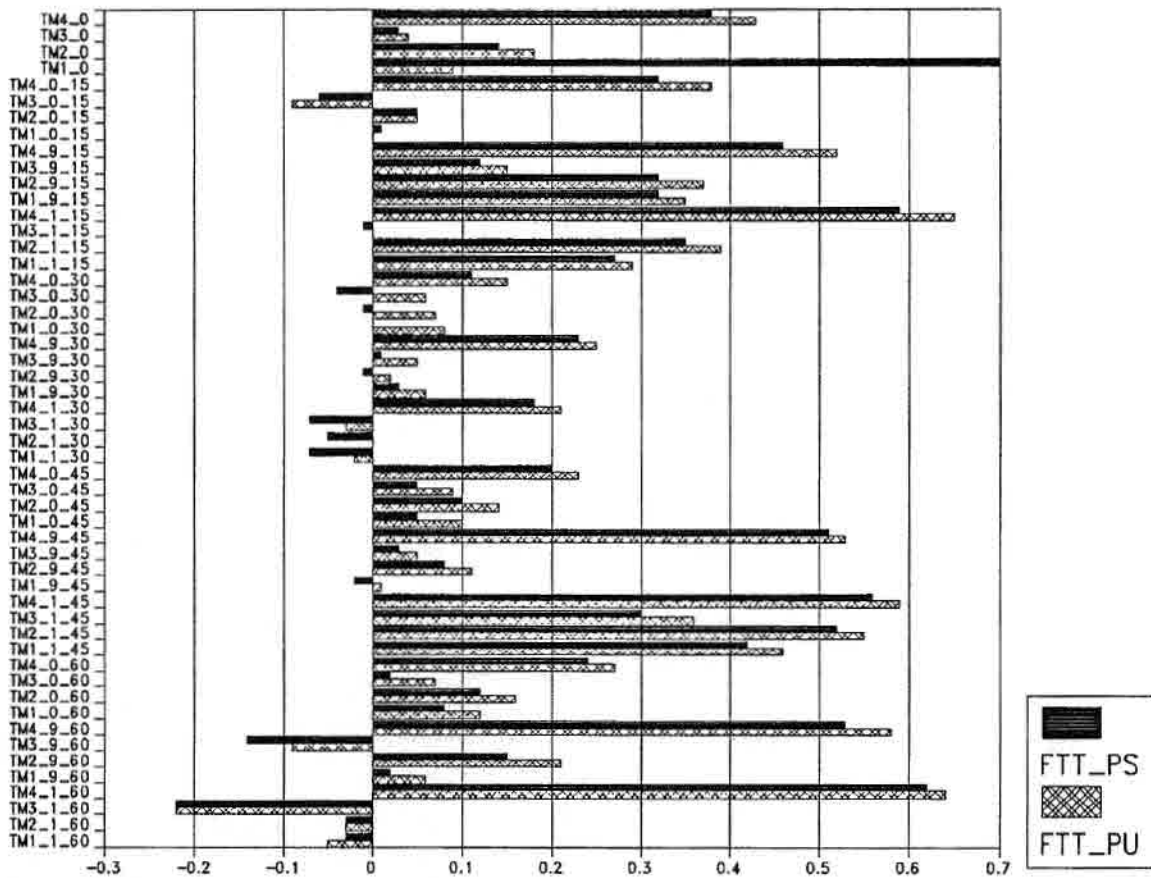


Fig. 4.21- Correlograma para os valores dos coeficientes dos parâmetros caracterizadores da produção de fitomassa -*B. decumbens*..

Os maiores coeficientes observados para os valores em peso úmido da fitomassa total (FTT), são justificados pela alta correlação entre os valores em peso seco e úmido desse parâmetro ($r=0,970$; $p=0,001$), indicando que o teor de água variou pouco. De fato, o parâmetro TAFIT teve uma variação de 25%, a menor entre os parâmetros caracterizadores do teor de água; mas o valor do coeficiente de 0,570 ($p=0,003$) para a correlação com a FTT(PS), evidencia uma leve tendência a aumentar com a fitomassa total. Adicionalmente, a análise do diagrama de dispersão indicou uma menor dispersão para os valores em peso úmido.

As melhores correlações entre os valores em peso úmido e seco da fitomassa e os FRBMs obtidos no AZV de 45° , no pico de retro-reflexão, estão associadas, segundo Bunnik (1978); Gerstl (1986); Guyot (1984) e Kimes (1983 e 1984), à maior intensidade e à maior sensibilidade da reflectância quanto à estrutura geométrica e propriedades ópticas da cobertura.

Conforme Kimes (1984), para coberturas próximas a erectófilas, no AAV de 0° , ocorrem os mínimos valores de reflectância, devido aos efeitos dos mecanismos da "função de fase" o sensor visa uma alta proporção de faces sombreadas dos componentes da vegetação, que não estão expostas diretamente à irradiação solar direta, gerando um sinal fraco e com ruídos da reflectância difusa, predominante nesse azimute. Adicionalmente, esse azimute apresentou a maior variabilidade amostral total entre todos os azimutes, que acarretou uma maior dispersão dos dados.

Os menores valores médios observados no AZV de 30° , devem-se à maior variabilidade amostral apresentada por este AZV para os AAV de 0° (70,06%), 180° (68,99%) e 90° (61,09%), que ocasionou uma maior dispersão dos dados e, conseqüentemente, menores valores para os coeficientes.

As maiores correlações para o IVP devem-se à maior penetração dessa faixa na cobertura e espelhamento múltiplo entre as camadas (Allen e Richardson, 1968) e, conseqüentemente, valores superiores de reflectância, que representam melhor o volume e a densidade vertical da fitomassa. Além disso, o "efeito geométrico 1" (Kimes, 1983) maximiza a reflectância com o aumento do AZV, ampliando os limites assintóticos e melhorando a representatividade da fitomassa amostrada.

Para a região do visível, principalmente para as bandas de absorção, que caracterizam-se pela diminuição da reflectância com o aumento da fitomassa, a maior absorção e menor espalhamento múltiplo condicionam limites assintóticos inferiores aos observados para o IVP. Adicionalmente, o efeito geométrico 1, aumentando a reflectância com o AZV, confere um comportamento oposto ao verificado no nadir, diminuindo o potencial dessas bandas para representar o volume da fitomassa.

Os parâmetros FTT(PU) e FTT(PS) tiveram seus valores máximos dos coeficientes nas mesmas geometrias de visada específicas, onde ocorreram a maior intensidade da reflectância. Os altos valores observados indicam o potencial dessas geometrias de visada para a extração de informação da produção de fitomassa.

4.6.2 - Disponibilidade dos componentes

Em geral, os valores médios para as correlações entre os parâmetros caracterizadores da disponibilidade dos componentes da fitomassa apresentaram baixos valores dos coeficientes. Os coeficientes para os componentes da FTV foram superiores aos verificados para os componentes da FTS. Para o parâmetro FTV, os valores dos coeficientes para os seus pesos secos (0,213) foram superiores aos para os seus pesos úmidos (0,184). Em contrapartida, o parâmetro FTS apresentou os maiores coeficientes para os seus pesos úmidos (0,169) em relação aos seus pesos secos (0,144).

Para os componentes da FTV(PU), o parâmetro MV(PU) apresentou melhores correlações (0,179) em relação a FV(PU) (0,163), enquanto que para os componentes da FTS(PU), o coeficiente para FS(PU) (0,175) foi superior ao do parâmetro MS(PU) (0,160).

Para a maioria dos parâmetros os maiores valores médios foram verificados no AAV de 180°, com valores de 0,194; 0,222; 0,181; 0,215; 0,194 e 0,161, respectivamente para os parâmetros FTV(PU), FTS(PU), FTS(PS), FV(PU), MV(PU) e MS(PU). Os parâmetros FTV(PS) e FS(PU) apresentaram os maiores valores no AAV de 90°, com valores de 0,249 e 0,176, respectivamente. O AAV de 0° apresentou os menores valores dos coeficientes para todos os parâmetros.

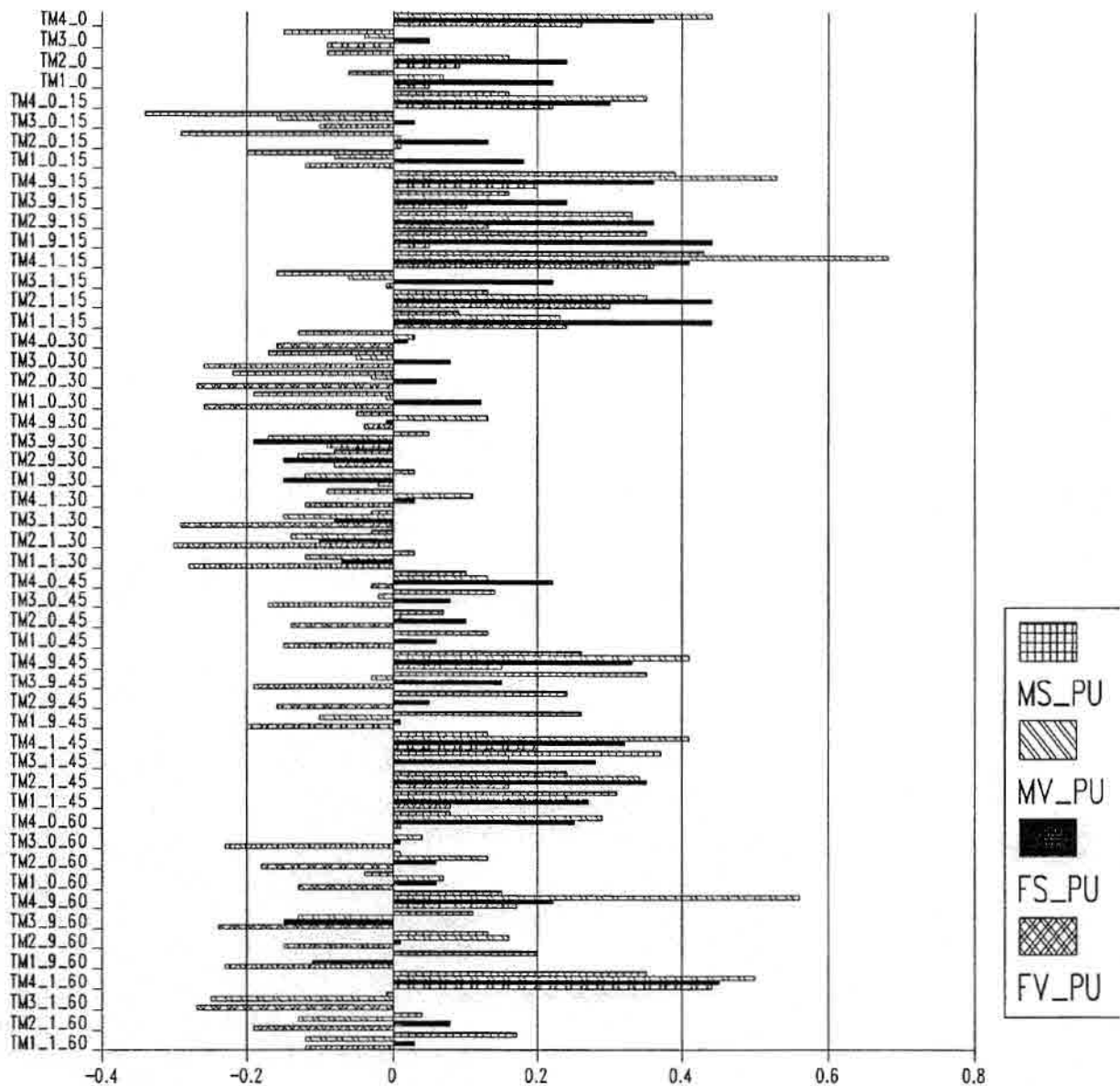
Quanto aos AZV, as mais fortes correlações ocorreram entre os parâmetros e os FRBMs obtidos nos AZVs de 15°, para a FTV(PU) ($r=0,276$), FS(PU) ($r=0,296$), MV(PU) ($r=0,264$) e MS(PU) ($r=0,252$); de 45° para a FTV(PS) ($r=0,295$), FTS(PU) ($r=0,207$) e FTS(PS) ($r=0,190$); e de 30°, para o parâmetro FV(PU) ($r=0,191$). As mais fracas correlações aconteceram nos AZVs de 0°, para os parâmetros FTS(PU) ($r=0,150$), FV(PU) ($r=0,122$) e MS(PU) ($r=0,080$) e de 30°, para os parâmetros FTV(PU) ($r=0,077$), FTV(PS) ($r=0,064$), FTS(PS) ($r=0,095$), FS(PU) ($r=0,088$) e MV(PU) ($r=0,099$).

A TM4 foi a banda que melhor se correlacionou com todos os parâmetros, e a TM3 apresentou as piores correlações para a maioria dos parâmetros, com exceção para os componentes FTS(PS) ($r=0,106$) e MS(PU) ($r=0,146$), que se correlacionaram mais fracamente com a TM2 e o componente FV(PU), pior com a TM1 (0,148).

Para uma análise detalhada dos melhores ângulos na aquisição de cada parâmetro, a Tabela 4.45 apresenta as geometrias de visada onde ocorreram os maiores valores dos coeficientes e a Figura 4.22 representa graficamente os valores dos coeficientes.

TABELA 4.46 - GEOMETRIAS DE VISADA QUE APRESENTARAM VALORES MÁXIMOS DOS COEFICIENTES PARA CADA PARÂMETRO CARACTERIZADOR DOS COMPONENTES DA FITOMASSA.

VALORES MÁXIMOS							
FTV(PU)		FTV(PS)		FTS(PU)		FTS(PS)	
TM4 180 60	0,68	TM4 180 60	0,61	TM2 180 45	0,49	TM2 180 45	0,41
TM4 180 15	0,66	TM4 180 15	0,49	TM4 180 45	0,43	TM4 180 45	0,35
TM4 180 45	0,52	TM2 180 15	0,44	TM4 090 60	0,42	TM4 090 45	0,34
TM4 090 60	0,51	TM2 090 15	0,42	TM4 090 45	0,42		
TM4 090 15	0,50	TM3 090-15	0,42				
TM4 090 45	0,45						
TM2 180 45	0,42						



Os maiores coeficientes observados para a FTV em relação a FTS devem-se à maior sensibilidade espectral, às propriedades ópticas dos constituintes fotossinteticamente ativos e às propriedades reflexivas do mesófilo das folhas verdes. Deve-se também à maior proporção dos componentes da FTV na cobertura e à menor variabilidade apresentada por esses componentes em relação aos da FTS. A proporção da FTV foi de 61,48% e a variabilidade de 26%, contra a proporção de 38,52% e a variabilidade de 40% da FTS.

Para a FTS, os valores superiores dos coeficientes para o peso úmido em relação ao peso seco, devem-se à variabilidade verificada para o parâmetro TAFTV (26%), confirmada pelo baixo valor do coeficiente para a correlação entre os parâmetros FTV(PS) e TAFTV ($r = 0,160$; $p = 0,444$). Seguindo essa lógica, o parâmetro FTS deveria também apresentar valores superiores dos coeficientes para o peso seco, já que o TAFTS apresentou uma variabilidade de 63%, mas contraditoriamente, foram observados valores superiores dos coeficientes para os valores em peso úmido e uma correlação moderada entre a FTS(PS) e o TAFTS ($r = -0,47$; $p = 0,004$). A resposta para essa contradição foi obtida através da análise do diagrama de dispersão para as correlações entre a FTV(PS) e o TAFTV e FTS(PS) e TAFTS, onde se observou uma maior dispersão para a fitomassa verde, indicando que, embora a variabilidade relativa da fitomassa seca e do seu teor de água sejam superiores, em termos absolutos a maior proporção da fitomassa verde ocasionou maiores variações e uma maior dispersão dos dados.

Para as correlações entre os FRBMs e o parâmetro FV(PU) eram esperadas melhores correlações em relação ao MV(PU), no entanto observaram-se maiores valores para as relações com o MV(PU). Dois motivos principais ocasionaram esse comportamento. Primeiro, a baixa contribuição em peso do parâmetro e sua maior variabilidade FV(PU) para a FTT(PU) (25% e 39%, respectivamente) em relação ao MV(PU) (36% e 32%, respectivamente). Segundo, a variação na relação do peso por unidade de área foliar, que causou a subestimação desse parâmetro para as amostras com maior fitomassa.

Os maiores coeficientes observados para a FS(PU) em relação ao MS(PU), devem-se à maior proporção e à menor variabilidade da FS(PU) (23% e 38%, respectivamente) em relação ao MS(PU) (14% e 57%, respectivamente).

As melhores correlações verificadas entre os FRBMs obtidos no AAV de 180 e 90 graus e as piores no AAV de 0°, são justificadas pela ocorrência dos picos principal e secundário de reflectância nesses AAV, resultantes da atuação do efeito geométrico 1, dependente da EGV e da função de fase, relacionada às propriedades ópticas dos constituintes da cobertura, conforme princípios físicos já explicados.

Conforme Kimes (1983; 1984) e Simmer e Gerstl (1985), para coberturas completas, o sinergismo entre os efeitos "função de fase" e "efeito 1" na determinação da distribuição angular dos FRBMs, é caracterizado pela maior intensidade de atuação do mecanismo "função de fase" para AZV pequenos (geralmente até 30°) e do "efeito 1" para AZV extremos. A variação na intensidade desses efeitos determinam o conteúdo da informação espectral. Para pequenos AZVs, mais informação sobre as propriedades ópticas dos constituintes da cobertura e para grandes AZVs, mais sobre as características da estrutura geométrica da cobertura.

Seguindo essa lógica, a discriminação da fitomassa verde em relação à seca é maior em AZVs pequenos, justificando a ocorrência dos maiores coeficientes para a FTV(PU), FTS(PU) no AZV de 15° e para a FV(PU) no AZV de 30°, enquanto a informação sobre a densidade vertical da fitomassa é maior em AZVs extremos, corroborando os maiores coeficientes para a FTV(PS), FTS(PS) no AZV de 45°.

Os menores valores para a FTV(PU), FTV(PS), FS(PU) e MV(PU) no AZV de 30°, não eram teoricamente esperados, mas a maior variabilidade amostral nesse AZV causou uma maior dispersão dos dados, comprometendo os relacionamentos com os parâmetros biofísicos.

As melhores correlações para todos os parâmetros ocorridas na TM4 são justificadas pelos efeitos da variação da geometria de visada nessa banda atuarem proporcionalmente de modo direto, acentuando as propriedades de reflexão da cobertura, em relação às bandas no visível, principalmente na TM3, onde atuam de modo inverso, descaracterizando o comportamento da diminuição da reflectância com o aumento da fitomassa, já que ocorre o aumento da reflectância com o aumento do AZV. Considerando as geometrias de visada específicas onde ocorreram os melhores coeficientes, observa-se uma similaridade para todos os parâmetros em relação aos comportamentos relatados na discussão para os valores médios.

4.6.3 - Teor de água

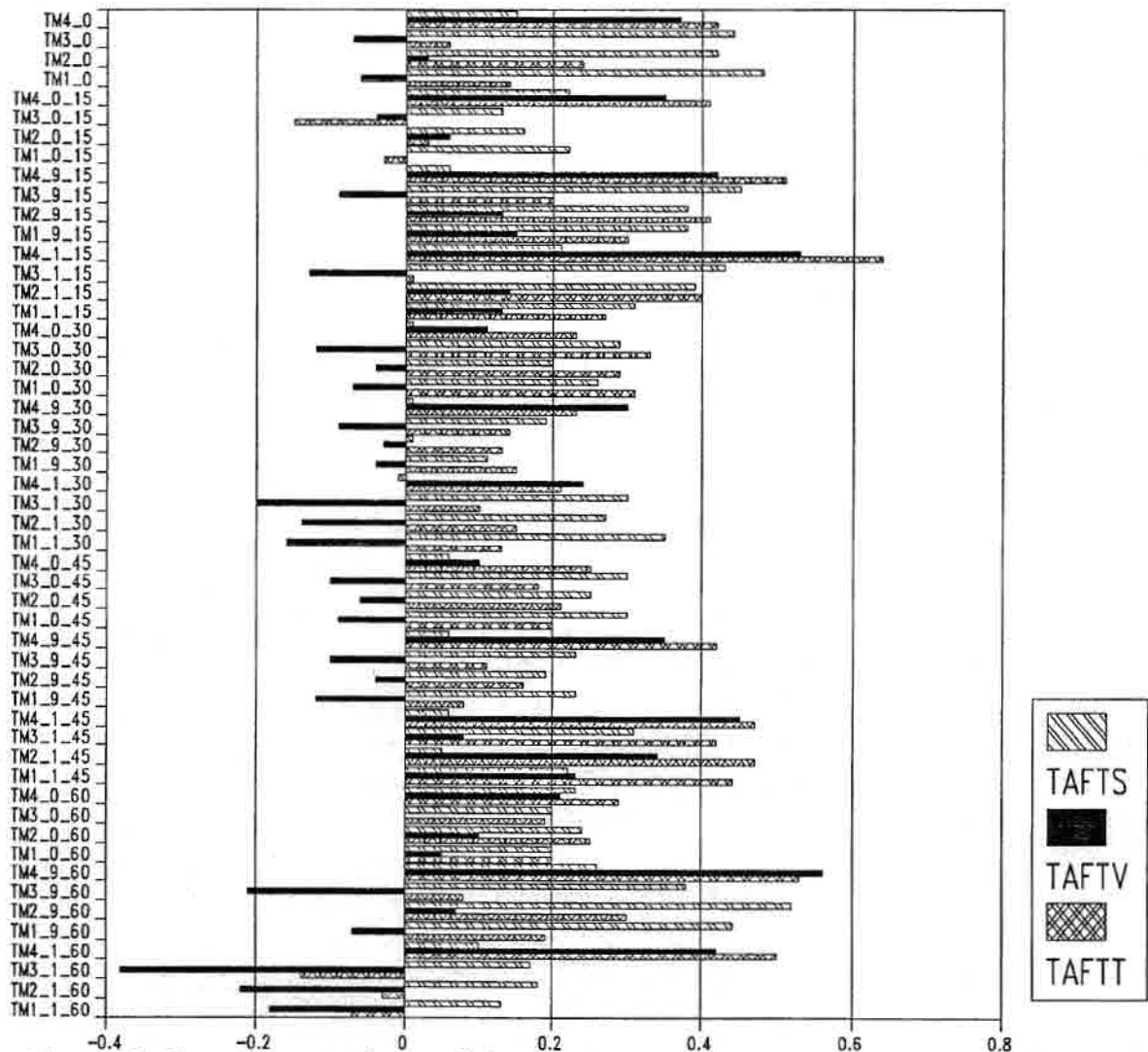
Os parâmetros TAFTT, TAFTV e TAFTS apresentaram correlações fracas com os FRBMs obtidos com variação da geometria de visada, com valores médios de 0,246; 0,160 e 0,233, respectivamente. A Figura 4.23 ilustra os valores dos coeficientes para as correlações com os parâmetros do teor de água.

Quanto aos ângulos azimutais, os AAV de 180 e 0 graus apresentaram os maiores e menores valores médios para as correlações com os parâmetros TAFTT (0,262 e 0,245) e TAFTV (0,230 e 0,171). Para o parâmetro TAFTS

ocorreu a situação inversa, com os maiores valores no AAV de 0° (0,223) e os menores no AAV de 180° (0,173).

O parâmetro TAFIT apresentou o maior e o menor valor médio nos AZVs de 45 e 30 graus (0,284 e 0,200; respectivamente), o TAFTV nos AZVs de 60 e 30 graus (0,205 e 0,128) e o TAFTS nos AZVs de 0 e 30 graus (0,372 e 0,167).

Espectralmente, para os parâmetros TAFIT e TAFTV, observaram-se melhores correlações com a TM4 (com valores médios de 0,393 e 0,339; respectivamente) e as piores com a TM3 (0,162) e com a TM1 (0,104), respectivamente. O TAFTS apresentou um comportamento inverso, com as melhores na TM3 (0,294) e as piores na TM4 (0,111).



Embora a maioria das correlações tenham sido fracas, em determinadas geometrias de visada foram observadas fortes correlações, que estão destacadas na Tabela 4.46.

TABELA 4.46 - GEOMETRIAS DE VISADA QUE APRESENTARAM VALORES MÁXIMOS DOS COEFICIENTES PARA CADA PARÂMETRO CARACTERIZADOR DO TEOR DE ÁGUA DA FITOMASSA.

VALORES MÁXIMOS					
TAFTT		TAFTV		TAFTS	
TM4 180 15	0,64	TM4 090 60	0,56	TM2 090 60	0,52
TM4 090 60	0,53	TM4 180 15	0,53	TM1 ---- 00	0,48
TM4 090 15	0,51	TM4 180 45	0,45	TM3 090 15	0,45
TM4 180 60	0,50	TM4 090 15	0,42	TM4 180 45	0,45
TM2 180 45	0,47	TM4 180-60	0,42	TM3 ---- 00	0,44
TM4 180 45	0,44			TM1 090 60	0,44
TM1 180-45	0,42			TM3 180 15	0,43

Considerando que a estimativa espectral do teor de água da fitomassa está altamente relacionada às propriedades de reflectância da fitomassa, principalmente para a faixa do IVP, é necessária uma análise do relacionamento entre os parâmetros caracterizadores do teor de água e da fitomassa.

O parâmetro TAFTT apresentou valores moderados dos coeficientes para as correlações com a FTT(PS) ($r=0,572$; $p=0,003$), FTV(PS) ($r=0,527$; $p=0,003$) e baixos com a FTS(PS) ($r=0,386$; $p=0,251$). O TAFTV apresentou uma alta correlação com a FTT(PS) ($r=0,871$; $p=0,000$) e moderada com a FTV(PS) ($r=0,360$; $p=0,250$). Para o TAFTS ocorreram baixa correlação com a FTT(PS) ($r=0,020$; $p=0,923$) e moderada com o FTS(PS) ($r=-0,470$; $p=0,285$). Os valores moderados e baixos observados para essas correlações são justificados pela alta variabilidade observada nos parâmetros TAFTT (25%), TAFTV (31%) e TAFTS (63%).

Os médios, assim como os máximos valores observados para o teor de água, ocorreram em geometrias de visada similares às verificadas para os parâmetros caracterizadores da produção da fitomassa, corroborando a afirmativa da alta relação com as propriedades da fitomassa.

4.6.4 - Índice de Área Foliar (IAF)

As relações entre os FRBMs obtidos nas diferentes geometrias de visada e o parâmetro IAF não foram claras, com um valor médio do coeficiente de 0,220. A figura 4.24 apresenta o correlograma para o parâmetro IAF.

Os maiores valores para as correlações ocorreram no AAV de 90° (0,260), seguidos do AAV de 180° (0,257) e 0° (0,251). O AZV de 45° apresentou as melhores correlações, com um valor médio do coeficiente de 0,236 e o AZV de 0° , as piores, com um valor médio de 0,177. Espectralmente, a TM4 apresentou as melhores correlações (0,377) e a TM3, as piores (0,108).

Como verificado para *B. brizantha* o parâmetro IAF correlacionou-se mais fortemente com os FRBMs obtidos nos picos de reflexão primário (AAV de 180° , AZV de 45°) e secundário (AAV de 90° , AZV de 45°), devido a maior sensibilidade da reflectância às alterações na distribuição angular, tamanho e densidade foliar da cobertura. (Bunnick, 1987).

Pelos mesmos motivos observados para *B. brizantha*, o parâmetro IAF foi subestimado pelas técnicas convencionais, principalmente para as amostras com maior fitomassa, sendo um dos principais fatores para as fracas correlações.

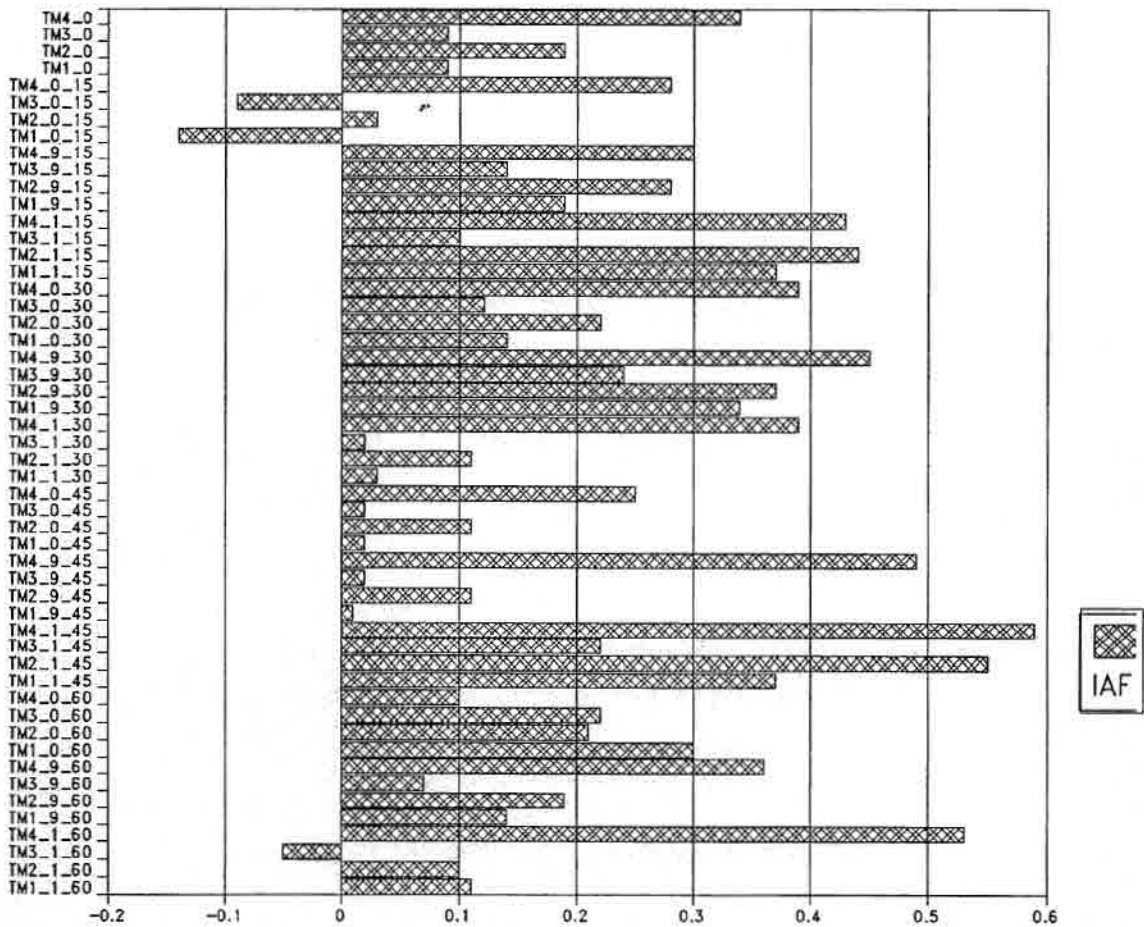


Fig. 4.24 - Correlograma dos valores dos coeficientes de correlação entre os FRBMs obtidos em diferentes AAV e AZV e o parâmetro IAF da fitomassa. - *B. decumbens*

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

A hipótese previamente definida como forma de orientação desse estudo - "A variação da geometria de visada influencia o comportamento espectral de pastagens e o seu relacionamento com os parâmetros biofísicos da vegetação herbácea e do substrato subjacente" - foi comprovada pelos resultados obtidos, para as duas espécies de gramíneas.

O comportamento geral observado para as coberturas compostas por *B. brizantha* e *B. decumbens* foi coerente com o observado na literatura para coberturas completas de gramíneas, sendo explicado pela atuação conjunta dos mecanismos físicos "efeito 1" e "função de fase". A coerência observada convalida a metodologia proposta para aquisição dos dados espectrais e a eficiência dos sistemas de controle previstos no planejamento experimental.

Quanto às estratégias adotadas na seleção da geometria de visada, objetivando uma maior representatividade dos dados espectrais, conclui-se que: A primeira estratégia adotada, de maximização da variação da resposta espectral da vegetação e do substrato em função da geometria de visada, foi confirmada pelas maiores variações zenitais dos FRBMs no plano azimutal paralelo ao plano solar (AAV de 0 e 180 graus). Quanto à segunda estratégia, de minimização da resposta, também foi confirmada pelas menores variações zenitais observadas no plano perpendicular ao solar (AAV de 90°).

O desvio para o mínimo na reflectância do nadir para os AZVs de 0°, que normalmente ocorre para coberturas de gramíneas completas e erectófilas até o AZV de 30°, para AZS maiores que 55°, como um efeito aditivo da "função de fase" ao "efeito 1", foi acentuado pela presença de inflorescências (componentes opacos) nas camadas superiores da cobertura, ocorrendo valores dos FRBMs inferiores ao nadir até o AZV de 45°, nos AAVs de 0°, para *B. decumbens* e *B. brizantha*, e de 90°, para *B. brizantha*.

As maiores variações zenitais ocorridas entre os AZVs de 30 e 45 graus nos AAV de 180 e 90 graus, para as duas espécies estão associadas à ocorrência dos picos principal (AAV de 180°) e secundário (AAV de 90°) de reflexão próximos a esses AZVs. As maiores variações entre os AZVs de 45 e 60 graus para o AAV de 0° estão relacionadas à maior intensidade do "efeito 1" nesse AZV para esse azimute.

A menor variabilidade observada para o AAV de 180° está associada ao domínio do "efeito 1", relacionado à EGV, que apresentou uma menor variação no comportamento nesse azimute. A maior variabilidade verificada no AAV de 0° está relacionada à maior variação das propriedades ópticas dos constituintes entre as camadas da cobertura, que ocasionou uma maior variação da "função de fase" nesse azimute.

As bandas do visível, principalmente as de absorção, foram as mais influenciadas pela variação da geometria de visada, apresentando uma maior variação azimutal, zenital e em relação ao nadir, enquanto a faixa do IVP (TM4), apresentou as menores variações. Estes resultados podem estar relacionados à maior intensidade dos mecanismos "efeito 1" e, principalmente, da "função de fase", no visível em relação ao IVP.

Tanto para *B. brizantha* como para *B. decumbens* não foi verificada a influência do substrato subjacente, pelo espalhamento anisotrópico do solo, sendo a distribuição angular dos FRBMs explicados pela interação dos mecanismos físicos com a vegetação.

Quanto à caracterização da composição e dos aspectos geométricos da cobertura, as correlações entre os parâmetros biofísicos apresentaram valores moderados, principalmente para os componentes da fitomassa, devido à variabilidade amostral do campo experimental, associada aos diferentes estágios de desenvolvimento da vegetação. Houve uma subestimação do parâmetro IAF para amostras com maior fitomassa, devido às variações na relação entre o peso e a área foliar entre plantas maiores e plantas menores.

Para as correlações entre os FRBMs obtidos em diferentes geometrias de visada verificou-se uma tendência geral dos valores dos coeficientes de correlação, relacionados à intensidade dos mecanismos físicos "efeito 1" e "função de fase", generalizáveis às correlações entre todos os AAV e AZV. Os menores valores dos coeficientes ocorreram onde a intensidade dos mecanismos foi máxima e os maiores onde a interferência foi mínima. Isto sugere que onde a atuação dos mecanismos que provocam a dependência angular é máxima, há uma maior sensibilidade da REM à EGV e às propriedades ópticas da cobertura, ocasionando uma maior variação dos FRBMs e conseqüentemente um maior conteúdo de informação sobre a distribuição angular dos dados espectrais.

A variação da geometria de visada alterou profundamente as relações normalmente observadas para os FRBMs obtidos no nadir, principalmente para as bandas de absorção no visível, onde verificou-se um comportamento oposto ao do nadir, com o aumento da reflectância com o AZV. O IVP foi o menos influenciado, primeiramente pela menor intensidade dos mecanismos físicos nessa

faixa em relação ao visível e à não alteração do comportamento normal da reflectância.

O máximo conteúdo de informação sobre a estrutura geométrica da cobertura está contido no AAV de 180° , que melhor se correlacionou com a maioria dos parâmetros biofísicos, principalmente de produção da fitomassa.

As piores correlações do AAV de 0° com todos os parâmetros biofísicos podem estar relacionadas ao comportamento inverso da reflectância (diminuição) com o aumento do AZV.

Os maiores coeficientes de correlação ocorridos com a maioria dos parâmetros biofísicos no AZV de 45 estão associados à ocorrência dos picos de reflexão primário (AAV de 180°) e secundário (AAV de 90°) próximos a esse AZV.

Os maiores valores médios dos coeficientes verificados para o AZV de 15° , devem-se principalmente à menor variação nos valores dos coeficientes em relação aos AZVs maiores e às baixas correlações para as bandas do visível, principalmente as de absorção, para os AZVs maiores, que apresentaram um comportamento oposto aos de AZV menores.

A ocorrência de menores valores médios nos AZVs de 0 e 30 graus, está relacionada à maior variabilidade amostral verificada nesses AZVs, que ocasionou uma maior dispersão dos dados e piores correlações.

Os parâmetros caracterizadores da produção e do teor de água da fitomassa apresentaram as melhores correlações, principalmente por estarem mais relacionados à faixa do IVP, que apresentou as maiores correlações.

Os baixos valores dos coeficientes verificados para os parâmetros caracterizadores da disponibilidade de componentes e para o IAF, são justificados pelo comportamento oposto ao normalmente observado para as faixas de absorção do visível com o aumento do AZV. Associado a este fator, a maior variabilidade amostral para os componentes da fitomassa ocasionou uma maior dispersão dos dados. Para o IAF, a variação na relação entre o peso e a área foliar, ocasionou uma subestimação desse parâmetro para as amostras com maior fitomassa, também prejudicando as correlações.

A análise das correlações entre os FRBMs obtidos com diferentes geometrias de visada possibilita uma seleção da geometria de visada e das faixas espectrais, que permitem a extração de um maior conteúdo de informação à

partir dos dados angulares, muito úteis em reduzir o número de observações requeridas para caracterizar a FDRB de superfícies naturais. Isto pode ser essencial para observações por satélite, visto que a partir de plataformas remotas, somente poucos ângulos de visada podem ser utilizados.

O aumento da representatividade amostral observada com o incremento do AZV, confere além de informação adicional sobre os aspectos geométricos da cobertura, uma melhor qualidade da informação quando comparada à obtida no nadir.

O efeito geométrico da cobertura ("efeito 1"), mecanismo que controla as diferentes contribuições relativas das camadas inferiores e superiores da cobertura, foi o mecanismo dominante na configuração da distribuição angular dos dados espectrais, mas teve seus efeitos alterados pelas diferenças estruturais (DAF, IAF e sombras), em composição (densidade de vegetação e disponibilidade dos componentes) e nas propriedades ópticas (folhas jovens nas camadas superiores, folhas desenvolvidas nas camadas inferiores, presença de inflorescências nas camadas superiores), entre as camadas da cobertura. Tais alterações relacionadas à atuação do efeito de "função de fase" conferem a esse efeito uma maior importância relativa na distribuição da reflectância, do que a normalmente considerada na literatura para coberturas homogêneas e completas. Assim, há necessidade de maiores estudos desse efeito, com uma estratificação das características da cobertura e análises de sensibilidade na reflectância e transmitância de seus componentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcântara, P.B. Origem das Brachiarias e suas características morfológicas de interesse forrageiro. In: ENCONTRO PARA DISCUSSÃO SOBRE CAPINS DO GÊNERO BRACHIARIA, 1. Nova Odessa, S.P., 28-29 agosto, 1986. *Anais*. Instituto de Zootecnia, 1986. p 1-18.
- Allan, J.A.; Richards, T.S. Remote Sensing for identifying low density vegetation cover in semi-arid Coostas Northwest Egypt. In: INTERNATIONAL CONFERENCE HELD IN SILSOE: THE APLICATION OF REMOTE SENSING TECHNIQUES TO AID RANGE MANAGEMENT, 9. Silsoe, Bedford, U.K.; 21-23 Sep., 1983. *Proceedings*. Remote Sensing Society. University of Reading. England, 1983. 69-79.
- Allen, W.A.; Richardson, A.J. Interaction of light with a plant canopy. *Journal of Optical Society of America*, 58:1023-1028. 1968.
- Allen, W.A.; Gausman, H.W.; Richardson, A.J. ; Thomas, J.P. Interaction of isotropic light with a compact plant leaf. *Journal of Optical Society of America*, 59:1376-1379, 1969.
- Asrar, G.; Myneni, R.B.; Li, Y.; Kanemasu, E.T. Measuring and modeling spectral characteristics of a Tallgrass prairie. *Remote Sensing of Enviroment*, 27(2):143-155, Feb., 1989.
- Barnsley, M.J. The implication of view angle effects on the use of multispectral data for vegetation studies. In: INTERNATIONAL CONFERENCE HELD IN SILSOE: THE APLICATION OF REMOTE SENSING TECHNIQUES TO AID RANGE MANAGEMENT, 9. Silsoe, Bedford, U.K., 21-23 Sep., 1983. *Proceedings*. Remote Sensing Society. University of Reading. England. 1983.
- Barnsley, M.J. Effects of off-nadir view angles on the detected spectral response of vegetation canopies. *International Journal of Remote Sensing*, 5(4):715-728, Jul. Aug., 1984.
- Bartlett, D.S.; Klemas, V. In situ spectral reflectance studies of Tidal Wetland grasses. *Photogrammetry Engeneering and Remote Sensing*, 47(12):1695-1703, Dec., 1981.

- Batista, G.T.; Rudorff, B.T.F.; Oviedo, A.P.F. Resposta espectral da soja e sua relação com parâmetros agronômicos. IN: ANAIS DO 5º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Natal-RN, 11 a 15 de outubro, 1988. p.407-413.
- Brotel, M.A.; Alvim, M.S.; Mozzer, O.L. Fatores de adaptação de espécies forrageiras. EMBRAPA-CNPGL, Coronel Pacheco, M.G., Doc 33, abril, 1990, 21p.
- Bunnik, N.J.J. The multispectral reflectance of shortwave radiation by agricultural crops in relation with their morphological and optical properties. Thesis. medelinge. landbouwhogeschule, Wageningen 78-1. 176 pp, 1978.
- Chandrasekhar, S. *Radiative transfer*. New York, Dover Publications, 1960.
- Chase, W.; Bown, F. *General statistics*. John Wiley e Sons, New York, 1986. 583 p.
- Colwell, J.E. Vegetation Canopy Reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 3(3):175-183, 1974(a).
- Colwell, J.E. Grass canopy bidirectional spectral reflectance. IN: PROCEEDINGS OF THE 9th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT. Ann Arbor, Univ. of Michigan. 1974(b). p.1061-1085.
- Costa Neto, P.L. de O. *Estatística*. Edgard Blucher, São Paulo, 1977, 264 p.
- Coulson, K.L. Effects of reflection properties of natural surfaces in aerial reconnaissance. *Appl. Opt.*, 5. 905-917, 1966.
- Crist, E.P.; Kauth, R.J. The tasseled cap demystified. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 52(1):81-86, Jan., 1986.
- Crist, E.P.; Laurin, R.; Colwell, J.E.; Kauth, R.J. Investigations of vegetation and soils information contained in Landsat Thematic Mapper and multispectral scanner data. ERIM Tech. Rep. 160300. 10-F. Ann Arbor, M.J. 1984.
- Curran, P.J. Multispectral remote sensing for estimating biomass and productivity. IN: SMITH, H. *Plants and the daylight spectrum*. Academic Press, p. 65-99. 1981.
- Curran, P.J.; Williamson, H.D. The accuracy of ground data used in remote sensing investigation. *International Journal of Remote Sensing*, 6(10):1637-1652, Oct., 1985.

- Curran, P.J.; Wardley, N.W. Radiometric leaf area index. *International Journal of Remote Sensing*, 9(2):259-274, Feb., 1988.
- Dallemand, J.F. *Identificação de culturas de inverno por interpretação visual de dados SPOT e LANDSAT TM no noroeste do Paraná*. São José dos Campos, Set. 1987. INPE-4334-TDL/290
- Demetriades-Shah, T.H.; Court, M.N. Oblique view reflectance for assessing nitrogen status of incomplete canopies. *International Journal Remote Sensing*, 8(7):1049-1055, 1987.
- Duggin, M.J. The field measurement of reflectance factors. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 46:643-647, 1980.
- Eaton, F.D. and Dirmhirn, I. Effect of angles on reflectivity. *Photogram. Eng.*, 38(6): 556-564, 1979.
- Egbert, D.D.; Ulaby, F.T. Effect of angles on reflectivity. *Photogram. Eng.* 38 (6):556-564.1972.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Destaque dos principais resultados de pesquisa de 1983. Brasília, EMBRAPA-ATA, 1984, 88p.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Relatório técnico anual. Centro Nacional de Pesquisa do Gado de Corte (CNPGC), Campo Grande, EMBRAPA_ATA, 1985. 194 p.
- Everitt, J.H.; Nixon, P.R. Canopy reflectance of two Drought stressed shrubs. *Photogrammetry Engineering and Remote Sensing*, 52(8):1189-1192, Aug., 1986.
- Ferreira, C.R.R.P.T.; Camargo, A.M.M.P.de; Toledo, Y.I.M. de; Santos, Z.A.P. de. Alguns aspectos do uso econômico das pastagens no Estado de São Paulo. *Agricultura em São Paulo*, 37(3):73-97, 1990.
- Formaggio, A.R. *Comportamento espectral de quatro solos do Estado de São Paulo nos níveis orbital, de campo e de laboratório*. INPE, São José dos Campos, 1983, 140p. (Dissertação de Mestrado, INPE 2878-TDL/144).
- Formaggio, A.R. *Características agronômicas e espectrais para sensoriamento remoto de trigo e de feijão*. ESALQ/USP, Piracicaba, 1989. 161 p. (Tese de Doutorado).

- Formaggio, A.R.; Epiphonio, J.C.N. Estudos radiométricos das culturas de trigo e de feijão em três tipos de latossolos. IN: ANAIS DO 5º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Natal-RN, 11 a 15 de outubro, 1988. p. 393-399.
- Formaggio, A.R.; Epiphonio, J.C.N. *Características espectrais de culturas e rendimento agrícola*. INPE, São José dos Campos, 1990, 167p. INPE-5125-RPE/630.
- Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - FIBGE. *Anuário Estatístico do Brasil - 1985*. Ministério da Economia, Fazenda e Planejamento, Rio de Janeiro, 1990. V.50, 784 p.
- Gates, D.H.; Keegan, H.J.; Schleter, J.C.; Weidner, V.R. Spectral properties of plants. *Applied Optics*, 4(1): 11-20, 1965.
- Gausman, H. N.; Allen, N.A., Wiegand, C.L.; Escobar, D.E.; Rodrigues, R.R.; Richardson, R.R. *The leaf mesophyll of twenty crops, their light spectra, and optical geometrical parameters*. Westlaco, TX. USA. 1973. Technical Bulletin nº 1465.
- Gerstl, S.A.W. ; Zardeck, A. A coupled atmosphere/canopy model for remote sensing of plant reflectance features. *Appl. Opt.*, 24:94-103, 1985.
- Gerstl, S.A.W.; Simmer, C. Remote sensing of angular characteristics of canopy reflectances, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, GE-23(5):648-658, Sep., 1986.
- Gerstl, S.A.W. Off-nadir optical remote sensing from satellites for vegetation identification. In: INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM-IGARSS'86. Proc. Zurich, Switzerland, Sep., 8-11, 1986, vol.3, pp-1457-1460.
- Ghisi, O.M.A.A.; Pedreira, J.V.S. Características agronômicas das principais *Brachiaria* sp. In: ENCONTRO SOBRE CAPINS DO GÊNERO BRACHIARIA, 1. Nova Odessa, S.P., 28-29 agosto, 1986. *Anais*. Instituto de Zootecnia, 1986.
- Ghisi, O.M.A.A. Brachiaria na pecuária brasileira: importância e perspectivas. In: ENCONTRO PARA DISCUSSÃO SOBRE CAPINS DO GÊNERO BRACHIARIA, 2. Nova Odessa, S.P., 23-24 maio, 1991. *Anais*. Instituto de Zootecnia, 1991. p 1-45. 1991.

- Gils, H.V.; Wijngaarden, W.V. Herbage biomass and evaluating grazing capacity. In: INTERNATIONAL CONFERENCE HELD IN SILSOE: THE APPLICATION OF REMOTE SENSING TECHNIQUES TO AID RANGE MANAGEMENT, 9. Silsoe, Bedford, U.K., 21-23 Sept., 1983. *Proceedings*. Remote Sensing Society University of Reading, England, 1983. 13.
- Goel, N. S.; Thompson, R.L. Inversion of vegetation canopy reflectance models for estimating agronomic variables. V. Estimation of leaf angle using measured canopy reflectances. *Remote Sensing of Environment*, **16** (1):69-85, 1984.
- Goel, N.S.; Deering, D.W. Evaluation of a canopy reflectance model for LAI estimation through its inversion. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **GE-23** (5):674-684, Sep., 1985.
- Goel, N.S.; Grier, T. Estimation of canopy parameters of row planted vegetation canopies using reflectance data for only four view direction. *Remote Sensing of Environment*, **21**(1):37-51, Feb., 1987.
- Goel, N.S.; Thompson, R.L. Optimal solar/viewing geometry for an accurate estimation of leaf area index and leaf angle distribution from bidirectional canopy reflectance data. *International Journal of Remote Sensing*, **6**(9):1493-1520, Sep., 1985.
- Griffiths, G.H.; Collins, W.G. Mapping the greenness of semi-arid rangeland vegetation in northern Kenya from LANDSAT digital data. In: INTERNATIONAL CONFERENCE HELD IN SILSOE: THE APPLICATION OF REMOTE SENSING TECHNIQUES TO AID RANGE MANAGEMENT, 9. Silsoe, Bedford, U.K., 21-23 Sep., 1983. *Proceedings*. Remote Sensing Society, University of Reading, England, 1983.
- Gross, M.F.; Hardisky, M.A.; Klemas, V. Effects of solar angle on reflectance from wetland vegetation. *Remote Sensing of Environment*, **26**(3):195-212, Dec., 1988.
- Guyot, G. Angular and spatial variability of spectral data in the visible and near infrared. COLL. INTERNATIONAL SIGNATURES SPECTRALES D'OBJETS EN TÉLÉDÉTECTION, 2. Bordeaux, 12-16 Sep., 1983. Ed INRA Publ., 1984 (Les Colloque de l'INRA, n° 23).
- Guyot, G.; Guyon, D.; Riou, J. Factors affecting the spectral response of forest canopies: A review. *Geocarto International*, **sv** (3): 3-18, Mar., 1989.

- Holben, B.; Fraser, R.S. Red and near-infrared sensor response to off-nadir viewing. *International Journal of Remote Sensing*, 5(1):145-160, May, 1984.
- Huete, A.R. Separation of Soil-Plant Spectral Mixtures by factor analysis. *Remote Sensing of Environment*. 19(3):237-251, 1986.
- Huete, A.R. Soil and sun angle interactions on partial canopy spectra. *International Journal of Remote Sensing*, 8(9):1307-1317, 1987.
- Huete, A.R., Jackson R.D.; Post, D.F. Spectral response of plant canopies with different soil backgrounds. *Remote Sensing of Environment*. 17: 37-53. 1985.
- Humphreys, L.R. *Tropical pasture and seed production*. Rome, FAO, 1979, 142p.
- Jackson, R.B.; Pinter Junior, P.J.; Reginato, R.J.; Idso, S.B. *Hand Held Radiometry*. SEA/AR Workshop on Hand-Held Radiometry. Phoenix, Arizona, 1980.
- Jackson, R.B.; Slater, P.N.; Pinter Jr, P.J. Discrimination of growth and water stress in wheat by various vegetation indices through clear and turbid atmospheres. et al. *Remote Sensing of Environment*, 13 :187-208. 1983
- Jackson, R.B.; Pinter Jr, P.J. Spectral response of architecturally different wheat canopies. *Remote Sensing of Environment*, 20(1):43-56, 1986.
- Kauth, R.J. ; Thomas , G.S. The tasseled cap - Graphic description of spectral temporal development of agricultural crops as seen by Landsat. In: SYMPOSIUM OF MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DATA, 1. W. Lafayette, june, 29- july, 1, 1976, p. 41, 51.
- Kimes, D.S.; Markhan, B.L.; Tucker, C.J.; McMurtrey III, J.E. Temporal relationships between spectral response and agronomic variables of a corn canopy. *Remote Sensing of Environment*, 11 :401-411. 1981.
- Kimes, D.S. Dynamics of directional reflectance factor distributions for vegetation canopies. *Applied Optics*, 22(9): 1364-1372, 1983.
- Kimes, D.S.; Holben, B.N.; Tucker, C.J.; Newcomb, W.W. Optimal directional view angles for remote sensing missions. *International Journal of Remote Sensing*, 5(6):887-903. Nov. Dec., 1984a.

- Kimes, D.S.; Newcomb, W.W.; Schutt, J.B.V.; Pinter Jr., P.J.; Jackson, R.D. Directional reflectance factor distributions of a cotton row crop. *International Journal of Remote Sensing*, 5(2):263-277. 1984b.
- Kimes, D.S.; Kirchner, J.A. Diurnal variations of vegetation canopy structure. *International Journal of Remote Sensing*, 4(2):257-271, Apr., 1984.
- Kimes, D.S. Modeling the directional reflectance from complete homogeneous vegetation canopies with various leaf-orientation distributions. *Optical Society of America*, 1(7):725-737. 1984.
- Kimes, D.S.; Sellers, P.J. Inferring hemispherical reflectance of the earth's surface for global energy budgets from remotely sensed nadir or directional radiance values. *Remote Sensing of Environment*; 18:205-223, 1985.
- Kimes, D.S.; Norman, J.M.; Walthall, C.L. Modeling the radiant transfer of sparse vegetation canopies. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. GE-23 (5):695-704, 1985.
- Kirchner, J.A.; Kimes, D.S.; McMurtrey III, J.E. Variation of directional reflectance factors with structural changes of a developing alfalfa canopy. *Applied Optics*, 21:3766-3774. 1982.
- Knipling, E.B. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. *Remote Sensing of Environment* 1 (2): 155-159. 1970a.
- Knipling, E.B. Leaf reflectance and image formation on color infrared film. In: JOHNSON, P.L. *Remote sensing in ecology*. Athens, University of Georgia Press, 1970b. p. 17-29.
- Kriebel, K.T. Average variability of the radiation reflected by vegetated surfaces due to differing irradiations. *Remote Sensing of Environment*, 7(81),1978.
- Kumar, R. *Radiation from plants - reflection and emission: a review*. West Lafayette, IN, Purdue University. USA. 1972. (AA & ES 72-2-2).
- Lemos, R.C.; Santos, R.D. *Manual de descrição e coleta de solo no campo*, 2ª ed. Campinas, 1984. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo.

- Li, X.; Strahler, A.H. Geometric optical modeling of a conifer forest canopy. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, GE-23: 705-721, 1985.
- Li, X.; Strahler, A.H. Geometric optical bidirectional reflectance modeling of a conifer forest canopy. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, GE-24(6): 906-919, 1986.
- Malavolta, E.; Paulino, V.T. Nutrição mineral e adubação do gênero *Brachiaria*. In: ENCONTRO SOBRE CAPINS DO GÊNERO BRACHIARIA, 2. Nova Odessa, S.P., 23-24 maio, 1991. Anais. Instituto de Zootecnia, 1991. p 45-136. 1991.
- Marjoram, A.R.; Vickery, P.J.; McKenzie, D.C. The acquisition and analysis of ground-based reflectance data. *International Journal of Remote Sensing* 6(1):187-194, Jan., 1985.
- Mendonça, F.J.; Câmara Neto, G. Levantamento da frequência de cobertura de nuvens em dados do Landsat no período de 1973 a 1981. São José dos Campos, INPE, 1983 (INPE-2882-RPE/443).
- Milton, I.J. Principles of field spectroscopy. Review article. *International Journal of Remote Sensing* 8(12):1807-1827, 1987.
- Morelli, A.F. Metodologia para aquisição de dados espectrais com variabilidade angular. São José dos Campos, INPE (no prelo).
- NASA. From Pattern to Process: The strategy of the Earth Observing System. EOS Science Steering Committee. Report V.II. 1990.
- NAS-NRC (National Academy Of Sciences-National Resources Council). *Range Research-Basic problems and techniques*, Washington, D.C., 1962.
- Nicodemus, F.E.; Richmond, J.C.; Hsia, J.J.; Ginsberg, I.W.; Limperis, T. *Geometrical considerations and nomenclature for reflectance*. National Bureau of Standards, Oct., 1977
- Norman, J.M.; Wells, J.M. Radiative transfer in an array of canopies. *Agronomy Journal*, 74:481-488, 1983.
- Norman, J.M.; Wells, J.M.; Walter, E.A. Contrasts among bidirectional reflectance of leaves, canopies and soils. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, GE-23(5):659-667, Sep., 1985.

- Nunes, S.G.; Bianchin, I; Boock, A.; Diogo, J.M.; Silva, J.M. Potencial forrageiro de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, sob diferentes cargas-animal e dosificações com anti-helmíntico em solo de cerrado. Campo Grande, EMBRAPA-CNPGC, 1984, 14 p.
- Odum, E.P. *Ecologia*. 3ª ed. Cidade do México. Ed. Interamericana, 1971, 639p.
- Odum, E.P. *Ecologia*. 3ª ed., São Paulo, Ed. Pioneira, 1978, 201 p.
- Pedreira, J.V.S.; Mattos, H.B. Crescimento estacional de vinte e cinco espécies de variedades de capins. *B. Industria Animal*, **38**(2):117-43, jul.-dez., 1981.
- Pereira, M.D.B. *Correlação da fitomassa foliar de campo cerrado com dados espectrais obtidos pelo sistema MSS/LANDSAT e por radiometria de campo*. São José dos Campos, INPE, 1986 (INPE-3758-TDL/205).
- Perry Jr.; C.R.; Lautenschlager, L.F. Functional Equivalence of Spectral Vegetation Indices. *Remote Sensing of Environment*, **14**(2):169-182, Jan., 1984.
- Pinter Jr, P.J.; Jackson, R.D.; Ezra, C.E.; Gausman, H.W. Sun angle and canopy architecture effects on the spectral reflectance of six wheat cultivars. *International Journal of Remote Sensing*; **6**:1813-1825, 1985.
- Pinter Jr., P.J.; Jackson, R.D.; Ezra, C.E.; Gausman, H.W. Sun-angle and canopy architecture effects on the spectral reflectance of six Wheat cultivars. *International Journal of Remote Sensing*, **6**(1):1813-1825, Dec., 1985.
- Porzecanski, I.; Ghisi, O.M.A.A.; Gardner, A.L.; França Dantas, M.S. The adaptation of tropical pasture species to a cerrado environment. Campo Grande, EMBRAPA, CNPGC, 1979, 18 p.
- Ranson, K.J.; Daughtry, C.S.T.; Biehl, L.L. Sun angle, view angle, and background effects on spectral response of simulated balsam fir canopies. *Photogram. Eng. Remote Sensing*, **52**(5): 649-658, 1986.
- Ranson, K.J.; Daughtry, C.S.T. Scene shadow effects on multispectral response of Balsam fir canopies. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **GE-25**(4):502-509, Jul., 1987.

- Ranson, K.J.; Daughtry, C.S.T.; Biehl, L.L.; Bauer, M.E. Sun-view angle effects on reflectance factor of corn canopies. *Remote Sensing of Environment*, **18**(2):147-161, 1985.
- Ranson, K.J.; Vanderbilt, V.C.; Biehl, L.L.; Robinson, B.F.; Bauer, M.E. Soybean canopy reflectance as a function of view and illumination geometry. *ERIM*, **15**, 1981. Ann Arbor, M.I., May, 1981. 853-866.
- Richardson, A.J.; Wiegand, C.L. Distinguishing vegetation from soil background information. *Photogrammetry Engineering and Remote Sensing*, **43**:1514-1552. 1977.
- Ringrose, S.; Dube, P. The use of the darkening effect (Red absorbancy) to monitor range degradation in the southeast Botswana Kalahari. *International Society of Photogrammetry Engineering and Remote Sensing* 1986 Aug., 25-29.
- Ripley, W.J. Asymptotic reflectance characteristics of grass vegetation. *Photogrammetry Engineering and Remote Sensing*, **51**(12):1915-1921, Dec., 1985.
- Ripple, W.J.. Phenological effects on grass canopy/spectral relationships. *ACSM. ASPRS ANN. MEET. Proc. Washington, D.C.*, May 16-21, 1986. vol 5, pp 69-79.
- Robinson, B.F.; Biehl, L.L. Calibration procedure for measurement of reflectance factor in remote sensing field research. *Society of Photo-optical Instrumentation Engineers (SPIE), Vol.196, Measurements of Optical Radiations*, p.16-26. 1979.
- Royer, A.; Vicent, P.; Bonn, F. Evaluation and correction of viewing angle effects on satellite measurements of bidirectional reflectance. *Photogrammetry Engineering and Remote Sensing*, **51**(12):1899-1914, Dec., 1985.
- Santos, J.R. *Biomassa aérea da vegetação do Cerrado: estimativa e correlação com dados do sensor "Thematic Mapper" do satélite Landsat*. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. 1988. Tese de Doutorado em Ciências Florestais.
- Santos, Z.A.P. de S. Mercado de terras agrícolas. *Inf. Econ.* **20**(10):62-74, out., 1990.
- Santos, R.D.C; Morelli, A.F. Polar: Programa de plotagem de gráficos polares -Manual do Usuário. 1992. Laboratório de Geoprocessamento, UNIVAP (no prelo).
- Siegel, S. *Estatística não paramétrica*. McGraw-Hill, São Paulo, 1975. 350 p.

- Simão Neto, M.; Serrão, E.A.S. Capim quicuo da Amazônia (*Brachiaria* sp) *Boletim técnico IPEAN* (58):1-17, 1974.
- Simmer, C.; Gerstl, S.A.W. Remote Sensing of angular characteristics of canopy reflectance. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **GE-23**(5):648-658, Sep., 1985.
- Smith, J.A.; Oliver, R.E. Plant canopies models for simulating composit scene spectroradiance in the 0.14 to 1.05 micrometer region. Proc. Eighth. Int. Symp. Remote Sensing. of Environment. Ann. Arbor. Michigan 1333-1353, 1972.
- Smith, J.A.; Ranson, K.J. Bidirectional Reflectance Studies Literature Review, NASA/GSFC, prepared by ORI, Inc., 1400 Spring St., Silver Spring, Md. 20910 (1979).
- Souza, F.H.D.S. As sementes de espécies forrageiras do gênero *Brachiaria* no Brasil Central. ENCONTRO PARA DISCUSSÃO SOBRE CAPINS DO GÊNERO BRACHIARIA, 2. Nova Odessa, S.P., 23-24 maio, 1991. *Anais*. Instituto de Zootecnia, 1991. p 1-137-186, 1991.
- Spiegel, M.R. *Estatística*. 2ª ed. São Paulo, McGraw-Hill, 1985. 454 p.
- Staenz, K.; Ahern, F.J.; Brown, R.J. The influence of illumination and viewing geometry on the reflectance factor of agricultural targets. IN: PROCEEDINGS OF THE 9th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT. Ann Arbor, Univ. of Michigan. 15, 1981. Ann Arbor, M.I., May, 1981. 867-882.
- Steffen, C.A. *Nomogramas de altura solar*. São José dos Campos, INPE, jul., 1977 (INPE-1083-PE/069).
- Steffen, C.A. *Reflectância*. Nota técnica LARAD 01/89. INPE. DPA-Laboratório de Radiometria.
- Steffen, C.A. *SPECTRON SE - 590 - Manual de Referência*. INPE. DSR. DPA - LARAD. 1988.
- Steven, M.D. The dependence of crop spectral signatures on viewing angle. A Spot simulation study. U.K. Nat. R.S. Centre, Royal Aircraft Est., Farnborough, Hampshire, GU 146 TD, U.K. End. Autor: Univ. of Nottingham, Dept of Geography, Nottingham, NG7 2RD U.K. 1989.

- Stoner, E.R.; Baumgardner, M.F. Characteristic variations in reflectance of surface soils. *Soil Sci. Am. J.*, 45:1161-1165.
- Suits, G.H. The cause of azimuthal variations in directional reflectance of vegetative canopies. *Remote Sensing of Environment*. 2(24):175-182, 1972.
- Thomas, D.; Andrade, R.P. Desempenho agronômico de cinco gramíneas tropicais sob pastejo na região dos cerrados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 19(8):1047-51, 1984.
- Thonson, K.P.B.; Ahern, F.J.; Brown, R.J.; Staenz, K. Spectral measurements of rangeland, Proceeding of the 6th Canadian Symposium on Remote Sensing, Canadian Aeronautics and Space Institute, Ottawa, pp 377-386. 1980.
- Tucker, C.J. The remote estimation of a grassland canopy/ its biomass, chlorophyll, leaf water, and underlying soil spectra. (Dissertação) Colorado State University, Fort Collins, Colorado, Aug., 1973. 212 p.
- Tucker, C.J. Assymptotic nature of grass canopy spectral reflectance. *Applied optics*, V16(5):1151-1157. 1977
- Tucker, C.J. Red and photographic combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment* 8 : 127-150. 1979.
- Tucker, C.J.; Sellers, P.J. Satellite remote sensing of primary production. *International Journal of Remote Sensing*, 7(11):1395-1416, 1986.
- Valeriano, D.M. *Interações da radiação solar com a vegetação*. São José dos Campos, INPE, 1988. (INPE-4697-MD/038).
- Valeriano, D.M.; Pereira, M.D.B. *Relações entre a biomassa aérea do estrato rasteiro do cerrado e sua reflectância espectral*. São José dos Campos, INPE, 1988 (INPE-4848-PRE/1477).
- Verhoef, W.; Bunnik, N.J.J. Influence of crop geometry on multispectral reflectance determined by the use of canopy reflectance models. In: COLL. INTERNATIONAL SIGNATURES SPECTRALES D'OBJETS EN TÉLÉDÉTECTION, 2. Bordeaux, 12-16 Sep., 1983. Ed INRA Publ., 1984 (Les Colloque de l'INRA, nº 23), p. 273-290.1981.

Vigneron, C.; Seligmann, J.L. Photogrammetry from SPOT with matra traster analytical plotter. soc. of photo optical instrumentation engineering vol. 660 Earth R.S. using the LANDSAT TM and SPOT sensor systems, innsbruck, Austria, 1986.

Vygodskaya, N.N.; Gorshkova, I.I. Analisis of canopy-soil optical reflectance behavior using Goudrian's model: Part 1. Biometric effects on reflectance. *Soviet Journal of Remote Sensing*, 4(4):611-624. Oct., 1985.

World Resources Institute. *World Resources 1990-1991*. Oxford Univ. Press , 383 p. 1989.