

JOÃO ROBERTO DOS SANTOS

BIOMASSA AÉREA DA VEGETAÇÃO DE CERRADO: ESTIMATIVA E
CORRELAÇÃO COM DADOS DO SENSOR "THEMATIC MAPPER" DO
SATÉLITE LANDSAT

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do Título de Doutor em Ciências Florestais.

CURITIBA

1988

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

P A R E C E R

Os membros da Comissão Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal para realizar a arguição da Tese de Doutorado apresentada pelo candidato JOÃO ROBERTO DOS SANTOS, sob o título "BIOMASSA AEREA DA VEGETAÇÃO DE CERRADO: ESTIMATIVA E CORRELAÇÃO COM DADOS DO SENSOR "THEMATIC MAPPER" DO SATELITE "LANDSAT", para obtenção do grau de Doutor em Ciências Florestais-Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. Área de concentração: MANEJO FLORESTAL, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de parecer pela "APROVAÇÃO" da Tese completando assim os requisitos necessários para receber o grau e o Diploma de DOUTOR EM CIÊNCIAS FLORESTAIS.

Curitiba, 16 maio de 1968

Doutor Carlos Marx Ribeiro Carneiro
Primeiro Examinador



Doutor Vitor Celso de Carvalho
Segundo Examinador

Professor Ph.D. Antonio Jose de Araujo
Terceiro Examinador

Professor Doutor Roberto Tuzoshi Nosokawa
Quarta Examinador

Professor Ph.D. Atílio Antonio Disperati
Presidente da Comissão

Às minhas filhas,

Isabelle
Cristhiane
Denise

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste trabalho de pesquisa vem cumprir importante etapa de minha preocupação com a formação acadêmica e profissional, sendo fruto do esforço em coordenar idéias, na busca de mostrar à comunidade a relevância das técnicas de sensoriamento remoto no estudo da cobertura vegetal do país. Porém, a concretização daquilo que se encontrava no plano de idéias só foi possível com a colaboração de não poucas entidades e pessoas, cujos agradecimentos faço registrar neste momento. Inicialmente, à Universidade Federal do Paraná que formalizou o meu aceite ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal e, ao corpo docente deste Curso, pelos conhecimentos transmitidos, quando do cumprimento das disciplinas do programa de doutorado. Em particular desejo ressaltar a importância do comitê orientador, formado pelos professores Dr. Attilio Antonio Disperati, Dr. Antonio José Araujo e Dr. Roberto Tuyoshi Hosokawa, que juntos, de forma abnegada, souberam em inúmeras horas, lapidar idéias e direcionar os esforços, para que meu espírito de pesquisa estivesse sempre estimulado. Faço também registrar a relevante contribuição do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC/EMBRAPA) , e do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE/MCT) que, dentro da formulação de um convênio, ofereceram totais condições de

financiamento do referido projeto de tese. Ao diretor da Reserva Ecológica do Roncador - IBGE, Dr. Geraldo Ismael Rocha que, entendendo o interesse da pesquisa, facilitou os trabalhos naquela reserva ecológica, o mesmo acontecendo com o professor Dr. John Ray, do Departamento de Ecologia da Universidade de Brasília, que não poupou esforços, inclusive acompanhando em determinadas ocasiões, o trabalho de campo na Fazenda Água Limpa, um campo experimental daquela Universidade. Em particular, ao pesquisador José da Silva Madeira Neto (CPAC/EMBRAPA) que, interessado na implantação e desenvolvimento de pesquisas em sensoriamento remoto nas áreas de cerrado, muito contribuiu à planificação das atividades. Ao então chefe do Departamento de Aplicação de Dados de Satélite (DDS/INPE), Renê Antonio Novaes que, de acordo com as diretrizes da instituição e sabedor de meu interesse em efetuar o doutoramento, tornou possível esta meta. Ao pesquisador e companheiro de trabalho Antonio Tebaldi Tardin, por ensinar-me os primeiros conhecimentos acerca das técnicas de sensoriamento remoto, quando do início de minha carreira no Instituto de Pesquisas Espaciais. Ao Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq) pela bolsa de estudos, oferecida na fase da obtenção dos créditos do programa de doutoramento. A todos, entidades e pessoas, que indiretamente contribuíram no desenvolvimento deste projeto, o meu sincero reconhecimento.

BIOGRAFIA DO AUTOR

JOÃO ROBERTO DOS SANTOS, filho de João Martins dos Santos e Olimpia Tavares dos Santos, nasceu em 05 de agosto de 1952, na cidade de Santos, Estado de São Paulo, Brasil.

A vida estudantil foi iniciada na Escola São José, em Santos, onde de 1958 a 1961 cursou o primário, estendendo-se neste estabelecimento de ensino, ainda em 1962, o curso de "admissão", em razão da pouca idade ao ingresso no ginásio, conforme legislação em vigor. De 1963 a 1966, no Colégio Santista, de formação marista, cursou o ginásio e, no período de 1967 a 1970 completou o curso de Técnico em Química.

Em março de 1971 ingressou no curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), onde obteve o título em dezembro de 1974.

Em janeiro de 1975 ingressou no Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), contratado como Assistente de Pesquisa do Departamento de Sensoriamento Remoto, no grupo de recursos agronômicos e florestais. Em março de 1976 iniciou o programa de Mestrado em Sensoriamento Remoto neste Instituto, obtendo titulação em dezembro de 1979.

Em março de 1981 iniciou o curso de Pós-Graduação (nível Doutorado) em Engenharia Florestal da Universidade

Federal do Paraná (UFPR), encerrando o referido programa na presente data, com a defesa desta tese.

Atualmente, exerce o cargo de Pesquisador Assistente do Departamento de Pesquisas e Aplicação (DPA/INPE). É membro da Sociedad de Especialistas Latinoamericanos em Percepcion Remota (SELPER), contando em seu *curriculum vitae* com vários trabalhos técnico-científicos, inclusive a nível internacional, sobre a utilização de dados orbitais no estudo da cobertura vegetal.

S U M Á R I O

	<u>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</u>	ix
	<u>LISTA DE TABELAS</u>	xiv
	<u>RESUMO</u>	xviii
1	<u>INTRODUÇÃO</u>	01
1.1	OBJETIVO E JUSTIFICATIVAS	03
2	<u>REVISÃO DE LITERATURA</u>	06
2.1	A FORMAÇÃO SAVANA	06
2.1.1	Clima das Savanas Tropicais	09
2.1.2	Solo das Savanas Tropicais	11
2.1.3	Estrutura Fisionômica das Savanas	15
2.2	AS SAVANAS DA AMÉRICA DO SUL	17
2.3	OS CERRADOS BRASILEIROS	21
2.4	A BIOMASSA AÉREA DO CERRADO	28
2.5	INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA COM A VEGETAÇÃO	30
2.6	ESTIMATIVA DA BIOMASSA AÉREA POR SENSORIAMENTO REMOTO	35
3	<u>MATERIAIS E MÉTODOS</u>	49
3.1	ÁREA DE ESTUDO	49
3.2	MATERIAIS	52
3.2.1	Produtos do LANDSAT	52

3.2.2	Material complementar	60
3.3	MÉTODOS	61
3.3.1	Distribuição Espacial da Vegetação	61
3.3.2	Determinação da Biomassa no Campo	62
3.3.3	Coleta dos Valores Espectrais na Imagem TM/LANDSAT	67
3.3.4	Elaboração dos Índices de Vegetação	69
3.3.5	Análise da Relação Funcional: dados de campo versus dados orbitais	71
4	<u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	78
4.1	A BIOMASSA DO CERRADO (<i>stricto sensu</i>)	78
4.2	OS VALORES ESPECTRAIS DO CERRADO (<i>stricto sensu</i>)	96
4.3	OS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO	104
4.4	A RELAÇÃO BIOMASSA FOLIAR VERSUS VALORES ESPEC- TRAI DAS BANDAS TM/LANDSAT	106
4.5	A RELAÇÃO BIOMASSA FOLIAR VERSUS ÍNDICE DE VE- GETAÇÃO	112
4.5.1	Índice de Vegetação "Razão Simples"	115
4.5.2	Índice de Vegetação "Razão Normalizada e Transformada"	120
4.5.3	Comparação entre índices de vegetação	125
4.5.4	Os índices de vegetação na estimativa da biomassa foliar (peso seco)	126
5	<u>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</u>	135
	<u>SUMMARY</u>	141
	<u>APÊNDICE</u>	142
	<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	145

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA

1	DIVISÃO DO ESPAÇO DAS FORMAÇÕES VEGETAIS COM BASE EM PARÂMETROS CLIMÁTICOS	07
2	DIAGRAMA DE CLASSIFICAÇÃO DAS FORMAÇÕES VEGETAIS SEGUNDO CONDIÇÕES CLIMÁTICAS	08
3	REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DAS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS SAVANAS TROPICAIS E DAS CONSEQUÊNCIAS E ESTRATÉGIAS DESTE SISTEMA DINÂMICO	10
4	REPRESENTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA MÉDIA ANUAL (mm) DAS SAVANAS TROPICAIS (ÁFRICA E AMÉRICA)	12
5	TEMPERATURA MÉDIA ANUAL DAS SAVANAS TROPICAIS (°C) (ÁFRICA E AMÉRICA)	13
6	PERFIL DA "SAVANNA WOODLAND"	16
7	PERFIL DA "TREE SAVANNA" E DA "SHRUB SAVANNA"	15
8	DISTRIBUIÇÃO DAS SAVANAS TROPICAIS NA AMÉRICA DO SUL	17
9	CERRADO DENSO	24
10	CERRADO TÍPICO	25

FIGURA

11	CERRADO RALO	26
12	PARQUE DO CERRADO	27
13	VEGETAÇÃO RUPESTRE DE ALTITUDE	28
14	RELAÇÃO ENTRE A REFLECTÂNCIA DA FOLHA VERDE E OS FATORES DE ABSORÇÃO NA FAIXA DO VISÍVEL E INFRA- VERMELHO	32
15	REFLECTÂNCIA TÍPICA DE UMA VEGETAÇÃO HERBÁCEA E DO SOLO NA FAIXA DE 0,4 a 1,1 μm	34
16	RELAÇÃO DA RADIÂNCIA E A BIOMASSA TOTAL (PESO FRESCO), NOS INTERVALOS (a) 0,63 - 0,69 E (b) 0,75 - 0,80 μm	36
17	REFLECTÂNCIA ESPECTRAL DO SOLO ÚMIDO E VEGETA- ÇÃO GRAMINÓIDE	38
18	RELAÇÃO DA BIOMASSA TOTAL (PESO FRESCO) E A RA- DIÂNCIA NA FAIXA DO VERDE (0,52 - 0,60 μm)	38
19	CURVAS DO COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO PARA A BIOMASSA TOTAL E O CONTEÚDO DE ÁGUA NA FOLHA ...	39
20	RELAÇÃO ENTRE RAZÃO "BANDA 7/BANDA 5" E A BIO- MASSA FOTOSSINTÉTICA DE GRAMÍNEAS	46
21	BALANÇO HÍDRICO REPRESENTATIVO DA REGIÃO DO DISTRITO FEDERAL	50
22	LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO	53

FIGURA

23	COMPORTAMENTO DE ALVOS (VEGETAÇÃO, SOLO, ÁGUA) E POSICIONAMENTO ESPECTRAL DAS BANDAS TM/LANDSAT	59
24	ÁREA MÍNIMA DO PONTO DE VISTA FLORÍSTICO PARA O CAMPO CERRADO	63
25	ÁREA MÍNIMA DO PONTO DE VISTA DE BIOMASSA FOLIAR PARA O CAMPO CERRADO	64
26	BIOMASSA AÉREA TOTAL DO CERRADO (<i>stricto sensu</i>)....	78
27	VALORES DE BIOMASSA TOTAL PARA O CERRADO E PARA AS SAVANAS TROPICAIS	79
28	BIOMASSA FOLIAR DO CERRADO POR ESTRATO	80
29	VALORES DE BIOMASSA "VERDE" E "PALHA" DO ESTRATO HERBÁCEO DO CERRADO (PESO SECO EM ESTUFA)	82
30	TEOR DE UMIDADE PRESENTE NA MASSA FOLIAR DO ES- TRATO HERBÁCEO DO CERRADO	82
31	TEOR DE UMIDADE PRESENTE NA MASSA FOLIAR DOS ES- TRATOS ARBÓREO E ARBUSTIVO DO CERRADO	83
32	ESTRUTURA DA BIOMASSA FOLIAR DO CERRADO NAS TRÊS ÁREAS DE ESTUDO (PESO SECO)	85
33	ESTRUTURA PERCENTUAL DA COBERTURA FOLIAR DO CER- RADO	88
34	VALORES PERCENTUAIS MÉDIOS DE COBERTURA DO SOLO NO ESTRATO HERBÁCEO (MATERIAL FOTOSSINTETICAMENTE ATIVO, MATERIAL PALHA E SOLO EXPOSTO)	90

FIGURA

35	PROJEÇÃO PERCENTUAL DE COBERTURA DE SOLO NO ESTRATO HERBÁCEO, NO PERÍODO MAIO/JUNHO	91
36	PROJEÇÃO PERCENTUAL DE COBERTURA DO SOLO NO ESTRATO HERBÁCEO, NO PERÍODO AGOSTO/SETEMBRO	92
37	DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS PONTOS AMOSTRAIS NAS ÁREAS DO CPAC, UnB E IBGE	97
38	DIAGRAMA ESPACIAL DOS VALORES DIGITAIS (NÍVEIS 0 a 255) NAS BANDAS TM3, 4 E 5 PARA CERRADO EM ÁREA DO IBGE	100
39	COMPARAÇÃO ENTRE AS FUNÇÕES DE REGRESSÃO NA RELAÇÃO DA BIOMASSA FOLIAR (PESO FRESCO) DO CERRADO E VALORES ESPECTRAIS NA BANDA TM3	111
40	COMPARAÇÃO ENTRE AS FUNÇÕES DE REGRESSÃO NA RELAÇÃO DA BIOMASSA FOLIAR (PESO SECO) DO CERRADO E VALORES ESPECTRAIS NA BANDA TM3	113
41	DIAGRAMA ESPACIAL DE REGRESSÃO ENTRE "BIOMASSA FOLIAR DO CERRADO" E O ÍNDICE $R_{4,3}$	116
42	DIAGRAMA ESPACIAL DA REGRESSÃO ENTRE "BIOMASSA FOLIAR DO CERRADO" E O ÍNDICE $R_{5,3}$	117
43	DIAGRAMA ESPACIAL DA REGRESSÃO ENTRE A "BIOMASSA FOLIAR DO CERRADO" E O ÍNDICE $TVI_{5,3}$	121
44	DIAGRAMA ESPACIAL DA REGRESSÃO ENTRE A "BIOMASSA FOLIAR DO CERRADO" E O ÍNDICE $TVI_{4,3}$	122

FIGURA

45	DIAGRAMA ESPACIAL DA REGRESSÃO ENTRE A BIOMASSA FOLIAR (PESO SECO) DO CERRADO E O ÍNDICE $TVI_{4,3}$.	130
46	DIAGRAMA ESPACIAL DAS REGRESSÕES ENTRE A BIOMASSA FOLIAR (PESO SECO) DO CERRADO E O ÍNDICE $TVI_{4,3}$	134

LISTA DE TABELAS

TABELA

1	INTERRELAÇÕES DE ROCHAS, VEGETAÇÃO E TIPO DE SOLO SEGUNDO ESQUEMA DE CLASSIFICAÇÃO DA FAO (1974), DA USDA (1975) E A CORRESPONDENTE DESIGNAÇÃO NO SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS	15
2	PRINCIPAIS TIPOS FISIONÔMICOS DAS SAVANAS TROPICAIS NA AMÉRICA, COM OS NOMES CORRESPONDENTES EM INGLÊS, PORTUGUÊS E ESPANHOL	19
3	VALORES DE PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA LÍQUIDA E DE BIOMASSA DE ALGUNS ECOSISTEMAS TERRESTRES	29
4	VALORES DE BIOMASSA (PESO SECO) ESTIMADOS PARA TIPOS DE VEGETAÇÃO NA AMAZÔNIA LEGAL	30
5	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DETERMINADAS DE 520 AMOSTRAS DA CAMADA ARÁVEL DOS SOLOS DA REGIÃO DOS CERRADOS	51
6	PROBABILIDADES (p) DE OCORRÊNCIA DAS CLASSES DE COBERTURA DE NUVENS PARA A REGIÃO CLIMÁTICA QUE ENGLOBA O DISTRITO FEDERAL	55

TABELA

7	GRAU DE COBERTURA DE NUVENS NAS IMAGENS TM/LANDSAT COLETADAS NO PERÍODO DE 1986	57
8	PRODUÇÃO DE BIOMASSA (kg/ha) EM SAVANA TROPICAL..	86
9	VALORES PERCENTUAIS MÉDIOS DA PROJEÇÃO DE COBERTURA FOLIAR DO CERRADO, NAS ÁREAS DO CPAC, UnB E IBGE	89
10	ESPÉCIES DO ESTRATO ARBÓREO E ARBUSTIVO DO CERRADO COMUNS AS ÁREAS DO CPAC, UnB E IBGE	93
11	COMPARAÇÃO DE PARÂMETROS FITOSSOCIOLÓGICOS ENCONTRADOS PARA A VEGETAÇÃO ARBÓREA DE CERRADO TÍPICO, EM DIFERENTES TRABALHOS REALIZADOS NA REGIÃO DOS CERRADOS	95
12	VALORES DIGITAIS MÉDIOS (NÍVEIS 0 a 255) DO CERRADO NAS ÁREAS DO CPAC, UnB E IBGE	98
13	VALORES ESPECTRAIS NORMALIZADOS PARA COMPARAÇÃO ENTRE DATAS DE PASSAGEM	101
14	REFLECTÂNCIA DOS PONTOS AMOSTRAIS DE CERRADO NAS ÁREAS DO CPAC, UnB E IBGE	102
15	ÍNDICES DE VEGETAÇÃO (R, TVI) PARA O CERRADO NAS ÁREAS DO CPAC, UnB E IBGE	104
16	COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO (R, TVI)	105

TABELA

17	SUMÁRIO DA REGRESSÃO QUE RELACIONA BIOMASSA FOLIAR (PESO FRESCO) DO CERRADO (s.s.) E VALORES ESPECTRAIS NAS BANDAS TM/LANDSAT	107
18	SUMÁRIO DA REGRESSÃO QUE RELACIONA BIOMASSA FOLIAR (PESO FRESCO) DO CERRADO E ÍNDICES DE VEGETAÇÃO (R, TVI)	114
19	VALORES RESIDUAIS DA REGRESSÃO ENTRE A BIOMASSA (PESO FRESCO) DO CERRADO E O ÍNDICE $R_{5,3}$, COM O MODELO ESPONENCIAL	119
20	VALORES RESIDUAIS DA REGRESSÃO NA ESTIMATIVA DA BIOMASSA FOLIAR (PESO FRESCO) DO CERRADO, A PARTIR DO ÍNDICE $TVI_{5,3}$, EMPREGANDO O MODELO EXPONENCIAL	124
21	VALORES DE BIOMASSA FOLIAR (PESO SECO) DO CERRADO E OS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO (R, TVI) NAS ÁREAS DO CPAC, UnB E IBGE	128
22	PARÂMETROS DA REGRESSÃO NO RELACIONAMENTO DA BIOMASSA FOLIAR (PESO SECO) E OS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO (R, TVI)	129
23	VALORES RESIDUAIS DA REGRESSÃO NA ESTIMATIVA DA BIOMASSA FOLIAR (PESO SECO) DO CERRADO A PARTIR DO ÍNDICE $TVI_{4,3}$, APLICANDO OS MODELOS LINEAR E EXPONENCIAL	132

TABELA

24	PARÂMETROS DA REGRESSÃO ENTRE A BIOMASSA FOLIAR (PESO SECO) E OS ÍNDICES $R_{4,3}$ E $TVI_{4,3}$, UTILI- ZANDO OS MODELOS LINEAR E EXPONENCIAL	133
----	---	-----

RESUMO

O presente trabalho pretende fornecer subsídios aos procedimentos de estimativa da biomassa aérea do cerrado, utilizando técnicas de sensoriamento remoto a nível orbital. Portanto, o objetivo principal é avaliar a relação funcional entre a biomassa foliar do cerrado (*stricto sensu*) e os índices de vegetação (razão simples, razão normalizada e transformada) oriundos das bandas 3 (0,63 - 0,69 μm), 4 (0,76 - 0,90 μm) e 5 (1,55 - 1,75 μm) do Thematic Mapper/LANDSAT-5. No Distrito Federal, área central dos cerrados, três locais foram selecionados para o andamento da pesquisa: fazenda do CPAC/EMBRAPA, reserva ecológica do IBGE e o campo experimental Fazenda Água Limpa da UnB. A abordagem metodológica compreende: o estabelecimento de características da estrutura do cerrado (*stricto sensu*) e a conseqüente definição dos valores de biomassa foliar; a determinação dos parâmetros espectrais do cerrado e análise da contribuição de cada banda do mapeador temático no relacionamento com a biomassa foliar; elaboração dos índices de vegetação ($R_{4,3}$, $R_{5,3}$, $\text{TVI}_{4,3}$ e $\text{TVI}_{5,3}$) e avaliação, por análise de regressão com modelos linear e exponencial, do relacionamento destes índices com a biomassa foliar. Com o levantamento de informações de campo, pode-se verificar que o cerrado (*stricto sensu*) definido estruturalmente quanto ao grau de cobertura pelos estratos arbóreo (16,62%), arbustivo (12,48%) e herbáceo (70,90%), apresenta valores de biomassa foliar na ordem de 5,4 ton/ha. No relacionamento entre dados de campo e satélite, pode-se verificar que: a banda TM3 (0,63-0,69 μm) apresenta uma melhor correlação com a biomassa foliar comparada a outras bandas; na análise de regressão, os modelos linear e exponencial não diferem significativamente quanto ao ajuste dos dados, sendo a variável independente $R_{5,3}$ aquela que explica satisfatoriamente as variações da variável biomassa foliar (peso fresco) enquanto o índice de vegetação $\text{TVI}_{4,3}$ permite melhor ajuste no caso da biomassa foliar (peso seco). Os resultados obtidos no decorrer da pesquisa ressaltam a importância das técnicas de sensoriamento remoto, principalmente com os índices de vegetação, na estimativa da biomassa dos cerrados e sobretudo, no contínuo monitoramento desta cobertura vegetal do país.

1 INTRODUÇÃO

A partir da década de 70, as regiões abrangidas pela vegetação dos Cerrados mostraram-se importantes no processo produtivo agropecuário, de forma a requerer de entidades governamentais, o estabelecimento de diretrizes relacionadas à intensificação e desenvolvimento de pesquisas, que permitissem um melhor aproveitamento tanto no sentido econômico como ecológico, das áreas ocupadas por este tipo de vegetação.

Paralelamente a acelerada ocupação, nem sempre racional das terras, caracterizando com a exploração dos cerrados um processo de erradicação desta tipologia, houve um incremento de pesquisas, prevendo que o conhecimento de variáveis interligadas ao sistema produtivo, especialmente daquelas áreas em fase de ocupação recente, exigiria uma constante coleta de dados básicos sobre a própria vegetação. Seguindo esta linha de raciocínio e lembrando a vasta extensão que os cerrados ocupam no contexto territorial (1,5 milhão de km²), fica reforçada a idéia que alguns conhecimentos básicos sobre este tipo de cobertura vegetal devam ser obtidos por um sistema compatível de coleta de dados, no caso, por sensoriamento remoto.

O avanço até então adquirido na utilização das técnicas de sensoriamento remoto na avaliação da cobertura vegetal, vem demonstrar sua importância como ferramenta de análise do comportamento e distribuição espacial, sobretudo dos cerrados brasi-

leiros. O monitoramento através destas técnicas podem facilitar sobretudo, uma análise de possíveis mudanças estruturais que porventura aconteçam nos processos de exploração e até mesmo, conservação das áreas de cerrado. É patente que a classificação da vegetação e seu posterior inventário, são etapas primordiais na solução de problemas relacionados ao manejo adequado dos recursos naturais de uma região. Tal afirmação reforça ainda mais o emprego das técnicas de sensoriamento remoto, principalmente a nível orbital, considerando que, atualmente, encontra-se em disponibilidade sensores com melhores resoluções espacial e espectral, que tornam possíveis avaliações qualitativa e quantitativa dos cerrados brasileiros.

Com este pensamento, o presente trabalho desenvolvido na área do Distrito Federal (área central dos cerrados) tem em seu contexto global, fornecer subsídios aos procedimentos de avaliação da biomassa (aérea) do cerrado, por meio de dados do mapeador temático do satélite LANDSAT-5. Esta proposição é substantiada pelo estudo do relacionamento entre a biomassa foliar do cerrado e os "índices de vegetação" obtidos dos dados TM/LANDSAT, através da análise de regressão empregando os modelos linear e exponencial.

A apresentação desta tese tem, em sua forma estrutural, como parte introdutória, a formulação conceitual da importância do sensoriamento remoto como subsídio à pesquisas sobre a vegetação dos cerrados e a apresentação dos objetivos e as justificativas que nortearam o presente trabalho. Logo a seguir é apresentada a revisão de literatura, com uma abordagem destinada ao conhecimento da formação savana e o conseqüente posicionamento do cerrado no amplo contexto desta tipologia além de uma

descrição seqüencial da teoria e aplicações que envolvem o sensoriamento remoto e a vegetação, pertinentes sobretudo a estimativa de biomassa através de "índices de vegetação". Neste direcionamento que compõe a tese é feita uma breve descrição da área de estudo, dos materiais e da metodologia utilizada no experimento, e apresentada a discussão de análise dos dados, primeiramente de campo (relacionados a estrutura do cerrado), e, posteriormente, os sensoriados (valores espectrais do cerrado nas bandas TM/LANDSAT, índices de vegetação), além, é claro, dos resultados da análise de regressão envolvendo tais dados. As conclusões e recomendações tidas como fruto desta pesquisa são então abordadas na parte final deste trabalho.

1.1 OBJETIVO E JUSTIFICATIVAS

O direcionamento da atual pesquisa em seu âmbito global, é o fornecimento de subsídios aos procedimentos de avaliação da biomassa * aérea do Cerrado, por meio de dados orbitais. Esta proposição é substanciada, objetivamente, pelo estudo da relação funcional entre a biomassa foliar do cerrado (*stricto sensu*) e os índices de vegetação (razão simples e razão normalizada e transformada) obtidos dos dados do Thematic Mapper/LANDSAT-5.

Com base no objetivo principal pode-se então, relacionar aqueles objetivos considerados específicos, que norteiam o procedimento adotado na presente pesquisa:

* O termo biomassa refere-se a massa orgânica constituída do material lenhoso e foliar dos estratos arbóreo, arbustivo e herbáceo, que compõem a comunidade vegetal em estudo.

- análise de características estruturais da unidade fisionômica cerrado (*stricto sensu*) e, a conseqüente definição da biomassa foliar apresentada por esta tipologia;
- determinação dos parâmetros espectrais do cerrado a partir dos dados orbitais e análise da contribuição das bandas do mapeador temático na estimativa da biomassa foliar;
- estimativa de ajuste das funções linear e exponencial na análise de regressão, envolvendo como variáveis a biomassa foliar (peso fresco e peso seco) e os índices de vegetação.

Traçando um perfil da utilização dos dados LANDSAT no estudo da cobertura vegetal, sobretudo dos cerrados brasileiros, o presente trabalho mostra uma continuidade na linha de pesquisa até então desenvolvida, no sentido de dispor à comunidade de usuários, os dados sensoriados em sua forma aplicativa. Esta linha, foi iniciada com o trabalho pioneiro de AOKI & SANTOS⁴ na identificação e delimitação das unidades fisionômicas dos cerrados (*lato sensu*) a partir de dados MSS/LANDSAT. Posteriormente, o trabalho de ADÂMOLI *et alii*², com estudo de queimadas em pastagens nativas dos cerrados, fazendo uso de dados radiométricos de campo e dados do MSS/LANDSAT. Mais recentemente, o trabalho elaborado por PEREIRA⁹⁰, sobre a correlação da fitomassa de campo cerrado, empregando dados de radiometria de campo e do sensor MSS/LANDSAT.

Complementando a justificativa da realização desta pesquisa, pode-se ainda citar:

- a) possibilidade de estimar a biomassa foliar do cerrado como alternativa ao emprego do método destrutivo tradicional e, de avaliar a variação desta biomassa, levando-se em conta o fator sazonal, graças a característica de repetitividade do satélite;
- b) a possibilidade de estimar a biomassa por uma técnica (sensoriamento remoto orbital) compatível a grande extensão ocupada pela vegetação de cerrado, no território nacional.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O Cerrado (*lato sensu*) é caracterizado pela presença de pequenas árvores bem espaçadas, intercaladas por arbustos e o terreno coberto por gramíneas, a semelhança do que ocorre nas savanas tropicais. Este conceito é facilmente compreendido com a definição de savana, por BOURLIÈRE & HADLEY¹⁶ "... a tropical formation where the grass stratum is continuous and important, occasionally interrupted by trees and shrubs; the /grass /stratum is burnt annually, and the main growth patterns are closely associated with alternating wet and dry seasons".

Por conseguinte, uma abordagem sobre a formação savana se faz necessário, antes da discussão sobre a vegetação de Cerrado, tema principal deste trabalho.

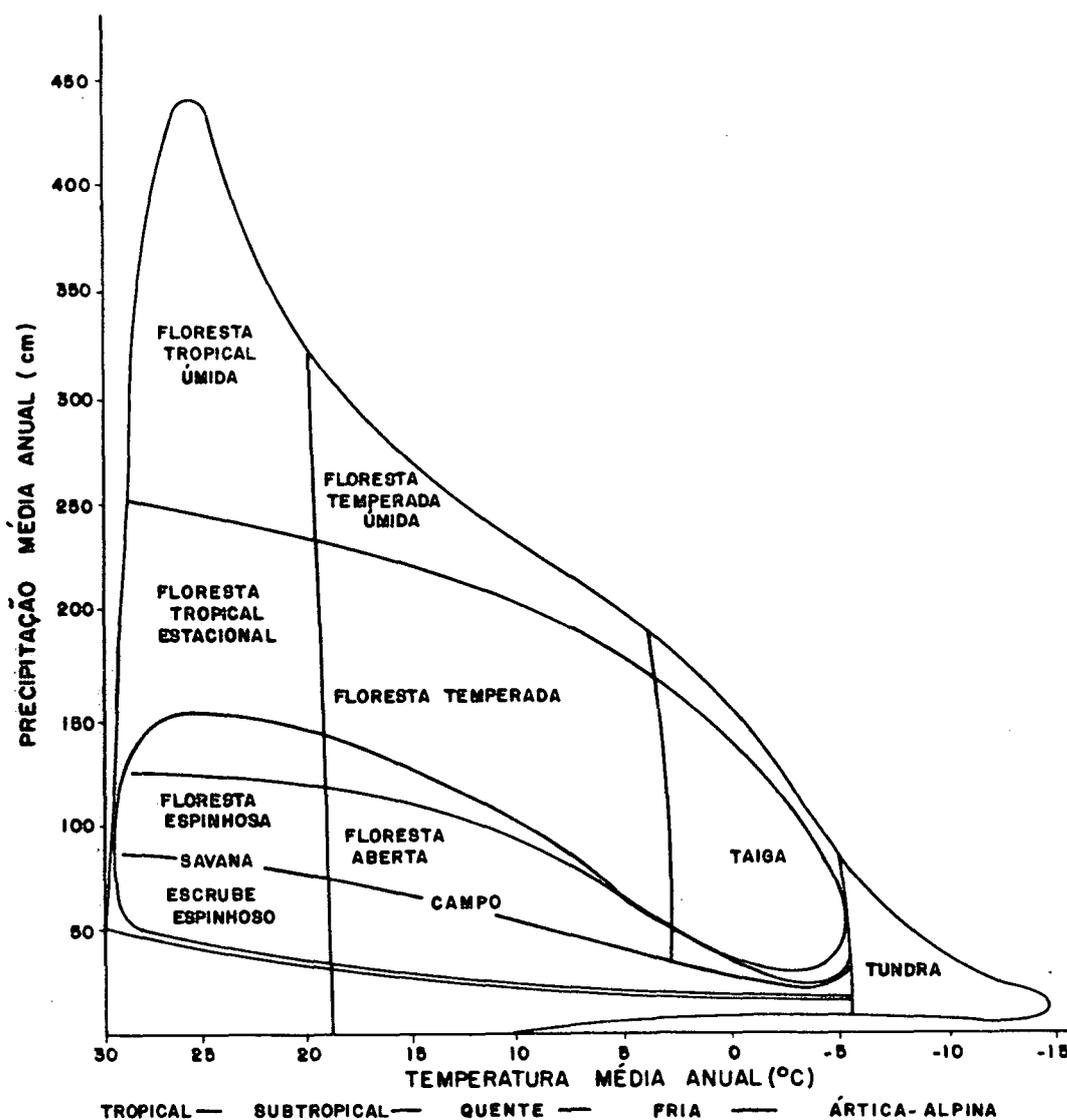
2.1 A FORMAÇÃO SAVANA

WALTER¹²¹ define savanas como sistemas ecológicos formados por pradarias tropicais, nas quais algumas espécies isoladas, lenhosas, vivem em competição com gramíneas e outras herbáceas.

BEARD¹², trabalhando na América do Sul, define savana como "a plant formation ... comprising a virtually continuous ecologically dominant stratum of more or less xeromorphic herbs, of which grasses and sedges are the principal components, with scattered shrubs, trees, or palms, sometimes presents".

WHITTAKER¹²⁴ ilustra, na forma de diagrama (Figura 1), o espaço ocupado pela formação savana em relação às outras formações vegetais do mundo, levando em consideração parâmetros climáticos de precipitação e temperatura.

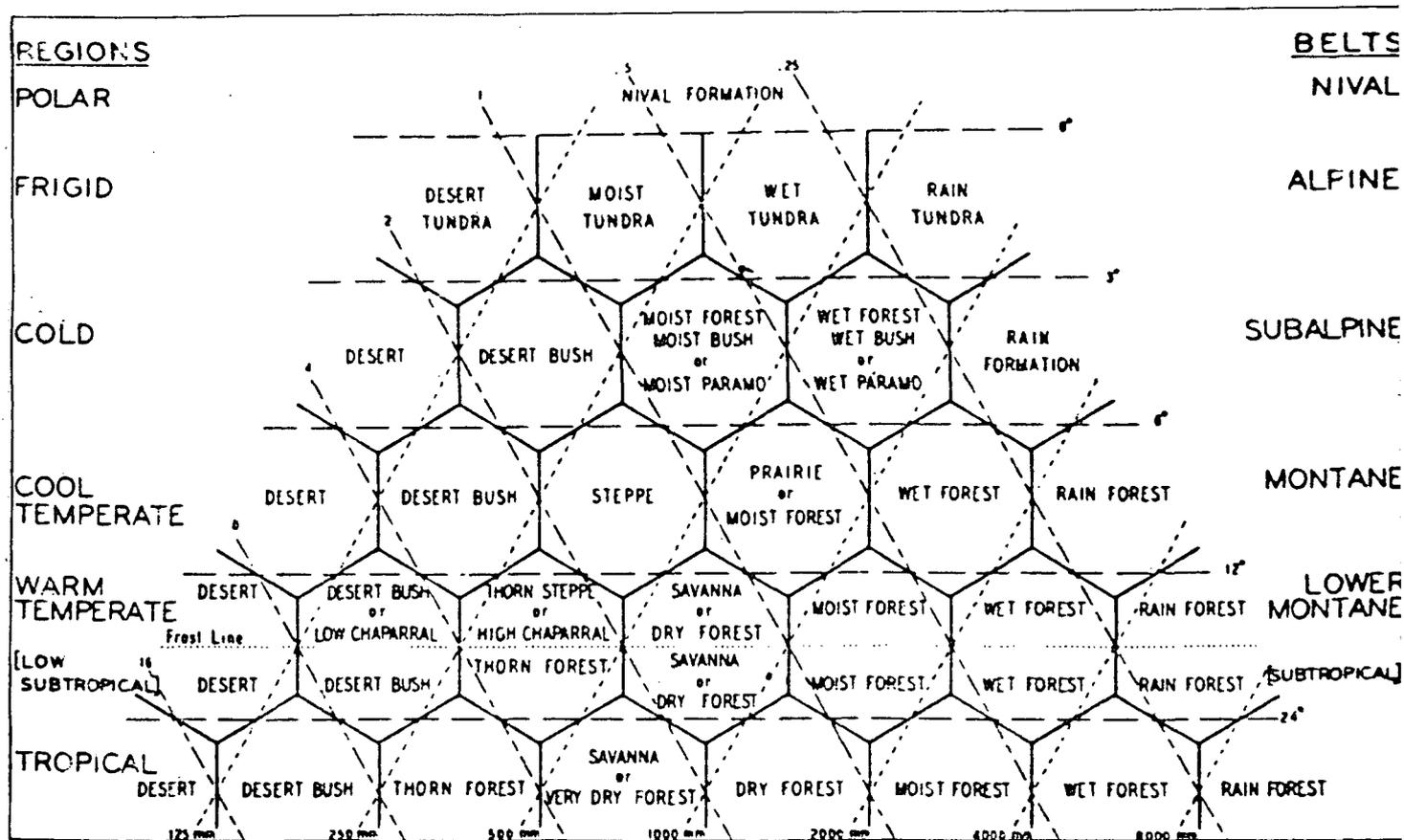
FIGURA 1. DIVISÃO DO ESPAÇO DAS FORMAÇÕES VEGETAIS COM BASE EM PARÂMETROS CLIMÁTICOS



Fonte: WHITTAKER¹²⁴

Em termos espaciais as savanas tropicais estão em uma zona de transição entre as zonas de floresta úmida e o deserto. Relacionando fisionomia da vegetação e parâmetros climáticos, HOLDRIDGE* citado por BEARD¹³, elaborou um sistema de classificação das formações vegetais (Figura 2). Neste sistema, as savanas estão posicionadas em regiões tropicais e sub-tropicais, com 500 e 1.000 mm de precipitação anual e temperatura superior a 12°C.

FIGURA 2. DIAGRAMA DE CLASSIFICAÇÃO DAS FORMAÇÕES VEGETAIS SEGUNDO CONDIÇÕES CLIMÁTICAS



Fonte: HOLDRIDGE, citado por BEARD¹³

* HOLDRIDGE, L.R. Determination of world plant formations from simple climatic data. Science, New York, 105: 367-368, 1947.

As savanas tropicais, situada na zona de transição anteriormente citada, têm sua estrutura fisionômica condicionada pelo gradiente climático, com aumento da densidade de árvores a medida que aumentam os índices de precipitação (BOURLIERE & HADLEY¹⁷). Contudo, como sistemas dinâmicos, as savanas, que possuem uma estrutura fisionomicamente simples, podem por perturbações (exemplo: efeito do fogo), sofrer profundas modificações nos componentes que fazem parte do sistema. A Figura 3 ilustra as principais características das savanas tropicais e relata as conseqüências advindas de modificações neste sistema.

Os aspectos topográficos, ação do homem e de herbívoros podem alterar o gradiente estrutural das savanas. WALTER¹²¹ comenta que as herbáceas e espécies lenhosas são dois tipos vegetais antagônicos, que conseguem manter-se em equilíbrio ecológico exclusivamente em zonas tropicais com chuvas estivais e em solos contendo camadas profundas de areias em mistura com argila.

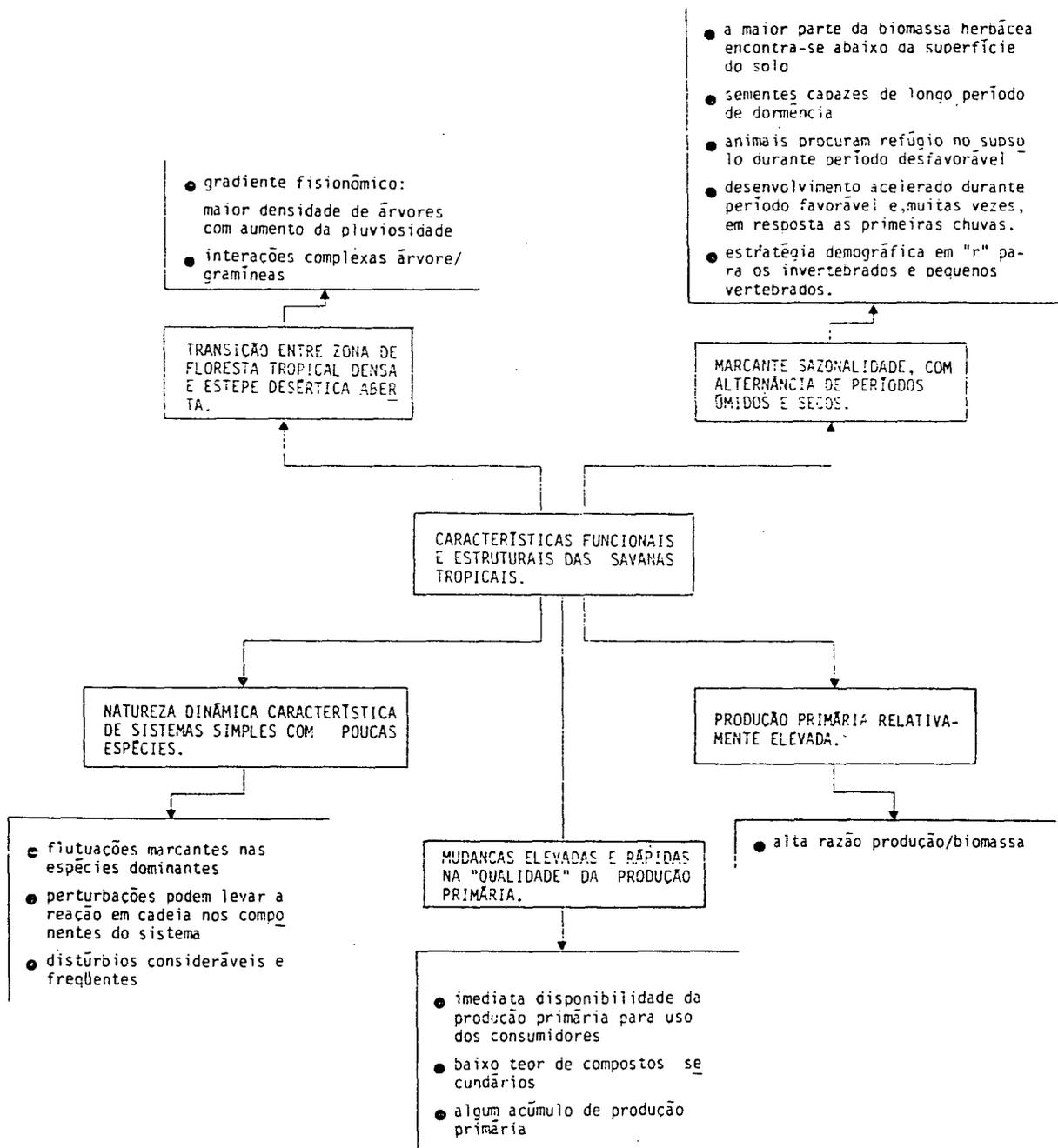
HILLS⁵⁶ faz comentários sobre a distribuição e diferenciação de sub-tipos no bioma savana, cujo modelo descritivo é baseado em condicionantes como o relevo, drenagem, altitude de ocorrência, condições climáticas, entre outras.

2.1.1 Clima das Savanas Tropicais

NIX⁸⁸ faz uma abordagem completa das condições climáticas dominantes nas regiões das savanas e estabelece que, estas savanas tropicais tem alta probabilidade de ocorrência onde:

- a) a radiação solar anual atinge valores de 6 a 8 GJ/m².ano (140-190 kcal/cm².ano);

FIGURA 3. REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DAS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS SAVANAS TROPICAIS E DAS CONSEQUÊNCIAS E ESTRATÉGIAS DESTE SISTEMA DINÂMICO



- b) a precipitação média anual atinge de 1.000 a 1.500 mm de chuva;
- c) a sazonalidade de chuva é elevada, com coeficiente de variação maior que 75%;
- d) o total de precipitação durante os 6 meses do período chuvoso excede 600 mm;
- e) o total de precipitação durante os 3 meses de seca é menor que 50 mm;
- f) a temperatura média anual excede 24°C ;
- g) a temperatura mínima do mês mais frio está entre 13° e 18°C .

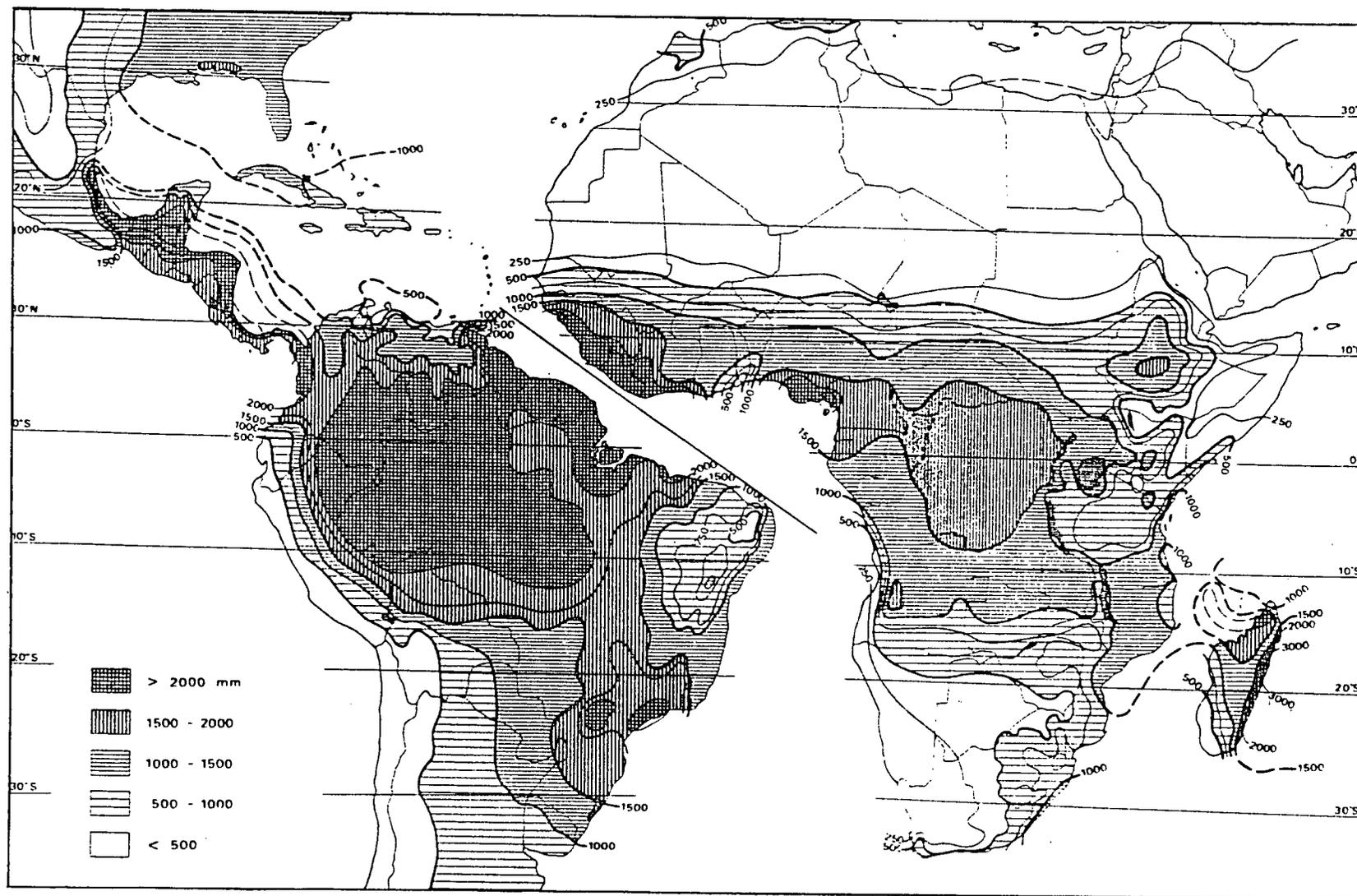
As Figuras 4 e 5 ilustram as condições climáticas das savanas nas regiões da África e América.

HILLS⁵⁶ comenta que a savana ocorre em ampla variedade de condições climáticas, mas comumente baseada sobre a sazonalidade das precipitações pluviométricas do que a temperatura. O total de precipitação oscila de 380 a 3.800 mm, com elevada concentração (50-90%) de chuva no período úmido. O período seco varia de 2 a 8 meses, onde a velocidade do vento durante este período tem um significativo impacto sobre a taxa de evapotranspiração, um rápido estresse hídrico no solo e na camada de "litter" e por conseguinte, favorecendo a ação do fogo.

2.1.2 Solo das Savanas Tropicais

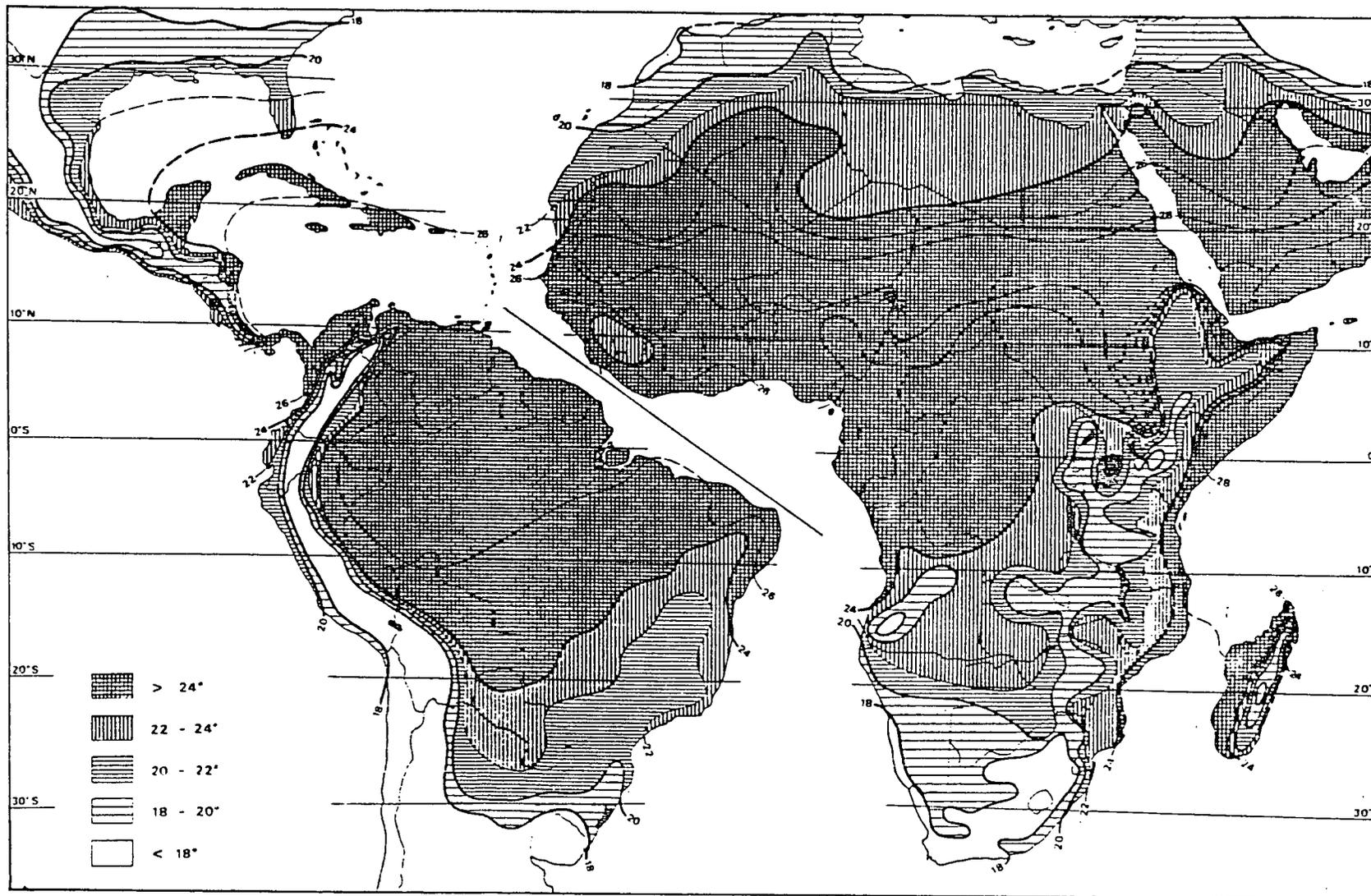
Uma diversidade de solos são encontrados nas áreas cobertas pelas savanas tropicais, o que torna impossível fazer generalizações sobre o "solo das savanas" típico. A ocorrência das savanas tem sido abordada por explanação sobre o solo, como causa primária ou como fator indireto. Estas explanações

FIGURA 4. PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA MÉDIA ANUAL (mm) NAS SAVANAS TROPICAIS (ÁFRICA E AMÉRICA)



Fonte: NIX⁸⁸

FIGURA 5. TEMPERATURA MÉDIA ANUAL (°C) DAS SAVANAS TROPICAIS (ÁFRICA E AMÉRICA)



Fonte: NIX⁸⁸

edáficas envolvem a umidade do solo e o teor de nutrientes. Já as teorias climáticas abordam as condições de capacidade hídrica do solo em função das condições sazonais.

Para HILLS⁵⁶, o bioma savana e conseqüentemente as variações que caracterizam os sub-tipos desta formação podem ocorrer em áreas que:

- o padrão de drenagem é pobre, caracterizado pelo relevo pouco acentuado e onde os tipos de solo são afetados pela estrutura física interna, tais como horizontes impermeáveis formado por argilas que estão frequentemente laterizadas;
- a maior parte dos solos está caracterizada por baixo teor de nutrientes, provavelmente, devido a alta lixiviação dos latossolos, em que os nutrientes solúveis têm sido completamente removidas.

MONTGOMERY & ASKEW⁸¹ abordam sobre os solos das savanas, quanto a textura, estrutura, umidade, matéria orgânica. Através da coletânea de trabalhos científicos citados por estes autores, pode-se verificar a variabilidade das condições edáficas em áreas de savanas. Em termos de propriedades dos solos, uma amplitude na distribuição no tamanho das partículas, de cascalho e areia até argilas finas; na drenagem, de solos excessivamente drenados e secos até aqueles inundados sazonalmente; em profundidade, de solos rasos (fina camada sobre rocha) àqueles em regolitos profundamente intemperizados; em teor de nutrientes, aqueles altamente lixiviados e solos ácidos com baixo teor de bases trocáveis e solos calcáreos e ocasionalmente, aqueles solos com sais solúveis e alcalinos.

Na Tabela 1 pode-se observar as unidades taxonômicas dos solos que ocorrem nas savanas.

TABELA 1. INTERRELAÇÕES DE ROCHAS, VEGETAÇÃO E TIPO DE SOLO SEGUNDO O ESQUEMA DE CLASSIFICAÇÃO DA FAO (1974), DA USDA (1975) E A CORRESPONDENTE DESIGNAÇÃO NO SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS

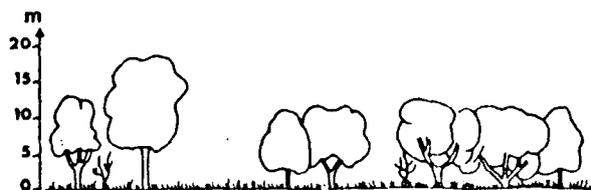
Tipo de rocha	FAO (1974)		USDA(1975)	Sistema Brasileiro
	Felsic to intermediate rocks	Basic rocks	Sem subdivisões de acordo com o tipo de rocha	
Vegetação				
Floresta úmida	Ferralsols		Oxisols	Latossolos
Floresta/savana	Ferrasols Acrisols	Dystric Nitosols	Oxisols Ultisols	Latossolos Podzólicos
Savana	Ferralsols Acrisols Luvisols	Eutric Nitosols	Oxisols Ultisols Alfisols	Latossolos Podzólicos Terra Roxa Estruturada

Fonte: Modificado de MONTGOMERY & ASKEW⁸¹

2.1.3 Estrutura Fisionômica das Savanas

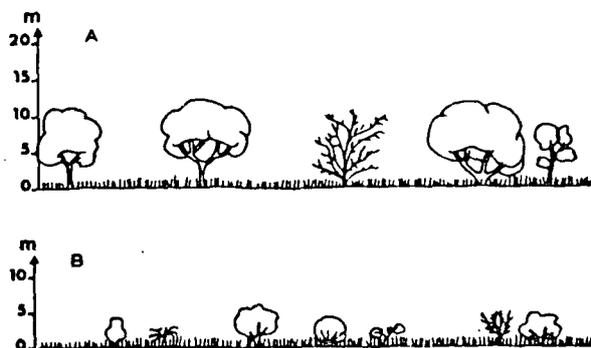
No encontro de fitogeógrafos realizado em Yangambi (África) no ano de 1956, ficou estabelecida a definição de savana como: "*formations of grasses at least 80 cm high, forming a continuous layer dominating a lower stratum, usually burnt annually. The leaves of grasses are flat, basal and cauline. Wood plants are usually present*". Esta categoria fisionômica apresentando várias fâcies ficou reconhecida em sub-categorias: "savanna woodland", "tree and shrub savanna", "grass savanna" (Figuras 6 e 7).

FIGURA 6. PERFIL DA "SAVANNA WOODLAND"



Fonte: MENAUT⁷⁶

FIGURA 7. PERFIL DA "TREE SAVANNA" (A) E DA "SHRUB SAVANNA" (B)



Fonte: MENAUT⁷⁶

GILLISON⁴⁹ comenta a definição de "grass savanna", como a fâcie dominada pelo estrato graminóide, onde espécies lenhosas podem estar presentes de maneira amplamente esparsa e apresentando uma cobertura de copa não superior a 0,2%.

Para HILLS⁵⁶, "shrub and tree savanna" referem-se àquelas fâcies em que arbustos e árvores ($h > 3$ m) apresentam cobertura de copa menor que 2%. A "savanna woodland" apresenta arbustos e árvores de altura superior a 3 metros, com uma cobertura de copa variando de 20 a 50%. Quando esta cobertura varia de 2 a 20% têm-se a fâcie mais aberta (open savanna woodland).

2.2 AS SAVANAS DA AMÉRICA DO SUL

As formações savânicas constituem uma importante parte da cobertura vegetal da América tropical. Na Figura 8 é apresentada a distribuição espacial das savanas no continente sul-americano.

FIGURA 8. DISTRIBUIÇÃO DAS SAVANAS TROPICAIS NA AMÉRICA DO SUL



Fonte: SARMIENTO¹⁰⁷

Em algumas regiões, tais como aquelas ocupadas pelos cerrados do Brasil Central ou os llanos da Colombia e Venezuela, as savanas estendem-se de forma contínua por amplas áreas. Por outro lado, as savanas aparecem mais ou menos isoladas, em manchas, cercadas de uma contínua formação florestal úmida, podendo-se citar as savanas amazônicas, a "gran sabana" e as savanas

costeiras das Guianas, além do pantanal e os llanos de Mojos (Bolívia) com estreitas relações às formações chaquenhas.

SARMIENTO¹⁰⁷ descreve tais tipos, comentando que as savanas, ditas neotropicais, mostram uma considerável similaridade florística, desde áreas em Cuba até limites mais austrais, no Paraguai e sudeste do Brasil.

As savanas podem ser consideradas sob dois pontos de vista, o ecológico e o fisionômico ou estrutural (SARMIENTO¹⁰⁷).

Do ponto de vista ecológico, 4 categorias se destacam:

- savana semi-sazonal: clima geralmente úmido, com um ou dois períodos secos de curta duração; ação do fogo menos freqüente; a vegetação sofre pouquíssimas mudanças durante o ano . Este tipo de savana ocorre naquelas regiões encravadas em meio ao domínio da floresta tropical úmida;
- savana sazonal: um prolongado período de baixa pluviosidade aumenta a probabilidade de ação do fogo e ambos os fatores, estiagem e queimada , proporcionam modificações no ritmo de equilíbrio do ecossistema). Os cerrados (EITEN³³) e os llanos (Colombia - Venezuela) pertencem a esta categoria;
- savana hipersazonal: caracterizada pelos estresses contrastantes durante a cada alternância de estações, um induzido pela estiagem e queimada, outro pela saturação do solo, função de excesso hídrico no período chuvoso quando o solo fica completamente alagado . O Pantanal Matogrossense e os llanos da Bolívia e de algumas áreas do Orinoco, são exemplos desta categoria;
- "estereo": tipo de savana em que o excesso de água permanece a maior parte do ano, enquanto o período de es-

cassez não existe ou é muito restrito. Pode ser considerado como um tipo de pântano, que passa a ter denominação de savana, somente quando gramíneas e ciperáceas são as espécies dominantes .

O outro critério na diferenciação das savanas é baseado nos aspectos estruturais da vegetação, através de características do componente arbóreo ou herbáceo, por exemplo. A Tabela 2 ilustra as quatro categorias estruturais de savanas (SARMIENTO¹⁰⁷) e a correspondente tipologia empregada no Brasil.

TABELA 2. PRINCIPAIS TIPOS FISIONÔMICOS DAS SAVANAS TROPICAIS NA AMÉRICA, COM OS NOMES CORRESPONDENTES EM INGLÊS, PORTUGUÊS E ESPANHOL

Tipo	Total de cobertura arbórea %	Densidade média de árvores/ha	Designação em português	Designação em espanhol
Savanna grassland	-	-	campo limpo	sabana pastizal
Tree and/or shrub savanna	<2	500	campo sujo	sabana abierta
Wooded savanna	2-15	1.000	campo cerrado	sabana cerrada
Savanna woodland	15-40	3.000	cerrado	sabana boscosa

Fonte: SARMIENTO¹⁰⁷

Em outro trabalho sobre as savanas neotropicais, SARMIENTO¹⁰⁸ lista várias outras fâcies encontradas na América, tais como:

- a) Savanas com árvores de altura superior a 8 metros;
contínuas ou dispersas:
- . Árvores isoladas, com cobertura total de copa abaixo de 2%:
Tall tree savanna
Sabana abierta alta
 - . Árvores com cobertura total de copa entre 2% a 15%:
Tall savanna woodland
Sabana cerrada alta
 - . Árvores com cobertura total de copa entre 15% a 30%:
Tall wooded grassland
Sabana boscosa alta
 - . Árvores com cobertura total acima de 30%:
Tall woodland
Bosque claro
Cerradão
- b) Savanas com árvores altas em pequenos agrupamentos:
Park savanna
Sabana parqueada
- c) Mosaico de unidades de savana e floresta
Park
Parque

Nas savanas neotropicais, a componente estrutural relativa ao estrato herbáceo, tem alto nível de desenvolvimento, cobrindo grande porção da superfície do solo. É lógico, que nesta generalização, fazem-se exceções às "savanas mais densas", do tipo "cerradão" na região Central do Brasil. A ação do fogo é também condicionante deste grau de cobertura, assim como a

própria estrutura do solo. Em solos profundos e de textura média, por exemplo, o estrato herbáceo pode cobrir até 90% da superfície do solo, enquanto para solos arenosos e pedregosos, tais valores não atingem mais que 25%.

Floristicamente, as formações savânicas neotropicais apresentam uma riqueza quanto a diversidade de espécie, apresentando uma similaridade de flora. SARMIENTO¹⁰⁷ comenta a presença de espécies arbóreas como a *Bowdichia virgiloides*, *Byrsonima crassifolia* e a *Curatella americana* e também algumas gramíneas e ciperáceas, como a *Leptocoryphium lunatum*, *Trachypogon plumosus* e outras espécies de *Andropogon*, *Axonopus*, *Paspalum*, comuns praticamente à todas as áreas de savanas. Esta homogeneidade neotropical apresenta o caso do Cerrado, de maior diversidade florística.

2.3 OS CERRADOS BRASILEIROS

O Cerrado, vegetação natural típica da região Central do Brasil, ocupa 1,8 milhão de km², estendendo-se desde latitudes ao norte do Equador até latitudes ao sul do trópico de Capricórnio. Situado em áreas de relevo plano a suavemente ondulado, em altitudes que variam de 300 a 1.000 metros, o Cerrado estende-se do Pantanal Mato-Grossense no sudoeste até áreas ao norte, no domínio da floresta tropical úmida (Amazônia). A leste e sul, a transição com a floresta úmida, atlântica, é gradual, enquanto, a nordeste, em razão da condicionante climática, é brusca, com o domínio da caatinga.

O clima da maior parte do domínio cerrado é Aw, segundo a classificação de Köppen, com variação de precipitação, da região mais úmida a noroeste e sudeste, até aquelas mais áridas,

como a região nordeste. A precipitação anual é da ordem de 1.500 mm, com valores extremos de 750 mm nos limites da caatinga, até 2.000 mm na borda Amazônica. O período seco varia de 3 a 5 meses consecutivos, durante o inverno (SARMIENTO¹⁰⁷).

Conforme CAMARGO¹⁸, o confronto da distribuição dos Cerrados elaborado por AZEVEDO⁸, com a classificação de Köppen, mostra que esta formação é encontrada nos mais variados tipos climáticos, desde Am (quente e úmido, de curta duração), Cwa (tropical de altitude, com verões frescos e estação seca de inverno). Cfa (sub-tropical, com verões quentes e com estação seca) até Aw (quente e úmido com estação seca pronunciada de inverno). No relatório do IBDF⁶², constata-se que nos Cerrados de Minas Gerais, não foram encontradas correlações entre as condições climáticas e o aspecto estrutural da vegetação, mostrando que os fatores climáticos não limitam a ocorrência de qualquer fâcie na região.

ALVIM & ARAÚJO³ concluem que o solo é considerado o fator mais importante para a ocorrência dos cerrados, estando sua vegetação adaptada aos baixos teores de cálcio e pH no solo. Fatores edáficos é que determinariam as formações fisionômicas (ARENS⁶).

GOODLAND⁵² afirma que o gradiente fisionômico da vegetação de Cerrado é razão, em grande parte, a níveis diferenciados de alumínio no solo, de valores mais elevados nos campos e baixos no cerradão. A hipótese de que, não só o elevado teor de alumínio, como o baixo teor de cálcio, são um fator limitante da produção em solos do Cerrado, foi recentemente formulada (RITCHEY *et alii*⁹⁶).

Como a grande maioria dos pesquisadores, consideramos neste trabalho, o cerrado como savana, de conotação essencialmente fisionômica, segundo COUTINHO²³. Este autor, citando TAKEUCHI*, mostra o cerrado como savana, mas não inclui, neste último termo, os campos limpos. Por sua vez, FERRI⁴¹ considera o cerrado (l.s.) como savana, porém não incluindo o cerradão, unidade fisionômica esta, considerada como floresta. Esta diversidade de conceitos face a estrutura e fisionomia também se faz presente quando se trata do conceito florístico (COUTINHO²³), visto também não haver uma homogeneidade de flora em todas as formas de cerrado.

GOODLAND⁵¹ e FERRI⁴⁰ classificam os cerrados em quatro fâcies: campo sujo de cerrado, campo cerrado, cerrado (*stricto sensu*) e cerradão. Em uma análise sinecológica quantitativa, o percentual de cobertura pelas copas das árvores cresce de quase zero nos campos sujos até quase 100% nos cerradões, o mesmo acontecendo com os valores de biomassa que seguem tal seqüência. Em contrapartida, diz ainda GOODLAND⁵¹, a cobertura herbácea que no campo sujo atinge em média 65%, cai à 35% no cerradão, podendo atingir valores mínimos de até 2%.

AUBREVILLE⁷ e EITEN³² acrescentaram a estas quatro fâcies, o campo limpo de cerrado.

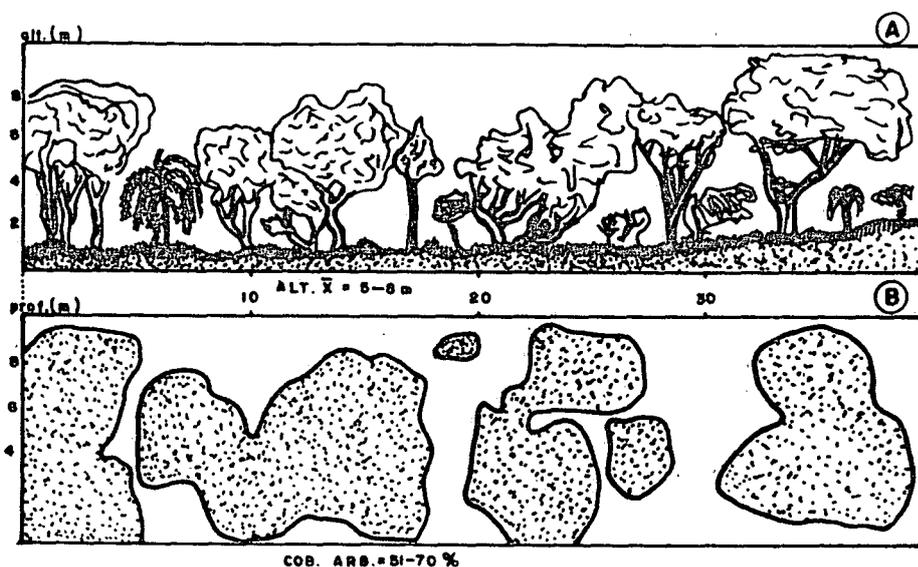
Com base em parâmetros de estrutura da vegetação (valores de cobertura, altura média do estrato arbóreo e estratificação), da posição topográfica e características de solo (profundidade, teor de umidade), foi elaborada por RIBEIRO *et alii*⁹²,

* TAKEUCHI, M. A estrutura da vegetação da Amazônia. II. As savanas do Norte da Amazônia. Bol. Mus. Paraense "Emilio Goeldi". Botânica, 7:1-14, 1960.

uma chave de identificação dos principais tipos fitofisionômicos da região dos Cerrados. Nesta chave, a formação Cerrado é subdividida em cerrado denso, cerrado típico, cerrado ralo, parque de cerrado e vegetação rupestre de altitude*. Vários fatores parecem influir na densidade arbórea do Cerrado, como as condições edáficas, pH e saturação de alumínio, fertilidade, ação do fogo e do homem. De acordo com RIBEIRO *et alii*⁹², a caracterização de cada unidade ficou assim estabelecida:

Cerrado Denso: vegetação predominantemente arbórea, com cobertura de 51 a 70% e altura média de 5 a 8 metros (Figura 9).

FIGURA 9. CERRADO DENSO. A- PERFIL. B- COBERTURA ARBÓREA

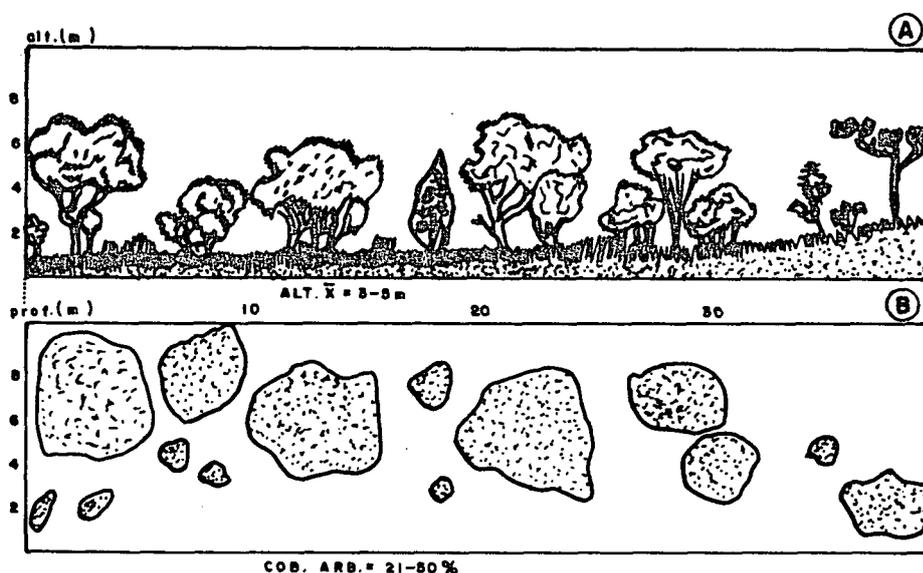


* O Cerradão com cobertura arbórea acima de 70% é denominado como floresta xeromorfa.

Os estratos arbustivos e herbáceo são mais ralos, provavelmente, devido ao sombreamento. A composição florística é semelhante à do cerrado típico, variando em frequência e densidade de indivíduos. Ocorre principalmente nos latossolos roxo, vermelho-escuro, vermelho-amarelo e nos cambissolos.

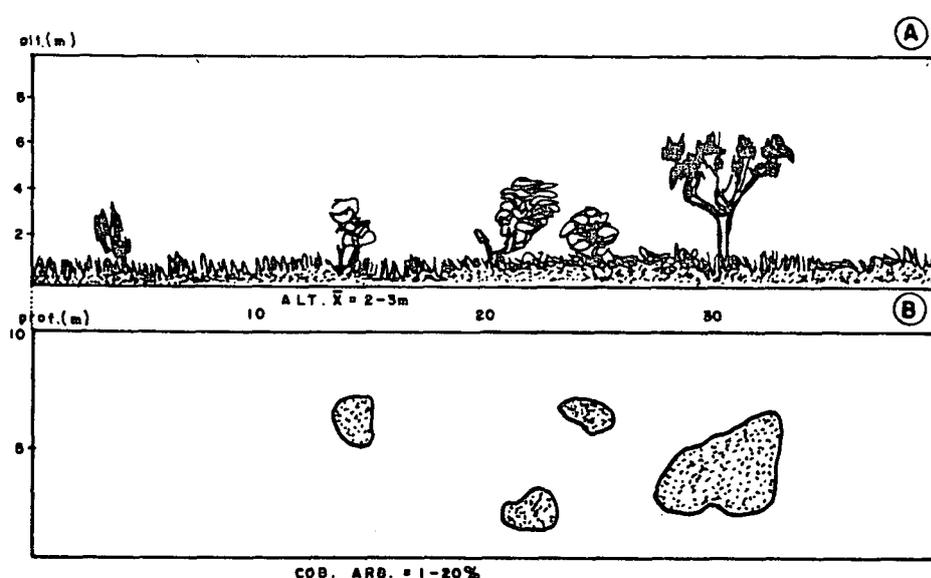
Cerrado Típico: vegetação predominantemente arbóreo-arbustiva, com cobertura arbórea de 21 a 50% e altura média de 3 a 5 metros (Figura 10). As espécies arbóreas mais características do cerrado típico são: *Didymopanax macrocarpum*, *Diospyros hispida*, *Vochysia elliptica*, *Vochysia rufa*, *Caryocar brasiliense*. Como espécies arbórea e arbustiva mais abundantes encontram-se: *Kielmeyera coriacea*, *Qualea parviflora*, *Byrsonima verbascifolia*, *Sclerolobium aureum*, *Piptocarpha rotundifolia*, *Davilla elliptica*, *Duguetia furfuracea*, *Palicourea rigida*, *Ouratea hexasperma*, dentre outras. O cerrado típico ocorre em latossolo vermelho-escuro, latossolo vermelho-amarelo, cambissolos, areias quartzosas, litólicos e solos concrecionários.

FIGURA 10. CERRADO TÍPICO. A- PERFIL. B- COBERTURA ARBÓREA



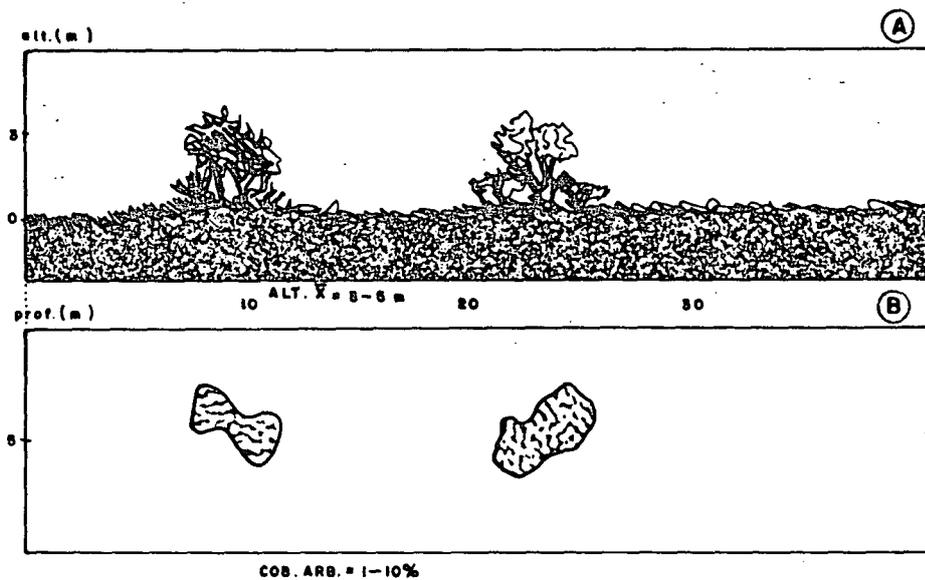
Cerrado Ralo: denominado por alguns outros autores como "Campo Cerrado", apresenta como estrato predominante o arbustivo-herbáceo. A cobertura arbórea não ultrapassa 20% (Figura 11). A composição florística é semelhante à encontrada no cerrado típico, como demonstram AOKI & SANTOS⁵. Esta forma, ocorre principalmente em latossolo vermelho-amarelo, cambissolo, areias quartzosas, hidromórficos, solos concrecionários e litólicos, dentre outros.

FIGURA 11. CERRADO RALO. A- PERFIL. B- COBERTURA ARBÓREA



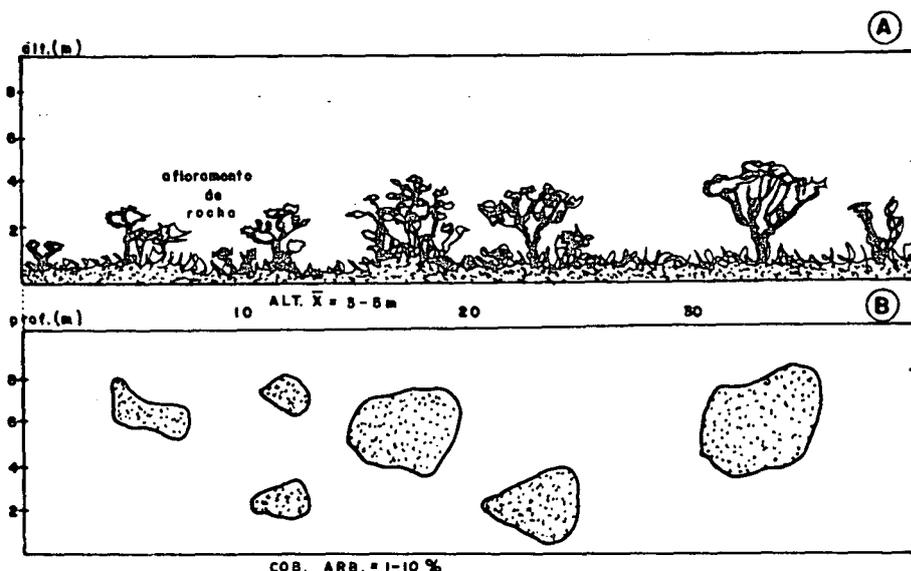
Parque de Cerrado: caracterizado pela presença de árvores de 2 a 4 metros, formando uma cobertura não superior a 10% (Figura 12), agrupadas em áreas predominantemente herbáceas em solos hidromórficos. No Pantanal Matogrossense e Vale do Rio Araguaia são encontradas unidades fisionômicas deste tipo. Em áreas com lençol freático próximo a superfície a presença de murundus (pequenas elevações do solo) possibilita a concentração de indivíduos arbustivos, subarbustivos ou herbáceos.

FIGURA 12. PARQUE DO CERRADO. A- PERFIL. B- COBERTURA ARBÓ-
REA



Vegetação Rupestre de Altitude: tipo fisionômico que abrange um complexo de vegetação agrupando diversas paisagens com espécies típicas, predominantemente herbáceas. Ocupa áreas em que se espalham pequenos afloramentos rochosos, nos quais crescem indivíduos lenhosos e herbáceos. O estrato arbóreo varia em média de 2 a 3 metros de altura, com uma cobertura não superior a 10% (Figura 13). Ocorre em solos litólicos, originados da decomposição, geralmente, de quartzitos, arenitos. Esta unidade fisionômica pode ser encontrada nas serras de Caraça, Diamantina e Chapada dos Veadeiros, em altitudes superiores a 900 metros, com ventos constantes e grande amplitude térmica diária.

FIGURA 13. VEGETAÇÃO RUPESTRE DE ALTITUDE. A- PERFIL. B- COBERTURA ARBÓREA



O Campo Sujo e Campo Limpo, incluídos por alguns autores como fazendo parte da formação cerrado (s.l.), são posicionados na chave de identificação, por RIBEIRO *et alii*⁹², como vegetação com estrutura de campo, predominantemente arbustivo-herbácea, com cobertura arbórea ausente ou insignificante.

A definição e uniformização da nomenclatura dos tipos fisionômicos dos Cerrados é problemática. GOODLAND⁵², FERRI⁴⁰, COUTINHO²³, AOKI & SANTOS⁴ descrevem as formas de Cerrado. A delimitação do conceito Cerrado é discutida por AZEVEDO⁹, RIZZINI⁹⁸ e EITEN³².

2.4 A BIOMASSA AÉREA DO CERRADO

A definição do termo biomassa é a maneira mais simplificada, porém necessária, de abordar inicialmente o presente tópico.

Para CLAPHAM JR.²¹, "the total amount of living material in any given species in an ecosystem is termed the standing crop; its weight is termed biomass".

BARBOUR *et alii*¹⁰ define biomassa como ... the weight of vegetation per unit area; synonyms are standing crop and phytomass. Esta definição é de conteúdo conciso e esclarece a polêmica em torno dos termos biomassa e fitomassa, principalmente quando está em discussão a quantificação da massa vegetal.

A partir deste ponto, pode-se enfatizar os trabalhos que apresentam os valores de biomassa das savanas em comparação à outras comunidades vegetais, o que facilitaria o entendimento quando da discussão da biomassa do cerrado. Uma fonte obrigatória de consulta é o trabalho de WHITTAKER & LIKENS¹²⁵, que ao analisarem a produtividade primária líquida de vários ecossistemas, desde formação de fisionomia florestal até de fisionomia campestre, fazem referências aos valores de biomassa destes ecossistemas (Tabela 3). A savana, em função de suas várias fácies estruturais mostra variação de biomassa da ordem de 0,2 a 15 kg/m², com um valor médio em torno de 4 kg/m².

TABELA 3. VALORES DE PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA LÍQUIDA E DE BIOMASSA DE ALGUNS ECOSISTEMAS TERRESTRES

Ecossistema	Produtividade Primária Líquida (peso seco)	Biomassa (peso seco)	
	valor médio g/m ² /ano	variação (kg/m ²)	média (kg/m ²)
Floresta tropical úmida	2.200	6-80	45
Floresta tropical estacional	1.600	6-60	35
Floresta temperada:			
sempre verde	1.300	6-200	35
decídua	1.200	6-60	30
Floresta boreal	800	6-40	20
Savana	900	0,2-15	4
Campos (zona temperada)	600	0,2-5	1,6
Tundra	140	0,1-3	0,6

Fonte: WHITTAKER & LIKENS¹²³

SEILER & CRUTZEN¹⁰⁹ estudando o fluxo de carbono entre a biosfera e a atmosfera, proveniente da queima de biomassa, faz referência aos valores de biomassa de algumas comunidades vegetais. No caso das savanas, faz uma subdivisão em: "humid savanna" (11 kg/m²) e "dry savanna" (2 kg/m²), dos quais 71% e 63%, respectivamente, correspondem a biomassa aérea.

Nas savanas da América do Sul poucos são os trabalhos que abordam este tema. SAN JOSÉ & MEDINA¹⁰³ registram que a biomassa aérea das savanas de *Trachypogon* variam de 2 a 6 ton/ha nos llanos da Venezuela. PEREIRA⁹⁰ registra que a biomassa de campos cerrados oscilou em torno de 3 ton/ha.

Em trabalho recente, FEARNSIDE³⁶ ilustra na forma tabular a biomassa aérea de tipos de vegetação da Amazônia Legal (Tabela 4), onde o cerrado apresenta valores médios de 37,8 ton/ha, bem próximos aqueles encontrados por WHITTAKER & LIKENS¹²⁵ e BOURLIÈRE & HADLEY¹⁶ para as savanas.

TABELA 4. VALORES DE BIOMASSA (PESO SECO) ESTIMADOS PARA TIPOS DE VEGETAÇÃO NA AMAZÔNIA LEGAL

Tipo de vegetação	Biomassa (ton/ha)		
	aérea	hipógea	litter
Floresta Densa de Terra Firme	251,7	86,3	23,5
Cerrado	37,8	25,2	7,7
Floresta de Várzea e Igapô	158,1	54,2	3,34
Manguezais	162,5	190,0	102,1

Fonte: FEARNSIDE³⁶

2.5 INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA COM A VEGETAÇÃO

A energia eletromagnética ao entrar em contato com a matéria torna possível um grande número de interações que por sua vez produzem modificações na energia incidente. No caso da

cobertura vegetal, esta interação determina a quantidade de energia radiante que é absorvida, refletida ou transmitida pelas folhas e, o potencial de processos tais como a fotossíntese, evapotranspiração e crescimento (WEISER *et alii*¹¹²). LILLESAND & KIEFER*, citados por KARASKA *et alii*⁶⁴ relatam que a proporção de energia refletida, absorvida e transmitida por tipo de vegetação pode variar em função da sua composição e de condições associadas à este tipo.

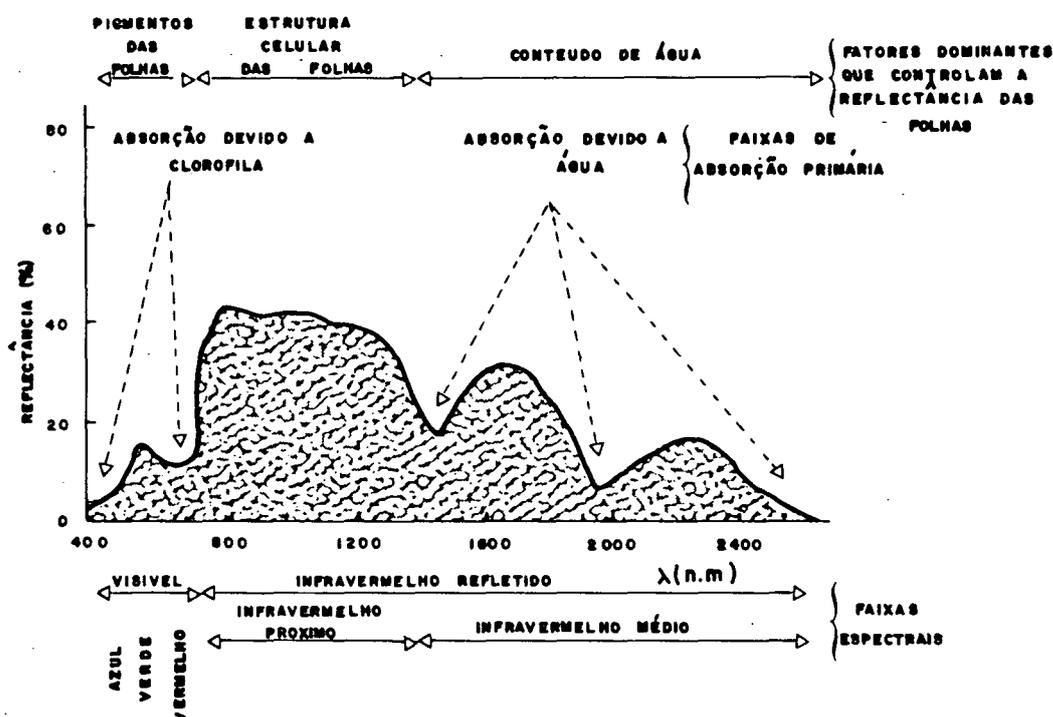
GATES⁴⁶ faz uma análise da interação da energia radiante com a folha, citando que mudanças na estrutura celular do mesófilo esponjoso (da folha) afetam a reflectância na faixa do infravermelho próximo, pois a resposta espectral é o resultado da interação desta radiação incidente com o mesófilo. Isto permite que uma pequena quantidade de luz seja refletida pela cutícula da folha, uma grande quantidade seja transmitida ao mesófilo esponjoso, onde os raios freqüentemente encontram as paredes das células e são refletidas em função das dimensões dos ângulos incidentes.

Os mecanismos de absorção e espalhamento também devem ser considerados quando se trabalha com dados sensoriados, pois a atmosfera influi na intensidade e na composição espectral da radiação que, oriunda do alvo, atinge o sistema sensor.

Como a radiação interage com a vegetação de maneira diferente para cada faixa do espectro eletromagnético, é conveniente mostrar uma curva padrão de resposta espectral da vegetação verde, na faixa do visível e do infravermelho (Figura 14).

* LILLESAND, T.M. & KIEFER, R.W. Remote sensing and image interpretation. New York, John Wiley, 1978.

FIGURA 14. RELAÇÃO ENTRE A REFLECTÂNCIA DA FOLHA VERDE E OS FATORES DE ABSORÇÃO NA FAIXA DO VISÍVEL E INFRAVERMELHO



Fonte: HOFFER & JOHANNSEN⁵⁸

Nos comprimentos de onda de 400 nm* a 700 nm (visível), a reflectância da vegetação está associada com a presença de pigmentos dos cloroplastos, havendo um pico de absorção na região do azul (470 nm) e vermelho (680 nm), ambos devido a presença das clorofilas "a" e "b" (MYERS & ALLEN⁸⁴). Segundo HOFFER & JOHANNSEN⁵⁸ nesta região ocorre o efeito, em pequenas proporções, de outros pigmentos (carotenos, xantofilas, antocianinas), cuja falta pode reduzir a absorção de luz visível pela folha. Na faixa espectral de 520-600 nm há um pico de reflectância, indicando a porção de luz verde do espectro, que

* nm = nanômetro = $10^{-3} \mu\text{m}$

não é absorvida (ROCK *et alii*¹⁰⁰). Complementando, estes autores citam ainda que o aumento acentuado na curva entre 680 nm e a região do infravermelho próximo (700 a 1.300 nm) é definida como a "extremidade do vermelho", cuja inclinação e posição tem sido diretamente correlacionada com a concentração de clorofila. Esta inclinação e posição sofrem modificações quando a folha passa da fase sadia (fotossinteticamente ativa) à fase de senescência.

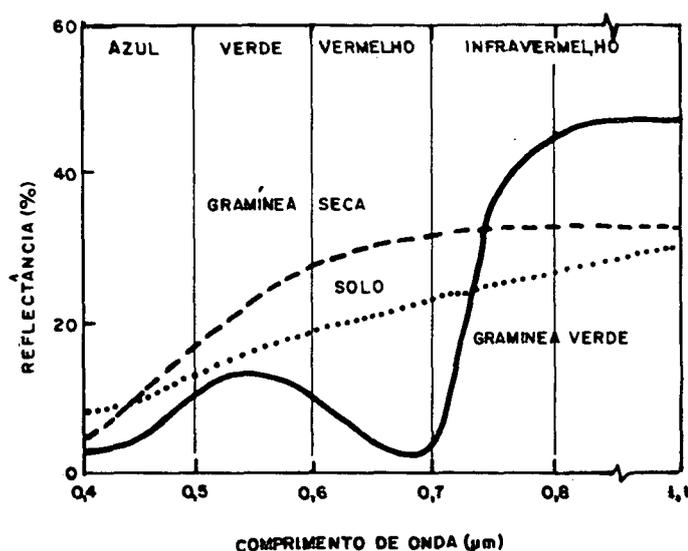
Na região do infravermelho próximo, a energia interage com a estrutura da folha por absorção e espalhamento. Além do mesófilo, como principal fator ligado à reflectância da vegetação no infravermelho próximo (IVP), o espalhamento da radiação dentro da folha é ocasionado por certas estruturas de dimensões semelhantes ao comprimento de onda da luz - como núcleo, grãos de amido e outros plastídeos (GATES *et alii*⁴⁷). A densidade de cobertura foliar caracteriza também, segundo HOFFER⁵⁷, uma alta reflectância e baixa absorção comparada à região visível.

ROCK *et alii*¹⁰⁰ sugerem que modificações na estrutura celular da folha, estão associadas com a redução de reflectância ao longo desta região do infravermelho próximo e que tais propriedades espectrais, que podem ser detectadas remotamente, podem propiciar informações sobre as condições celulares da vegetação em extensas áreas.

Na região de 1.300 nm a 2.600 nm, a energia incidente sobre a folha é absorvida em maiores proporções nos comprimentos de onda por volta de 1.400 nm e 1.900 nm. Isto é explicado pela presença de água na folha, que absorve a radiação destes comprimentos de onda, também denominados de "bandas de absorção de água (TUCKER¹¹⁸).

A luz solar refletida pela vegetação verde tem características própria e distinta daquela refletida pelo solo isoladamente (TUCKER & MILLER¹¹⁹). A Figura 15 ilustra os padrões típicos de reflectância de uma vegetação herbácea e do solo.

FIGURA 15. REFLECTÂNCIA TÍPICA DE UMA VEGETAÇÃO HERBÁCEA E DO SOLO NA FAIXA DE 0,4 a 1,1 μm



Fonte: TUCKER & MILLER¹¹⁹

A massa foliar seca tem uma mais alta reflectância do que aquela fotossinteticamente ativa, na região do visível. Na região do infravermelho ocorre procedimento inverso. Por sua vez, o solo, apresenta na região do visível valores de reflectância intermediários entre aqueles apresentados pela cobertura foliar seca e verde, enquanto no infravermelho, valores mais baixos (LAUTENSCHLAGER & PERRY JR.⁶⁹).

Na prática, a radiação captada pelos sensores é uma somatória da energia refletida e emitida pelos alvos integrantes da área compreendida pelo campo de visada do sensor. KNIPLING⁶⁶ e COLWELL²⁴, comentam que fatores adicionais como a área, orientação e forma de folha, além da distância e posição do sensor em relação ao alvo e ao solo, bem como as condições atmosféricas, podem afetar a qualidade e quantidade da radiação refletida pela cobertura vegetal.

Com o conhecimento básico deste comportamento espectral anteriormente mencionado, pode-se empregar técnicas de sensoriamento remoto para o monitoramento de diferentes coberturas vegetais. WEISER *et alii*¹²² comentam que medidas sensoriadas da reflectância espectral da cobertura vegetal, pode ser um rápido e não destrutivo método de avaliação de parâmetros biofísicos da vegetação (isto é, índice de área foliar, biomassa). No caso da biomassa foliar, a resposta espectral da vegetação vem sendo exaustivamente estudada, onde os primeiros passos foram dados com medidas radiométricas de algumas espécies feitas em laboratório e no campo (PEARSON & MILLER⁸⁹).

2.6 ESTIMATIVA DA BIOMASSA AÉREA POR SENSORIAMENTO REMOTO

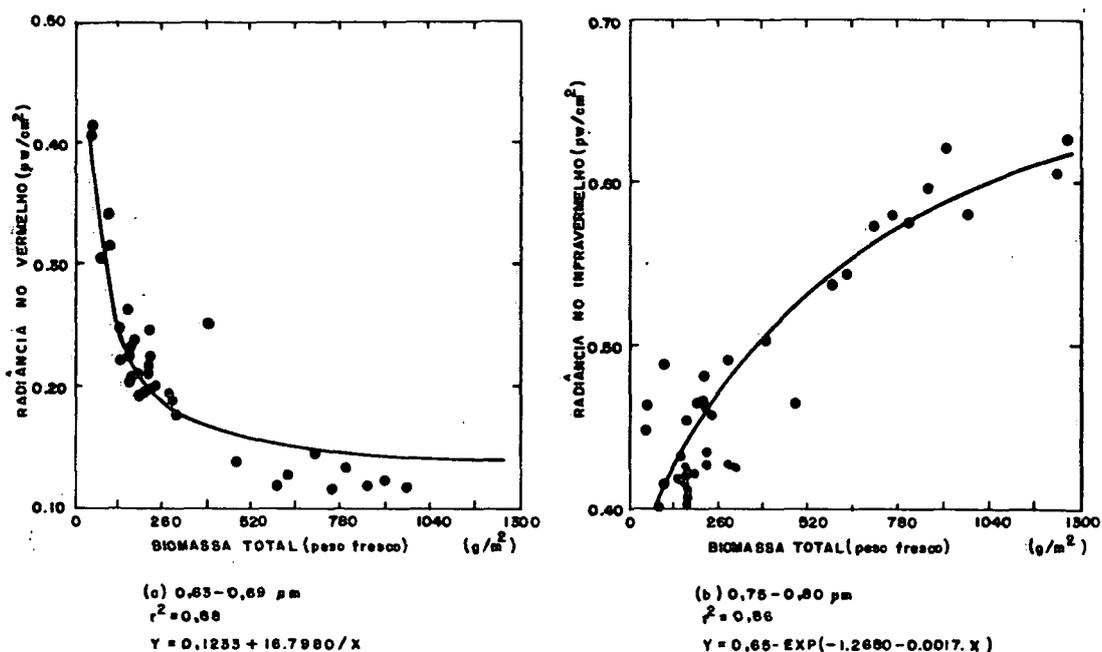
Como a reflectância da cobertura vegetal se relaciona com a biomassa foliar, a estimativa destes parâmetros pode ser utilizada como método não destrutivo de avaliação da vegetação.

TUCKER & MAXWELL¹¹⁸, apontam as faixas espectrais do vermelho (630 a 690 nm) e do infravermelho próximo (750 a 800 nm) para avaliar o comportamento da biomassa foliar. O uso destas duas faixas espectrais é facilitado por estarem próximas no

espectro eletromagnético, o que permite o uso de simples razão entre faixas para compensar as diferenças de intensidade do fluxo solar em cada uma delas. TUCKER¹¹⁶ ao analisar as propriedades básicas da radiancia no vermelho e infravermelho próximo com relação a vegetação, comenta que:

- a relação entre a radiancia na faixa de 0,63 - 0,69 μm e a biomassa verde resulta de uma alta absorção espectral da radiação incidente pela clorofila. É evidente que a assintótica da radiancia espectral (Figura 16) é mais rapidamente alcançada na faixa de 0,63 - 0,69 μm (vermelho), do que no infravermelho próximo (0,75 - 0,80 μm).

FIGURA 16. RELAÇÃO DA RADIANCIA E A BIOMASSA TOTAL (PESO FRESCO) NOS INTERVALOS (a) 0,63 - 0,69 e (b) 0,75 - 0,8 μm



Resultados similares foram obtidos para biomassa total (peso seco), conteúdo de água na folha e conteúdo total de clorofila nesta amostragem. O total de biomassa fresca foi predominantemente verde, contendo pouco material senescente.

Fonte: TUCKER¹¹⁶.

- a radiância em 0,63 - 0,69 μm é inversamente proporcional a quantidade de clorofila presente na cobertura foliar e por conseguinte, é sensível ao verde ou à massa fotossinteticamente ativa desta vegetação (Figura 16a).

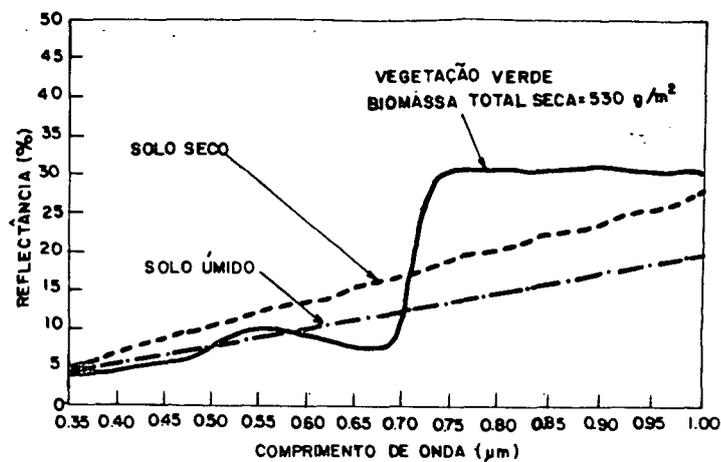
- a radiância na faixa 0,75 - 0,80 μm é sensível também a massa foliar fotossinteticamente ativa e em menor extensão, ao material senescente ou morto (Figura 16b). A relação entre a radiância nesta faixa e a biomassa, resulta de uma falta considerável de absorção espectral na região de 0,75 - 1,20 μm e alto grau de espalhamento intra e interfolha na cobertura vegetal.

A discriminação da biomassa foliar é extremamente dependente da reflectância espectral do complexo solo-vegetação (COLWELL²⁴). Por esta razão, cita TUCKER¹¹⁶, alguns comprimentos de onda são superiores a outros na discriminação da biomassa verde (Figura 17). No caso da região verde (0,52 - 0,60 μm) este contraste é relativamente pequeno. Isto porque os pigmentos clorofilianos tem uma baixa capacidade de absorvência da radiação na faixa verde, enquanto apresentam maior capacidade na região do vermelho (SALISBURY & ROSS*, citados por TUCKER¹¹⁶). Portanto, a relação entre a biomassa foliar e a radiância no verde é similar, àquela com a radiância no vermelho (Figuras 16a e 18).

TUCKER¹¹⁵ estudando uma cobertura vegetal graminóide (pradaria), no Colorado (EUA), identificou regiões espectrais entre 350 nm a 800 nm, onde o total de biomassa (peso fresco), total de biomassa (peso seco) e conteúdo de água na folha podem ser espectralmente estimados. Efetuou ainda uma análise de regressão entre dados de biomassa (obtidos no campo) e dados radiométricos, testando modelos em que a reflectância no estrato graminóide era

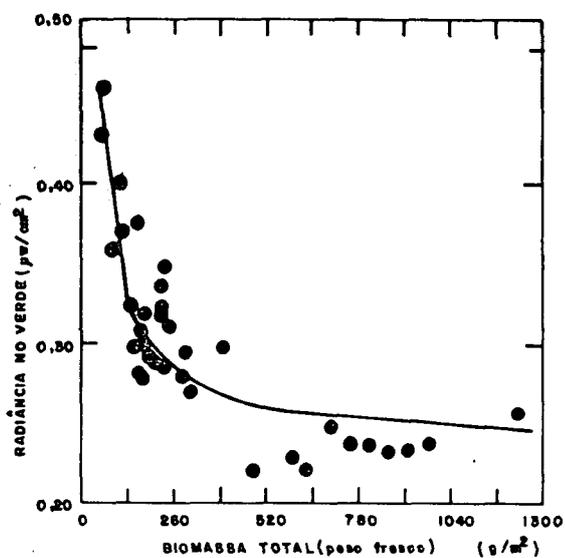
* SALISBURY, F.B. & ROSS, C. Plant physiology. Belmont, Wadsworth, 1969. 765 p.

FIGURA 17. REFLECTÂNCIA ESPECTRAL DO SOLO ÚMIDO E VEGETAÇÃO GRAMINÓIDE



Fonte: TUCKER & MILLER¹¹⁹

FIGURA 18. RELAÇÃO DA BIOMASSA TOTAL (PESO FRESCO) E A RADIÂNCIA NA FAIXA DO VERDE (0,52 - 0,60 μm).



Fonte: TUCKER¹¹⁶

expressa por:

$$RFL_{\lambda} = \beta_{0\lambda} e^{\beta_{1\lambda} \cdot (x)}$$

$$RFL = \beta_{0\lambda} + \beta_{1\lambda} \cdot (x)$$

onde:

RFL_{λ} = reflectância espectral do dossel em determinado comprimento de onda (λ);

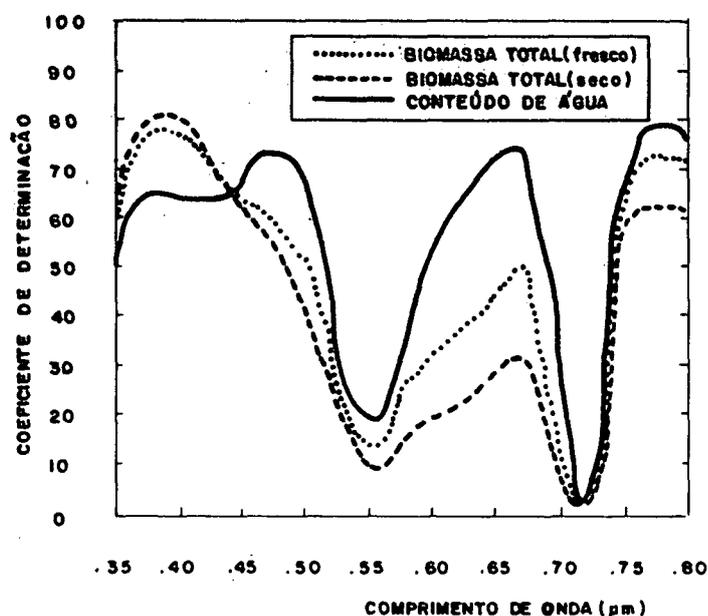
$\beta_{0\lambda}$ e $\beta_{1\lambda}$ = coeficientes estimados para determinado comprimento de onda;

e = constante Napier (2,71828 ...);

(x) = total de biomassa (peso fresco ou seco), conteúdo de água na folha.

A Figura 19 ilustra as curvas dos coeficientes de determinação para a biomassa total (peso fresco e seco) e conteúdo de água na folha, em função dos comprimentos de onda analisados.

FIGURA 19. CURVAS DO COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO PARA A BIOMASSA TOTAL E O CONTEÚDO DE ÁGUA NA FOLHA.



Fonte: TUCKER¹¹⁵

HARDISKY *et alii*⁵³, fez uso de radiometria de campo para avaliar as características espectrais sazonais e a biomassa (aérea) da espécie *Spartina alterniflora*, dominante nos pântanos em regiões dos EUA. Os dados espectrais foram configurados na região do vermelho (0,63 - 0,69 μm), infravermelho próximo (0,76 a 0,90 μm) e infravermelho médio (1,55 a 1,75 μm), faixas estas correlatas às bandas do TM/LANDSAT.

BEST & HARLAM¹⁵ indicam que a inclusão de bandas do infravermelho médio, melhora a correlação entre dados espectrais e as características da cobertura vegetal.

Trabalhos de correlação entre índices de vegetação e biomassa com o emprego da banda espectral no infravermelho médio (1,55 - 1,75 μm), através de simulação do TM com radiometria de campo, foram realizados por HARDISKY *et alii*⁵³ e WEISER *et alii*¹²².

As duas bandas no infravermelho médio do Thematic Mapper/LANDSAT (1,55 a 1,75 e 2,08 a 2,35 μm) são altamente correlacionadas (BENSON & DE GLÓRIA¹⁴, HORLER & AHERN⁵⁹). Estes últimos pesquisadores, comentam ainda que a banda TM5 pode melhor contribuir na identificação de áreas desmatadas e no monitoramento da regeneração da vegetação, se comparada às bandas do visível, devido a estar menos sujeita a interferência atmosférica. A região espectral em torno de 2,2 μm é, segundo ELVIDGE & LYON³⁴, de grande importância a estudos geológicos por sensoriamento remoto.

MUKAI & TAKEUCHI⁸² fizeram uso de dados do satélite LANDSAT, para a estimativa de produção primária da vegetação em áreas agrícolas e florestais. No caso de avaliação da biomassa florestal, com o uso de análise de regressão, obteve uma equa-

ção para volume (m^3/ha):

$$V = 245,4 - 3,4 X_2 + 5,4 X_4$$

onde:

X_2 e X_4 = banda 6 (0,7 a 0,8 μm) do sensor MSS/LANDSAT em diferentes datas de passagem.

A utilização de dados temporais pelos mesmos autores, na avaliação do volume de madeira mostrou uma precisão em torno de 80%. O referido estudo não faz alusão sobre a utilização de modelos visando compensar a influência dos efeitos atmosféricos e/ou àqueles relacionados a tomada de dados espectrais em períodos distintos.

Geralmente, a avaliação de biomassa com os dados sensoriados, seja através de radiometria de campo ou mesmo, a nível orbital, está diretamente relacionada aos chamados "índices de vegetação". Estes índices são modelos numéricos que indicam a densidade de vegetação por área, através de razões e combinações lineares ou não, da radiância em duas bandas espectrais.

PEARSON & MILLER⁸⁹ estudando áreas de pastagem, propuseram o índice de vegetação "razão simples" (R), definido como:

$$R = IVP/V$$

onde:

IVP = resposta espectral no infravermelho próximo;

V = resposta espectral no visível (região do vermelho).

ROUSE *et alii*¹⁰² propuseram o uso da diferença normalizada (ND) para o monitoramento da vegetação.

$$ND = \frac{(IVP - V)}{(IVP + V)}$$

Entretanto, DEERING *et alii*²⁷ adicionou à equação acima, o valor 0,5 para evitar valores negativos e tomou a raiz quadrada do resultado na expectativa de estabilizar a variância, ficando assim, definida a razão normalizada e transformada (TVI).

$$TVI = \left| (IVP - V) / (IVP + V) + 0,5 \right|^{1/2}$$

KAUTH & THOMAS⁶⁵ propuseram uma transformação ortogonal aos dados originais do MSS/LANDSAT em um novo espaço quadri-dimensional. A transformação denominada de "tasseled cap", é comparável a análise que se faz utilizando componentes principais e que permite destacar direções de importância no espaço espectral de algumas características contidas na cena imageada. A primeira direção "brightness" coincide com a linha do solo; a segunda, "greenness", está alinhada àquela direção espectral da variação principal associada a quantidade de biomassa verde. Esta componente é dita "índice de vegetação verde" (GVI). Na transformação "tasseled cap" assume-se que existe uma única linha de solo. Segundo THOMPSON & WEHMANEN¹¹² este modelo tem sido utilizado freqüentemente na interpretação de dados de satélite, contudo, DAVES²⁶ em função dos resultados de sua pesquisa relata que efeitos atmosféricos tem considerável influência nesta

transformação. SLATER & JACKSON¹¹⁰ mostram que a trajetória de radiância afeta a linha de solo, principalmente quando a reflectância do solo é baixa.

MISRA *et alii**, citados por LAUTENSCHLAGER & PERRY JR⁶⁹ propuseram uma transformação linear, baseada na idéia de brilho e contraste espectral, porém, as duas primeiras componentes desta transformação são similares àquelas obtidas da transformação de KAUTH & THOMAS⁶⁵.

RICHARDSON & WIEGAND⁹⁵ propuseram o índice vegetativo perpendicular (PVI), usando a distância ortogonal à linha de solo como um indicador do desenvolvimento vegetativo.

$$PVI = \left| (R_{gg} 5 - R_p 5)^2 + (R_{gg} 7 - R_p 7)^2 \right|^{1/2} \quad (1)$$

onde:

R_p = reflectância da vegetação na faixa do vermelho (canal 5) e IVP (canal 7 do MSS/LANDSAT);

R_{gg} = projeção da reflectância da vegetação na linha do solo.

A equação que representa a "linha do solo"

$$R_g 5 = a_0 + a_1 R_g 7 \quad (2)$$

e aquela que representa a vegetação

$$R_p 5 = b_0 + b_1 R_p 7 \quad (3)$$

permite-nos estabelecer as coordenadas de intersecção da vegetação na linha do solo

* MISRA, P.N.; WHEELER, S.G. & OLIVER, R.E. Kauth-Thomas brigtness and greenness axes. IBM personal communication. Contract NAS 9-14350, RES 23-46.

$$\text{Rgg 5} = \frac{b_1 a_0 - b_0 a_1}{b_1 - a_1} \quad e$$

$$\text{Rgg 7} = \frac{a_0 - b_0}{b_1 - a_1}$$

com a obtenção do PVI (equação 1). Uma forma menos complexa de obtenção destas medidas sem necessitar encontrar os valores de Rgg 5 e Rgg 7 é através da diferença de índice vegetativo (DVI) com a equação:

$$\text{DVI} = a_1 \text{MSS7} - \text{MSS5}$$

onde o valor "a₁" corresponde aquele valor encontrado na equação da linha do solo (equação 2). Comentando a correspondência entre o PVI e DVI, RICHARDSON & WIEGAND⁹⁵ indicam que:

$$\text{PVI} = \text{DVI} = \emptyset \text{ (solo exposto)}$$

$$\text{PVI ou DVI} < \emptyset \text{ (água)}$$

$$\text{PVI ou DVI} > \emptyset \text{ (vegetação)}$$

Quando se trabalha com dados do sensor MSS/LANDSAT na elaboração dos índices R, TVI e PVI, pode-se substituir os valores relativos do canal 7 (0.8 a 1.1 μm), por valores espectrais do canal 6 (0.7 a 0.8 μm). O trabalho de TORRE *et alii*¹¹⁴, mostra o uso do canal MSS6, empregando os índices TVI, PVI e GVI na detecção de estágios de crescimento (biomassa) da cana-de-açúcar. Efetuando-se considerações gerais sobre os índices de vegetação na avaliação da biomassa, a literatura nos mostra que a razão simples MSS6/MSS5 apresenta resultados estatisticamente mais significativos do que a razão MSS7/MSS5 na avaliação de biomassa de pastagens naturais em regiões secas e semi-áridas (TUCKER & MILLER¹¹⁹).

WEISER *et alii*¹²² fazendo uso dos radiômetros "Barnes Modular Multiband" e "Exotech Model 100A" avaliaram o uso de medidas de reflectância espectral, através dos índices R, ND e GVI, na estimativa de biomassa total aérea em áreas cobertas por espécies graminóides (*Andropogon gerardii* Vitman, *Andropogon scoparius* Michx e *Sorghastrum nutans* (L.) Nash).

TUCKER¹¹⁶ avalia e quantifica a relação entre várias combinações lineares obtidas de radiâncias no vermelho e infravermelho próximo (R, ND, TVI), e valores de biomassa, conteúdo de água na folha e conteúdo de clorofila.

YAZDANI & DERENYI¹²⁸ apresentam o índice de vegetação multitemporal (MTVI), definido como:

$$MTVI = VI(T2) - VI(T1)$$

onde:

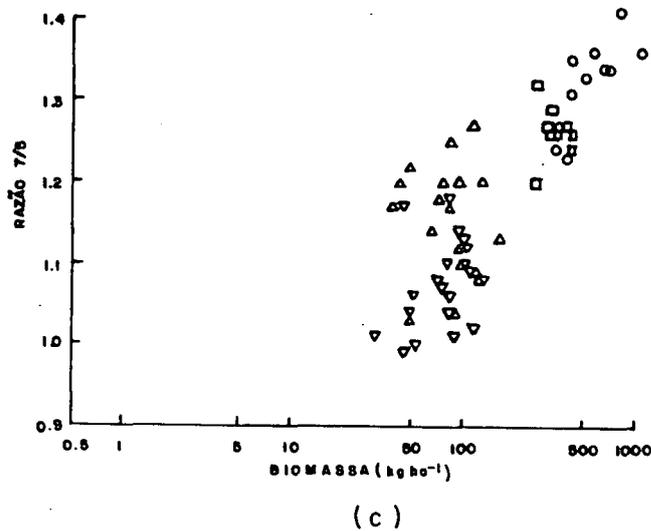
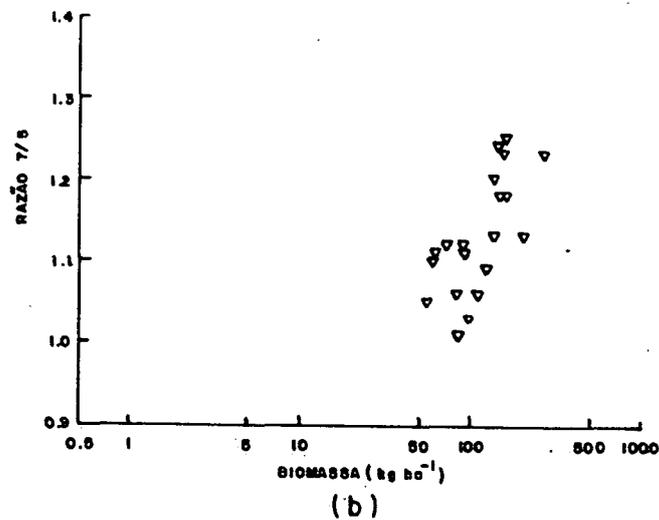
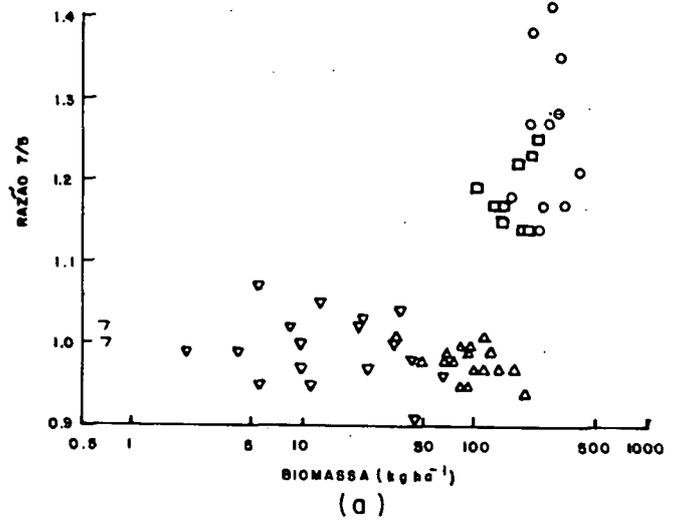
VI(T1) e VI(T2) são quaisquer índices de vegetação anteriormente mencionados (R, TVI, ...) obtidos a partir de dados coletados em datas diferentes. Este índice (MTVI) apresenta potencialidade de detectar possíveis alterações que ocorram na cobertura vegetal, oriunda de práticas de manejo (desmatamento, queimadas), fenologia, ... e até monitorar o efeito da erosão do solo.

PRINCE & ASTLE⁹¹ estudando sítios no oeste de Botswana em áreas de "woodland savannas", concluem que a cobertura de copa e a biomassa da vegetação herbácea e a área de solo exposto, podem ser estimadas a partir da razão MSS7/MSS5 do LANDSAT. A Figura 20 ilustra a relação positiva da biomassa herbácea fotossinteticamente ativa e a razão MSS7/MSS5.

Na avaliação da capacidade dos índices vegetativos oriundos do LANSAT estimarem biomassa foliar, MILLER & GEORGE⁷⁸ e

FIGURA 20. RELAÇÃO ENTRE RAZÃO "BANDA 7/BANDA 5" E A BIOMASSA FOTOSSINTÉTICA DE GRAMÍNEAS

(a) novembro/1983 (b) janeiro/1984 (c) março-abril/1984
 Δ Tamasane; ∇ Shakwe; \circ Masama (área de pastoreio sob controle); \square Masama (área não controlada)



MCDANIEL & HAAS⁷⁵ observaram que o GVI e o PVI apresentam os melhores coeficientes de correlação seguido do TVI e da razão simples (R).

Para DEERING *et alii*²⁷, o índice diferença normalizada (ND) foi o indicador mais sensível da vegetação em áreas de campos naturais em baixa cobertura foliar, do que o índice de razão simples (R).

JACKSON *et alii*⁶³ ao utilizarem vários índices (R, ND e PVI) de vegetação na avaliação de crescimento e "stress" hídrico em cultura de trigo, ressaltam que a razão simples (MSS7/MSS5) é um bom discriminador da vegetação, porém sofre o efeito das condições atmosféricas. O índice da diferença normalizada (ND) é algo sensível às mudanças na reflectância do solo (maior umidade, por exemplo), enquanto o PVI não é influenciado por tais mudanças, apresentando porém uma sensibilidade moderada à vegetação.

LAUTENSCHLAGER & PERRY JR.⁶⁹ fazem uma ampla análise, empírica, gráfica e analítica, das relações entre índices de vegetação (IV) e concluem que muitos destes índices são muito similares, alguns inclusive simples transformações algébricas de outros. Neste estudo, a equivalência de índices, baseada em técnicas matemáticas, levou em conta as propriedades:

- a) propriedade reflexiva: cada IV é equivalente a si próprio;
- b) propriedade simétrica: se V_1 é equivalente a V_2 , então V_2 é equivalente a V_1 ;
- c) propriedade transitiva: se V_1 é equivalente a V_2 , e V_2 é equivalente a V_3 , V_1 é equivalente a V_3 .

WISPELAERE & FABREGUES¹²⁶ ao estudarem a possibilidade de avaliação dos recursos forrageiros na região sul de Tamesna (NIGER), correlacionam diversas combinações espectrais de dados MSS/LANDSAT e AVHRR/NOAA, com a biomassa herbácea coletada pelo método destrutivo. Nesta pesquisa consideram os índices de vegetação "diferença normalizada" (DN) e de "brilho" *.

Como pode-se observar, o direcionamento das pesquisas mencionadas demonstra a capacidade de correlação dos modelos numéricos (índices de vegetação) com a biomassa da vegetação, destacando-se inclusive, aqueles trabalhos tendo as "savanas" como estudo. O conhecimento teórico até então conseguido, permite no presente estudo, que seja feito o relacionamento dos índices R e TVI com a biomassa foliar, procurando preencher a lacuna existente quanto a utilização desta técnica, especificamente, ao cerrado *stricto sensu*.

$$* IB = \left[IVP^2 + V^2 \right]^{1/2}$$

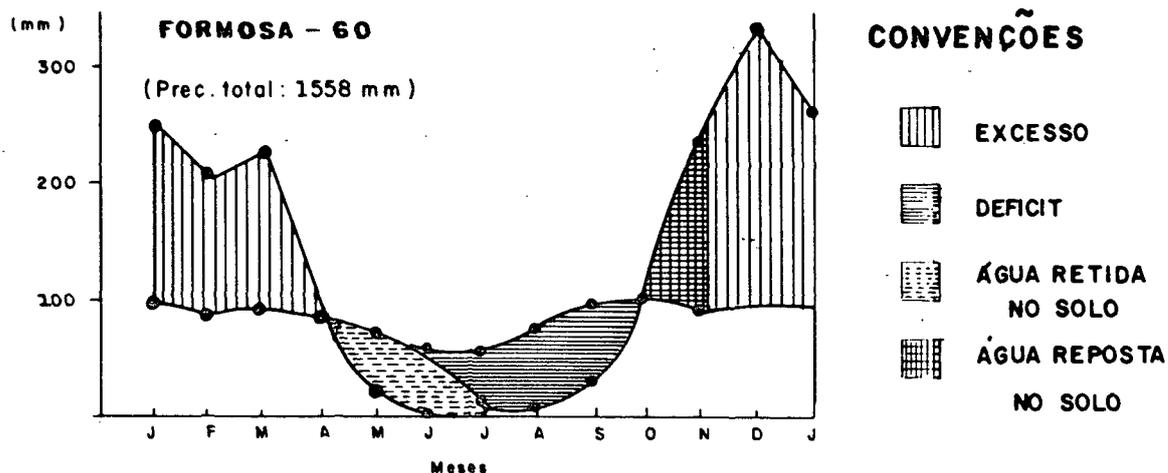
3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O trabalho foi desenvolvido na região do Distrito Federal (DF), em função da importância geo-econômica e principalmente estar localizada no domínio central dos Cerrados. Acrescenta-se a isto, a facilidade de acesso e o volume histórico das informações sobre a vegetação. Uma breve descrição dos fatores ambientais desta região se faz necessário, antes de posicionarmos as áreas de estudo.

O clima, segundo a classificação de Koeppen é Aw, caracterizado por verões chuvosos e invernos secos. A temperatura média anual situa-se acima de 20°C, a precipitação média anual é de 1.600 mm e a evapotranspiração potencial apresenta valores acima de 1.200 mm. A umidade relativa tem seu valor médio anual em torno de 70%, onde a máxima (mês de fevereiro) atinge valores de 80% e a mínima (mês de setembro) valores de 20%. A Figura 21 ilustra o balanço hídrico da região, obtido no município de Formosa (Goiás), que segundo KORNELIUS *et alii*⁶⁷, é aceito como típico da área do Distrito Federal. A estação chuvosa normalmente estende-se de fins de setembro à meados de abril.

FIGURA 21. BALANÇO HÍDRICO REPRESENTATIVO DA REGIÃO DO DISTRITO FEDERAL



Fonte: BRASIL citado por Goedert (1979).

Geomorfologicamente, a região do DF faz parte de um conjunto de superfícies planas, intercaladas com superfícies arrasadas (CODEPLAN²²). A primeira superfície de aplainamento encontra-se em cotas de 1.300 metros, cuja forma tabular é sustentada por quartzitos sub-horizontais e protegida linearmente por uma camada laterítica. A segunda superfície de aplainamento, com cotas abaixo de 1.300 metros, está praticamente arrasada, não deixando mais que vestígios no divisor de águas dos rios Descoberto e São Bartolomeu. A terceira superfície, de cota inferior a 1.000 metros, secciona micaxistos e filitos pré-cambrianos e ardósias do Grupo Bambuí, fornecendo formas de relevo acidentado nas bacias dos rios Maranhão, Descoberto e São Bartolomeu.

Com relação aos solos do DF, predominam os latossolos vermelho-escuro (38,63% da área) e vermelho-amarelo (15,84%), e cambissolo álico (31,02%), conforme a distribuição percentual das unidades de mapeamento elaborado pela EMBRAPA³⁵. Apesar de cada um destes tipos de solo ter características distintas, GOEDERT³⁵

BRASIL. Departamento Nacional de Meteorologia. Balanço hídrico do Brasil. Rio de Janeiro, 1972. 135 p.

faz uma apreciação geral e conjunta das propriedades mineralógicas, físicas e químicas dos solos de cerrado. Na Tabela 5 são apresentados alguns dados que refletem o estado natural da camada superficial dos solos, em função das unidades fisionômicas do Cerrado (l.s.). Os solos são ácidos, já que o alumínio é o cátion trocável predominantemente; a capacidade de troca de cátions é extremamente baixa, assim como a soma de bases trocáveis (K, Ca e Mg); o teor de matéria orgânica é médio; a capacidade nutricional é muito baixa, não sendo suficiente para proporcionar um crescimento vegetal adequado (GOEDERT⁵⁰).

TABELA 5. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DETERMINADAS EM 520 AMOSTRAS DA CAMADA ARÁVEL DOS SOLOS DA REGIÃO DOS CERRADOS (LOPES⁷⁰)

Características do solo	Tipos de vegetação			
	Campo limpo	Campo sujo	Cerrado	Cerradão
pH(H ₂ O)	4,87	4,94	5,00	5,14
Mat.Org. (%)	2,21	2,33	2,35	2,32
Ca troc. (me%)	0,20	0,33	0,45	0,69
Mg troc. (me%)	0,66	0,13	0,21	0,38
K.troc. (me%)	0,08	0,10	0,11	0,13
Al.troc. (me%)	0,74	0,63	0,66	0,61
CTC ef. (me%)	1,08	1,19	1,43	1,81
Sat.Al. (%)	66	58	54	44
P* (ppm)	0,50	0,51	0,94	2,10
ZN* (ppm)	0,58	0,61	0,66	0,67
Cu* (ppm)	0,60	0,79	0,94	1,32
Mn* (ppm)	5,40	10,30	15,90	22,90
Re* (ppm)	35,70	33,90	33,00	27,10
Argila (%)	33	36	34	32
Silte (%)	20	16	15	16
Areias (%)	46	18	51	53

* Extrator duplo ácido 0,05 NHCl e 0,025 NH₂SO₄

FREITAS & SILVEIRA⁴² fazem uma descrição das classes de solo sob vegetação de cerrado.

A vegetação de cerrado (*lato sensu*), especificamente no Distrito Federal, abrange as unidades fisionômicas de campo sujo, campo cerrado e cerrado típico. O cerradão (com uma área inexpressiva), e o campo limpo também ocorrem. AOKI & SANTOS⁴ avaliam as características dos cerrados do DF, com base em parâmetros fitossociológicos (número de espécies, densidade, área basal total, IVI*).

Após esta resumida abordagem sobre os fatores ambientais da região do DF, é mostrada na Figura 22 a localização das três áreas escolhidas para a realização deste trabalho: CPAC - Chapada (15°39' a 15°41'S e 47°43' a 47°44'W) do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados; Fazenda Água Limpa (15°55' - 16°00'S e 44°53' a 47°58'W) pertencente a Universidade Nacional de Brasília; Estação Ecológica do Roncador (15°55' a 15°58'S e 47°51' a 47°54'W) cuja área de caráter de preservação pertence ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Estes locais foram definidos por apresentarem áreas de cerrado *stricto sensu*, em extensão compatível ao trabalho com dados sensoriados.

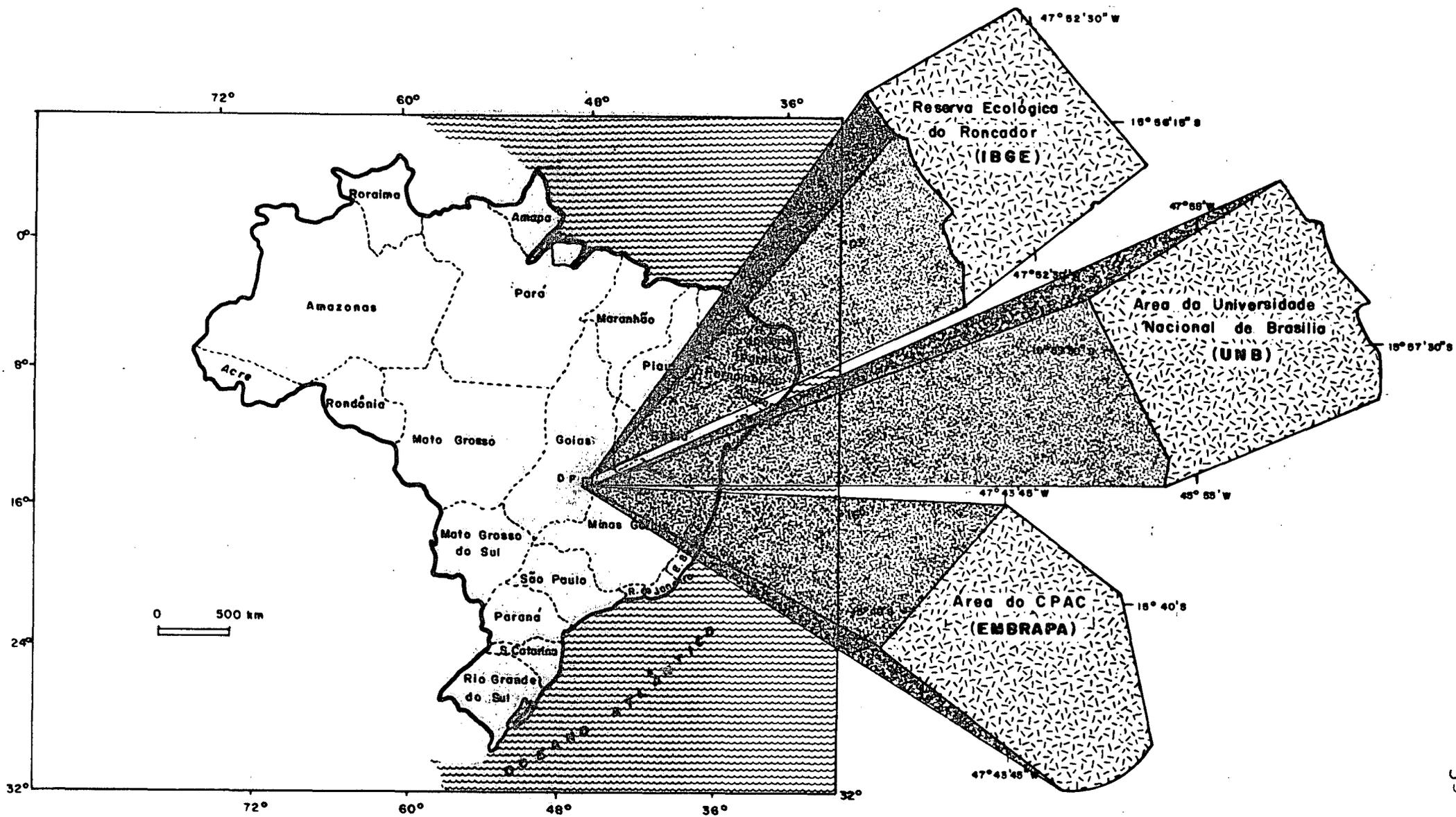
3.2 MATERIAIS

3.2.1 Produtos do LANDSAT

Os dados sensoriados a nível orbital constaram neste trabalho, de produtos na forma digitalizada, contidos em fitas compatíveis de computador (CCT). Estes dados, oriundos do sensor

* Índice de valor de importância.

FIGURA 22. LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO



"Thematic Mapper"/LANDSAT-5, corresponderam às bandas espectrais TM3 (0,63 a 0,69 μm), TM4 (0,76 a 0,90 μm) e TM5 (1,55 a 1,75 μm), nas passagens de 17/06/86 e 4/08/86, de órbita WRS 221/71.

A definição das datas de passagens e de bandas espectrais na aquisição destes produtos é comentada a seguir.

a) Efeito da cobertura de nuvens

O potencial de informação disponível quando se trabalha com dados sensoriados pelo sistema LANDSAT, sofre restrições face ao grau de cobertura de nuvens, comum em determinada época do ano.

Em termos gerais, no Brasil, os meses mais propícios para obtenção de imagens de satélite, correspondem aos meses de junho a agosto, quando as classes de cobertura de nuvens I (0% - 10%) e II (10% - 30%) aumentam sua frequência de ocorrência significativamente (MAURÍCIO⁷³). A Tabela 6 mostra a probabilidade por classe de cobertura de nuvens, para a região climática que engloba a área do presente trabalho, no caso, situada no Distrito Federal. Exemplificando, caso seja desejada uma imagem no mês de maio, com um grau de cobertura de nuvens não superior a 30%, a probabilidade de ocorrência será de 4,31%, enquanto para o mês de julho, este percentual passa a 53,17.

As informações descritas anteriormente vem justificar a dificuldade de obtenção de imagens em determinados períodos do ano. No presente caso, com a necessidade de dados orbitais

TABELA 6. PROBABILIDADES (p) DE OCORRÊNCIA DAS CLASSES DE COBERTURA DE NUVENS PARA A REGIÃO CLIMÁTICA QUE ENGLOBA O DISTRITO FEDERAL. HORÁRIO 10:00 LST.

MESES	VALORES DE p (%)					COBERTURA (%) DE NUVENS
	I	II	III	IV	V	
Janeiro	0,00	0,81	1,61	14,52	83,06	94,84
Fevereiro	0,00	1,59	1,59	25,40	71,43	91,51
Março	0,00	0,00	1,61	20,97	77,42	93,87
Abril	0,00	0,00	3,13	27,34	69,53	91,45
Mai	0,86	3,45	11,21	31,03	53,45	82,46
Junho	5,26	21,80	14,29	31,58	27,07	61,54
Julho	9,52	43,65	11,90	20,63	14,29	43,85
Agosto	5,60	37,60	17,60	27,20	12,00	47,84
Setembro	2,24	24,63	29,10	17,91	26,12	57,57
Outubro	0,81	8,94	14,63	31,71	43,90	76,06
Novembro	0,00	5,51	7,09	30,71	56,69	84,02
Dezembro	0,00	4,88	24,39	70,73	13,33	91,22

CLASSES DE COBERTURA DE NUVENS EM IMAGENS LANDSAT

- I - 0 a 10%
- II - 10 a 30%
- III - 30 a 50%
- IV - 50 a 90%
- V - 90 a 100%

Fonte: MAURICIO⁷³

coletados em período mais úmido e outro mais seco (e de elevada deficiência hídrica do solo), houveram restrições na seleção para o ano de 1986, conforme ilustra a Tabela 7. É oportuno ressaltar que a data da passagem selecionada, estava condicionada também a alocação de recursos material e humano, para a execução de uma fase da pesquisa em abril (final da época chuvosa), contudo, tal atividade foi postergada ao período maio/junho, cuja passagem do satélite ocorreu em três ocasiões 16/05, 1/06 e 17/06), com um percentual de cobertura de 60, 90 e 10, respectivamente. Como pode-se constatar, a passagem escolhida, de 17/06/86 não reflete de forma ideal o comportamento da vegetação no período de maior disponibilidade de água no solo, visto que o período úmido estende-se normalmente de outubro até meados de maio, quando então começa o período seco e portanto, a deficiência hídrica. Porém a seleção desta data de passagem não invalida o objetivo da pesquisa, de avaliar a biomassa do Cerrado em função dos períodos que refletem ou não a disponibilidade de água no solo, porque ainda em junho, esta deficiência hídrica não é tão acentuada (Figura 21). De acordo com CAMARGO¹⁸, o grau de umidade no subsolo se mantém elevado, mesmo nos períodos secos, por insuficiência de cobertura vegetal verde, que é o agente da perda de água por evapotranspiração e claro, acúmulo de matéria seca do estrato graminóide cobrindo o solo.

No período de agosto (época seca), de elevada deficiência hídrica, quando foi efetuada a 2^a etapa de campo, as passagens do satélite ocorreram nos dias 4 (0% de cobertura) e 20 (50% de cobertura de nuvens).

TABELA 7. GRAU DE COBERTURA DE NUVENS NAS IMAGENS TM/LANDSAT
COLETADAS NO PERÍODO DE 1986

DATA DA PASSAGEM	GRAU DE COBERTURA DE NUVENS (%)
08 JAN	100
24 JAN	40
25 FEV	10
13 MAR	10
29 MAR	10
14 ABR	40
30 ABR	60
16 MAI	60
01 JUN	90
17 JUN	10
03 JUL	30
19 JUL	20
04 AGO	0
20 AGO	50
21 SET	0
7 OUT	60
23 OUT	80
08 NOV	80
10 DEZ	100

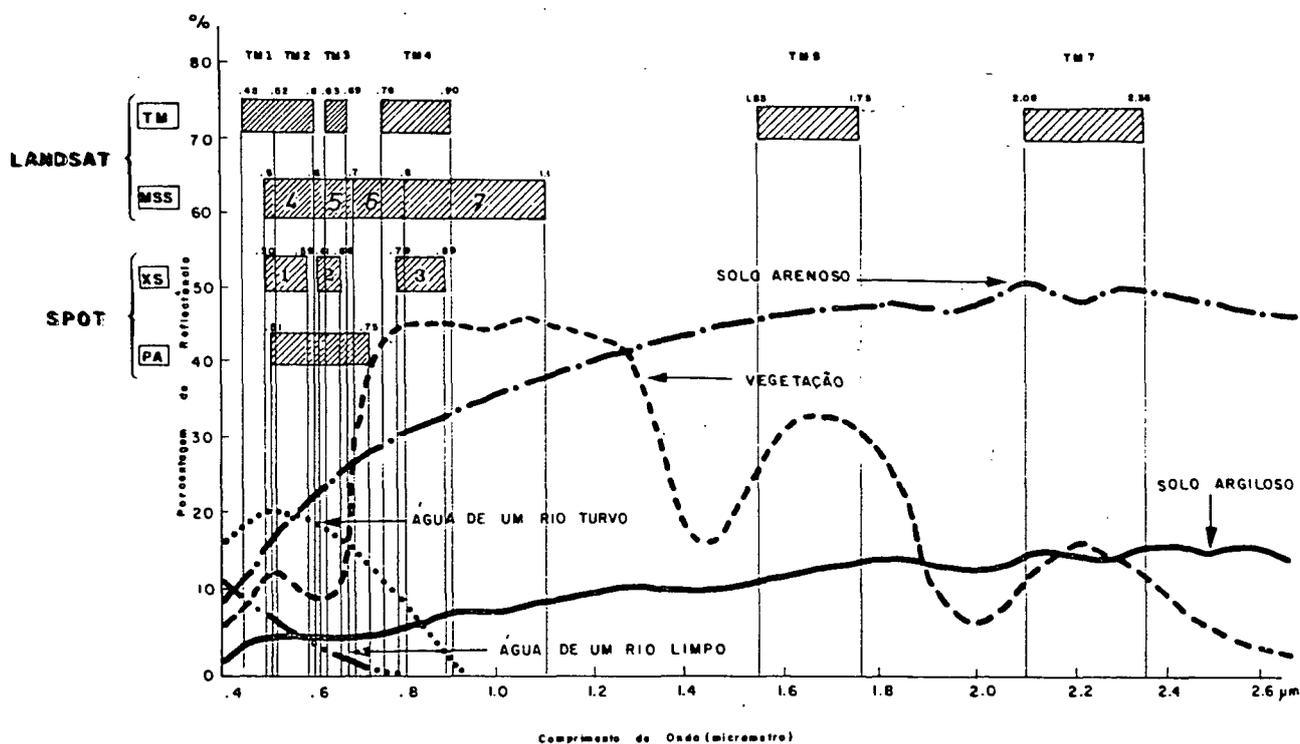
b) Seleção das bandas espectrais do Thematic Mapper/LANDSAT

O mapeador temático (TM) opera em sete bandas espectrais, cujas características potenciais, de acordo com o U.S.GEOLOGICAL SURVEY¹²⁰ são descritas a seguir:

- BANDA 1 (0,45 - 0,52 μm) - cartografia de águas costeiras, diferenciação entre solo e vegetação e diferenciação entre coníferas e folhosas.
- BANDA 2 (0,52 - 0,60 μm) - determinação do vigor de vegetação através de medidas de pico de medição de refletância máxima do verde (0,55 μm).
- BANDA 3 (0,63 - 0,69 μm) - banda de absorção de clorofila, importante na discriminação da cobertura vegetal.
- BANDA 4 (0,76 - 0,90 μm) - determinação do conteúdo de biomassa e delineamento de corpos d'água.
- BANDA 5 (1,55 - 1,75 μm) - infere sobre o conteúdo de água na cobertura foliar e umidade do solo, além de permitir o estudo da estrutura urbana.
- BANDA 6 (10,4 - 12,5 μm) - mapeamento termal, análise de "stress" na vegetação, umidade do solo, estudo de contraste térmico entre litologias, estudo micro-climático.
- BANDA 7 (2,08 - 2,35 μm) - diferenciação de tipos de rochas, estudo de argilas e rochas carbonáticas.

Estas bandas espectrais foram primariamente escolhidas para o monitoramento da cobertura vegetal, exceto a banda 7, que tem como aplicação principal a área geológica (MULDERS & EPEMA⁸³). Na Figura 23 são mostrados os comportamentos da vegetação, solo e água, em relação a faixa espectral de bandas TM/LANDSAT.

FIGURA 23. COMPORTAMENTO DE ALVOS (VEGETAÇÃO, SOLO, ÁGUA) E POSICIONAMENTO ESPECTRAL DAS BANDAS TM/LANDSAT



A seleção das bandas espectrais (TM3, TM4 e TM5) para elaboração dos índices de vegetação, a serem correlacionados aos dados de biomassa do cerrado, foi baseada fundamentalmente na literatura existente.

BENSON & DE GLÓRIA¹⁴ mostraram que as melhores combinações de bandas do sensor temático, para discriminação de tipos de cobertura florestal, são a TM5, TM4 e TM2, além da TM5, TM4 e TM3, devido as propriedades de reflectância e absorção dos diversos tipos de vegetação. Para NELSON *et alii*⁸⁷, pelo menos uma banda no infravermelho próximo ou médio é necessária na discriminação de tipos florestais.

O uso de bandas espectrais no IV médio para a elaboração de índices tem recebido pouca atenção por parte dos pesquisadores (DUSEK *et alii*²⁹). Analisando todas as bandas do mapeador temático, exceto a banda 6 de resolução espacial diferente (120 metros), para a discriminação de classes de vegetação (incluindo, cerrado e campo cerrado), SANTIAGO *et alii*¹⁰⁵ relatam que a melhor combinação de 3 bandas é formada por TM3 (0,63 - 0,69 μm), TM4 (0,76 - 0,90 μm) e TM5 (1,55 - 1,75 μm).

3.2.2 Material complementar

Na execução de cada tarefa, vários materiais e/ou equipamentos, considerados aqui complementares, foram utilizados como suporte à linha de ação deste projeto de pesquisa.

Na fase de coleta de campo, por exemplo, a avaliação da biomassa de cerrado (s.s.) pelo método destrutivo, foi elaborada com auxílio de balança de campo (CHATILLON - 20 kg), trena (STILON-YAMAYO), tesoura de poda e na fase de laboratório, com balança de precisão (METTLER PL 1200) e estufa, e evidentemente, com outros materiais pertinentes a execução destas tarefas.

Com relação ao material cartográfico, foram utilizadas as cartas topográficas do IBGE (Vale do Amanhecer, Brasília-SO e Brasília-SE) do Distrito Federal, na escala de 1:25.000, além de um mapa de solos (1:100.000) elaborado pelo SNLCS/EMBRAPA.

Na fase de análise digital dos dados TM/LANDSAT, para a extração dos valores digitais do cerrado (*stricto sensu*), foi utilizado um analisador de imagens multispectrais (IMAGE-100), cujo manual de utilização é descrito em GENERAL ELECTRIC COMPANY⁴⁸, com a programação inerente a máquina, desde a fase de pré-pro-

cessamento, classificação e pós-processamento, abordada em DUTRA *et alii*³⁰. Na avaliação do relacionamento entre as informações sensoriadas e aquelas de biomassa coletada no trabalho de campo, foi empregado um computador (Burroughs 6.800), para agilizar o tratamento dos dados.

3.3 MÉTODOS

Na realização do referido estudo, o procedimento à condução dos testes experimentais, relacionando a biomassa do cerrado (s.s.) com dados sensoriados obedeceu aos seguintes itens:

3.3.1 Distribuição Espacial da Vegetação

Com base em informações oriundas da imagem do sensor TM/LANDSAT, na forma digitalizada, foram identificadas e delimitadas através do IMAGE-100, na escala 1:50.000, as áreas de cerrado, com padrão espectral homogêneo. Para a classificação destas regiões homogêneas na imagem, foi empregado um critério determinístico não supervisionado (cluster analysis), cujo resultado, foi a estratificação da área estudada em classes que agrupam pixels* com propriedades espectrais similares entre si. Desta forma, foram delineadas aquelas áreas cobertas pela forma cerrado (*stricto sensu*), discriminando-se assim, daquelas ocupadas por alvos de nenhum interesse ao trabalho (campo sujo, campo cerrado, mata ciliar, ação antrópica, ...).

O resultado da estratificação foi fotografado através do vídeo do IMAGE-100, bem como obtido um "print-out" da classifi-

* pixel: menor elemento de resolução na imagem.

cação, cujas informações, plotadas na base cartográfica (cartas do IBGE, na escala 1:25.000) serviram para alocar as unidades de amostragem, espectralmente representativas da classe "cerrado", que serviriam à coleta de biomassa no trabalho de campo e também, a extração dos valores espectrais nas imagens TM/LANDSAT. O método de locação destas unidades de amostragem também utilizado por FRANKLIN⁴⁴, não foi aleatório, mas auxiliado pelo delineamento de outros alvos (estradas, por exemplo), não apresentando porém, certa tendenciosidade na locação. Desta forma, pode-se estabelecer com melhor precisão, a locação destes pontos no campo e correspondência na imagem.

3.3.2 Determinação da Biomassa no Campo

A coleta de dados de biomassa do cerrado foi realizada naquelas unidades de amostragem previamente demarcadas na base cartográfica. Antes da execução desta tarefa, dois pontos importantes foram analisados: a área mínima e o número de unidades amostrais.

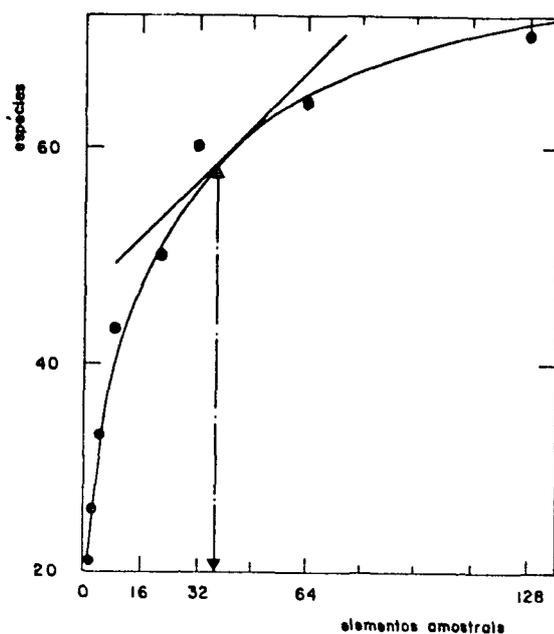
a) área mínima

De acordo com MILNER & HUGHES⁷⁹, a escolha da dimensão e formato da área em que será efetuada a coleta dos dados de biomassa é limitada por dois aspectos principais: a necessidade de obter-se um nível aceitável de precisão na determinação desta biomassa e uma praticabilidade no método de coleta.

No presente caso, foi adotada para cada ponto amostral, uma dimensão de 100 m², que permite a caracterização da área de cerrado sob o ponto de vista florístico e de biomassa. PEREIRA⁹⁰ avaliando a correlação da biomassa foliar de campo cerrado com

dados espectrais obtidos por radiometria de campo e pelo sistema MSS/LANDSAT determinou que, sob o ponto de vista florístico, a comunidade era representada por 32 m² (32 elementos amostrais) e para a biomassa foliar, 50% destes elementos eram suficientes (Figuras 24 e 25). PRINCE & ASTLE⁹¹ ao analisarem a relação entre medidas de campo e aquelas oriundas do sensor MSS/LANDSAT para pastos naturais (rangelands*) de regiões semi-áridas em Botswana (África), selecionaram 20 amostras de 200 m x 200 m para representar, na área de 144 km², as principais variações da vegetação local. As medidas de cobertura e biomassa foliar foram extraídas de 30 parcelas (0,5 m x 0,5 m) por amostra, aleatoriamente estratificadas.

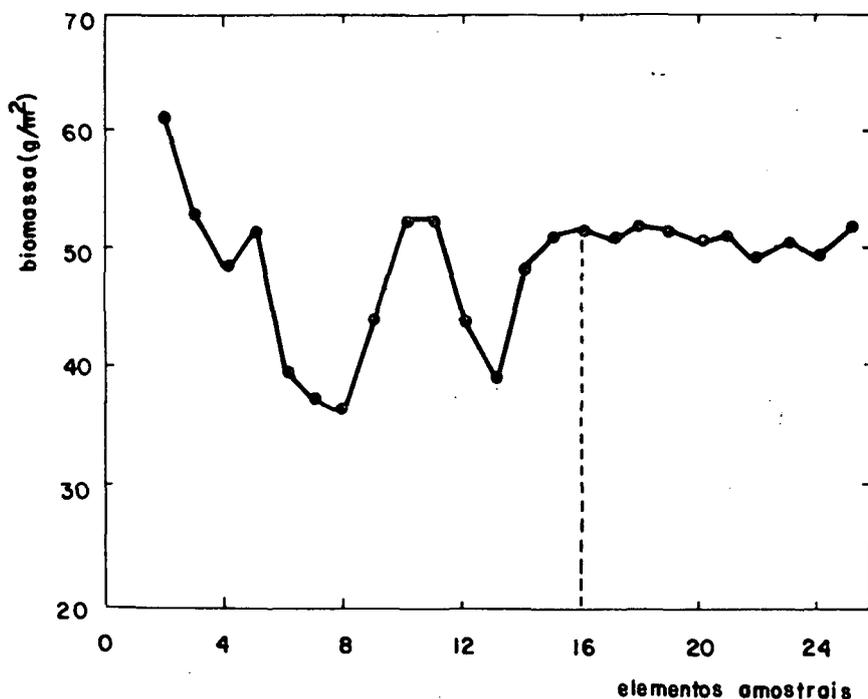
FIGURA 24. ÁREA MÍNIMA DO PONTO DE VISTA FLORÍSTICO PARA O CAMPO CERRADO



Fonte: PEREIRA⁹⁰

* "Rangelands: in Botswana contain varying proportions of low trees, shrubs and tree regrowth, as well as herbaceous vegetation".

FIGURA 25. ÁREA MÍNIMA DO PONTO DE VISTA DE BIOMASSA FOLIAR PARA O CAMPO CERRADO



Fonte: PEREIRA⁹⁰

KARASKA *et alii*⁶⁴ avaliaram o efeito de variáveis ambientais (dentre as quais, rugosidade da superfície, tipo de solo, geologia, grau de cobertura foliar dos estratos arbóreo, arbustivo e herbáceo, % de solo exposto) na resposta espectral dos tipos de vegetação, obtida pelo sensor TM/LANDSAT. Na área de estudo, foram alocados 120 pontos amostrais e as medidas foram realizadas em parcelas de 100 m².

Com relação ao formato da amostra, é comum a utilização em quadrado, mas existe, segundo MILNER & HUGHES⁷⁹, uma considerável evidência, que a definição desta forma não é apropriada no

sentido de alcançar máxima precisão nas medições de biomassa. O mesmo não acontece com a forma retangular adotada neste trabalho (2 m x 50 m), que pode inclusive reduzir a variância amostral.

b) Número de unidades amostrais

O tempo necessário para coletar os dados de biomassa é fator limitante na determinação do número total de amostras e por conseguinte, no grau de precisão do trabalho (MILNER & HUGHES⁷⁹). CURRAN & WILLIAMSON²⁵ discutem o tamanho amostral para a coleta de dados em campo e aqueles sensoriados. HARLAN *et alii*⁵⁴ concluem que, ao estudarem áreas de pastagens onde a biomassa apresentava uma variabilidade espacial entre 80 e 100%, 64 amostras foram necessárias. Em muitos experimentos com sensoria-mento remoto, a literatura mostra-nos que menos de seis amostras já foram tomadas para representar a quantidade de vegetação em um determinado local (MAXWELL⁷⁴; AASE *et alii*¹). Correlacionando bio-massa e dados espectrais em áreas de campo cerrado, PEREIRA⁹⁰ fez uso de 16 unidades amostrais. No presente estudo, em face do tempo disponível à coleta de dados de biomassa do cerrado (*stricto sensu*), ficou estabelecido como 19 o número total de pontos amostrais, assim distribuídos:

Área do CPAC = 8

Área da UnB = 5

Área do IBGE = 6

É oportuno relatar que o material de biomassa foi coletado em dois períodos (maio/junho e agosto/setembro), em cada uma destas unidades amostrais.

A partir da definição da dimensão de cada ponto amostral

(100 m²) e o número destas unidades de amostragem, são descritos a seguir, os passos que nortearam o trabalho de campo:

- . demarcação do transecto (2 m x 50 m)
- . levantamento florístico e posicionamento espacial dos indivíduos arbóreo/arbustivo no espaço amostrado e, avaliação do grau de cobertura de copa.

Como indivíduos de porte arbóreo foram consideradas as espécies lenhosas com altura superior a 2,5 metros e CAP (circunferência a altura do peito) acima de 20 cm. No porte arbustivo foram considerados os indivíduos lenhosos com altura e circunferência (medida a 30 cm do nível do terreno) superiores a 1 metro e 10 cm, respectivamente.

O grau de cobertura de copa, em percentagem, foi obtido pelo método da linha, onde ao longo dos 50 metros, procurou-se verificar a porção coberta pelos indivíduos que compõem os diferentes estratos, arbóreo ou arbustivo. Este procedimento, denominado de "line transect" propicia, segundo MYERS & SHELTON⁸⁵, um conveniente e objetivo método de determinação da área coberta pela projeção vertical das copas.

- . coleta de biomassa do cerrado (*stricto sensu*)

O primeiro procedimento adotado foi em relação à coleta do material herbáceo. Inicialmente, foram demarcadas 5 parcelas de 1 m² dentro de cada ponto amostral, obedecendo uma equidistância na ordem de 10 metros. O material herbáceo, era então coletado em corte raso, ensacado por parcela e levado posteriormente, à pesagem no laboratório. A dimensão da parcela (1 m²) é comum em

trabalhos de estimativa de fitomassa em comunidades herbáceas, como constata SAN JOSÉ & MIRAGAYA¹⁰⁴ em savanas de *Trachypogon* (Venezuela) e ADÁMOLI *et alii*² em pastagens nativas da região dos Cerrados.

No caso dos indivíduos arbóreo e arbustivo, o corte raso foi efetuado em altura não superior a 10 cm do solo, separando-se posteriormente, todo o material lenhoso e foliar, cujo peso foi determinado no próprio local, através de uma balança de campo. Na pesagem do material lenhoso dos indivíduos arbóreos, não foram considerados aqueles galhos com diâmetro inferior a 3 cm. Do material foliar por estrato (arbóreo e arbustivo), homogeneizado, foi retirada uma alíquota de peso variável para, em laboratório, estimar o teor de umidade na massa foliar.

Como comentado anteriormente, o material herbáceo coletado no campo era levado ao laboratório, integralmente pesado e logo a seguir, colocado sobre uma bandeja onde processava-se o retalhamento deste material com uma tesoura. Após esta tarefa, uma alíquota com peso, nunca inferior a 20% do peso total, era obtida. Esta alíquota então era separada em material verde (fotossinteticamente ativo) e material palha (sem atividade fotosintética), pesado separadamente e levado à estufa (80°C) durante 48 horas. Na literatura verifica-se que as temperaturas na estimativa de peso seco variam, desde 60°C (HARDISKY *et alii*⁵³), TOKY & RAMAKRISHMAN¹¹³), 70°C (PEREIRA⁹⁰) até 105°C (SAN JOSÉ & MEDINA¹⁰³).

3.3.3 Coleta dos Valores Espectrais na Imagem TM/LANDSAT

Esta etapa foi realizada no IMAGE-100, fazendo uso do sistema de programação inerente a máquina, desde a fase de

pré-processamento até a obtenção dos parâmetros espectrais da forma cerrado, permitindo a elaboração dos índices de vegetação. O procedimento adotado, no decorrer da análise automática das imagens TM/LANDSAT, obedeceu a:

- . armazenamento dos dados TM digitalizados na memória do computador;
- . leitura e apresentação da imagem TM no vídeo do IMAGE-100;
- . aplicação do algoritmo "SUBTRA" para atenuar o espalhamento atmosférico.

Este algoritmo extrai da imagem de satélite, em cada banda TM, todo o brilho excedente, obtendo-se parâmetros de extração com base na resposta espectral de determinados alvos (corpos d'água, por exemplo), que tem valores espectrais bem próximo de zero na faixa do IV próximo. Torna-se necessário extrair da imagem todo o brilho excedente, que é adicionado à resposta espectral de cada "pixel", pelo espalhamento atmosférico.

- . seleção das áreas de estudo (CPÁC, UnB e IBGE) e ampliação na escala 1:50.000;
- . demarcação dos pontos amostrais em cada área de estudo;
- . aplicação do algoritmo ONEPIXEL para extração dos valores espectrais do cerrado, em cada banda do sensor temático (TM3, TM4 e TM5). Este algoritmo permite a visualização dos valores digital de cada pixel, em uma área amostral de 6 x 6 pixels.

O algoritmo ONEPIX fornece ainda os limites, inferior e superior, dos valores de níveis de cinza em cada banda, a média e também a variância. Na elaboração desta metodologia de obten-

ção dos parâmetros espectrais do cerrado, imaginou-se inicialmente, trabalhar apenas com a média dos 4 pixels centrais, uma área menor, que caracterizaria espectralmente os dados de biomassa obtidas em cada ponto amostral correspondente. Porém com o decorrer do trabalho, optou-se por operar com a média espectral dos 36 pixels dado pelo algoritmo ONEPIX, cuja justificativa abordaremos mais adiante, na discussão de resultados.

Os valores espectrais do cerrado foram obtidos de imagens em duas diferentes passagens do satélite, 17/06/86 e 04/08/86, já mencionadas anteriormente.

3.3.4 Elaboração dos Índices de Vegetação

A partir da média dos valores digitais dos 36 pixels que representavam cada ponto amostral, nas bandas TM3, TM4 e TM5, foram elaborados os índices de vegetação: razão simples ($R_{4,3}$ e $R_{5,3}$) e razão normalizada e transformada ($TVI_{4,3}$ e $TVI_{5,3}$).

A definição dos componentes que fazem parte dos modelos numéricos (R ou TVI) foi obtida após a transformação dos valores digitais em valores de reflectância. Isto foi obtido através das equações:

$$(1) \quad L = \frac{DN}{255} (L_{\max} - L_{\min}) + L_{\min}, \text{ para transformar os valores digitais em radiância,}$$

onde:

L = radiância do pixel amostrado;

DN = contagem digital do pixel a partir da fita magnética (CCT);

L_{\max} = radiância medida ao nível de máxima saturação do detector;

L_{\min} = radiância medida ao nível \emptyset (zero) de saturação do detector.

De radiância para reflectância empregou-se a equação:

$$\rho = \frac{\pi L_{\lambda} \cdot d^2}{E_{\text{SOL}\lambda} \cdot \text{sen}\theta_s}$$

onde:

λ = comprimento de onda;

ρ = reflectância;

L = radiância do pixel amostral ($\text{m}\omega \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{ster}^{-1} \cdot \mu\text{m}^{-1}$);

d = distância Sol-Terra (unidade astronômica);

$E_{\text{SOL}\lambda}$ = irradiância ($\text{m}\omega \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1}$);

θ_s = ângulo zenital solar (graus).

As transformações de dados digitais para radiância ou reflectância são sugeridas por ROBINOVE⁹⁹, por levar em consideração as constantes de calibração dos sensores LANDSAT. Os valores normalizados das constantes de calibração das bandas TM/LANDSAT (equação 1) foram obtidas em NASA⁸⁶. Os valores de irradiância ($E_{\text{SOL}\lambda}$) foram obtidas em MARKHAM & BARKER⁷², enquanto os de distância Sol-Terra (d) foram extraídos do anuário IAG/USP⁶¹.

Os valores digitais assim transformados em valores de reflectância, permitiram a montagem dos Índices:

- razão simples (PEARSON & MILLER⁸⁹)

$$R_{4,3} = \frac{\text{TM4}}{\text{TM3}} \quad \text{e} \quad R_{5,3} = \frac{\text{TM5}}{\text{TM3}}$$

- razão normalizada e transformada (proposto por ROUSE *et alii*¹⁰² e modificado por DEERING *et alii*²⁷

$$TVI_{4,3} = |(TM4 - TM3)/(TM4 + TM3) + 0,5|^{1/2}$$

$$TVI_{5,3} = |(TM5 - TM3)/(TM5 + TM3) + 0,5|^{1/2}$$

Com a montagem dos modelos numéricos (R, TVI), pode-se então efetuar uma análise do relacionamento entre dados sensoriados e aqueles do trabalho de campo.

3.3.5 Análise da Relação Funcional: dados de campo versus dados orbitais

A seqüência lógica do procedimento metodológico até então adotado, indica a partir deste ponto, a discussão acerca de como avaliar o relacionamento entre a "biomassa foliar do cerrado" e os "dados espectrais" oriundos das bandas TM3, TM4 e TM5 do LANDSAT.

O caráter de tratamento dos dados, ao se abordar informações de campo/satélite, tem levado em consideração o emprego da análise de regressão. Tal afirmação, é fruto da observação de vários trabalhos neste sentido, onde em rápida abordagem pode-se citar alguns, geralmente relacionando biomassa e dados espectrais (TUCKER¹¹⁵; TUCKER¹¹⁶; HARDISKY *et alii*⁵³; WEISER *et alii*¹²²; WISPELAERE & FABREGUES¹²⁶). Este último por sinal, demonstrando a possibilidade de avaliação dos recursos forrageiros de uma estepe arbustiva na região sul do Niger (Tamesna), faz uso da regressão, tendo como variáveis no modelo linear simples, a "biomassa" (peso seco) e vários índices de vegetação

obtidos com medidas radiométricas de campo (correlatas às bandas do sensor HRV do satélite SPOT) e com os canais dos sensores MSS/LANDSAT e AVHRR/NOAA-9.

Em complementação, pode-se citar ainda os trabalhos de PEREIRA⁹⁰ e de PRINCE & ASTLE⁹¹, por abordarem de maneira particular a utilização de dados espectrais em uma vegetação do tipo savânica, especificamente a semelhança em sua forma estrutural ao campo cerrado.

Assim, no presente trabalho a avaliação da relação funcional da "biomassa" com os "dados espectrais" foi elaborada a partir da regressão simples (programa implementado no computador B-6800), empregando duas funções, uma linear e outra exponencial, assim definidas:

$$y = a + bx \quad (\text{equação 1})$$

$$y = ae^{bx} \quad (\text{equação 2})$$

onde:

y = variável dependente correspondendo aos valores de biomassa foliar (peso fresco, peso seco);

x = variável independente correspondendo, conforme o caso, as bandas TM3, TM4 e TM5 de forma isolada, ou, na forma de "índices de vegetação" ($R_{4,3}$, $R_{5,3}$, $TVI_{4,3}$ e $TVI_{5,3}$);

a, b = coeficientes da regressão.

Na análise de regressão supõe-se que o modelo ao descrever os dados seja linear. Por um exame da plotagem de y contra x, verificou-se que tal relacionamento demonstrava uma tendência a não linearização, sendo empregada uma transformação ($y' = \ln y$), conforme sugerida por CHATTERJEE & PRICE²⁰. Com

a transformação apropriada, o modelo exponencial (equação 2) ficou assim linearizado e expresso como:

$$\ln y = \ln a + bx$$

Com a montagem dos modelos na regressão, pode-se então, avaliar aquele que apresentava melhor ajuste aos dados.

O primeiro passo foi efetuar uma análise do relacionamento da biomassa do cerrado (peso fresco) com cada banda do mapeador temático e desta forma explicitar, através de certos parâmetros (coeficientes de correlação, valores de t, F, ...), aquela que melhor explicava a variação total em y (variável dependente).

Segundo SOKAL & ROHLF¹¹¹, freqüentemente, problemas de correlação são tratados como regressão na literatura científica, e o inverso é verdadeiro, pois as relações matemáticas entre os dois métodos de análise são inteiramente próximas. É de conhecimento geral, que na análise de regressão estima-se toda uma função, enquanto na análise de correlação tem-se um índice de como as duas variáveis variam conjuntamente. WONNACOTT & WONNACOTT¹²⁷ comentam que a correlação é uma técnica menos potente que a regressão, porém, as duas se acham tão intimamente ligadas que a correlação é freqüentemente útil na interpretação da regressão. Por tal comentário, os coeficientes de correlação obtidos na listagem de parâmetros da regressão foram convenientes analisados, aplicando-se o teste da "diferença ou igualdade" entre eles (FONSECA *et alii*⁴³), comparando-se simplesmente as magnitudes dos "r" e registrando a magnitude da diferença. É oportuno lembrar que o coeficiente de correlação é uma medida do grau de associação entre duas variáveis (y e x) normalmente distribuídas (FREESE⁴⁵).

As equações abaixo, descrevem o teste adotado na comparação de dois coeficientes de correlação ao nível de significância desejado, oriundo de duas amostras independentes.

$$H_0 : r_1 = r_2$$

$$H_1 : r_1 \neq r_2$$

$$\sigma_{z_1 - z_2} = \left| \frac{1}{n_1 - 3} + \frac{1}{n_2 - 3} \right|^{1/2}$$

$$Z_c = \frac{z_1 - z_2}{\sigma_{z_1 - z_2}}$$

onde:

z_1 e z_2 são tabelados para valores dados de "r" (FONSECA *et alii*⁴³)

e finalmente, com decisão, o intervalo

$$-Z_{\alpha/2} < Z_c < Z_{\alpha/2}$$

Caso o valor de Z_c esteja compreendido neste intervalo, levando em conta o nível de significância desejado, é considerada não haver diferença significativa entre os coeficientes de correlação. Desta forma, pode-se então fazer uma avaliação prévia do modelo (linear e/ou exponencial) que melhor se ajuste aos dados, simplesmente com observações dos coeficientes de correlação.

Outra observação de parâmetros realizada diz respeito ao "coeficiente de determinação" (r^2) que, segundo FREESE⁴⁵, traduz uma medida de cálculo da proporção da variável total em y (variável dependente) que está associada com a variável independente da regressão.

Na estrutura do programa de regressão, implementado no B-6800, é fornecida também ao usuário como prova da significância da regressão ajustada, a "tabela de análise de variância" (ANOVA), conforme o esquema abaixo:

Fonte de Variação	Graus de liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	Valor F
regressão				
resíduo				
Total				

Os graus de liberdade para o total são iguais ao número de observações menos 1, enquanto os graus de liberdade para a regressão são iguais ao número de variáveis independentes ajustadas. Não cabe neste momento, descrever a forma de obtenção dos demais parâmetros desta "tabela" da ANOVA, pois de uma maneira geral os livros de estatísticas a contém, citando-se apenas como fonte de consulta FREESE⁴⁵, DRAPER & SMITH²⁸. Assim, os valores de F da ANOVA foram uma fonte segura de informações sobre a significância da regressão envolvendo dados de biomassa e os espectrais. Inclusive, é conveniente lembrar, que a hipótese do teste F da regressão linear é a mesma da análise de variância (LI⁷¹).

Idêntico procedimento foi aplicado também nas regressões envolvendo as variáveis biomassa e os índices de vegetação ($R_{4,3}$, $R_{5,3}$, $TVI_{4,3}$ e $TVI_{5,3}$). Porém, neste caso, como os objetivos da referida pesquisa estão voltados a um maior conhecimento acerca dos índices de vegetação, houve necessidade de detalhar um pouco mais as informações advindas da análise de regressão, desta feita, efetuando-se adicionalmente, a análise dos resíduos, logo após a definição de quais modelos e índice de vegetação se ajustavam melhor aos dados.

Os resíduos são definidos como a diferença entre os valores observados (y) e aqueles estimados (\hat{y}) pela regressão - isto traduz a quantidade que a equação de regressão não foi capaz de explicar. É sem dúvida também uma maneira simples e efetiva, de detectar deficiências no modelo empregado na análise de regressão (CHATERJEE & PRICE²⁰). A teoria sobre esta análise residual é descrita por DRAPER & SMITH²⁸, inclusive o denominado "teste de sinais" (Examining runs in the time sequence plot of residuals - cap. 3, p.157-162), adotado no presente trabalho como uma abordagem complementar do exame da regressão.

É importante ressaltar que a partir do ajustamento dos modelos, a definição da melhor função linear ou exponencial, também foi baseada na análise do erro padrão residual (S_{yx}). Como os modelos testados apresentam-se na forma aritmética ($y = a + bx$) e exponencial (por sinal logaritmizada para $\ln y = \ln a + bx$), não sendo portanto diretamente comparáveis, tornou-se necessária a transformação do erro padrão residual para unidades relativas, de acordo com a formulação:

a) Equação aritmética

$$S_{xy}\% = \frac{S_{xy}}{\bar{y}} \cdot 100$$

onde:

\bar{y} = média aritmética da variável dependente.

b) Equação logaritmica

$$S_{xy}\% = (e^{S_{xy}} - 1) \cdot 100$$

cuja expressão é recomendada por MEYER⁷⁷ no caso de logaritmo natural, especificamente no caso em que o erro padrão residual é maior ou igual a 0,1.

Os procedimentos mencionados até então para o tratamento dos dados, vem refletir a relação funcional da biomassa (peso fresco) e as informações sensoriadas, coletadas nas 19 UPAs em períodos distintos. No caso particular da biomassa foliar (peso seco), com o somatório de informações de campo (38 UPAs), proporcionada pela junção dos valores da massa foliar (isenta do teor de água) dos períodos maio/junho e agosto/setembro, procurou-se através da própria análise residual, detectar pontos amostrais considerados extremos na série de observações (outliers). Para DRAPER & SMITH²⁸ "outliers" *is a peculiarity and indicates a data point which is not at all typical of the rest of the data.* Com este processo de detecção de "outliers" e a conseqüente eliminação, procurou-se um melhor ajustamento dos dados, com as funções linear e exponencial nos modelos de regressão.

Vale destacar que houve a preocupação de sumarizar em tabelas e gráficos, a apresentação dos resultados da análise mostrando a relação funcional "biomassa" e "informações sensoriadas".

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

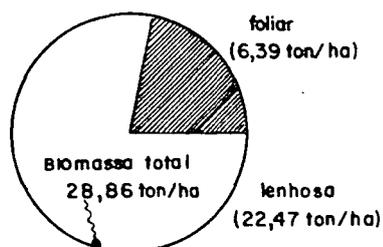
4.1 A BIOMASSA DO CERRADO (*stricto sensu*)

No Apêndice 1 são apresentadas na forma tabular, as informações (biomassa, grau de cobertura, teor de umidade,...) do cerrado, coletadas durante as fases de trabalho de campo, permitindo assim, uma análise conjuntural da estrutura pertinente a este tipo de cobertura vegetal.

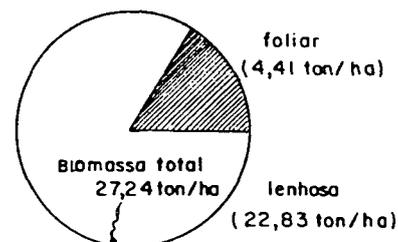
A primeira análise restringe-se às observações acerca da biomassa aérea do cerrado, coletada nos períodos de maio/junho e agosto/setembro (Figura 26), permitindo uma visão estática no tempo, de sua distribuição espacial, com uma definição da arquitetura desta unidade fisionômica.

FIGURA 26. BIOMASSA AÉREA TOTAL DO CERRADO (*stricto sensu*)

Período=MAIO/JUNHO

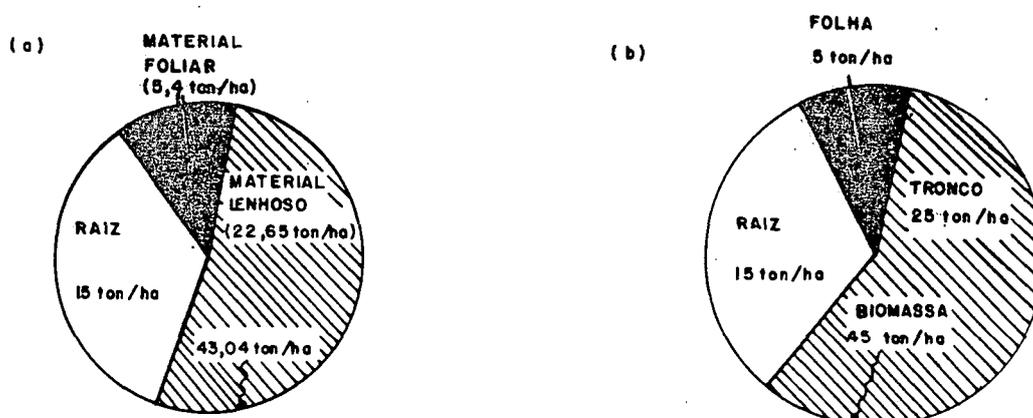


Período=AGOSTO/SETEMBRO



Comparando-se os dados de biomassa total aérea obtida nos dois períodos (Figura 26) pode-se verificar que não existe uma diferença significativa entre eles, apenas no caso da biomassa foliar. Isto é facilmente compreendido, pois no período agosto/setembro, ocorre um acentuado déficit hídrico no solo e concomitantemente, um mais pronunciado caráter cadufo-fólio em algumas espécies do Cerrado (por exemplo: *Qualea parviflora*), além do avanço no processo de senescência do estrato graminóide. Se admitirmos uma média de valores da biomassa aérea destes dois períodos (Figura 27a), encontraremos para o cerrado (s.s.), valores bem próximos àqueles apresentados por BOURLIÈRE & HADLEY¹⁷, quando da discussão sobre o processo de decomposição e sua integração funcional nas savanas tropicais (Figura 27b). Apenas para efeito de comparação considerou-se para a biomassa hipógea (raiz), valores de 15 Ton/ha.

FIGURA 27. VALORES DE BIOMASSA TOTAL (a) PARA O CERRADO E (b) PARA AS SAVANAS TROPICAIS



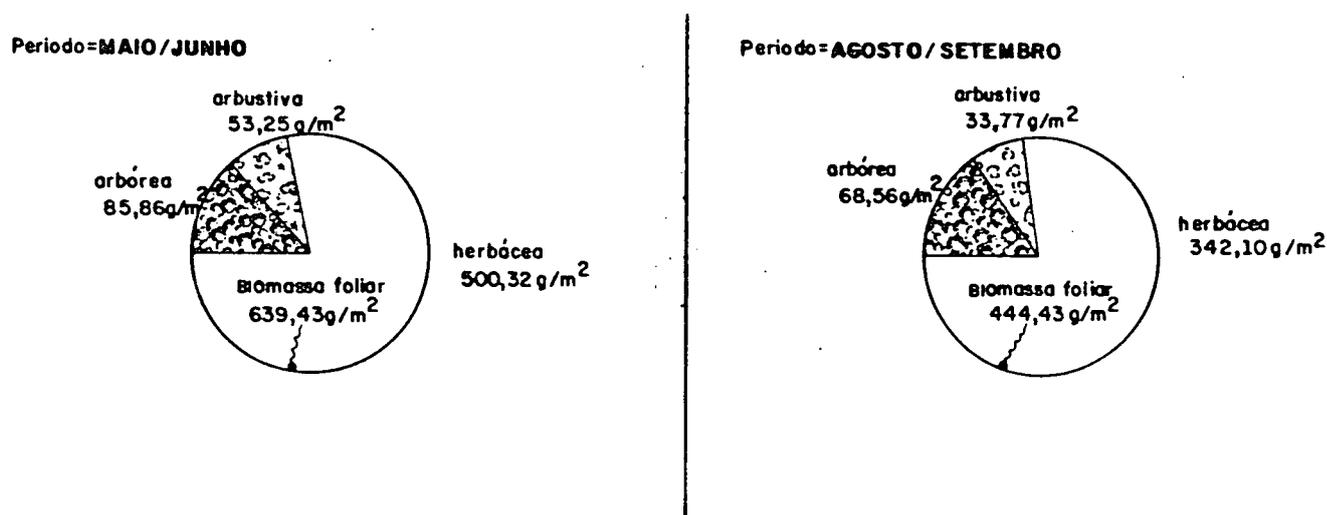
Fonte: (b) SWIFT *et alii**, citado por BOURLIÈRE & HADLEY¹⁷

* SWIFT, M.J; HEAL, O.W. & ANDERSON, J.M. Decomposition in terrestrial ecosystems. Blackwell, 1979. 371 p. (Studies in ecology, 5).

A biomassa do cerrado (*stricto sensu*) apresenta também certa semelhança aquela registrada por RODIN & BASILEVIC¹⁰¹ para as savanas, com valores médios de 46,7 ton/ha, sendo 5,37 ton/ha referente ao material foliar e 30,12 ton/ha ao material lenhoso. Os dados da biomassa aérea, obtidos na presente pesquisa, são relativamente inferiores aqueles estimados por FEARNside³⁶ para o cerrado (scrub forest).

Passando-se a analisar separadamente a biomassa foliar do cerrado, estruturalmente definida pelos estratos arbóreo, arbustivo e herbáceo, verifica-se que este último é o componente principal desta biomassa (Figura 28).

FIGURA 28. BIOMASSA FOLIAR DO CERRADO POR ESTRATO



As espécies herbáceas contribuem com cerca de 75% da massa foliar do cerrado. Os valores médios encontrados no período maio/junho (500,32 g/m²) e agosto/setembro (342,10 g/m²), demonstram que a componente sazonal exerce uma maior influência neste estrato, ocorrendo portanto, uma mais baixa produção de biomassa, a medida que avança a época seca. Em ambientes

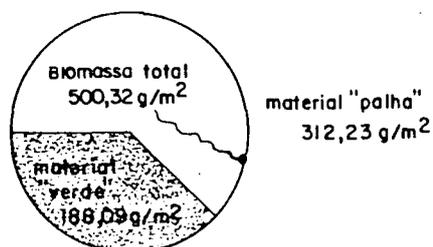
tropicais, a estação de crescimento geralmente coincide com a estação chuvosa, havendo uma sazonalidade na quantidade de biomassa presente ao longo do ano (SAN JOSÉ & MIRAGAYA¹⁰⁴).

No estrato herbáceo, as gramíneas representam de 75 a 80% do total de biomassa da parte aérea. Estes valores são próximos àqueles encontrados por BATMANIAN¹¹, ao realizar na Fazenda Água Limpa (DF), estudos sobre o efeito do fogo na produção primária do estrato rasteiro do cerrado. Em savanas tropicais, as gramíneas contribuem com cerca de 78 a 90% do total de biomassa do estrato rasteiro (LAMOTTE⁶⁸; SAN JOSÉ & MEDINA¹⁰³).

Ainda em relação a sazonalidade que afeta a biomassa deste estrato herbáceo, pode-se analisar os dados relativos ao material considerado "verde" (fotossinteticamente ativo) e "palha" (Figura 29). O material fotossinteticamente ativo representa em média, no período maio/junho, 37,60% da massa foliar do estrato herbáceo, decrescendo à 20,37% no período agosto/setembro, quando, as espécies graminóides perdem a maior parte de sua vitalidade. Com relação ao teor de umidade presente na massa foliar total do material herbáceo (Figura 30), há também um decréscimo percentual médio de 33,87 para 24,94, nos dois períodos de coleta considerados. A presença do material "palha" no estrato rasteiro influencia os valores de umidade na massa foliar. É oportuno registrar que somente o material foliar verde, coletado nas sub-parcelas de 1 m², apresentaram em média 43,62% de água, cujos teores de armazenamento hídrico por parte da folha foram pouco superiores na época de maio/junho.

FIGURA 29. VALORES DE BIOMASSA "VERDE" E "PALHA" DO ESTRATO HERBÁCEO DO CERRADO (PESO SECO EM ESTUFA)

Período = MAIO/JUNHO



Período = AGOSTO/SETEMBRO

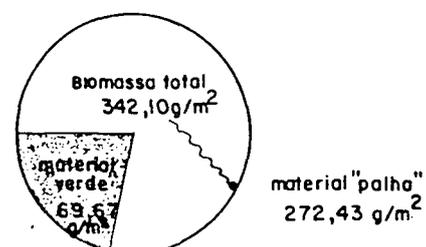
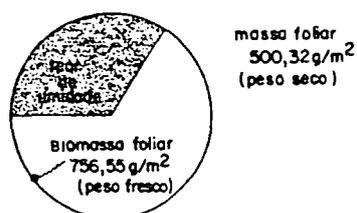
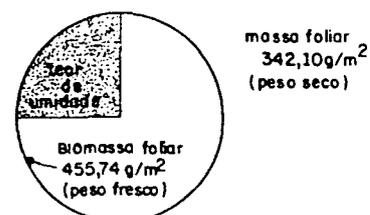


FIGURA 30. TEOR DE UMIDADE PRESENTE NA MASSA FOLIAR DO ESTRATO HERBÁCEO DO CERRADO

Período = MAIO/JUNHO



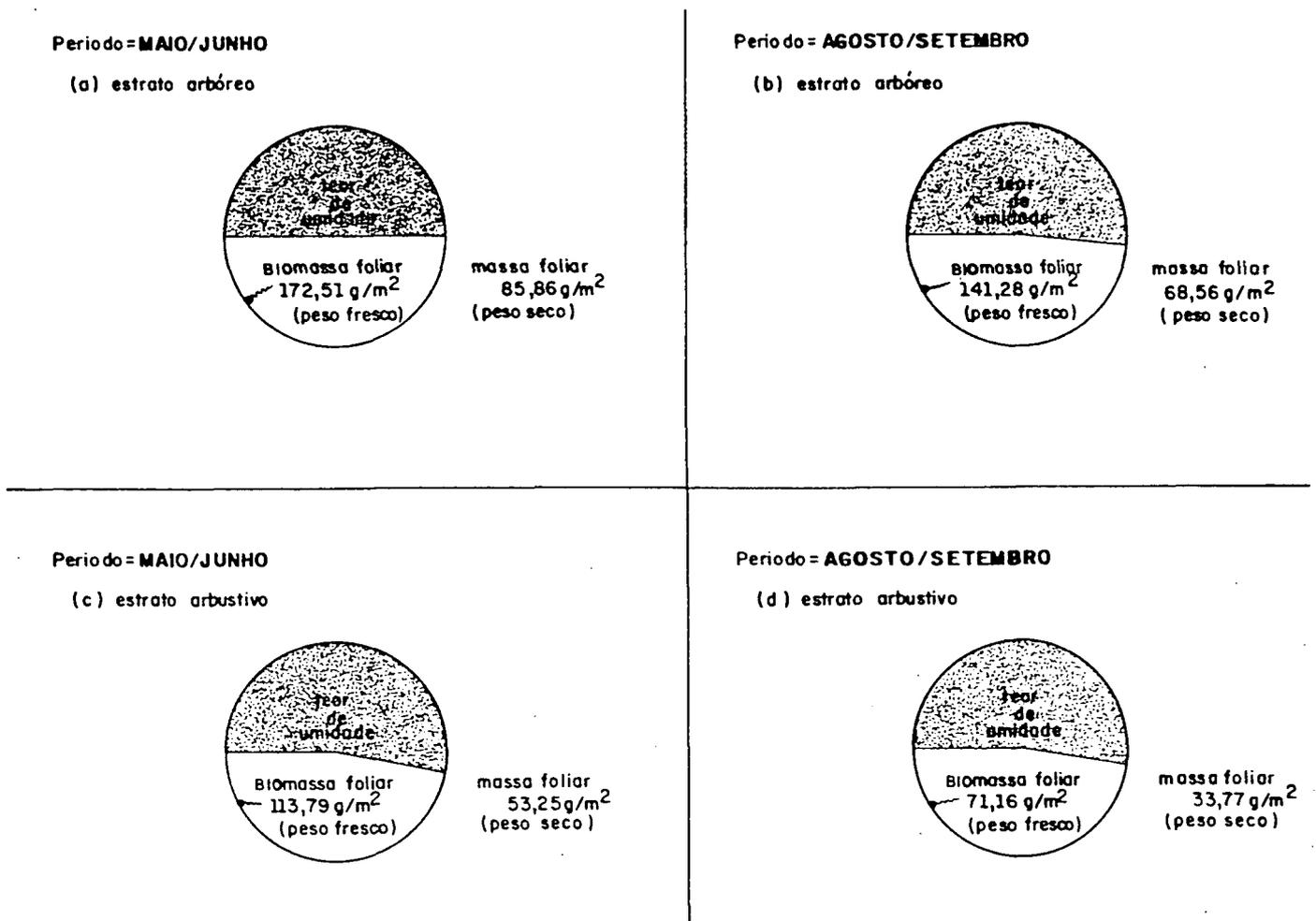
Período = AGOSTO/SETEMBRO



Efetuando-se agora, considerações sobre a biomassa foliar dos estratos arbóreo e arbustivo, pode-se verificar (Figura 28) que as espécies que formam a estrutura de cada um, contribuem em média com 13% e 8% do total foliar, respectivamente. Tais valores foram obtidos levando-se em consideração

o conjunto dos dados das duas épocas de coleta. A pouca diferenciação que existe de uma época à outra, com relação a massa foliar de cada um destes estratos, não deve ser atribuída apenas a caducifolia das espécies, mas também, ao maior ou menor número de indivíduos e ocorrência ou não de determinadas espécies nas UPAs selecionadas. Com relação ao teor de água presente nas folhas dos indivíduos arbóreos e arbustivos, este valor oscila em torno de 50% (Figura 31), sendo praticamente idêntico nos dois períodos considerados.

FIGURA 31. TEOR DE UMIDADE PRESENTE NA MASSA FOLIAR DOS ESTRATOS ARBÓREOS E ARBUSTIVO DO CERRADO



Na grande maioria das savanas neotropicais, as plantas herbáceas tem ótimo desenvolvimento, cobrindo grande parte do solo, formando assim, um estrato ecologicamente dominante (SARMIENTO¹⁰⁸). Nesta generalização, acrescenta este pesquisador, excetuam-se as áreas de cerrado mais denso, no planalto Central do Brasil. Apesar de apresentarem descontinuidade de cobertura do solo, as árvores que compõem a estrutura das savanas podem contribuir com um maior percentual da biomassa aérea.

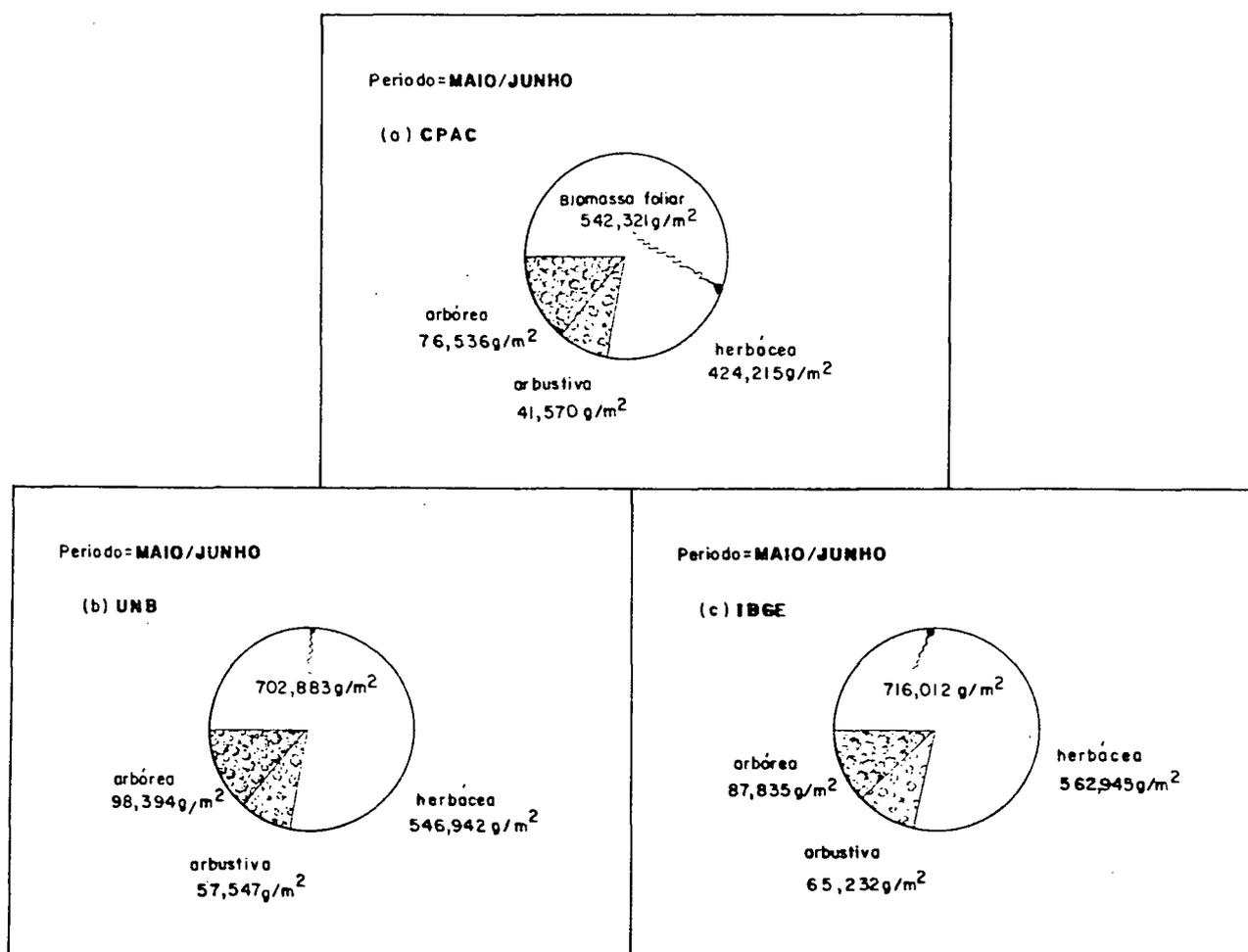
Este comentário anterior pode-se aplicar ao cerrado (*stricto sensu*) aqui estudado, pois, levando-se em conta a parte lenhosa, árvores e arbustos contribuem com cerca de 80% da biomassa epígea (Figura 26). Dos valores da biomassa lenhosa do cerrado (22,47 ton/ha no período de maio/junho e 22,83 ton/ha em agosto/setembro), 70 a 75% equivalem ao estrato arbóreo.

O cerrado, como parte integrante do ecossistema savana, apresenta modificações sazonais, onde parte substancial da biomassa é renovada a cada ano (SARMIENTO¹⁰⁸). Contudo, em qualquer tempo a estrutura da biomassa de cerrado pode ser considerada dependente de determinados eventos antrópicos, como as queimadas e intensidade de pastoreio, dentre outros. Tal afirmação pode ser comprovada quando se analisam, separadamente, os dados de biomassa foliar obtidos em cada área de estudo (CPAC, IBGE e UnB).

Tomemos como exemplo apenas os dados coletados no período de maio/junho (Figura 32). Observando-se os três diagramas pode-se verificar que não existem diferenças marcantes em relação ao percentual de cada estrato na composição da biomassa foliar. Contudo, se analisarmos cuidadosamente os

valores desta biomassa nas três áreas, encontraremos valores mais elevados, principalmente em termos de estrato herbáceo naquelas pertencentes ao IBGE (Reserva Ecológica do Ronca dor) e UnB (Campo Experimental da Universidade), áreas cuida dosamente preservadas e destinadas apenas à pesquisa. No ca so do CPAC, a área da "chapada", com menor quantidade de bio massa foliar (cerca de 23% em relação ao IBGE e UnB), sobre tudo do estrato herbáceo, sofre efeitos mais freqüentes do fogo e sobretudo do pastoreio, em alguns locais.

FIGURA 32. ESTRUTURA DA BIOMASSA FOLIAR DO CERRADO NAS TRÊS ÁREAS DE ESTUDO (PESO SECO)



Reforçando o comentário anterior, pode-se citar rapidamente alguns trabalhos que analisam o efeito do fogo e do pastoreio na produtividade das savanas tropicais. MISRA⁸⁰ avaliando a biomassa das savanas na Índia, através da comparação de uma área protegida e outra aberta ao pastoreio (Tabela 8), registra uma perda em torno de 20% da biomassa em função desta atividade considerada antrópica. A vegetação destas duas áreas investigadas tem ocorrência de *Zizyphus jujuba* (indivíduo arbóreo/arbustivo com altura de 3 a 4 metros) e no estrato herbáceo, o domínio da *Heteropogon controtus* e *Bethriochloa pertusa* (área protegida) e *Desmostachya bipinnata* (área de pastoreio).

TABELA 8. PRODUÇÃO DE BIOMASSA (kg/ha) EM SAVANA TROPICAL

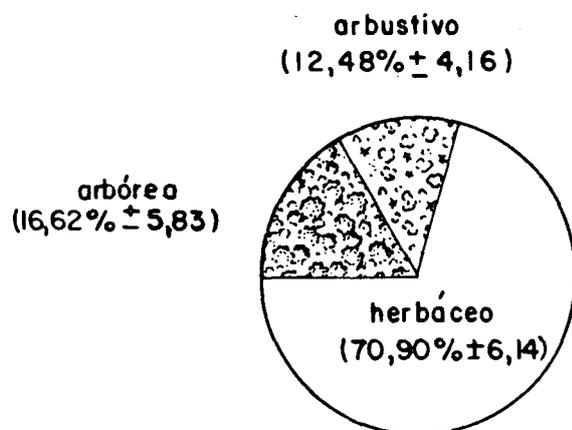
	Área protegida		Área com pastoreio	
	Peso	%	Peso	%
<u>Estrato Arbustivo</u>				
Folha	151,9	5,9	133,1	6,8
Galho	1127,8	43,7	701,4	35,8
Tronco	565,8	22,0	498,0	25,4
Raiz	732,8	28,4	628,6	32,0
Total	2578,4	100	1961,1	100
<u>Estrato Herbáceo</u>				
Epígea	3464,4	71,6	2556,9	64,2
Hipógea	1373,1	28,4	1423,1	35,8
Total	4837,5	100	3980,0	100
<u>Litter</u>				
Arbustos	41,6	2,8	32,9	4,0
Herbáceos	1434,0	97,2	777,0	96,0
Total	1475,6	100	809,9	100
<u>Biomassa Total</u>	8891,5		6751,0	

BATMANIAN¹¹ em áreas de cerrado constatou que, após a ação do fogo, a biomassa verde do estrato rasteiro atinge valores semelhantes àqueles de uma área protegida, em um período de quinze meses. Estimando periodicamente em cada área a quantidade de biomassa de gramíneas e não-gramíneas, determinou a "produção primária líquida da parte aérea" (PPLA), que apresentou um valor de 327 g/m² naquela área não queimada.

Anteriormente, descrevemos os resultados obtidos na análise da biomassa de cada estrato do cerrado, podendo-se agora, efetuar uma avaliação do grau de cobertura foliar que cada um dos estratos (arbóreo, arbustivo e herbáceo) representam na comunidade estudada. Este tipo de avaliação da cobertura é também importante quando se trabalha com dados sensorizados. De um modo geral, os aspectos estruturais de uma comunidade são definidos pelo plano vertical e aqueles que refletem a heterogeneidade espacial do plano horizontal (SARMIENTO¹⁰⁷). A estrutura vertical por exemplo, é comumente descrita em termos dos vários estratos, onde cada um pode ser caracterizado pela percentagem relativa da biomassa total que lhe representa, como também pela quantidade de cobertura e até mesmo a altura.

Na Figura 33 é mostrado um diagrama do grau de cobertura foliar de cada estrato que compõe o cerrado. Os valores médios desta cobertura foram obtidos a partir do conjunto de dados, coletados nos dois períodos considerados.

FIGURA 33. ESTRUTURA PERCENTUAL DA COBERTURA FOLIAR DO CERRADO



Referindo-se ao percentual médio de cobertura de copa dos indivíduos arbóreos, EITEN³¹ comenta que, após alcançar o valor de 15%, a savana adquire a fisionomia que no Brasil é chamada de "cerrado". HOWARD & SCHADE⁶⁰, na análise da classificação da vegetação por sensoriamento remoto, relatam que no sudoeste da Austrália a savana apresenta uma cobertura arbórea de 25% (± 5). GILLISON⁴⁰ mostra através de um diagrama estrutural, as variações dos parâmetros altura e projeção de cobertura foliar das savanas arbóreas, nas regiões da Austrália e sudoeste do Pacífico. O diagrama apresentado para as várias províncias, definidas pelo contexto bioclimático (mega, meso e microtérnico) e pelo critério estrutural e florístico, estabelece nestas savanas, uma cobertura foliar arbórea variando de 3% a mais de 70%.

Nas savanas tropicais, o cerrado é classificado por SARMIENTO¹⁰⁷, apresentando uma cobertura foliar arbórea

variando de 15 a 40%, apresentando em média 25%. Para RIBEIRO *et alii*⁹², o cerrado, considerado típico, apresenta 21 a 50% da cobertura arbórea. Idêntica faixa de variação já havia sido observada por AOKI & SANTOS⁴. Avaliando os índices de cobertura foliar do cerrado em diferentes tipos de solos, SANTOS & AOKI¹⁰⁶ estimaram valores médios de 26,79%, 20,79% e 52,42% para os estratos arbóreo, arbustivo e herbáceo, respectivamente.

Voltando-se agora a comentar os dados de projeção foliar dos estratos que compõem o cerrado nas áreas de estudo (CPAC, UnB e IBGE), pode-se verificar a semelhança dos valores encontrados nestes três locais (Tabela 9).

TABELA 9. VALORES PERCENTUAIS MÉDIOS DA PROJEÇÃO DE COBERTURA FOLIAR DO CERRADO, NAS ÁREAS DO CPAC, UnB E IBGE

Local	% Cobertura arbórea	% Cobertura arbustiva	% Cobertura herbácea*
CPAC	16,81 (±6,54)	11,67 (±5,13)	71,51 (±6,06)
UnB	16,86 (±4,71)	11,26 (±3,70)	71,90 (±6,38)
IBGE	16,17 (±6,06)	14,57 (±2,05)	69,27 (±6,26)

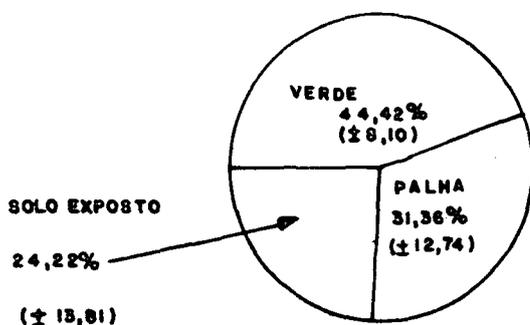
* Percentual incluindo solo exposto

Como uma fisionomia savânica, o cerrado tem o estrato herbáceo como dominante. Porém, os dados percentuais de cobertura foliar herbácea até aqui apresentados, dizem respeito ao complexo vegetação-solo. Houve portanto, também, uma preocupação na estimativa da percentagem do solo exposto,

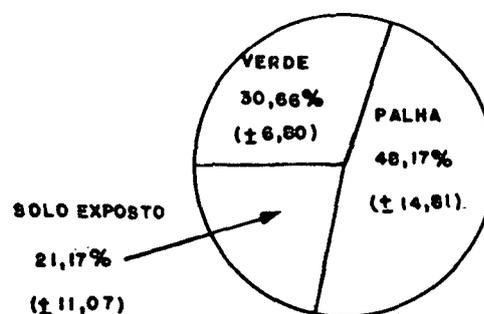
além da discriminação percentual da projeção da cobertura foliar do material "verde" e "palha" neste estudo. Na Figura 34 é apresentado um diagrama do tipo de cobertura foliar (fotossinteticamente ativa ou não) do estrato herbáceo, nos períodos de maio/junho e agosto/setembro.

FIGURA 34. VALORES PERCENTUAIS MÉDIOS DE COBERTURA DO SOLO NO ESTRATO HERBÁCEO (MATERIAL FOTOSSINTETICAMENTE ATIVO, MATERIAL PALHA E SOLO EXPOSTO)

PERÍODO: MAIO/JUNHO



PERÍODO: AGOSTO/SETEMBRO



Na Figura 34 pode-se verificar facilmente o gradiente de projeção de cobertura foliar do material verde de uma época à outra, decrescendo cerca de 13,76% ao período mais seco. A cobertura do solo pelo material "palha" acresce, por sua vez, em direção ao período (agosto/setembro) mais seco, proporcionalmente, com o maior volume de biomassa morta, peculiar no referido período. Pela experiência adquirida na coleta de dados do estrato herbáceo, pode-se afirmar que o percentual de

solo exposto não sofre variações marcantes nos períodos analisados, de fácil constatação pelos valores apresentados no diagrama (Figura 34). Modificações neste sentido, podem ocorrer provocadas por eventos antrópicos.

Analisando-se individualmente cada área de estudo (CPAC, UnB e IBGE), em relação a cobertura do solo no estrato herbáceo (Figuras 35 e 36), pode-se constatar que o CPAC apresenta a maior área percentual de solo exposto. Isto é facilmente explicado, em razão dos locais UnB e IBGE serem áreas mais preservadas, com baixa incidência antrópica (queimadas e pastoreio), havendo por conseguinte, acúmulo de material "palha" ano a ano, cobrindo quase que totalmente o solo.

FIGURA 35. PROJEÇÃO PERCENTUAL DE COBERTURA DE SOLO NO ESTRATO HERBÁCEO, NO PERÍODO MAIO/JUNHO

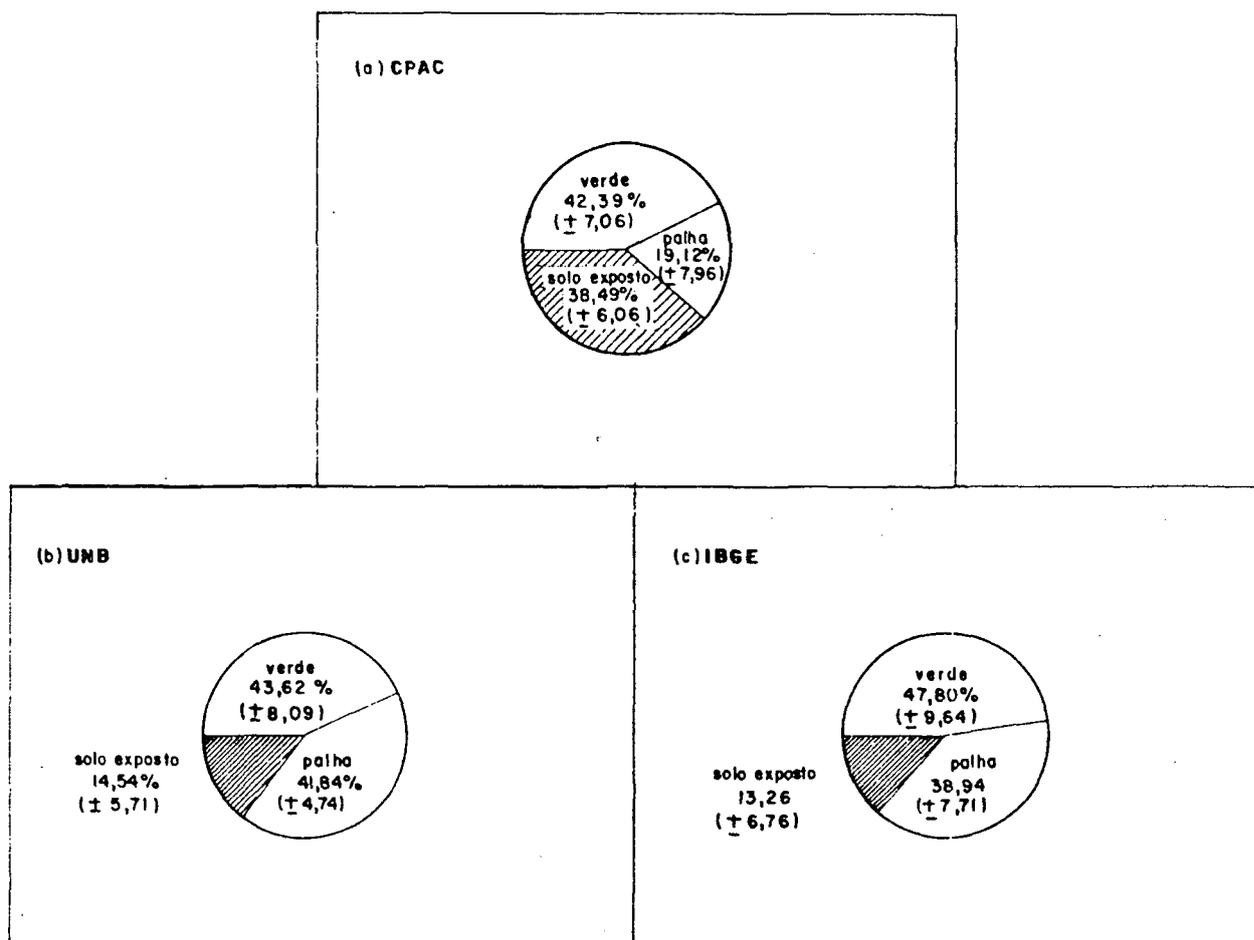
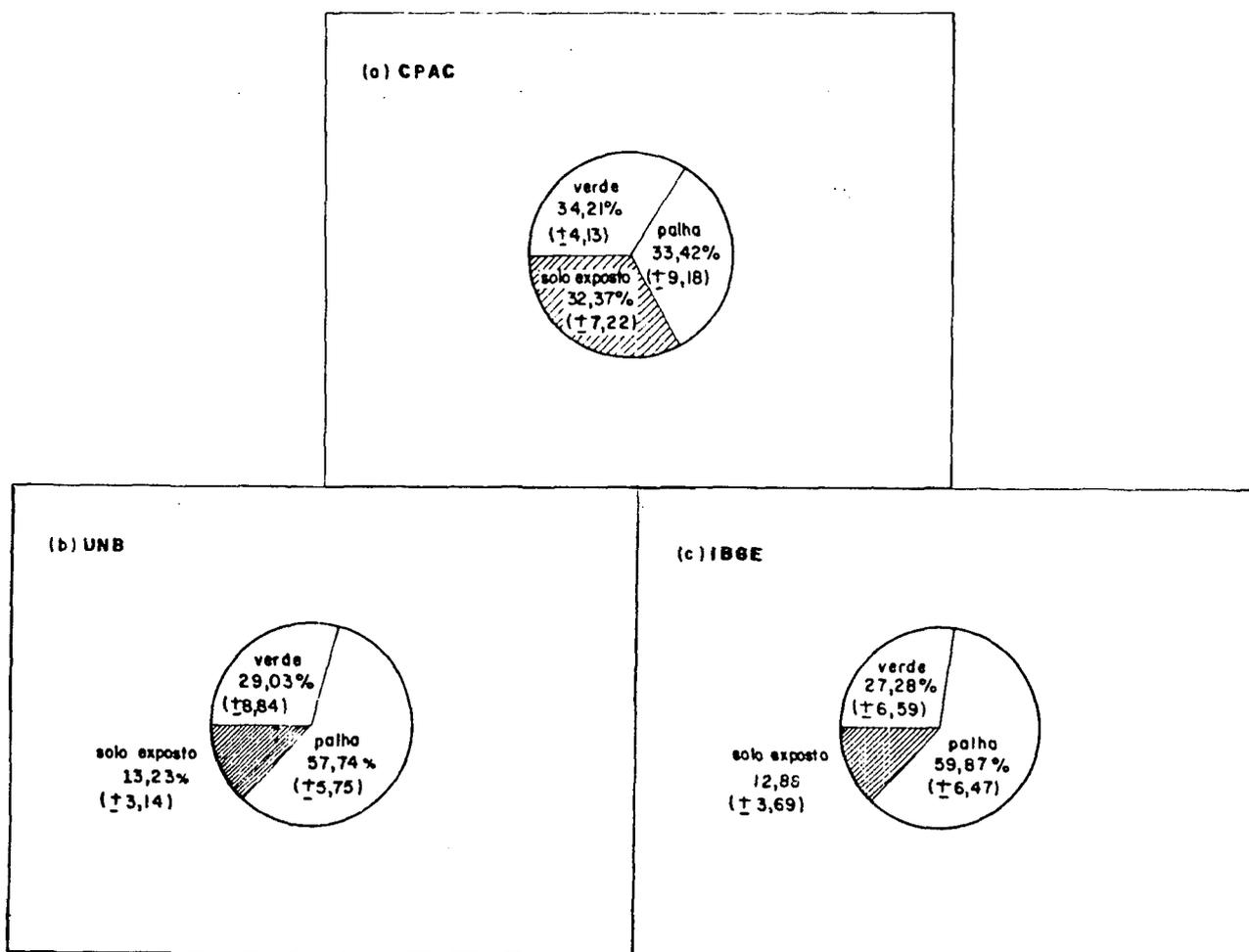


FIGURA 36. PROJEÇÃO PERCENTUAL DE COBERTURA DE SOLO NO ESTRATO HERBÁCEO, NO PERÍODO AGOSTO/SETEMBRO



Após a apresentação de resultados acerca da biomassa (foliar e lenhosa) do cerrado, bem como do grau de cobertura foliar dos vários estratos que compõem esta unidade fisionômica, cabem, resumidamente, alguns comentários ligados a composição florística.

Levantamentos florísticos da vegetação dos cerrados brasileiros tem sido efetuados por diversos pesquisadores, dentre os quais, FERRI³⁹ e HERINGER *et alii*⁵⁵. Mais especificamente, no Distrito Federal, podem-se registrar os trabalhos do Centro de Pesquisas Florestais¹⁹ e AOKI & SANTOS⁴.

Com esta diminuta, porém importante, demonstração da existência de trabalhos voltados a estrutura florística dos cerrados, principalmente na região do Distrito Federal, e até mesmo em áreas do CPAC (RIBEIRO *et alii*⁹³) e da UnB (FELFILI *et alii*³⁸), cabe-nos relacionar as espécies arbóreas e arbustivas comumente encontradas nas três áreas de estudo (Tabela 10).

TABELA 10. ESPÉCIES DO ESTRATO ARBÓREO E ARBUSTIVO DO CERRADO COMUNS AS ÁREAS DO CPAC, UnB E IBGE

ESPÉCIE	FAMÍLIA	NOME VULGAR
<i>Annona crassifolia</i> Mart.	Annonaceae	araticum
<i>Aspidosperma tomentosum</i> Mart.	Apocynaceae	bolsinha
<i>Byrsonima coccinlobifolia</i> (Spr.) Kunth	Milpighiaceae	murici
<i>Byrsonima crassa</i> Niedenq.	Milpighiaceae	murici
<i>Byrsonima verbascifolia</i> (L.) Rich.	Milpighiaceae	murici
<i>Caryocar brasiliense</i> Camb.	Caryocaraceae	pequi
<i>Connarus</i> sp.	Connaraceae	-
<i>Dalbergia violacea</i> Malme.	Leg. Papilionoideae	jacarandá do cerrado
<i>Didymopanax macrocarpum</i> (Cham. & Schl.) Seem.	Anallaceae	mandiocão
<i>Diospyros burchellii</i>	Elmaceae	-
<i>Enterolobium ellipticum</i> Benth.	Leg. Mimosaideae	vinhático cascudo
<i>Erythroxylum deciduum</i> O.E. Schulz	Erythroxylaceae	-
<i>Erythroxylum suberosum</i> S.T. Hill	Erythroxylaceae	-
<i>Kielmeyera coriacea</i> (Spr.) Mart.	Guttiferae	pau santo
<i>Miconia ferruginata</i> (DC) Cogn.	Melastomataceae	-
<i>Miconia pohliana</i> Cogn.	Melastomataceae	-
<i>Mimosa clausenii</i> Benth.	Leg. Mimosaideae	-
<i>Neea theifera</i> Oerst.	Nyctaginaceae	-
<i>Ouratea hezampima</i> (St. Hill) Baill.	Celastraceae	cabeça de negro
<i>Palicourea rigida</i> H.B. & K.	Rubiaceae	bate-caixa
<i>Piptocarpha rotundifolia</i> (Less.) Baker	Compositae	coração de negro
<i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.) Rullk.	Simulaceae	curriola
<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	Vochysiaceae	pau-terra da folha grande
<i>Qualea parviflora</i> Mart.	Vochysiaceae	pau-grande da folha miúda
<i>Roupala montana</i> Aubl.	Proteaceae	fruto de morcego
<i>Salacia crassifolia</i>	Hippocrateaceae	bacupari
<i>Sclerolobium aureum</i> (Tul.) Benth.	Leg. Caesalpinoideae	carvoeiro
<i>Strichnos pseudoquina</i> St. Hill	Loganiaceae	quina
<i>Straphnodendron barbatimam</i> Mart.	Leg. Mimosaideae	barbatimão
<i>Styrax ferrugineus</i> Ners & Mart.	Styracaceae	laranjinha
<i>Vochysia elliptica</i> (Spr.) Mart.	Vochysiaceae	-
<i>Vochysia thyrsoidea</i> Pohl.	Vochysiaceae	pau de goma

Na Tabela 10 pode-se verificar que 23 famílias botânicas foram encontradas tanto nas áreas do CPAC, UnB, como IBGE, totalizando 32 espécies comuns. Dentre estas espécies, a *Ouratea hexasperma*, *Palicourea rigida*, *Kielmeyera coriacea*, *Roupala montana*, *Styrax ferrugineus*, *Byrsonima verbascifolia*, *Sclerolobium aureum*, *Caryocar brasiliense*, *Dydimopanax macrocarpum*, *Dalbergia violacea*, são aquelas que apresentam maior número de indivíduos, representando cerca de 60% do total (810) existente e de espécies comuns às três áreas. Logicamente, outras espécies em menor número ocorreram, porém não encontradas de forma comum às três áreas de estudo. Pode-se citar a *Bowdichia virgilioides*, *Dimorphandra mollis*, *Guapira noxia*, *Neea theifera*, *Pouteria torta*, *Pterodon pubescens*, *Rourea induta*, *Davilla elliptica*, dentre outras.

Com base nas 38 pontos amostrais em que foram identificados ao todo 905 indivíduos (810 indivíduos pertencendo àquelas espécies comuns às três áreas), chega-se a estimativa de 2.405 indivíduos/hectare, dos quais 453 fazem parte do estrato arbóreo. Dentre as espécies arbóreas com maior frequência citam-se: *Sclerolobium aureum*, *Caryocar brasiliense*, *Didymopanax macrocarpum*, *Qualea grandiflora*, *Qualea parviflora*, *Dalbergia violacea*, *Stryphnodendron barbatiman*. No decorrer deste trabalho foram identificadas ao todo 34 espécies no estrato arbóreo.

RIBEIRO *et alii*⁹⁴ faz uma comparação de parâmetros fitossociológicos encontrados para a vegetação arbórea de cerrado típico, em diferentes trabalhos realizados na região do Distrito Federal (Tabela 11). Os dados pertinentes a esta tabela, permite-nos uma avaliação dos resultados aqui alcançados,

TABELA 11. COMPARAÇÃO DE PARÂMETROS FITOSSOCIOLÓGICOS ENCONTRADOS PARA A VEGETAÇÃO ARBÓREA DE CERRADO TÍPICO, EM DIFERENTES TRABALHOS REALIZADOS NA REGIÃO DOS CERRADOS

Autor	OLIVEIRA <i>et alii</i> *	MEDEIROS**	RIBEIRO***	RIBEIRO <i>et alii</i> ⁹⁴	Presente trabalho
Local	Parque Nacional, DF	Fazenda Água Limpa, DF	CPAC, DF	CPAC, DF	CPAC, IBGE UnB (DF)
Método utilizado	Quadrantes	Quadrantes	Quadrantes	Parcelas (25 x 10 m)	Parcelas (2 m x 50 m)
Critério ¹ altura	-	-	2 m	2 m	2,5 m
Mínimo para circunferência árvore	10 cm à altura do peito	10 cm à altura do peito	10 cm à altura do peito	10 cm à altura do peito	20 cm à altura do peito
Número de espécies	35	38	50	66	34
Densidade (indiv./ha)	567	947	559	911	453
Áreas do tronco ² (m ² /ha)	9	5,4	4,3	9,65	-
Espécies mais importantes	<i>Styrax ferrugineus</i> <i>Dalbergia violacea</i>	<i>Q. parviflora</i> <i>Sclerolobium paniculatum</i>	<i>Q. parviflora</i> <i>Q. grandiflora</i>	<i>Q. parviflora</i> <i>Q. grandiflora</i>	<i>Sclerolobium aureum</i> <i>Caryocar brasiliense</i>

1 - Critério mínimo adotado pelos autores para ser considerado como árvore.

2 - Área do tronco considerando a altura adotada para a tomada da circunferência; Q = *Qualea*

* OLIVEIRA, P.E.A.M.; PEREIRA, L.A.; LIMA, V.L.G.F.; FRANCO, A.C.; BARBOSA, A.A.; BATMANIAN, G.J.; MOURA, L.C. Levantamento preliminar de um cerrado no Parque Nacional de Brasília. Boletim Técnico do IBDF, 7: 25-31, 1982.

** MEDEIROS, R.A. Comparação do estado nutricional de algumas espécies acumuladoras e não acumuladoras de alumínio, nativas do cerrado. Brasília, 1983. 91 p. Tese. Mestrado. Universidade de Brasília.

***RIBEIRO, J.F. Comparação da concentração de nutrientes na vegetação arbórea e nos solos de um cerrado e um cerrado no Distrito Federal, Brasil. Brasília, 1983. Tese. Mestrado. Universidade de Brasília.

tanto em relação ao número de espécies e densidade (indivíduos/ha). As variações encontradas em alguns destes parâmetros (Tabela 11) são decorrentes do método empregado para caracterizar o "indivíduo arbóreo".

No presente estudo é oportuno lembrar que, o indivíduo arbóreo foi considerado como aquela espécie lenhosa de altura superior a 2,5 metros e CAP acima de 20 cm. Em trabalho recente realizado na Fazenda Água Limpa (UnB), FELFILI & SILVA JR.³⁷ encontraram 2.013 indivíduos distribuídos em 30 famílias e 61 espécies no cerrado, para um total de 959 árvores/ha. Na área inventariada foram medidos os indivíduos arbóreos com Db (diâmetro a 0,30 m) igual ou superior a 5 cm.

4.2 OS VALORES ESPECTRAIS DO CERRADO (*stricto sensu*)

Os parâmetros espectrais (valor digital) do cerrado, nas imagens do sensor TM/LANDSAT (bandas 3, 4 e 5), foram obtidos em cada unidade padrão de amostragem, cuja distribuição espacial pode ser observada na Figura 37. Na Tabela 12 é apresentada a média dos valores digitais, por banda espectral, oriunda de cada área amostral com dimensão de 36 "pixels", correspondente a amostra em que foi coletado material de campo. Efetuando-se uma rápida abordagem sobre esta série de valores digitais do cerrado, pode-se perceber que nas unidades amostrais pertencentes ao IBGE e UnB, isoladamente, tais valores não apresentaram um desvio médio em torno de 5%, refletindo uma certa semelhança relativa quanto a caracterização espectral desta vegetação nas áreas de estudo consideradas. No caso do CPAC, comparado ao IBGE e UnB, os valores obtidos das 8 UPAs apresentam um posicionamento

FIGURA 37. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS PONTOS AMOSTRAIS NAS
ÁREAS DO CPAC, UnB E IBGE

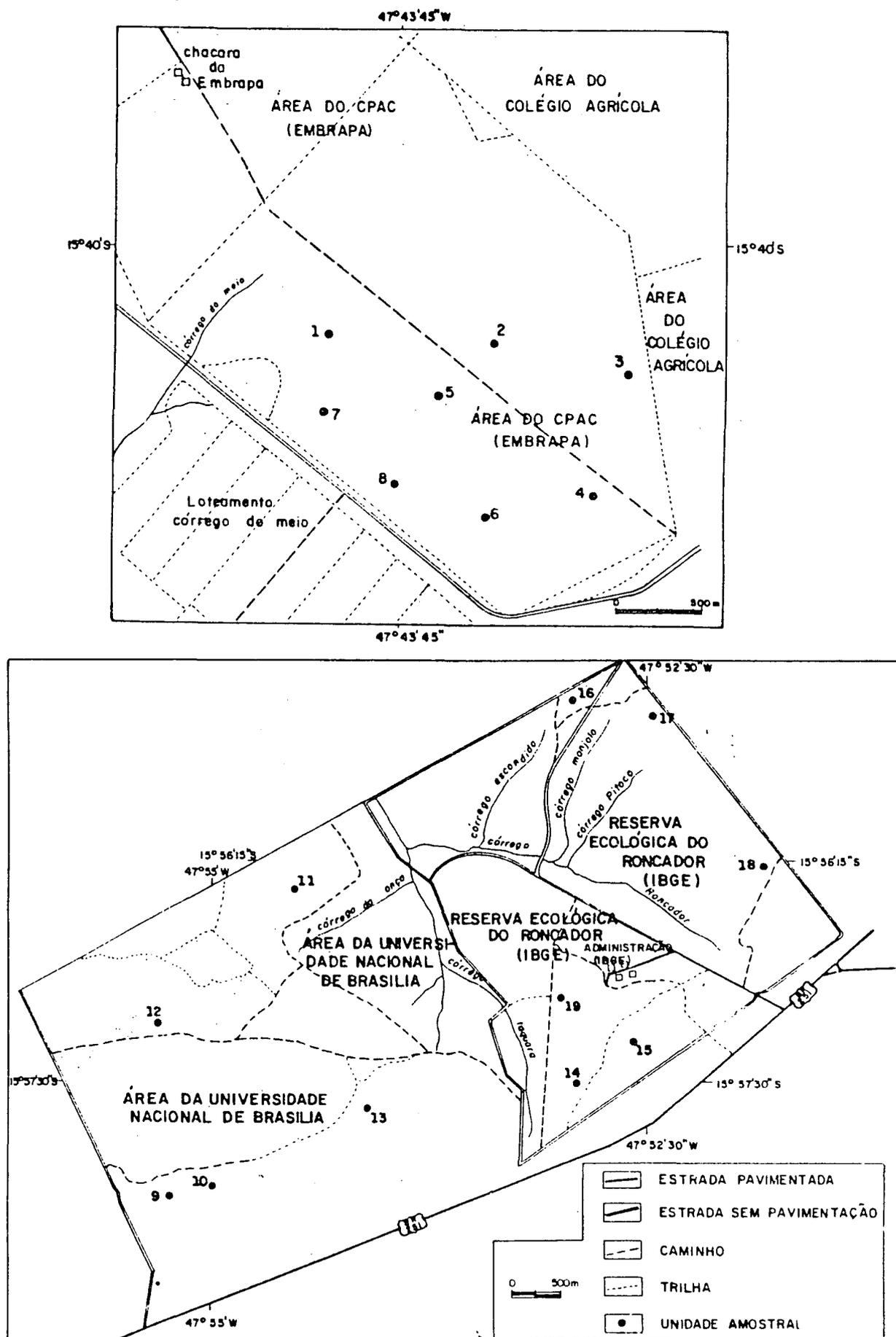


TABELA 12. VALORES DIGITAIS MÉDIOS (NÍVEIS DE 0 a 255) DO CERRADO NAS ÁREAS DO CPAC, UnB E IBGE

ÁREA	LOCAL	VALORES DIGITAIS MÉDIOS					
		PASSAGEM DE 17/06/86			PASSAGEM DE 04/08/86		
		TM3	TM4	TM5	TM3	TM4	TM5
1	CPAC	13,86	33,31	59,61	15,69	31,42	64,94
2	CPAC	20,53	38,39	63,75	20,89	36,41	66,36
3	CPAC	15,64	36,69	61,61	16,78	34,75	66,08
4	CPAC	17,06	34,75	62,29	17,31	33,28	67,19
5	CPAC	13,36	33,39	53,00	14,44	32,33	58,78
6	CPAC	15,86	33,61	60,42	15,92	31,33	62,97
7	CPAC	15,67	32,78	57,42	16,33	30,92	62,81
8	CPAC	13,72	31,89	54,94	14,61	30,78	60,50
9	UnB	13,96	33,28	61,44	15,56	32,08	70,17
10	UnB	13,74	33,59	60,44	15,19	33,19	68,72
11	UnB	14,20	32,59	61,61	15,97	29,56	70,14
12	UnB	13,19	32,82	57,59	14,53	31,17	64,50
13	UnB	14,21	33,66	60,30	15,67	32,67	67,89
14	IBGE	12,36	32,69	57,69	14,89	31,69	66,28
15	IBGE	11,69	33,87	55,25	13,19	33,14	61,81
16	IBGE	12,89	31,31	60,31	15,36	30,61	68,72
17	IBGE	12,72	32,33	56,53	14,44	30,75	65,28
18	IBGE	12,22	33,03	52,47	13,08	31,72	59,81
19	IBGE	13,25	31,87	61,25	14,97	30,31	68,89
\bar{x}		14,22	33,47	58,84	15,52	32,01	65,36
s^2		(2,05)	(1,67)	(3,22)	(1,68)	(1,64)	(3,47)

percentual semelhante quanto a variabilidade na resposta espectral, exceção aqueles obtidos com a banda TM3, cujo desvio foi estimado em torno de 13%. Isto, graças principalmente ao valor digital 20,53 referente a amostra 2, que mesmo representando um cerrado típico, apresentava uma menor densidade de cobertura foliar comparada as demais.

No início do trabalho era pensamento obter os parâmetros espectrais do cerrado, em áreas amostrais na imagem, com dimensão de 2 pixels x 2 pixels. Contudo, optou-se por uma dimensão de 6 x 6 pixels, o que daria maior representatividade às manchas homogêneas desta vegetação. Isto facilitaria, inclusive, o posicionamento destes pontos nas cartas topográficas e sobretudo, na localização de campo para a coleta de biomassa. Além disso, foi verificado que a média de nível de cinza em cada ponto amostral (36 pixels), não apresentava um desvio significativo em razão deste aumento de área. Para exemplificar apenas tal afirmação, é apresentado na Figura 38, um diagrama espacial dos valores digitais do cerrado, obtidos pelo programa ONEPIX, das bandas TM3, TM4 e TM5, localizado na reserva ecológica do IBGE (amostra 16).

Independente da época do ano, pode-se constatar analisando-se cada ponto amostral, que a variância dos valores digitais do cerrado nas imagens, não excederam em média a dez pontos percentuais. Tomando-se como exemplo, os dados da Figura 38, correspondente ao cerrado em área de Reserva Ecológica do IBGE, tem-se que na banda TM3, a variância dos valores digitais deste ponto amostral atingiu 5,51%, para um nível médio de 12,89. Nas bandas TM4 (nível médio de 31,31) e TM5 (60,31), os valores percentuais desta variância foram estimados em 1,76 e 6,33, respectivamente.

FIGURA 38. DIAGRAMA ESPACIAL DOS VALORES DIGITAIS (NÍVEIS DE 0 a 255) NAS BANDAS TM3, 4 E 5 PARA CERRADO EM ÁREA DO IBGE

ONEPIX F2-00					
13	13	13	12	13	12
32	32	32	32	32	32
60	61	60	58	60	58
14	13	13	14	13	11
31	33	31	32	32	32
60	59	61	61	59	57

13	12	* 13	12 *	12	13
31	31	* 31	31 *	31	31
59	60	* 60	60 *	60	60

14	12	* 14	13 *	13	13
31	32	* 31	31 *	31	31
59	62	* 59	60 *	60	62

12	13	13	12	12	13
31	30	30	31	31	31
58	62	60	60	62	63
12	12	14	15	14	14
33	31	30	30	31	31
56	59	64	62	65	65
ONEPIX E2-00					
16	15	16	16	16	16
31	31	31	31	32	32
66	67	68	67	66	68
16	16	16	16	14	14
31	31	30	31	31	30
68	70	72	68	68	67

15	15	* 15	14 *	15	15
31	31	* 31	30 *	31	31
68	66	* 68	67 *	66	67

14	15	* 16	15 *	15	15
32	31	* 31	30 *	31	31
66	71	* 70	68 *	68	70

14	16	16	16	16	16
31	30	30	31	31	29
65	70	70	70	70	70
15	16	15	15	16	16
30	29	29	30	30	29
66	73	74	74	75	70

a) Passagem 17/06/86			
BANDA	LIMITE ESPECTRAL	MÉDIA	VARIÂNCIA
TM3	(11 - 15)	12,89	0,71
TM4	(30 - 33)	31,31	0,55
TM5	(56 - 65)	60,31	3,82

b) Passagem 04/08/86			
BANDA	LIMITE ESPECTRAL	MÉDIA	VARIÂNCIA
TM3	(14 - 16)	15,36	0,51
TM4	(29 - 32)	30,61	0,63
TM5	(65 - 75)	68,72	5,53

inferior aquele apresentado pela imagem de agosto. Isto reflete, de uma maneira geral, a maior quantidade de biomassa foliar verde do cerrado no período de junho e, logicamente, maior absorção da radiação nesta faixa espectral (0,63 a 0,69 μm). Um comportamento inverso ocorre na região de 0,76 a 0,90 (TM4), pois quanto mais densa e verde a cobertura vegetal, maior a reflectância. Com relação a banda TM5, quanto maior o conteúdo de umidade da folha, menor a reflectância.

TABELA 13. VALORES ESPECTRAIS NORMALIZADOS PARA COMPARAÇÃO ENTRE DATAS DE PASSAGEM

Data de Passagem	Valores Digitais Médios		
	TM3	TM4	TM5
17/06/86	14,22	33,47	58,84
04/08/86	14,55	29,83	60,92

Após esta abordagem inicial, sobre os parâmetros espectrais oriundos das imagens de satélite, ainda na forma de "valor digital" ou "nível de cinza", é bom lembrar que, todo o trabalho que se segue, é decorrência da transformação destes "valores digitais" em valores de reflectância (Tabela 14). Conforme comentado na revisão de literatura, tal transformação é sugerida por ROBINOVE⁹⁹, por levar em consideração as constantes de calibração dos sensores do LANDSAT.

As medidas radiométricas em "valores de reflectância" tem sido utilizadas por diversos pesquisadores, dentre os quais WISPELAERE & FABREGUES¹²⁶, na elaboração de índices de vegetação para estimativa de biomassa foliar.

TABELA 14. REFLECTÂNCIA DOS PONTOS AMOSTRAIS DE CERRADO NAS
ÁREAS DO CPAC, UnB e IBGE

ÁREA	LOCAL	REFLECTÂNCIA MÉDIA					
		PASSAGEM 17/06/86			PASSAGEM 04/08/86		
		TM3	TM4	TM5	TM3	TM4	TM5
1	CPAC	0,0363	0,1382	0,1572	0,039	0,121	0,159
2	CPAC	0,0555	0,1609	0,1675	0,053	0,141	0,163
3	CPAC	0,0414	0,1533	0,1624	0,042	0,134	0,162
4	CPAC	0,0454	0,1447	0,1650	0,043	0,128	0,165
5	CPAC	0,0349	0,1387	0,1392	0,035	0,125	0,143
6	CPAC	0,0421	0,1398	0,1598	0,039	0,120	0,154
7	CPAC	0,0414	0,1360	0,1495	0,040	0,119	0,154
8	CPAC	0,0359	0,1323	0,1444	0,036	0,118	0,148
9	UnB	0,0367	0,1382	0,1624	0,038	0,124	0,173
10	UnB	0,0359	0,1398	0,1598	0,037	0,128	0,169
11	UnB	0,0370	0,1350	0,1624	0,039	0,113	0,173
12	UnB	0,0341	0,1360	0,1521	0,035	0,120	0,158
13	UnB	0,0374	0,1398	0,1572	0,039	0,126	0,167
14	IBGE	0,0319	0,1355	0,1521	0,036	0,122	0,163
15	IBGE	0,0298	0,1414	0,1443	0,032	0,128	0,151
16	IBGE	0,0334	0,1296	0,1572	0,038	0,118	0,169
17	IBGE	0,0330	0,1339	0,1469	0,035	0,118	0,160
18	IBGE	0,0312	0,1371	0,1366	0,032	0,122	0,146
19	IBGE	0,0345	0,1323	0,1598	0,037	0,116	0,170

Agora, podemos passar a uma análise conjunta dos valores espectrais do cerrado obtidos dos 19 pontos amostrais (Tabela 12). Independente da época, os valores de variância encontrados com relação a média dos valores digitais destes 19 pontos amostrais não excederam a 15%, sendo sempre superior, percentualmente, na banda TM3. Talvez isto possa ser explicado, pela capacidade desta banda espectral em detectar mais facilmente possíveis variações de biomassa foliar verde de uma área à outra no cerrado.

Se desejarmos uma comparação dos valores médios, banda por banda, entre diferentes datas de passagem do satélite, é recomendado o uso de um fator, haja vista que as imagens foram obtidas em diferentes ângulos de elevação solar. Na passagem de 17/06/87, por exemplo, o ângulo de elevação solar foi de 35° na tomada dos dados sensoriados, enquanto, em 04/08/86, este ângulo era de 38° . Calculado pela equação o fator (F) encontrado foi 0,932, que multiplicado pelos parâmetros espectrais da imagem de 04/08/86, normalizaram tais parâmetros quanto ao ângulo de elevação solar ($\varnothing = 35^{\circ}$), permitindo assim a comparação entre datas.

$$F = \frac{\text{sen } \varnothing}{\text{sen } \theta}$$

onde:

\varnothing = ângulo de elevação solar eleito;

θ = ângulo de elevação solar a ser comparado.

Os valores espectrais médios do cerrado, obtidos dos 19 pontos amostrais, assim normalizados podem ser observados na Tabela 13. Com a comparação entre datas, pode-se perceber que na imagem de junho, banda TM3, o valor digital é levemente

4.3 OS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Conforme comentado no item anterior, após a transformação dos valores digitais em valores de reflectância, foram elaborados os índices de vegetação "razão simples" (R) e "razão normalizada e transformada" (TVI). Os valores destes índices empregando as bandas TM3, TM4 e TM5 podem ser observados na Tabela 15.

TABELA 15. ÍNDICES DE VEGETAÇÃO (R E TVI) PARA O CERRADO NAS ÁREAS DO CPAC, UnB E IBGE

Área	Local	Índices de Vegetação							
		R _{4,3}	R _{5,3}	TVI _{4,3}	TVI _{5,3} *	R _{4,3}	R _{5,3}	TVI _{4,3}	TVI _{5,3} **
1	CPAC	3,807	4,330	1,0411	1,0604	3,103	4,077	1,0062	1,0517
2	CPAC	2,899	3,018	0,9935	1,0011	2,660	3,075	0,9765	1,0046
3	CPAC	3,703	3,922	1,0367	1,0454	3,190	3,857	1,0113	1,0432
4	CPAC	3,187	3,634	1,0111	1,0337	2,977	3,837	0,9985	1,0424
5	CPAC	3,974	3,988	1,0478	1,0482	3,571	4,086	1,0308	1,0520
6	CPAC	3,321	3,796	1,0184	1,0399	3,077	3,949	1,0047	1,0468
7	CPAC	3,285	3,611	1,0165	1,0320	2,975	3,850	0,9984	1,0429
8	CPAC	3,685	4,022	1,0359	1,0359	3,278	4,111	1,0161	1,0529
9	UnB	3,766	4,425	1,0394	1,0633	3,263	4,553	1,0153	1,0676
10	UnB	3,894	4,451	1,0447	1,0638	3,459	4,568	1,0254	1,0681
11	UnB	3,649	4,389	1,0343	1,0621	2,897	4,436	0,9934	1,0640
12	UnB	3,988	4,460	1,0484	1,0647	3,429	4,515	1,0239	1,0664
13	UnB	3,738	4,203	1,0382	1,0560	3,230	4,282	1,0135	1,0589
14	IBGE	4,248	4,768	1,0578	1,0738	3,389	4,528	1,0219	1,0669
15	IBGE	4,475	4,842	1,0733	1,0757	4,000	4,719	1,0488	1,0725
16	IBGE	3,880	4,706	1,0441	1,0720	3,105	4,447	1,0064	1,0644
17	IBGE	4,057	4,451	1,0510	1,0636	3,371	4,571	1,0210	1,0682
18	IBGE	4,394	4,378	1,0627	1,0615	3,812	4,562	1,0414	1,0679
19	IBGE	3,835	4,632	1,0423	1,0693	3,135	4,595	1,0081	1,0689

* Data de passagem: 17/06/86

** Data de passagem: 04/08/86

Analisando-se os valores médios dos índices de vegetação (Tabela 15), obtidos a partir de 19 pontos amostrais, pode-se observar que na razão simples ($R_{4,3}$ e $R_{5,3}$), a variância dos dados atingiu cerca de 11,0% (junho), caindo a pouco mais de 9,0% (agosto). No índice razão normalizada e transformada ($TVI_{4,3}$ e $TVI_{5,3}$), a variância percentual não excedeu em média a 2,0%, independente da época. Os menores valores de variância encontrados no TVI, em relação ao índice R, deve-se ao fato da formulação matemática deste modelo numérico normalizado e transformado, que segundo DEERING *et alii*²⁷ tende a estabilizar a variância.

De acordo com LAUTENSCHLAGER & PERRY JR.⁶⁹, há similaridade entre índices de vegetação. Esta condição de similaridade foi também constatada neste trabalho, pela análise de correlação (Tabela 16).

TABELA 16. COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO (R E TVI)

Índices	$R_{4,3}$	$R_{5,3}$	$TVI_{4,3}$	$TVI_{5,3}$	Data de passagem: 04/08/86
$R_{4,3}$	1,000000	0,667948	0,993430	0,656288	
$R_{5,3}$	0,847090	1,000000	0,704894	0,992033	
$TVI_{4,3}$	0,990018	0,881431	1,000000	0,702656	
$TVI_{5,3}$	0,837177	0,991826	0,884088	1,000000	
Data de passagem: 14/06/86					

Conforme os dados apresentados na Tabela 16, pode-se observar que os índices $R_{4,3}$ e $TVI_{4,3}$ são altamente correlacionados, independente da época da passagem estudada. Igual comportamento ocorre com os índices $R_{5,3}$ e $TVI_{5,3}$, vindo desta forma a confirmar os resultados discutidos por LAUTENSCHLAGER & PERRY JR.⁶⁹. Quando se efetua uma comparação entre índices, elaborados a partir de combinações de bandas espectrais distintas, nota-se uma mais baixa correlação.

Quando se deseja comparar índices de vegetação oriundos de imagens de diferentes datas, não há necessidade da utilização do fator (F) que compensa a tomada dos dados com diferentes ângulos de elevação solar, tal como ocorre na comparação de apenas, simples bandas.

4.4 A RELAÇÃO BIOMASSA FOLIAR VERSUS VALORES ESPECTRAIS DAS BANDAS TM/LANDSAT

Antes da apresentação de resultados sobre a relação da biomassa e os índices de vegetação (R e TVI), oriundos dos dados sensoriados, é recomendável uma breve discussão sobre a relação desta biomassa e a resposta espectral de cada banda TM/LANDSAT, isoladamente.

Conforme comentado na metodologia, dois modelos de regressão foram desenvolvidos para interpretar a relação funcional existente entre as variáveis. No presente caso, os valores de biomassa foliar (y) foram considerados como variável dependente dos modelos e o valor espectral (em reflectância) de cada banda TM/LANDSAT (x), como variável independente. Na Tabela 17 são apresentados os resultados desta regressão.

TABELA 17. SUMÁRIO DA REGRESSÃO QUE RELACIONA BIOMASSA FOLIAR (PESO FRESCO) DO CERRADO (s.s.)
E VALORES ESPECTRAIS NAS BANDAS TM/LANDSAT

Bandas		y = a + bx			ln y = ln a + bx		
		TM3	TM4	TM5	TM3	TM4	TM5
Parâmetros	a	1714,70292	2471,06693	1678,21434	1966,6955	4015,7122	1973,4963
	b	-17992,38137 (t= -3,14**)	-10257,68160 (t= -1,95)	-4101,68422 (t= -0,87)	-17,34534 (t= 3,26**)	-9,77879 (t= -1,98)	-4,20566 (t= -0,95)
	r	0,60599	0,42774	0,20647	0,62070	0,43325	0,22494
	F	9,8657**	3,8069	0,7570	10,6546**	3,9285	0,9060
	Sxy	144,80285	164,54045	178,11130	0,13433	0,15441	0,16694
Passagem: 16/06/86	a	1201,86352	1070,13719	524,21812	1524,2991	1281,0432	534,4189
	b	-13986,3170 (t= -3,04**)	-3274,9912 (t= -0,92)	891,3662 (t= 0,31)	-21,9358 (t= -3,35**)	-5,4031 (t= -1,04)	1,3163 (t= 0,31)
	r	0,59293	0,21876	0,07434	0,63057	0,24473	0,07444
	F	9,2172**	0,8545	0,0945	11,2211*	1,0830	0,0947
	Sxy	90,10202	109,18282	111,58346	0,12808	0,16000	0,16456
Passagem: 04/08/86	a	1201,86352	1070,13719	524,21812	1524,2991	1281,0432	534,4189
	b	-13986,3170 (t= -3,04**)	-3274,9912 (t= -0,92)	891,3662 (t= 0,31)	-21,9358 (t= -3,35**)	-5,4031 (t= -1,04)	1,3163 (t= 0,31)
	r	0,59293	0,21876	0,07434	0,63057	0,24473	0,07444
	F	9,2172**	0,8545	0,0945	11,2211*	1,0830	0,0947
	Sxy	90,10202	109,18282	111,58346	0,12808	0,16000	0,16456

* significativo ao nível de 0,05

** significativo ao nível de 0,01

Com a análise dos dados contidos na Tabela 17 pode-se verificar que, independente dos períodos de coleta dos dados, a banda TM3 (0,63 - 0,69 μm) apresentou melhor desempenho que as demais. Se analisarmos em cada período os dois modelos, oriundos das funções $y = a + bx$, $y = ae^{bx}$ na relação funcional biomassa e banda TM3, veremos que o coeficiente de correlação (r) é ligeiramente superior no segundo modelo de regressão.

Aplicando o teste para verificar se existe diferença significativa entre os coeficientes de correlação oriundos destes dois modelos que empregam como variável a banda TM3, pode-se concluir que, para $\alpha = 0,05$, tal diferença entre os coeficientes não é significativa, não havendo portanto melhoria na especificação de um tipo de função diversa da linear, no caso, uma função exponencial.

Apenas para exemplificar o "teste da diferença entre coeficientes de correlação", é mostrado a seguir, o cálculo obtido nos modelos de regressão, com as variáveis "biomassa" e "banda TM3" (passagem: 17/06/86).

SOLUÇÃO

$$\begin{array}{lll}
 H_0: \rho_1 = \rho_2 & n_1 = n_2 = 19 & \\
 H_1: \rho_1 \neq \rho_2 & \alpha = 0,05 & z \left(\frac{\alpha}{2} \right) = 1,96 \\
 \\
 r_{\text{linear}} & = & 0,60599 \\
 r_{\text{exponencial}} & = & 0,62070 \\
 & & (r_1 - r_2) = 0,01471 \\
 \\
 z_1 & = & 0,7026 \\
 z_2 & = & 0,7268 \\
 & & (z_1 - z_2) = -0,0242
 \end{array}$$

$$\sigma_{z_1 - z_2} = \left| \frac{1}{n_1 - 3} + \frac{1}{n_2 - 3} \right|^{1/2} = 0,3536$$

$$z_c = \frac{z_1 - z_2}{\sigma_{z_1 - z_2}} = -0,0684$$

Como,

$$z \frac{\alpha}{2} = 1,96$$

teremos,

$$-1,96 < z_c = -0,0684 < 1,96$$

o que nos leva a concluir para $\alpha = 0,05$, que a diferença entre os coeficientes de correlação não é significativa.

Na procura de definição de qual modelo (exponencial ou linear) melhor se ajustava aos dados, pode-se fazer uso também de outro importante parâmetro da regressão, o erro padrão residual. Após a aplicação do índice de Meyer, que permite a comparação deste erro residual entre funções aritméticas e logarítmicas, como é o presente caso, os valores foram estimados em 13,86% e 14,38% respectivamente, com os dados do período maio/junho. No caso referente ao período agosto/setembro, o erro padrão residual resultou em 13,48% na função linear e 13,66% na exponencial. Assim, torna-se evidente que, baseado neste parâmetro, também não há uma diferença que se possa afirmar como significativa entre modelos. Além do mais, verifica-se que, utilizando como variável independente apenas os valores espectrais da banda TM3, pode-se na regressão, estimar a biomassa foliar (peso fresco) do cerrado, com um erro residual em torno de 14%.

Na plotagem dos dados de biomassa, correspondente ao valor espectral da banda TM3, procurou-se ainda verificar a possibilidade de um melhor ajustamento com a função $y = a + b/x$, empregada por TUCKER¹¹⁶. Na aplicação deste modelo, os parâmetros de regressão ficaram assim definidos:

Passagem	Passagem
17/06/86	04/08/86
a = 180,97726	a = 47,56993
b = 3146,48294 (t= 3,493**)	b = 23,400439 (t= 3,128**)
r = 0,64641	r = 0,60436
F = 12,2016**	F = 9,7823**
Sxy= 138,89105	Sxy= 89,14667

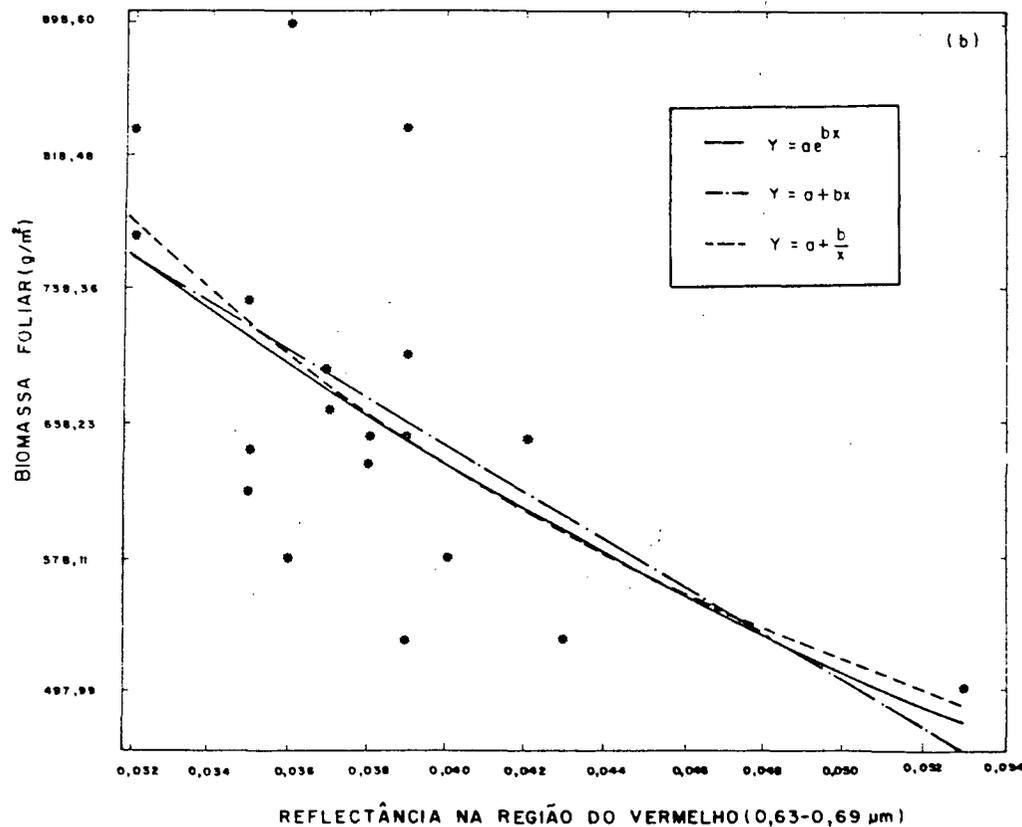
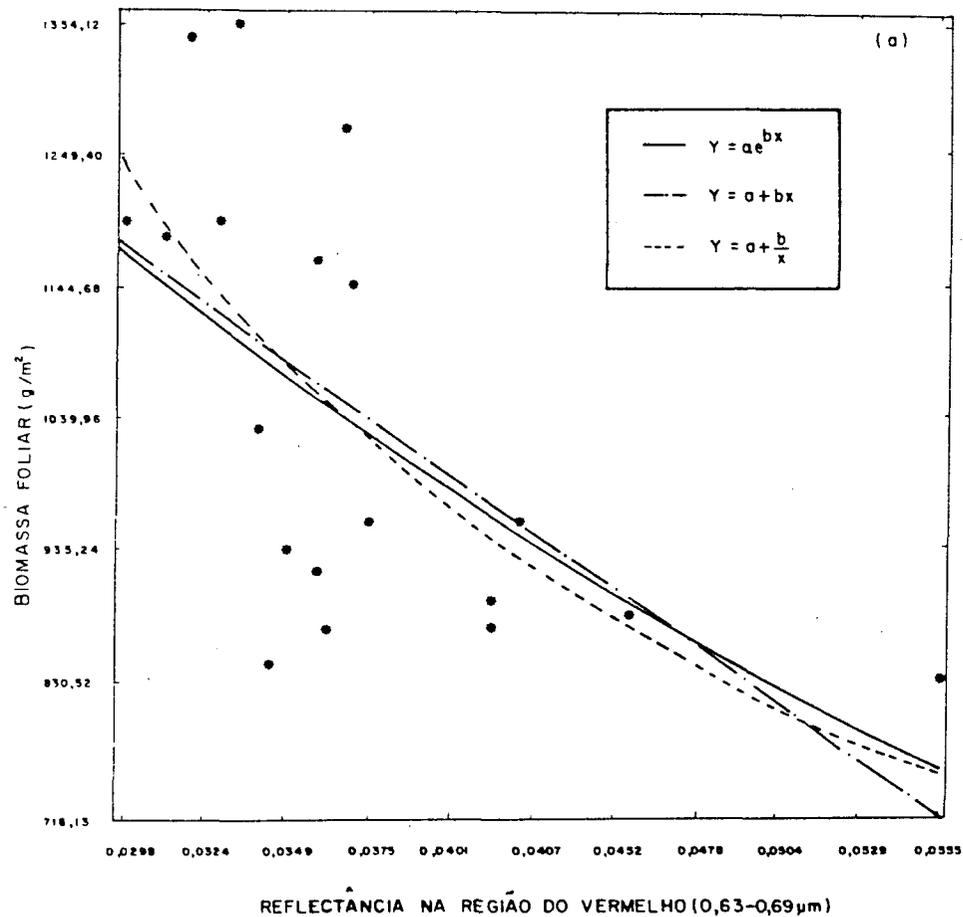
Comparando-se então, o valor do coeficiente de correlação deste modelo com aqueles obtidos das funções linear e exponencial (Tabela 17), pode-se verificar que tais valores são próximos, não apresentando também uma diferença significativa, conforme os resultados do teste aplicado à estes coeficientes de correlação.

Na Figura 39 é apresentada a distribuição dos valores de biomassa foliar do cerrado, com o valor espectral correspondente na banda TM3, juntamente com a comparação entre as três funções de ajuste. Pela distribuição dos pontos de confluência entre "biomassa" e "resposta espectral", pode-se visualizar que, com o decréscimo do material foliar, principalmente fotossinteticamente ativo, há um aumento dos valores de reflectância nesta banda espectral (0,63 a 0,69 μm). A configuração dos dados, em face ao decréscimo do material foliar e o conseqüente aumento da reflectância, assemelha-se em parte

FIGURA 39. COMPARAÇÃO ENTRE AS FUNÇÕES DE REGRESSÃO NA RELAÇÃO DA BIOMASSA FOLIAR (PESO FRESCO) DO CERRADO E VALORES ESPECTRAIS NA BANDA TM3

(a) Passagem de 17/06/86

(b) Passagem de 04/08/86



aquela configuração encontrada por TUCKER¹¹⁶, ao expressar que na faixa de 0,63 a 0,69 μm , a radiância é inversamente proporcional a quantidade de clorofila presente na massa foliar e por conseguinte, sensível ao verde ou a vegetação fotossinteticamente ativa.

Em uma análise mais detalhada do sumário da regressão (Tabela 17), pode-se perceber que, com base nos coeficientes de determinação (r) encontrados, os modelos linear e exponencial explicam apenas 37,5%, em média, da relação funcional da biomassa foliar (peso fresco) e os valores espectrais na banda TM3 (0,63 - 0,69 m), independentemente da época do ano. Logicamente, é esperado que o acréscimo de informações de outras bandas espectrais em uma regressão múltipla, possam elevar este baixo percentual de explicação dos modelos.

Até o presente momento foi discutido o relacionamento da banda TM3 (0,63 a 0,69 m) com a biomassa foliar (peso fresco). Idêntica configuração também foi encontrada para tal relação com a biomassa foliar (peso seco), independente da época de coleta dos dados sensoriados (Figura 40). É importante comentar, que o material foliar do cerrado apresentou teores médios de umidade na ordem de 45,76% e 42,98%, respectivamente, nos períodos de maio/junho e agosto/setembro (Figuras 30 e 31), lembrando contudo, que somente a massa foliar do estrato herbáceo sofre uma perda em torno de 10%, nestes dois períodos considerados.

4.5 A RELAÇÃO BIOMASSA FOLIAR VERSUS ÍNDICE DE VEGETAÇÃO

Na Tabela 18 é apresentado o sumário das regressões envolvendo como variáveis, tanto no modelo linear como

FIGURA 40. COMPARAÇÃO ENTRE AS FUNÇÕES DE REGRESSÃO NA RELAÇÃO DA BIOMASSA FOLIAR (PESO SECO) DO CERRADO E VALORES ESPECTRAIS NA BANDA TM3
 (a) passagem de 17/06/86 (b) passagem de 04/08/86

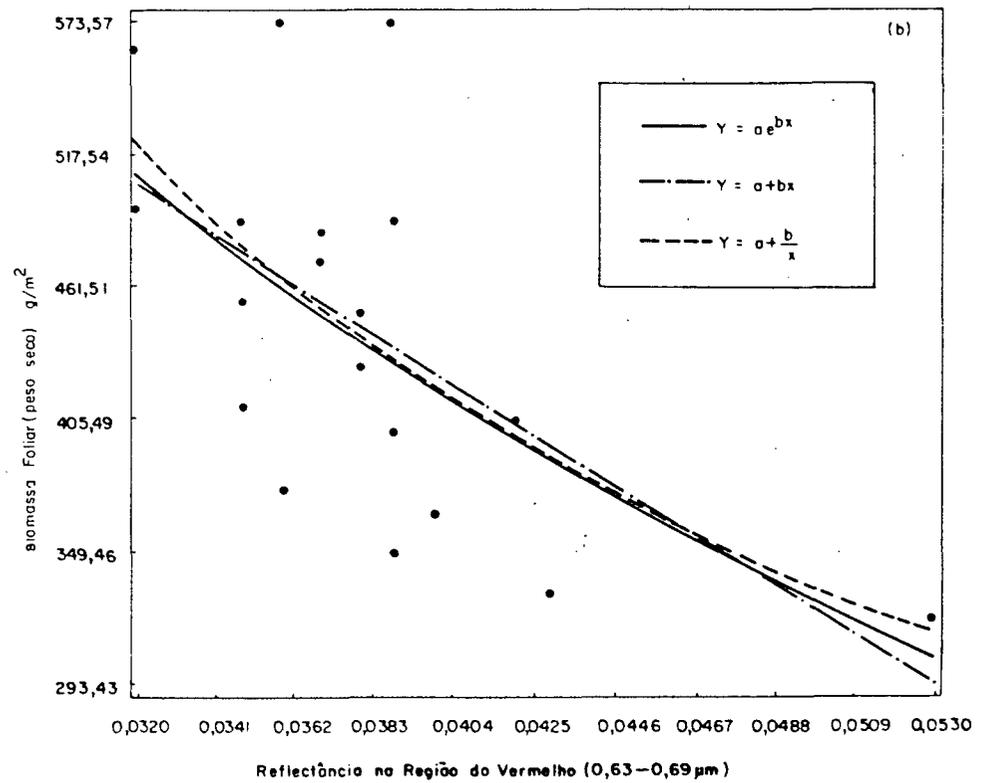
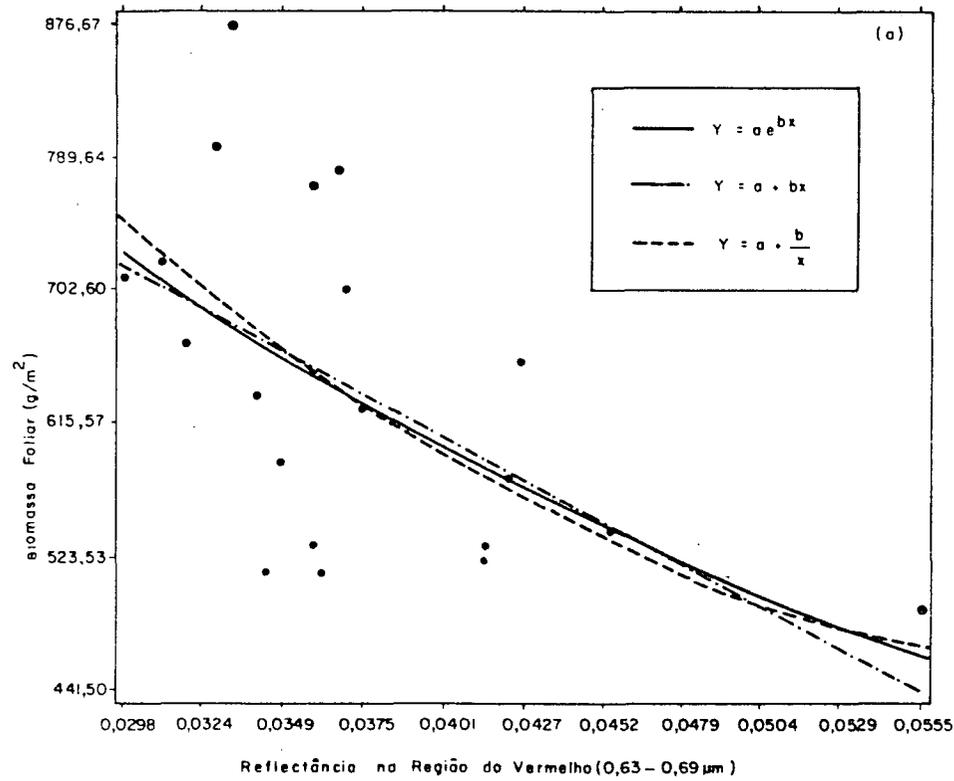


TABELA 18. SUMÁRIO DA REGRESSÃO QUE RELACIONA BIOMASSA FOLIAR (PESO FRESCO) DO CERRADO E ÍNDICES DE VEGETAÇÃO (R, TVI)

Índices		$y = a + bx$		$\ln y = \ln a + bx$	
Parâmetros		$R_{4,3}$	$R_{5,3}$	$R_{4,3}$	$R_{5,3}$
Passagem 17/06/86	a	89,96981	-83,01481	6,01895	5,86972
	b	251,68166	267,68337	0,24233	0,25362
		(t=3,187**)	(t=4,075**)	(t=3,307**)	(t=4,130**)
	r	0,61158	0,70296	0,62565	0,70766
	F	10,1581**	16,6070**	10,9350**	17,0529**
		TVI _{4,3}	TVI _{5,3}	TVI _{4,3}	TVI _{5,3}
	a	-4957,50021	-5807,46201	1,14800	0,40653
	b	577,77624	649,77079	0,55737	0,61938
		(t=3,179**)	(t=3,725**)	(t=3,308**)	(t=3,813**)
	r	0,61061	0,67037	0,62585	0,67895
F	10,1063**	13,8753**	10,9461**	14,5382**	
Passagem 04/08/86		$R_{4,3}$	$R_{5,3}$	$R_{4,3}$	$R_{5,3}$
	a	54,29046	-136,48701	5,55034	5,24731
	b	188,36596	189,64462	0,28902	0,29341
		(t=2,703*)	(t=4,160**)	(t=2,863**)	(t=4,606**)
	r	0,54826	0,71023	0,57042	0,74510
	F	7,3063*	17,3035**	8,1993*	21,2169**
		TVI _{4,3}	TVI _{5,3}	TVI _{4,3}	TVI _{5,3}
	a	-2878,03020	-4198,65423	0,99384	-1,09210
	b	349,80248	460,72932	0,54238	0,71791
		(t=2,674*)	(t=3,849**)	(t=2,876**)	(t=4,290**)
r	0,54414	0,68239	0,57208	0,72099	
F	7,1506	14,8146	8,2705	18,4039	

exponencial, a biomassa (peso fresco) e os índices "razão simples" e "razão normalizada e transformada", obtidos das bandas TM3, TM4 e TM5/LANDSAT. Para facilitar a discussão dos resultados é feita, a seguir, uma abordagem por índice de vegetação empregado.

4.5.1 Índice de Vegetação "Razão Simples"

Comparando-se as informações da Tabela 18 referentes apenas ao índice "razão simples", pode-se perceber a primeira vista que o modelo exponencial favorece a um melhor ajuste dos dados, bastando para isso observar a existência de uma melhor correlação (r) entre as variáveis. Tal fato acontece indistintamente ao período de coleta dos dados e também das bandas espectrais empregadas na elaboração deste índice. Apesar desta melhor aparência de ajuste da função exponencial, não foi encontrada uma diferença significativa em comparação aos coeficientes de correlação desta função em relação a linear, especificamente para o mesmo par de bandas TM utilizado na confecção do índice de vegetação. Nas Figuras 41 e 42 são apresentados os diagramas espaciais da regressão com as variáveis "biomassa foliar do cerrado" e os índices $R_{4,3}$ e $R_{5,3}$, nos dois períodos considerados.

Uma outra constatação diz respeito ao índice $R_{5,3}$ que independente do período de coleta dos dados, mostrou ser superior ao índice $R_{4,3}$. Pode-se então afirmar que, em média, 52% (modelo exponencial) e apenas 35% (modelo linear), da variação encontrada em \bar{y} corresponde a variável independente da regressão. A introdução de informações oriundas da faixa do infravermelho médio (banda TM5), na elaboração do índice

FIGURA 41. DIAGRAMA ESPACIAL DE REGRESSÃO ENTRE "BIOMASSA FOLIAR DO CERRADO" E O ÍNDICE $R_{4,3}$

(a) Passagem de 17/06/86

(b) Passagem de 04/08/86

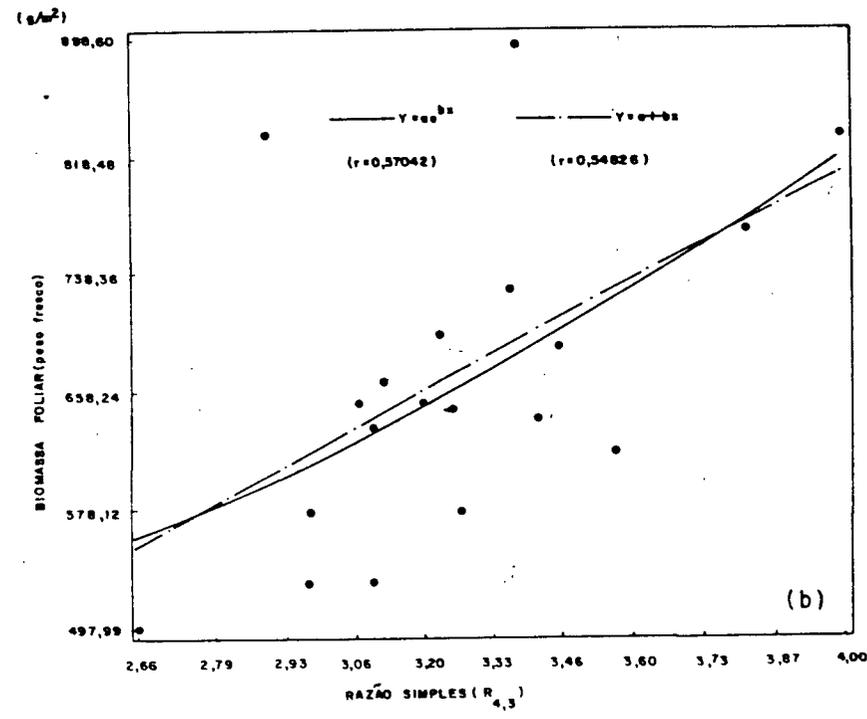
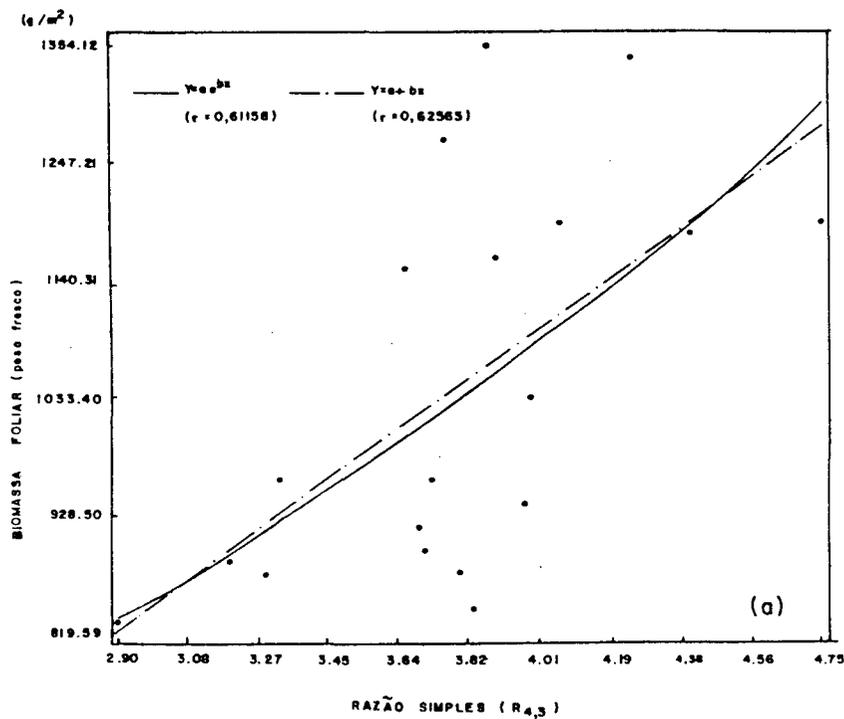
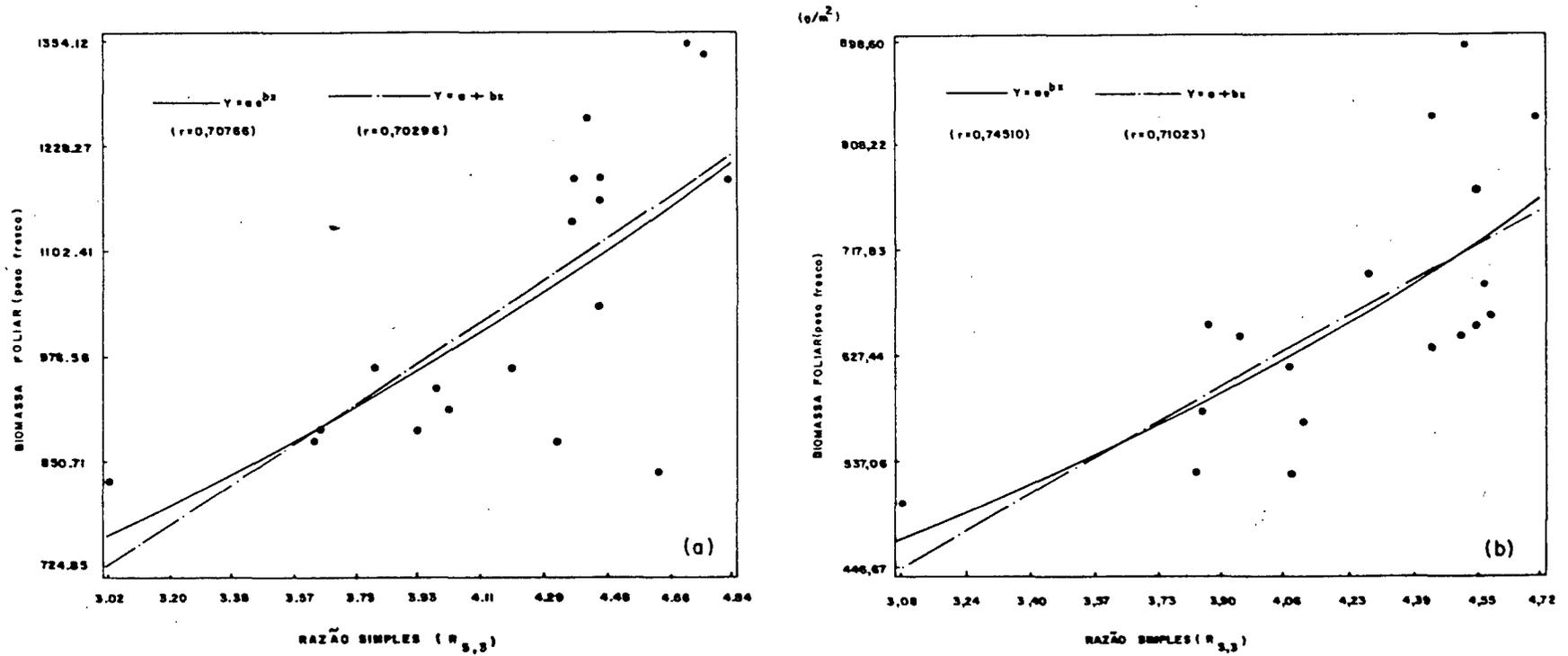


FIGURA 42. DIAGRAMA ESPACIAL DA REGRESSÃO ENTRE "BIOMASSA FOLIAR DO CERRADO" E O ÍNDICE $R_{5,3}$
 (a) Passagem de 17/06/86 (b) Passagem de 04/08/86



de vegetação é sugerida por HARDISKY *et alii*⁵³, em razão da característica de interrelacionamento com o teor de umidade na massa foliar.

É importante destacar que, em pesquisas sobre o relacionamento da biomassa foliar (peso fresco) de campo cerrado com o índice "razão simples" ($R_{7,5}$), proveniente dos canais MSS7 (0,8 a 1,1 μm) e MSS5 (0,6 a 0,7 μm), PEREIRA⁹⁰ encontrou, utilizando um modelo linear, valores de coeficientes de correlação (r) iguais a 0,63 e 0,45 para dados originais e corrigidos deste sensor, respectivamente. Pode-se desta forma, notar que os baixos valores encontrados por PEREIRA⁹⁰ no modelo linear não diferem significativamente daqueles encontrados no presente trabalho, logicamente considerando que a unidade fisionômica em discussão é o cerrado (*stricto sensu*), além é claro, da utilização do sensor temático, com as bandas TM3 (0,63 a 0,69 μm) e TM4 (0,76 a 0,90 μm) correlatas as faixas espectrais em que operam o sensor MSS/LANDSAT.

Avaliando ainda os resultados da regressão envolvendo os índices $R_{4,3}$ e $R_{5,3}$, pode-se constatar através do exame dos resíduos, que no modelo exponencial houve certa igualdade quanto a sub e superestimação dos valores de \hat{y} , se comparado àqueles de y observados. Exemplificando, são apresentados na Tabela 19 os valores residuais encontrados na regressão, envolvendo a biomassa e o índice $R_{5,3}$ oriundos dos dados radiométricos, nas duas passagens consideradas do satélite. No caso do modelo linear, a função de estimativa da biomassa foliar (peso fresco) tende a uma pequena superestimação, contudo não se pode realmente afirmar tal extensão, pois o número de pontos amostrais ainda é reduzido (19 UPAs).

TABELA 19. VALORES RESIDUAIS DA REGRESSÃO ENTRE A BIOMASSA (PESO FRESCO) DO CERRADO E O ÍNDICE $R_{5,3}$, COM O MODELO EXPONENCIAL

Área	Local	Passagem 17/06/86			Passagem 04/08/86		
		$\ln y_{obs}$	$\ln y_{est}$	Resíduo	$\ln y_{obs}$	$\ln y_{est}$	Resíduo
1	CPAC	6,77160	6,96790	-0,19630	6,27560	6,44365	-0,16796
2	CPAC	6,72200	6,63515	0,08685	6,21060	6,14956	0,06104
3	CPAC	6,79510	6,86442	-0,06932	6,48220	6,37901	0,10319
4	CPAC	6,78580	6,79138	-0,00558	6,26810	6,37314	-0,10504
5	CPAC	6,83980	6,88116	-0,04136	6,42840	6,44620	-0,01780
6	CPAC	6,86460	6,83247	0,03213	6,47220	6,40600	0,06620
7	CPAC	6,76880	6,78555	-0,01675	6,36500	6,37696	-0,01196
8	CPAC	6,81840	6,88979	-0,07139	6,35790	6,45354	-0,10253
9	UnB	7,14560	6,99200	0,15360	6,48070	6,58323	-0,10253
10	UnB	7,06070	6,99859	0,06211	6,54070	6,58763	-0,04693
11	UnB	7,04390	6,98287	0,06103	6,72570	6,54890	0,17680
12	UnB	6,94080	7,00087	-0,06007	6,47100	6,57178	-0,10078
13	UnB	6,86750	6,93569	-0,06819	6,54860	6,50371	0,04489
14	IBGE	7,20140	7,07899	0,12241	6,80080	6,57589	0,22491
15	IBGE	7,08490	7,09776	-0,01286	6,73000	6,63193	0,09807
16	IBGE	7,21090	7,06326	0,14764	6,45590	6,55212	-0,09622
17	IBGE	7,08660	6,99859	0,08801	6,59180	6,58851	0,00329
18	IBGE	7,07840	6,98008	0,09832	6,64700	6,58587	0,06113
19	IBGE	6,73420	7,04450	-0,31030	6,50090	6,59555	-0,09465

Efetuando-se também comentários acerca do erro padrão residual, os modelos linear e exponencial, utilizando como variável independente o índice de vegetação $R_{5,3}$, apresentaram valores de 12,40% e 12,87% respectivamente, tomando como base os dados de maio/junho. Com os aqueles de agosto/setembro, estes erros residuais decresceram não mais que 1,3%. Isto permite afirmar, que não há uma diferença marcante entre os modelos no ajuste dos dados e, nem tampouco influência da época de coleta destes dados.

4.5.2 Índice de Vegetação "Razão Normalizada e Transformada"

Em análise isolada da regressão envolvendo os índices normalizados e transformados (Tabela 18) pode-se verificar que nos parâmetros "r" e "F", também o modelo exponencial é aquele que favorece um melhor ajuste dos dados, principalmente quando a variável independente da regressão é formada pelos dados das bandas TM5 e TM3. Inclusive, quando se trabalha com o modelo exponencial na regressão, o índice $TVI_{5,3}$ explica cerca de 49% da variação em \hat{y} (biomassa foliar), enquanto com o modelo linear, tal índice é responsável em média, por 46% desta variação. Na Figura 43 é apresentado o diagrama espacial da regressão com as variáveis "biomassa" e "índice $TVI_{5,3}$ ".

Se compararmos com os resultados das regressões que envolvem o índice $TVI_{4,3}$, veremos que neste caso, a variável independente explica apenas 35% (em média), da variação de \hat{y} (Figura 44).

FIGURA 43. DIAGRAMA ESPACIAL DA REGRESSÃO ENTRE A "BIOMASSA FOLIAR DO CERRADO" E O ÍNDICE TVI_{5,3}

(a) Passagem de 17/06/86

(b) Passagem de 04/08/86

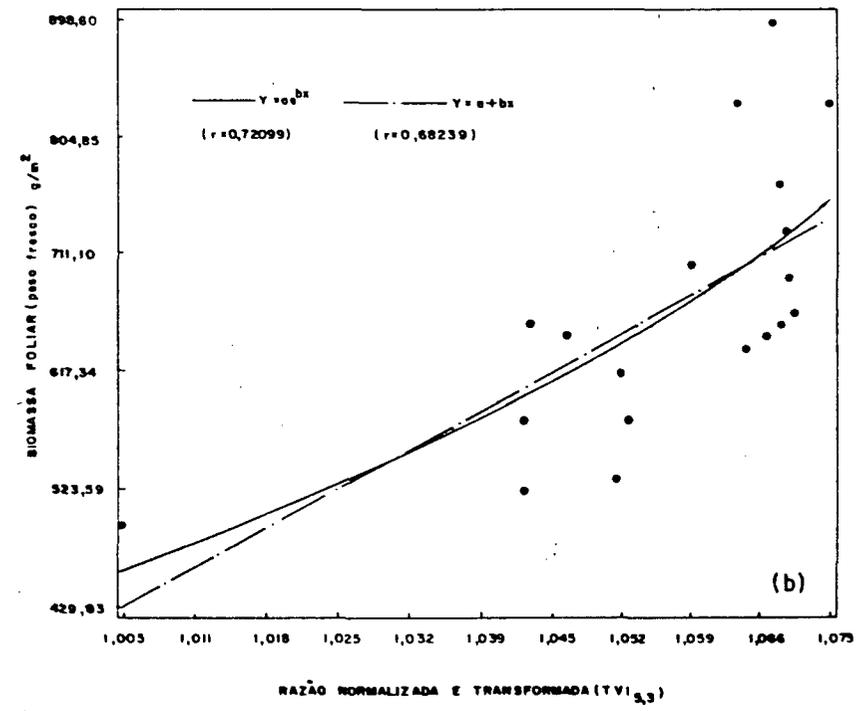
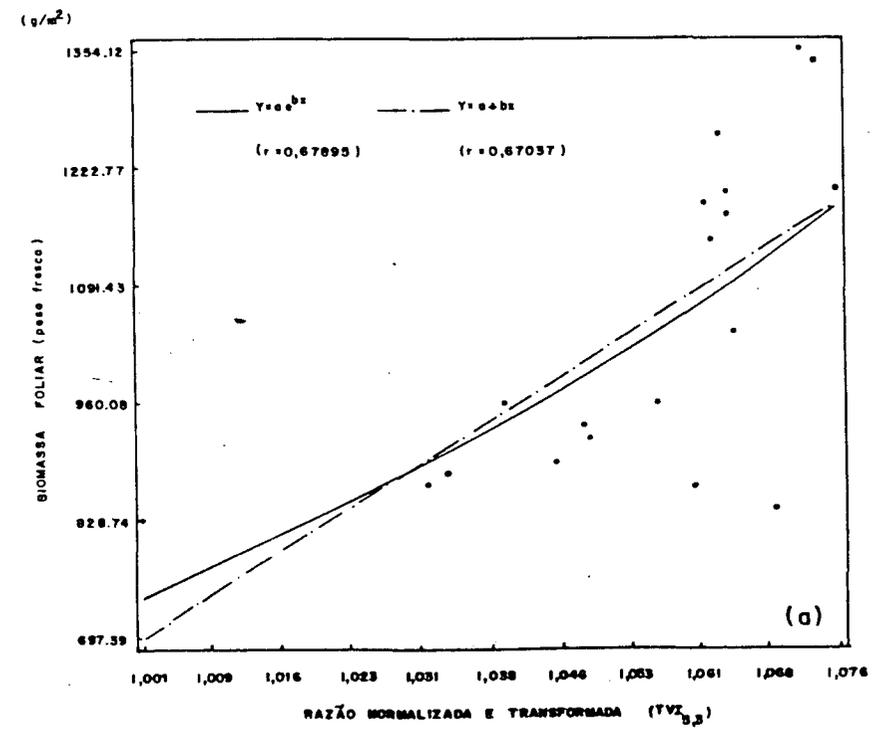
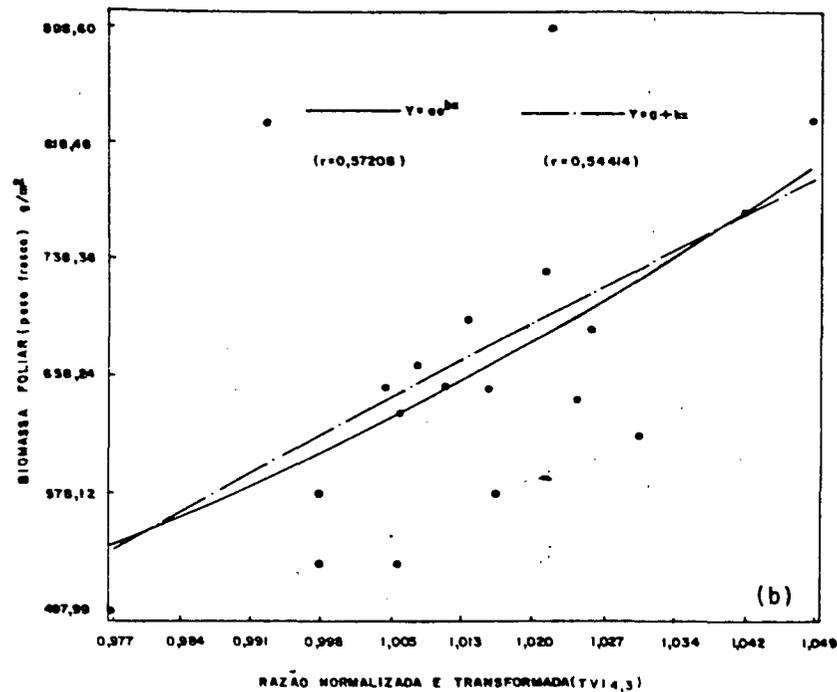
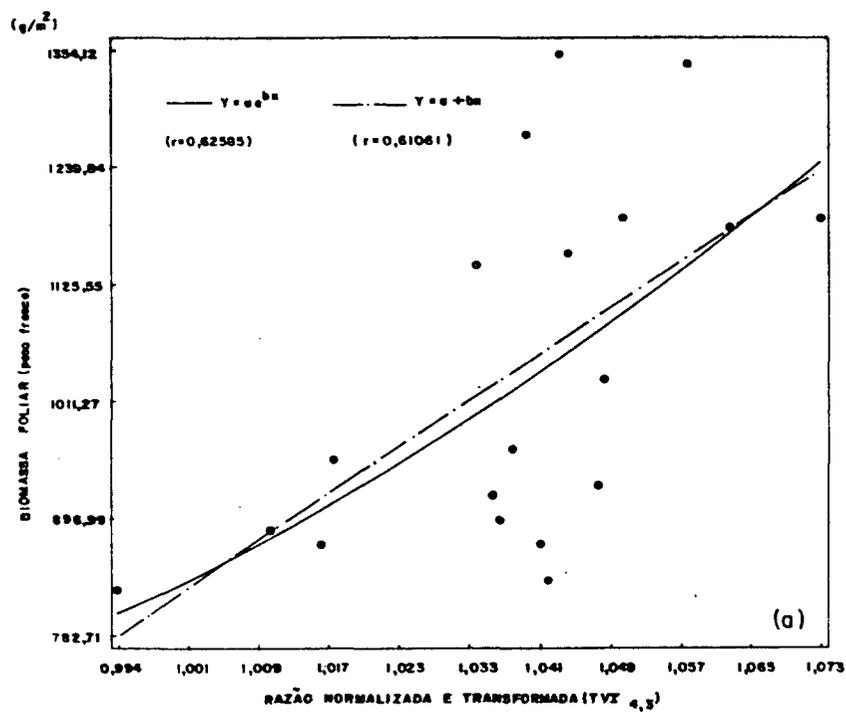


FIGURA 44. DIAGRAMA ESPACIAL DA REGRESSÃO ENTRE A "BIOMASSA FOLIAR DO CERRADO" E O ÍNDICE $TVI_{4,3}$

(a) Passagem de 17/06/86

(b) Passagem de 04/08/86



PEREIRA⁹⁰ também empregando o índice TVI (somente formando pelos canais 5 e 7 do MSS/LANDSAT) para a estimativa de biomassa foliar de campo cerrado, encontrou com o modelo linear, os valores de 0,69 e 0,50 para os coeficientes de correlação (r), respectivamente no tratamento dos dados originais e corrigidos do sensor MSS. É oportuno lembrar que na unidade fisionômica campo cerrado, PEREIRA⁹⁰ coletou dados de 16 amostras, que apresentaram valores médios de biomassa foliar (peso fresco) de 539,44 g/m² (±154,54), com índices de vegetação $R_{7,5}^*$ de 2,57 (±0,63) e $TVI_{7,5}^*$ de 0,96 (±0,05). A unidade fisionômica cerrado (*stricto sensu*) apresentando uma maior densidade de biomassa, reflete logicamente um maior valor nos índices $R_{4,3}$ e $TVI_{4,3}$ se comparados aos de campo cerrado, guardando contudo, nas devidas proporções, uma semelhante tendência quanto ao relacionamento biomassa e índice de vegetação.

Analisando-se ainda os resultados das regressões que envolvem especificamente o índice $TVI_{5,3}$, verifica-se que os valores de F calculados mostram a significância do ajuste, enquanto o exame dos resíduos, principalmente do modelo exponencial (Tabela 20), não parece demonstrar certa tendência quanto a sub e super estimativa dos valores de biomassa foliar (peso fresco). Com relação a análise do erro padrão residual da regressão envolvendo os dois modelos, comparável após a aplicação do índice de Meyer, fica comprovado não haver diferença marcante entre os modelos no ajuste dos dados. Tal afirmação é plenamente justificável, com a observação dos valores encontrados para o erro padrão residual nos

* Valores obtidos com MSS7 e MSS5 corrigidos.

TABELA 20. VALORES RESIDUAIS DA REGRESSÃO NA ESTIMATIVA DA BIOMASSA FOLIAR (PESO FRESCO) DO CERRADO, A PARTIR DO ÍNDICE TVI_{5,3}, EMPREGANDO O MODELO EXPONENCIAL

Ponto Amostrai	Local	Passagem 17/06/86			Passagem 04/08/86		
		$\ln y_{obs}$	$\ln y_{est}$	Resíduo	$\ln y_{obs}$	$\ln y_{est}$	Resíduo
1	CPAC	6,77160	6,97443	-0,20283	6,27560	6,45902	-0,18342
2	CPAC	6,72220	6,60713	0,11487	6,21060	6,12088	0,08972
3	CPAC	6,79510	6,88152	-0,8642	6,48220	6,39800	0,08420
4	CPAC	6,78580	6,80905	-0,02325	6,26810	6,39225	-0,12415
5	CPAC	6,83980	6,89886	-0,05906	6,42840	6,46117	-0,03277
6	CPAC	6,86460	6,84745	0,01751	6,47220	6,42384	0,04836
7	CPAC	6,76880	6,79852	-0,02972	6,36500	6,39548	-0,03084
8	CPAC	6,81840	6,90506	-0,08666	6,35790	6,46763	-0,10973
9	UnB	7,14560	6,99239	0,15321	6,48070	6,57317	-0,09247
10	UnB	7,06070	6,99548	0,06522	6,53070	6,57675	-0,03605
11	UnB	7,04390	6,98495	0,05895	6,72570	6,54732	0,17838
12	UnB	6,94080	7,00106	-0,06026	6,47100	6,56455	-0,09355
13	UnB	6,86750	6,94717	-0,07967	6,54860	6,51071	0,03789
14	IBGE	7,20140	7,05742	0,14398	6,80080	6,56814	0,23266
15	IBGE	7,08490	7,06919	0,01571	6,73000	6,60834	0,12166
16	IBGE	7,21090	7,04627	0,16463	6,45590	6,55019	-0,09429
17	IBGE	7,08660	6,99425	0,09235	6,59180	6,57747	0,01433
18	IBGE	7,07840	6,98124	0,09716	6,64700	6,57532	0,07168
19	IBGE	6,73420	7,02955	-0,29535	6,50090	6,58250	-0,08160

períodos de maio/junho de 12,93% (linear) e 13,40% (exponencial), enquanto de agosto/setembro com 12,24% e 12,11%, respectivamente.

4.5.3 Comparação entre índices de vegetação

Nos itens anteriores pode-se constatar que baseados nos parâmetros "r" e "F" da regressão, o modelo exponencial parece demonstrar melhor configuração de ajuste dos dados em comparação ao modelo linear. Porém, levando em conta o erro padrão residual, este parecer não se confirma, pois os valores percentuais deste erro não mostram praticamente diferenças entre os modelos empregados. Isto para não esquecer que, independente da época de coleta dos dados, os índices formados pela conjunção de informações das bandas TM5 (1,55 a 1,75 μm) e TM3 (0,63 a 0,69 μm) são relativamente superiores àqueles oriundos das bandas TM4 (0,76 a 0,90 μm) e TM3 (0,63 a 0,69 μm).

Agora, numa comparação entre índices "razão simples" e "razão transformada e normalizada", pode-se perceber na Tabela 18 que, no caso da biomassa foliar (peso fresco) do cerrado, os índices resultantes da razão simples entre bandas permitem uma melhor estimativa, sobretudo aqueles que operam com as bandas TM5 e TM3. Para isto, basta verificar os valores de "t" com alta significância mostrando a importância da variável independente, como também, os valores de "F calculado" da ANOVA, ressaltando a significância da regressão ajustada. É oportuno ressaltar que, independente da função empregada na regressão, a biomassa foliar, estimada com base na variável independente $R_{5,3}$, apresenta um erro padrão residual da ordem de 12% em média.

Ainda com relação aos coeficientes de correlação, no caso do índice $R_{5,3}$ tanto no modelo linear como exponencial, as magnitudes (que demonstram a intensidade da relação quanto as variáveis estão linearmente relacionadas) são superiores àquelas referentes ao índice $TVI_{5,3}$. O sinal positivo dos coeficientes da correlação (r) então encontrados, nos mostram que a variável "biomassa foliar" (peso fresco) tende a aumentar com os maiores valores dos índices de vegetação (x).

4.5.4 Os Índices de vegetação na estimativa da biomassa foliar (peso seco)

Até o presente momento foi abordado o relacionamento da biomassa foliar (peso fresco) com os índices de vegetação. Contudo, neste ítem em rápida abordagem, pretende-se fazer referências aos valores da biomassa foliar (peso seco). WISPELAERE & FABREGUES¹²⁶, comentam que a grande variabilidade do teor de água na planta, torna importante o conhecimento da correlação existente entre a biomassa expressa em matéria seca e os índices de vegetação.

Esta preocupação vai merecer, logicamente em trabalhos futuros, um maior aprofundamento, haja vista que, na avaliação deste relacionamento foi considerada a conjunção de dados de biomassa coletada nos dois períodos (maio/junho e agosto/setembro). Desta forma, em vez de termos informações de apenas 19 UPAs/época, passamos a análise conjunta do dobro de áreas, trabalhando apenas com valores de biomassa na forma de matéria seca. É oportuno destacar que o material de campo foi coletado em dois períodos, com disponibilidade hídrica também distinta, de maneira que os valores em matéria seca puderam então

ser associados aos respectivos valores oriundos dos dados sensorizados.

Na Tabela 21 são apresentados os valores de biomassa foliar (peso seco) do cerrado nas 38 UPAs e os correspondentes valores dos índices de vegetação (R, TVI). Tais valores foram trabalhados, permitindo estimar os parâmetros da regressão (Tabela 22) nos modelos linear e exponencial. Como informação complementar sobre a biomassa foliar (peso seco) nas três áreas de estudo, pode-se facilmente perceber que o cerrado nas áreas do IBGE e UnB apresentam os maiores valores de densidade de biomassa comparado ao CPAC. A justificativa, já comentada anteriormente, refere-se ao estado de conservação destes sítios, o que não ocorre em parte no CPAC, visto a ação de atividades antrópicas à área.

Com a análise da Tabela 22, pode-se perceber a primeira vista que os modelos, nos quais a variável independente é formada pelos índices de vegetação oriundos das bandas TM4 e TM3, permitem um melhor ajuste com os dados da biomassa (peso seco). Tal superioridade é facilmente explicada, pela característica da banda TM5 (infravermelho médio) estar estreitamente relacionada a umidade na massa foliar e, no presente caso, estar em análise os dados de biomassa em matéria seca.

Nas regressões que relacionam os índices de vegetação com a biomassa seca, o $TVI_{4,3}$ apresenta a maior magnitude de "r" (coeficiente de correlação) nos modelos exponencial (0,74201) e linear (0,72208), comparado ao índice "razão simples" ($R_{4,3}$), sem contudo mostrar uma diferença significativa. É claro, que o modelo exponencial considerados os parâmetros "r" e "F", é levemente superior no ajuste dos dados, de forma

TABELA 21. VALORES DE BIOMASSA FOLIAR (PESO SECO) DO CERRADO E OS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO (R E TVI) NAS ÁREAS DO CPAC, UNB E IBGE

Peso Amostral	Local	Biomassa (peso seco) g/m ²	R _{4,3}	R _{5,3}	TVI _{4,3}	TVI _{5,3}
1	CPAC	517,106	3,81	4,33	1,0411	1,0604
2	CPAC	490,634	2,90	3,02	0,9935	1,0011
3	CPAC	541,404	3,70	3,92	1,0367	1,0454
4	CPAC	547,036	3,19	3,63	1,0111	1,0337
5	CPAC	589,777	3,97	3,99	1,0478	1,0482
6	CPAC	584,597	3,32	3,80	1,0184	1,0399
7	CPAC	530,422	3,28	3,61	1,0165	1,0320
8	CPAC	537,584	3,68	4,02	1,0359	1,0492
9	UnB	781,229	3,77	4,42	1,0394	1,0633
10	UnB	769,883	3,89	4,45	1,0447	1,0638
11	UnB	706,048	3,65	4,39	1,0343	1,0621
12	UnB	635,142	3,99	4,46	1,0484	1,0647
13	UnB	622,116	3,74	4,20	1,0382	1,0560
14	IBGE	666,565	4,25	3,77	1,0733	1,0757
15	IBGE	711,759	4,74	4,84	1,0733	1,0757
16	IBGE	876,672	3,88	4,71	1,0441	1,0720
17	IBGE	797,118	4,06	4,45	1,0510	1,0636
18	IBGE	723,207	4,39	4,38	1,0627	1,0615
19	IBGE	520,750	3,83	4,63	1,0423	1,0693
20	CPAC	352,186	3,10	4,08	1,0062	1,0517
21	CPAC	323,832	2,66	3,07	0,9765	1,0046
22	CPAC	407,019	3,19	3,86	1,0113	1,0432
23	CPAC	335,121	2,98	3,84	0,9985	1,0424
24	CPAC	412,675	3,57	4,09	1,0308	1,0520
25	CPAC	400,585	3,08	3,95	1,0047	1,0468
26	CPAC	368,166	2,97	3,85	0,9984	1,0429
27	CPAC	374,783	3,28	4,11	1,0161	1,0529
28	UnB	447,585	3,26	4,55	1,0153	1,0676
29	UnB	470,451	3,46	4,57	1,0254	1,0681
30	UnB	573,498	2,90	4,44	0,9934	1,0640
31	UnB	456,325	3,43	4,51	1,0239	1,0664
32	UnB	492,228	3,23	4,28	1,0135	1,0589
33	IBGE	573,567	3,39	4,53	1,0219	1,0669
34	IBGE	564,446	4,00	4,72	1,0488	1,0725
35	IBGE	425,228	3,10	4,45	1,0064	1,0644
36	IBGE	489,803	3,37	4,57	1,0210	1,0682
37	IBGE	493,476	3,81	4,56	1,0414	1,0679
38	IBGE	483,097	3,13	4,59	1,0081	1,0689

OBS.: De 1 a 19 os dados referem-se ao período de maio/junho e, em diante, ao período de agosto/setembro.

TABELA 22. PARÂMETROS DA REGRESSÃO NO RELACIONAMENTO DA BIOMASSA FOLIAR (PESO SECO) E OS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO (R, TVI)

n = 38

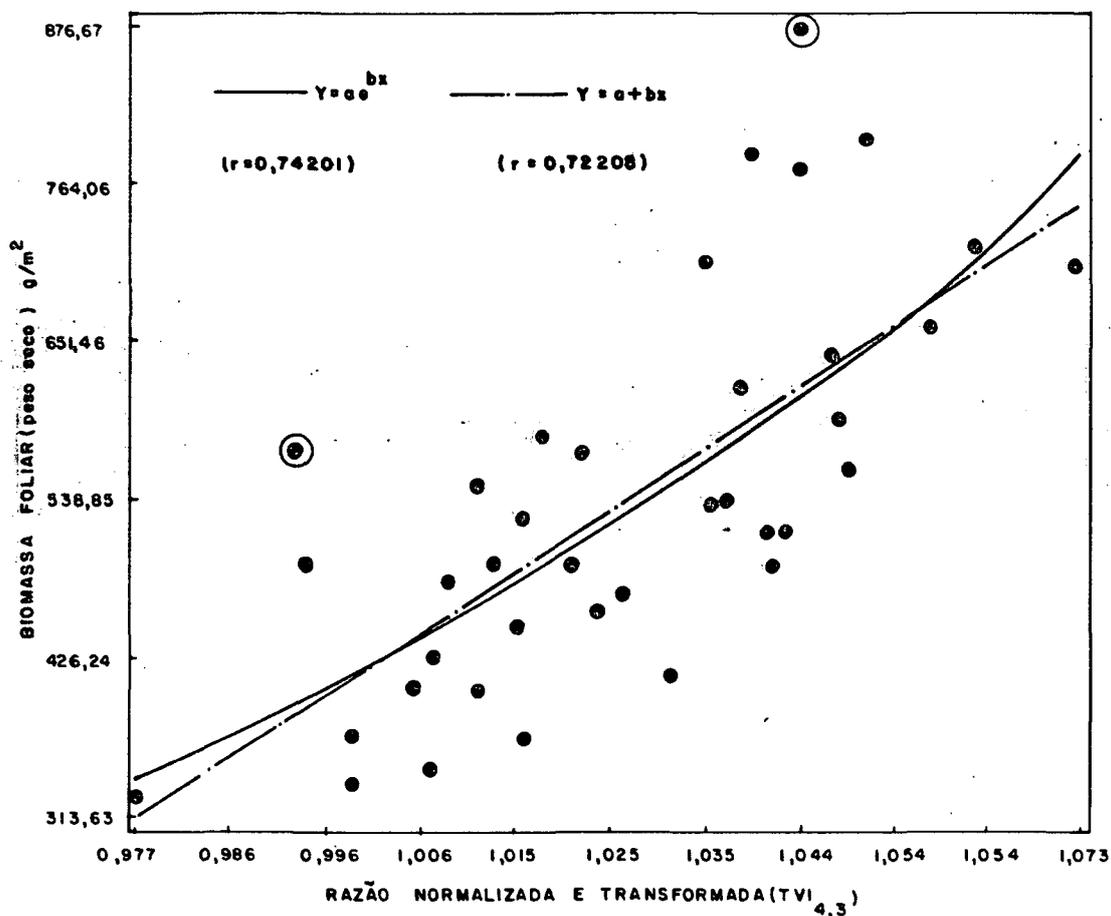
Índices	y = a + bx				ln y = ln a + bx			
	R _{4,3}	R _{5,3}	TVI _{4,3}	TVI _{5,3}	R _{4,3}	R _{5,3}	TVI _{4,3}	TVI _{5,3}
a	-220,52107	-3,72775	-4164,20528	-3104,54575	4,84234	5,22767	-2,59120	-0,71003
b	216,29659	129,88462	4585,6008	3554,9909	0,40336	0,24673	8,6286	6,6080
	t= 6,263**	t= 2,645*	t= 6,263**	t = 2,83**	t= 6,51**	t= 2,765**	t= 6,64**	t= 2,987**
r	0,72211	0,40343	0,72298	0,42664	0,73540	0,41582	0,74201	0,44562
F	39,2256**	6,9983*	39,2202**	8,0108**	42,4006**	7,6446**	44,1033**	8,9199**

n = número de unidades amostrais

que com esta função, 55% das variações encontradas em \hat{y} (biomassa foliar em peso seco) são explicadas pelo índice $TVI_{4,3}$. É oportuno lembrar que, quando no relacionamento deste índice ($TVI_{4,3}$) com a biomassa foliar fresca, chegou-se a um valor de apenas 35%.

A Figura 45 apresenta o diagrama da regressão envolvendo os valores de biomassa (peso seco) e do índice $TVI_{4,3}$, coletados nos 38 pontos amostrais.

FIGURA 45. DIAGRAMA ESPACIAL DA REGRESSÃO ENTRE A BIOMASSA FOLIAR (PESO SECO) DO CERRADO E O ÍNDICE $TVI_{4,3}$
n = 38



⊙ "outliers"

Visualizando-se o diagrama da regressão (Figura 45) pode-se perceber a presença de dois pontos considerados mais extremos (Outliers) na série de 38 observações. Tais pontos, segundo CHATTERJEE & PRICE²⁰ podem ocorrer devido a erros grosseiros durante o registro e transcrição dos dados, sendo também, por outro lado, observações genuínas, altamente significativas e que podem ser levadas em consideração. A segunda hipótese parece ser a aceitável no presente caso. Entretanto, pela experiência adquirida no tratamento destes dados, optou-se em verificar os resultados de nova regressão, eliminando-se estas duas observações (outliers) de amplos valores residuais (Tabela 23), encontrando-se assim, um melhor ajuste entre as variáveis. Para maior clareza, as duas observações consideradas na eliminação correspondem aos pontos amostrais 16 e 30 da Tabela 23.

Na Tabela 24 são apresentados, empregando-se o TVI como variável independente, os parâmetros da regressão (modelo exponencial e linear) obtidos com os dados de 36 pontos amostrais. LI⁷¹ ao discorrer sobre métodos que testam a hipótese de eliminação de uma ou duas observações (outliers) em uma população, refere-se a "análise de variância" e ao "coeficiente de correlação", como maneira prática de avaliação. Desta forma, observando-se a Tabela 24 pode-se constatar que houve um acréscimo na magnitude de "r", tanto no modelo exponencial (0,79160) como linear (0,77558), o mesmo acontecendo com os parâmetros "t" e "F" da regressão. A eliminação destes dois pontos considerados extremos (outliers) e a aplicação do modelo exponencial tendo como variável independente o índice $TVI_{4,3}$, fizeram com que o percentual de variações em \hat{y}

TABELA 23. VALORES RESIDUAIS DA REGRESSÃO NA ESTIMATIVA DA BIOMASSA FOLIAR (PESO SECO) DO CERRADO A PARTIR DO ÍNDICE $TVI_{4,3}$, APLICANDO OS MODELOS LINEAR E EXPONENCIAL

Ponto Amostrai	Local	$y = a + bx$			$\ln y = \ln a + bx$		
		y_{obs}	$y_{est.}$	Resíduo	$\ln y_{obs}$	$\ln y_{est}$	Resíduo
1	CPAC	517,10600	609,86369	-92,75769	6,24825	6,39204	-0,14379
2	CPAC	490,63400	391,58909	99,04491	6,19570	5,98131	0,21439
3	CPAC	541,40400	589,68705	-48,28305	6,29416	6,35470	-0,05991
4	CPAC	547,03600	472,29567	74,74033	6,30451	6,13318	0,17133
5	CPAC	589,77700	640,58722	-50,81022	6,37974	6,44985	-0,07011
6	CPAC	584,59700	505,77055	78,82645	6,37092	6,19617	0,17475
7	CPAC	530,42900	497,05791	33,37109	6,27368	6,17977	0,09391
8	CPAC	537,58400	586,01857	-48,43457	6,28708	6,34717	-0,06009
9	UnB	781,22900	602,06817	179,16083	6,66087	6,37737	0,28350
10	UnB	769,88300	626,37185	143,51115	6,64624	6,42310	0,22632
11	UnB	706,04800	578,68161	127,36639	6,55968	6,33336	0,22632
12	UnB	735,14200	643,33858	-8,19658	6,45385	6,45502	-0,00117
13	UnB	622,11600	596,56545	25,55055	6,43313	6,36701	0,06612
14	IBGE	666,56500	686,44322	-19,87822	6,50214	6,53613	-0,03399
15	IBGE	711,75900	757,52004	-45,76104	6,56774	6,66988	-0,10214
* 16	IBGE	876,67200	623,62049	253,05151	6,77613	6,41792	0,35821
17	IBGE	797,11800	655,26114	141,85686	6,68100	6,47746	0,20354
18	IBGE	723,20700	708,91267	14,29433	6,58370	6,57841	0,00529
19	IBGE	520,75000	615,36641	-94,61641	6,25527	6,40239	-0,14712
20	CPAC	352,18600	449,82622	-97,64022	5,86416	6,09090	-0,22674
21	CPAC	323,83200	313,63388	10,19812	5,78022	5,83463	-0,05441
22	CPAC	407,01900	473,21279	-66,19379	6,00886	6,13490	-0,12604
23	CPAC	335,12100	414,51710	-79,39610	5,81449	6,02446	-0,20997
24	CPAC	412,67500	562,63200	-149,95700	6,02266	6,30316	-0,28050
25	CPAC	400,58500	442,94782	-42,36282	5,99293	6,07795	-0,08502
26	CPAC	368,16600	414,05854	-45,89254	5,90853	6,02359	-0,11506
27	CPAC	374,78300	495,22367	-120,44067	5,92635	6,17632	-0,24997
28	UnB	447,58500	491,55519	-43,97019	6,10387	6,16942	-0,06555
29	UnB	470,45100	537,86976	-67,41876	6,15369	6,25567	-0,10288
* 30	UnB	573,49800	391,13053	182,36747	6,35175	5,98045	0,37130
31	UnB	456,32500	530,99136	-74,66636	6,12320	6,24362	-0,12042
32	UnB	492,22800	483,30111	8,92689	6,19894	6,15389	0,04505
33	IBGE	573,56700	521,82016	51,74684	6,35187	6,22637	0,12550
34	IBGE	564,44600	645,17282	-80,72682	6,33584	6,45848	-0,12264
35	IBGE	425,22800	450,77334	-25,51534	6,05262	6,05262	-0,04000
36	IBGE	489,80300	517,69311	-27,89011	6,19400	6,21860	-0,02460
37	IBGE	493,47600	611,23937	-117,76337	6,20147	6,39462	-0,19315
38	IBGE	483,09700	458,53886	24,55814	6,18022	6,10729	0,07293

* "Outliers"

(biomassa) fosse 7% melhor explicado por este índice de vegetação. Com o total de pontos amostrais (38), o percentual atingiu 55%, passando a 62% com a remoção dos dois "outliers". A prática de eliminação de observações também foi aplicada por FRANKLIN⁴⁴, quando na análise de dados do mapeador temático para avaliar a estrutura e composição de áreas florestais.

TABELA 24. PARÂMETROS DA REGRESSÃO ENTRE A BIOMASSA FOLIAR (PESO SECO) E OS ÍNDICES $R_{4,3}$ E $TVI_{4,3}$, UTILIZANDO OS MODELOS LINEAR E EXPONENCIAL

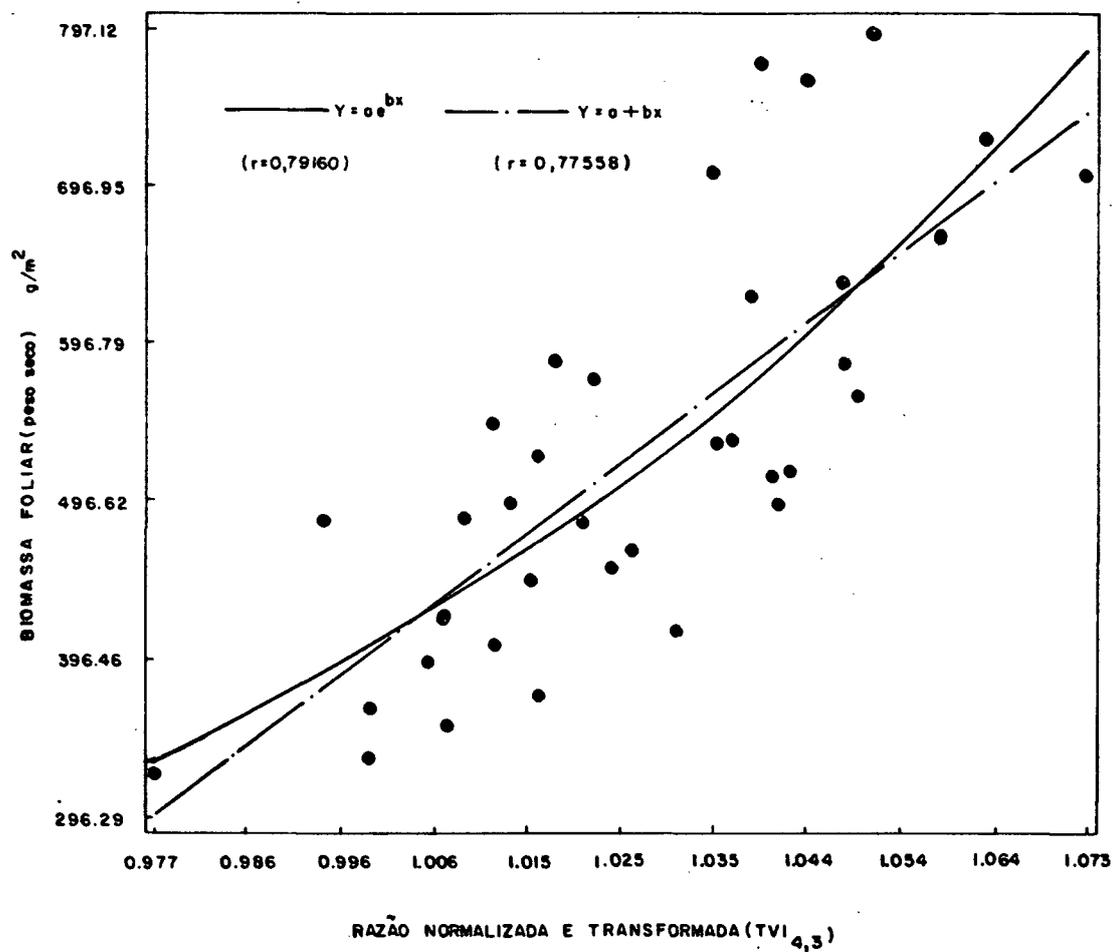
n=36

Índices	$y = a + bx$		$\ln y = \ln a + bx$	
	$R_{4,3}$	$TVI_{4,3}$	$R_{4,3}$	$TVI_{4,3}$
Parâmetros				
a	-239,98074	-4283,59633	4,78071	-3,00531
b	218,46555 (t=7,080**)	4690,1063 (t=7,164**)	0,41524 (t=7,252**)	9,0122 (t=7,554**)
r	0,77192	0,77558	0,77932	0,79160
F	50,1284**	51,3241**	52,5892**	57,0614**

Finalizando tal abordagem de análise, é apresentada na Figura 46, as linhas de regressão encontradas no relacionamento da biomassa foliar (peso seco) e o índice "transformado e normalizado" ($TVI_{4,3}$), obtidas com o tratamento dos 36 pontos amostrais. O erro padrão residual, obtido da regressão envolvendo estas duas variáveis, foi estimado em 15,57% no modelo linear e 16,28% no exponencial, resultados estes que evidenciam uma diferença pouca expressiva entre tais modelos.

FIGURA 46. DIAGRAMA ESPACIAL DAS REGRESSÕES ENTRE A BIOMASSA FOLIAR (PESO SECO) DO CERRADO E O ÍNDICE $TVI_{4,3}$.

n = 36



5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A rapidez em que se processa a exploração de recursos naturais, torna necessário o constante aprimoramento do tratamento de dados orbitais, por serem considerados, atualmente, uma ferramenta útil no monitoramento destes recursos. Isto se reflete, principalmente, quando está em análise a cobertura vegetal e sobretudo, os cerrados brasileiros.

É perceptível, pelas próprias referências bibliográficas, que os dados sensoriados têm sido exaustivamente investigados, como maneira prática para estimar a biomassa de comunidades vegetais. Seguindo esta linha, a presente pesquisa, direcionada para atingir os objetivos propostos, procurou mostrar no início, esquematicamente, uma estruturação do cerrado (*stricto sensu*), permitindo uma definição clara dos parâmetros (biomassa foliar, biomassa lenhosa, grau de cobertura do solo, composição florística, ...) da própria unidade fisionômica, que devem ser obtidos quando se pretende relacionar informações de campo e satélite. Dentro do processo seqüencial adotado nesta pesquisa, a extração dos valores espectrais do cerrado e a conseqüente elaboração dos índices de vegetação (razão simples, razão normalizada e transformada), tornou possível uma avaliação crítica do relacionamento com os dados de campo, isto feito, através de análise de regressão, empregando os modelos linear e exponencial. Desta maneira, pode-se chegar a

conclusões acerca de qual variável independente deve compor o modelo da regressão, levando-se em consideração uma melhor significância neste tratamento.

Enumerar afirmações detalhadas, com base na análise dos dados de campo e satélite já convenientemente descritas no capítulo 4 (RESULTADOS E DISCUSSÃO), não se faz necessário, mas sim, tornar contundente através de rápida abordagem, as definições alcançadas com aqueles objetivos propostos no início da pesquisa. Assim, pode-se sumarizar como conclusões que:

1 O cerrado (*stricto sensu*) nas áreas do CPAC, UnB e IBGE, com uma estimativa de 2.405 indivíduos/hectares, dos quais 453 fazem parte do estrato arbóreo, apresenta como componente fisionômica uma projeção foliar de 16,62% para o estrato arbóreo, de 12,48% para o arbustivo e 70,90% correspondente ao herbáceo, tendo neste último estrato uma participação de 23% referente ao solo exposto.

2 Na estrutura da biomassa aérea do cerrado, a parte foliar estimada em 5,4 ton/ha contribui com cerca de 20% da matéria total. A composição desta massa foliar foi definida como sendo, em média, 15% resultante do estrato arbóreo, 8% do arbustivo e o restante, do estrato herbáceo.

3 No estrato herbáceo, a componente sazonal tem um efeito modificador nos valores da biomassa, bastando para isto entender que, no período maio/junho o material foliar fotossinteticamente ativo representa 37,60%, decrescendo à 20,37% no período agosto/setembro em razão da menor dispo-

nibilidade hídrica no solo e concomitantemente, perda de vitalidade, principalmente das gramíneas que compõem este estrato.

4 Na determinação dos parâmetros espectrais do cerrado com o emprego do algoritmo "ONEPIX", pode-se constatar que, na análise das unidades de amostragem localizadas no CPAC, UnB e IBGE os valores digitais oriundos das bandas TM3, TM4 e TM5/LANDSAT não apresentaram variância superior a 4%. No exame destes parâmetros espectrais, obtidos em passagens distintas do satélite (17/06/86 e 04/08/86), é também detectável o efeito da variação sazonal, perceptível nos dados relativos a massa foliar do cerrado.

5 Na estimativa da biomassa foliar por regressão, a contribuição da banda TM3, isoladamente, é superior as demais bandas do mapeador temático, explicando nos modelos linear e exponencial, cerca de 37,5% da relação funcional dados de campo/satélite. Independente da época do ano, a banda TM3 (0,63 - 0,69 μm) utilizada como variável estimadora da biomassa foliar apresenta um erro padrão residual em torno de 13,85%.

6 Na análise dos índices de vegetação razão simples (R) e razão normalizada e transformada (TVI), obtidos das bandas TM3, TM4 e TM5, é constatada a condição de similaridade entre estes modelos numéricos, respeitando é claro, a devida combinação espectral.

7 No emprego dos índices de vegetação razão simples como estimadores da biomassa foliar (peso fresco), o índice $R_{5,3}$

mostra ser superior ao $R_{4,3}$, explicando em média, 52% (modelo exponencial) e apenas 35% (linear), da variação encontrada em \hat{y} , correspondente ao peso da variável independente da regressão. O índice de vegetação $R_{5,3}$ apresenta um erro padrão residual de aproximadamente 12,17% na estimativa da biomassa foliar (peso fresco), considerando a não existência de diferenças significativas entre as funções empregadas na regressão.

8 Com relação aos índices razão normalizada e transformada (TVI) como estimadores da biomassa foliar (peso fresco), as bandas TM3 e TM5 representam uma componente significativa na elaboração deste índice de vegetação, explicando cerca de 49% (modelo exponencial) e 46% (linear), da variação encontrada em \hat{y} da regressão. O erro padrão residual ao se utilizar o índice $TVI_{5,3}$ na estimativa desta biomassa foi avaliado em torno de 12,67%, independente da função empregada na regressão.

9 Na comparação entre índices de vegetação, apesar da condição de similaridade, o índice $R_{5,3}$, demonstra, baseado em parâmetros da regressão (valores de r , t , F , $S_{xy}\%$), uma maior capacidade como estimador da biomassa foliar (peso fresco).

10 Considerando-se isoladamente os índices de vegetação (R e TVI) como variáveis independentes da regressão no cálculo da biomassa foliar (peso seco), o índice $TVI_{4,3}$ registra um melhor relacionamento, explicando de 50 a 55% das variações encontradas em \hat{y} da regressão, tanto na função linear como na

exponencial. Inclusive, o erro padrão residual encontrado nesta estimativa de biomassa oscila em torno de 18%.

11 O procedimento adotado de remoção de pontos (outliers) considerados extremos na série de observações, mostrou-se eficaz quando da análise da relação índice de vegetação e biomassa foliar (peso seco), ficando evidenciado na regressão com a variável independente $TVI_{4,3}$, que passou a explicar 62% das variações encontradas em \hat{y} , apresentando ainda um erro padrão residual nesta estimativa de 15,57% (modelo linear) e 16,28% (exponencial) em média.

12 O relacionamento entre as variáveis da regressão, ao se utilizar funções linear ou exponencial, não apresenta de forma geral, uma diferença significativa, principalmente quando analisados certos parâmetros da regressão (valores de r , F , S_{xy} , ...).

Algumas das conclusões mencionadas anteriormente, reforçam a importância dos dados sensoriados, inclusive com a geração e aplicação dos índices de vegetação, na estimativa da biomassa foliar do cerrado, considerando que a pesquisa foi desenvolvida na área central desta formação.

O direcionamento futuro da linha de pesquisa, que teve no momento o suporte com a utilização dos dados do "Thematic Mapper"/LANDSAT, pode ser então delineado obedecendo a duas abordagens: uma, que podemos considerar como a nível regional com a disponibilidade dos produtos do satélite SPOT, cujos sensores fornecem melhores resoluções espaciais (10 metros na banda pancromática e 20 metros na banda multiespectral),

procurando aprimorar o conhecimento da relação biomassa/índice de vegetação, sobretudo, com a recomendação para áreas de contato do cerrado com outras formações vegetais (caatinga, por exemplo); outra, considerada a nível global, com a disponibilidade de dados dos sensores AVHRR dos satélites da série NOAA, de baixa resolução espacial (1 km x 1 km), porém, de alta resolução temporal, permitindo uma avaliação periódica das possíveis alterações estruturais, que porventura ocorram na biomassa dos cerrados em razão do crescente avanço da fronteira agrícola e o necessário suporte produtivo ao país.

SUMMARY

This study intends to provide the information about the aerial biomass of "cerrado" vegetation, using orbital remote sensing data. Thus, the main objective is to evaluate the functional relationship between the foliar biomass of cerrado (*stricto sensu*) and the vegetation indices (bands ratio, transformed vegetation index) from the bands 3 (0,63 - 0,69 μm), 4 (0,76 - 0,90 μm) and 5 (1,55 - 1,75 μm) of the Thematic Mapper/LANDSAT-5. In the central area of the cerrados region - the Federal District - three sub-areas were selected: CPAC/EMBRAPA Farm, IBGE Ecological Reserve and the experimental field - "Fazenda Água Limpa" - of UnB. The methodological procedure was conducted by following steps: 1) to establish the cerrado structure characteristics and to define the foliar biomass values; 2) to determine the cerrado spectral values and to analyze the contribution of each band with the foliar biomass; 3) to elaborate the vegetation indices ($R_{4,3}$, $R_{5,3}$, $\text{TVI}_{4,3}$, $\text{TVI}_{5,3}$) and to evaluate the relation of these indices with foliar biomass, through regression analysis of linear and exponential models. The cerrado is here structurally defined by the cover percent of its tree (16,62%), shrub (12,48%) and ground (70,90%) layers. The data collected in the field survey showed that the foliar biomass was approximately 5,4 ton/ha (dry weight). The relationship between field and satellite data demonstrated: 1) The TM3 (0,63 - 0,69 μm) shows a better correlation with foliar biomass when compared with other bands; 2) the regression analysis revealed that the exponential model gave the best fit although no significant difference was found when compared to the linear function; 3) the independent variable $R_{5,3}$ was the one that explained best the variations of the foliar biomass (fresh weight), while the $\text{TVI}_{4,3}$ presented the best fit to the biomass (dry weight). The results obtained in this research outline the importance of remote sensing techniques, mainly the vegetation indices, in the estimation of cerrado biomass and above all, in the timely monitoring of this vegetation cover of the country.

A P Ê N D I C E

APÊNDICE 1. PARÂMETROS FISIONÔMICO-ESTRUTURAIS DO CERRADO (*stricto sensu*) NAS ÁREAS DO CPAC, UnB E IBGE

Área	Local	Biomassa foliar (peso fresco) (g/m ²)			Biomassa lenhosa (kg/m ²)	Cobertura foliar (%)			Teor de umidade na massa foliar (%)
		Estrato arbóreo	Estrato arbustivo	Estrato herbáceo		Estrato arbóreo	Estrato arbustivo	Estrato herbáceo	
1	CPAC	123,926	118,590	630,236	1,32	10,2	14,8	75,0	47,96
2	CPAC	108,312	57,584	664,026	1,92	12,4	9,8	77,8	45,73
3	CPAC	160,215	33,885	699,374	2,23	15,6	5,0	79,4	44,01
4	CPAC	183,415	104,815	596,948	3,08	24,6	16,4	59,0	42,97
5	CPAC	248,966	63,824	621,466	3,67	28,6	8,6	62,8	43,23
6	CPAC	132,617	77,938	747,254	2,28	12,6	16,4	71,0	46,28
7	CPAC	163,580	76,143	630,542	1,66	13,6	9,2	77,2	47,59
8	CPAC	121,226	132,128	661,186	2,51	10,6	16,2	73,2	43,96
9	UnB	219,547	155,372	893,612	1,98	13,8	13,4	72,8	44,13
10	UnB	182,228	123,019	860,006	1,61	19,4	15,2	65,4	43,54
11	UnB	266,189	142,284	737,334	3,56	20,6	13,6	65,8	44,37
12	UnB	183,663	108,477	741,480	2,89	18,2	9,2	72,6	45,01
13	UnB	107,638	83,437	769,496	1,18	14,2	9,8	76,0	46,92
14	IBGE	248,229	175,184	917,838	1,78	11,8	13,6	74,6	51,38
15	IBGE	237,930	140,644	815,210	2,37	30,0	14,4	55,6	46,53
16	IBGE	188,110	132,746	1033,264	2,20	12,8	16,4	70,8	42,83
17	IBGE	103,904	142,579	949,404	2,55	19,2	15,8	65,0	45,14
18	IBGE	208,153	179,038	798,902	1,84	15,4	19,4	65,2	48,69
19	IBGE	89,340	114,417	636,908	2,03	11,6	12,0	76,4	48,12

APÊNDICE 1. PARÂMETROS FISIONÔMICO-ESTRUTURAIS DO CERRADO (*stricto sensu*) NAS ÁREAS DO CPAC, UnB E IBGE (Continuação)

Área	Local	Biomassa foliar (peso fresco) (g/m ²)			Biomassa lenhosa (kg/m ²)	Cobertura foliar (%)			Teor de umidade na massa foliar (%)
		Estrato arbóreo	Estrato arbustivo	Estrato herbáceo		Estrato arbóreo	Estrato arbustivo	Estrato herbáceo	
20	CPAC	70,341	95,353	365,748	2,30	10,8	22,4	66,8	40,92
21	CPAC	79,365	46,320	372,308	1,62	10,2	10,4	79,4	43,65
22	CPAC	259,940	32,417	361,046	3,09	23,6	9,2	67,2	42,26
23	CPAC	104,447	109,900	313,114	2,79	17,2	11,6	71,2	41,18
24	CPAC	179,808	70,820	368,560	2,77	17,2	11,6	71,2	41,43
25	CPAC	266,407	37,865	342,657	3,44	29,6	4,8	65,6	41,09
26	CPAC	139,200	24,796	417,123	2,12	19,2	3,8	77,0	46,38
27	CPAC	89,832	107,292	379,938	1,98	13,0	16,6	70,4	43,40
28	UnB	117,943	57,770	476,702	1,95	10,6	9,8	79,6	43,77
29	UnB	133,099	74,575	485,110	2,59	19,6	18,2	62,2	42,27
30	UnB	165,019	72,282	596,260	2,87	14,4	9,4	76,2	44,24
31	UnB	165,592	42,260	438,302	2,45	26,2	6,2	67,6	37,38
32	UnB	71,831	50,310	576,122	1,53	11,6	7,8	80,6	43,95
33	IBGE	154,275	70,271	674,058	1,61	24,4	12,6	63,0	45,67
34	IBGE	149,765	84,762	602,628	1,89	16,2	14,6	69,2	42,76
35	IBGE	110,740	90,807	434,908	1,13	14,4	12,4	73,2	44,13
36	IBGE	182,147	63,211	483,766	3,16	15,6	13,4	71,0	44,07
37	IBGE	194,842	120,815	454,782	2,40	15,4	15,0	69,6	45,17
38	IBGE	49,675	100,291	515,810	1,66	7,2	15,2	77,6	39,17

Obs.: De 1 a 19 os dados referem-se ao período de maio/junho e, em diante, ao período de agosto/setembro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AASE, J.K.; SIDDOWAY, F.M. & MILLARD, J.P. Spring wheat phytomass and yield estimate from airborne scanner and hand-held radiometer measurements. International Journal of Remote Sensing, 5: 771-781, 1984.
2. ADÂMOLI, J.; FUKUHARA, M. & SILVA, J.A. Aplicações de técnicas de sensoriamento remoto no estudo de queimas em pastagens nativas da região dos cerrados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2., Brasília, 1982. Anais. p. 811-820.
3. ALVIM, P.T. & ARAÚJO, W.A. Soil as an ecological factor in the development of vegetation in the Central Plateau of Brazil. Turrialba, 2: 153-160, 1952.
4. AOKI, H. & SANTOS, J.R. Estudo da vegetação de cerrado na área do Distrito Federal a partir de dados orbitais. São José dos Campos, 1980. 144 p. Tese. Mestrado em Sensoriamento Remoto (INPE 1730/TDL/026)
5. _____. & _____. Características dos estratos arbustivo e arbóreo do cerrado na área do Distrito Federal. In: CONGRESSO NACIONAL DE ESSÊNCIAS NATIVAS, Campos de Jordão, 1982. Anais. Parte I, p. 629-639.
6. ARENS, K. O cerrado como vegetação oligotrófica. Bol. Fac. Fil. Ciênc. e Letr. USP, 224, Botânica, 15: 59-77, 1958.
7. AUBRÉVILLE, A. As florestas do Brasil. Estudo fitogeográfico e florestal. An. brasil. econ. flor., 11: 201-232, 1959.
8. AZEVEDO, L.G.de. Tipos de vegetação. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Conselho Nacional de Geografia. Atlas do Brasil. Rio de Janeiro, 1959. p. 42-43.
9. _____. Tipos ecofisionômicos da vegetação da região de Januária (MG). In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 2., Rio de Janeiro, 1965. An.Acad.Bras.Ci., 38(Supl.): 39-57, 1966.

10. BARBOUR, M.G.; BURK, J.H. & PITTS, W.D. Methods of sampling the plant community. In: _____. Terrestrial plant ecology. California, The Benjamin/Cummings Publ., 1980. p. 156-182.
11. BATMANIAN, G.J. Efeitos do fogo sobre a produção primária e a acumulação de nutrientes do estrato rasteiro de um cerrado. Brasília, 1983. 78 p. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília.
12. BEARD, J.S. The savanna vegetation of northern tropical America. Ecol. Mongr., 23: 149-215, 1953.
13. _____. The physiognomic approach. In: _____. Classification of plant communities. The Netherlands, W.Junk Publ., 1980. p. 35-64.
14. BENSON, A.S.; & DE GLÓRIA, S.D. Interpretation of LANDSAT-4 Thematic Mapper and multispectral scanner data for forest surveys. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 51(9): 1281-1289, 1985.
15. BEST, R.G. & HARLAM, J.C. Spectral estimation of green leaf area index of oats. Remote Sensing Environment, 17: 27-36, 1985.
16. BOURLIÈRE, F. & HADLEY, M. The ecology of tropical savannas. Ann.Res. Ecol. Syst., 1: 125-152, 1970.
17. _____. & _____. Present-day savannas: an overview. In: Ecosystems of the world: tropical savannas. Amsterdam, Elsevier, 1983. v.13; p. 1-17.
18. CAMARGO, A.P. de. Clima do cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO. Anais. São Paulo, USP, 1963. p. 93-115.
19. CENTRO DE PESQUISAS FLORESTAIS. Inventário florestal do Distrito Federal. Curitiba-PR, 1972. 206 p.
20. CHATTERJEE, S. & PRICE, B. Regression analysis by example. New York, John Wiley, 1977. 228 p.
21. CLAPHAM JR.; W.B. Natural ecosystems. New York, MacMillan Publ., 1973. 248 p.

22. CODEPLAN. Diagnóstico do espaço natural do Distrito Federal. Brasília, 1971. 388 p.
23. COUTINHO, L.M. O conceito de cerrado. Rev. Bras. Botânica, 1: 17-23, 1978.
24. COWELL, J.E. Grass canopy bidirectional spectral reflectance. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 9., Ann Arbor, 1974. Proceedings. Ann Arbor, ERIM, 1974. p. 1061-1085.
25. CURRAN, P.J. & WILLIAMSON, H.D. Sample size for growth and remotely sensed data. Remote Sensing of Environment, 20:31-41, 1986.
26. DAVES, J.V. Influence of illumination and viewing geometry and atmospheric composition on the "tasseled cap" transformation of LANDSAT MSS data. Remote Sensing of Environment, 11: 37-55, 1981.
27. DEERING, D.W.; ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A. Measurement forage production of grazing units from LANDSAT MSS data. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING ENVIRONMENT, 10., Ann Arbor, 1975. Proceedings. Ann Arbor, ERIM, 1975. v.2; p. 1169-1178.
28. DRAPER, N.R. & SMITH, H. Applied regression analysis. 2.ed. New York, J. Wiley, 1981. 708 p.
29. DUSEK, D.A.; JACKSON, R.D. & MUSICK, J.T. Winter wheat vegetation indices calculated from combinations of seven spectral bands. Remote Sensing of Environment, 18: 255-267, 1985.
30. DUTRA, L.V.; SOUZA, R.C.M.; MITSUO II, F.A.; MOREIRA, J.C. Análise automática de imagens multiespectrais. São José dos Campos, 1981. 23 p. (NPE 2212-MD/009).
31. EITEN, G. The cerrado vegetation of Brasil. Bot. Rev., 38: 201-341, 1972.
32. _____. A sketch of the vegetation of Central Brazil. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE BOTÂNICA, 29., Brasília, 1978. p. 1-37.

33. EITEN, G. Formas fisionômicas dos cerrados. Rev. Brasil. Bot., 2(2): 139-148, 1979.
34. ELVIDGE, C.D. & LYON, R.J.P. Estimation of the vegetation contribution to the 1.65/2.22 μm ratio in airborne thematic-mapper imagery of the Virginia Range, Nevada. International Journal of Remote Sensing, 6(1): 75-98, 1985.
35. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal. Rio de Janeiro, 1978. (Boletim Técnico, 53).
36. FEARNSIDE, P.M. Summary of progress in quantifying the potential contribution of Amazonian deforestation to the global carbon problem. In: WORKSHOP ON BIOGEOCHEMISTRY OF TROPICAL RAIN FOREST: PROBLEMS FOR RESEARCH, 1985. Proceedings. Piracicaba, Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Universidade de São Paulo, 1987. p.75-85.
37. FELFILI, J.M. & SILVA JR., M.C. Inventário florestal contínuo de uma faixa de cerrado na Fazenda Água Limpa (FAL)-DF. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 5., Olinda-PE, 1986. Anais. (Resumo do trabalho, p. 169). 14 p.
38. _____.; _____. & ARAÚJO, J.D. Associação interespecífica em uma faixa de cerrado na Fazenda Água Limpa (FAL)-DF. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 5., Olinda-PE, 1986. Anais. (Resumo do trabalho, p. 170). 13 p.
39. FERRI, M.G. Plantas do Brasil: espécies do cerrado. São Paulo, USP, 1969. 239 p.
40. _____. Os cerrados de Minas Gerais. Ciência e Cultura, 27(11): 1217-1220, 1975.
41. _____. Ecologia do cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO - BASES PARA UTILIZAÇÃO AGROPECUÁRIA, 4. Belo Horizonte, Itatiaia, 1977. p. 15-33.
42. FREITAS, F.G. & SILVEIRA, C.O. Principais solos sob vegetação de cerrado e sua aptidão agrícola. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 4., Brasília, 1977. p. 155-194.
43. FONSECA, J.S.; MARTINS, G.A. & TOLEDO, G.L. Estatística aplicada. 2.ed. São Paulo, Atlas, 1982. p.267.

44. FRANKLIN, J. Thematic mapper analysis of coniferous forest structure and composition. International Journal Remote Sensing, 7(10): 1287-1301, 1986.
45. FREESE, F. Linear regression methods for forest research. U.S. For. Serv. Res. Pap. FPL-17, 1964. 137 p.
46. GATES, D.M. Physical and physiological properties of plants. In: NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. Remote sensing with special reference to agriculture and forestry. Washington, 1970. p. 224-252.
47. _____; KEEGAN, H.J.; SCHLETTER, J.C.; WEIDNER, V.R. Spectral properties of plants. Applied optics, 4(1): 11-20, 1965.
48. GENERAL ELECTRIC COMPANY. Image-100: interactive multi-spectral image analysis systems - user manual. Daytona, 1975.
49. GILLISON, A.N. Tropical savannas of Australia and southwest Pacific. In: Ecosystems of the world: tropical savannas. Amsterdam, Elsevier, 1973. v.13; p. 183-243.
50. GOEDERT, W.J. Uso e manejo dos recursos naturais do cerrado: solo e clima. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO: USO E MANEJO, 5., Brasília, 1979. Brasília, Editerra, 1980. p. 475-498.
51. GOODLAND, R. An ecological study of the cerrado vegetation of South Central Brazil. Montreal, Canada, McGill University, 1969. 224 p.
52. _____. A physiognomic analysis of the cerrado vegetation of Central Brazil. J. Ecol., 59: 411-419, 1971.
53. HARDISKY, M.A.; SMART, R.M. & KLEMAS, V. Seasonal spectral characteristics and aboveground biomass of the Tidal Marsh Plant, *Spartina alterniflora*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 49(1): 85-92, 1983.
54. HARLAN, J.C.; DEERING, D.H.; HASS, R.H.; BOYD, H.E. Determination of range biomass using LANDSAT. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 13., Ann Arbor, 1979. Proceedings. Ann Arbor, University of Michigan, 1979. p. 659-672.

55. HERINGER, E.P.; BARROSO, G.M.; RIZZO, J.A.; RIZZINI, C.T. A flora do cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO - BASES PARA UTILIZAÇÃO AGROPECUÁRIA, 4., Belo Horizonte, 1977. Anais. Belo Horizonte, Itatiaia, 1977. p. 211-232.
56. HILLS, T.L. The savanna biome: a case study of human impact on biotic communities. In: MANNERS, I.R. & MIKESELL, M.W., eds. Perspectives on environment. s.l., Association of American Geographers, 1974. p. 342-373.
57. HOFFER, R.M. Physical bases for remote sensing. In: Remote sensing technology and applications. Lafayette, Purdue University, 1972. p. 1-8.
58. _____. & JOHANSEN, C.J. Ecological potentials in spectral signature analysis. In: Remote sensing technology and applications. Lafayette, Purdue University, 1972. p. 1-26.
59. HORLER, D.N.H. & AHERN, F.J. Forestry information content of Thematic Mapper data. International Journal of Remote Sensing, 7(3): 405-428, 1986.
60. HOWARD, J.A. & SCHADE, J. Towards a standardized hierarchical classification of vegetation for remote sensing. Rome, FAO, 1982. 30 p. (Bulletin RSC Series 11).
61. INSTITUTO ASTRONÔMICO. Universidade de São Paulo. Anuário astronômico-1986. São Paulo, 1985. 276 p.
62. INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. Estudos de tipologias florestais de cerrado na região central de Minas Gerais. Belo Horizonte, 1976. (Série Técnica, 7. Convênio PNUD/FAO).
63. JACKSON, R.D.; SLATER, P.N. & PINTER JR., P.J. Discrimination of growth and water stress in wheat by various vegetation indices through clear and turbid atmospheres. Remote sensing of environment, 13: 187-208, 1983.
64. KARASKA, M.A.; WALSH, S.J. & BUTLER, D.R. Impact of environmental variables on spectral signatures acquired by the LANDSAT thematic mapper. International Journal of Remote Sensing, 7(12): 1653-1667, 1986.

65. KAUTH, R.J. & THOMAS, G.S. The tasseld cap: a graphic description of the spectral temporal development of agricultural crops an seen by LANDSAT. In: SYMPOSIUM ON MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DATA, 3., West Lafayette, 1976. Proceedings. West Lafayette, Purdue University, 1976.
66. KNIPLING, E.B. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. Remote Sensing of Environment, 1(3): 155-159, 1970.
67. KORNELIUS, E.; SAUERESSIG, M.G. & GOEDERT, W.J. Estabelecimento e manejo de pastagens nos cerrados do Brasil. In: Produção de Pastagens em solos ácidos dos trópicos. Brasília, 1982. p. 167-187.
68. LAMOTTE, M. The structure and function of a tropical savanna ecosystem. In: MEDINA & GOLLEY, F., eds. Tropical ecological systems. New York, Spring, 1975. p. 179-222.
69. LAUTENSCHLAGER, L.F. & PERRY JR., C.R. An empirical, graphical, and analytical study of the relationship between vegetation indices. AgrISTARS-EW/CCA, NASA-Lyndon B. Johnson Center, Texas, 1981. 138 p. (NASA CR-167476)
70. LOPES, A.S. A survey of the fertility status of soil under "cerrado" vegetation in Brazil. Raleigh, North Carolina State University, 1975. 138 p.
71. LI, J.C.R. Statistical inference. Ann Arbor, Edwards Brothers, 1964. 658 p.
72. MARKHAM, B.L. & BARKER, J.L. Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures. EOSAT-Landsat Technical Notes, 1: 3-9, 1986.
73. MAURÍCIO, J.A. Efeitos da cobertura de nuvens em sensoriamento remoto. São José dos Campos, 1987. 92 p. Tese. Mestrado. INPE.
74. MAXWELL, E.L. Multivariate system analysis of multispectral imagery. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 42: 1173-1186, 1976.

75. MCDANIEL, M.C. & HAAS, R.H. Assessing mesquite grass vegetation conditions from LANDSAT. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 48(3): 441-450, 1982.
76. MENAUT, J.C. The vegetation of african savannas. In: Ecosystems of the world: tropical savannas. Amsterdam, Elsevier, 1983. v.13; p. 109-149.
77. MEYER, H.A. The stand errors of estimates of tree volume from the logarithmic volume equation. Journal Forestry, 36: 430-442, 1938.
78. MILLER, J.M. & GEORGE, T.H. A land resource inventory based upon vegetative index computed from digital LANDSAT data. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 14., San José, 1980. Proceedings. Ann Arbor, ERIM, 1980. v.2; p. 695-700.
79. MILNER, C. & HUGHES, R.E. Methods for the measurement of the primary production of grassland. Edinburg, Blackwell Sci. Pub., 1970. 70 p. (IBP Handbook, 6).
80. MISRA, R. Indian savannas. In: Ecosystems of the world: tropical savannas. Amsterdam, Elsevier, 1983. v.13; p. 151-166.
81. MONTGOMERY, R.F. & ASKEW, G.P. Soils of tropical savannas. In: Ecosystems of the world: tropical savannas. Amsterdam, Elsevier, 1983. v.13; p. 63-78.
82. MUKAI, Y. & TAKEUCHI, S. Estimation of primary production of vegetation in agricultural and forested areas using LANDSAT data. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 13., Ann Arbor, 1979. Proceedings. Ann Arbor, ERIM, 1979. v.3; p. 1177-1187.
83. MULDER, M.A. & EPEMA, G.F. The thematic mapper: a new tool for soil mapping in arid areas, ITC Journal, 1: 24-29, 1986.
84. MYERS, V.I. & ALLEN, W.A. Eletroptical remote sensing methods as nondestructive testing and measuring techniques in agriculture. Applied Optics, 7(9): 1819-1838, 1968.
85. MYERS, L.W. & SHELTON, R.L. Vegetation: a renewable resources. In: Survey methods for ecosystem management. New York, Wiley-Interscience, 1980. p. 283-336.

86. NASA. Landsat to ground station interface description.
Revision 8. Washington, 1984. 93 p.
87. NELSON, R.F.; LATTY, R.S. & MOTT, G. Classifying northern forest using thematic mapper simulator data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 50: 607, 1984.
88. NIX, H.A. Climate of tropical savannas. In: Ecosystems of the world: tropical savannas. Amsterdam, Elsevier, 1983. v.13; p. 37-62.
89. PEARSON, P.L. & MILLER, L.D. Remote sensing of standing crop biomass for estimating of the productivity of the shortgrass prairie. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 8., Ann Arbor, 1972. Proceedings. Ann Arbor, ERIM, 1972. p. 1357-1381.
90. PEREIRA, M.D.B. Correlação de fitomassa verde de campo cerrado com dados espectrais obtidos pelo sistema MSS-LANDSAT e por radiometria de campo. São José dos Campos, 1985. 90 p, Tese. Mestrado. INPE (INPE 3758-TDL/205).
91. PRINCE, S.D. & ASTLE, W.L. Satellite remote sensing of rangelands in Botswana. I. Landsat MSS and herbaceous vegetation. International Journal of Remote Sensing 7(11): 1533-1553, 1986.
92. RIBEIRO, J.F.; SANO, S.M.; MACEDO, J.; SILVA, J.A.da. Os principais tipos fisionômicos da região dos cerrados. Boletim de Pesquisa. EMBRAPA.CPAC, 1983. 28 p.
93. _____.; SILVA, J.C.S. & AZEVEDO, L.G.de. Estrutura e composição florística em tipos fisionômicos dos cerrados e sua interação com alguns parâmetros do solo. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 32., Teresina, 1981. Anais. p. 141-145.
94. _____.; _____. & BATMANIAN, G.J. Fitossociologia de tipos fisionômicos de cerrado em Planaltina-DF. Revista Bras. Botânica, 8: 131-142, 1985.
95. RICHARDSON, A.J. & WIEGAND, C.L. Distinguishing vegetation from soil background information. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 43(12): 1541-1552, 1977.
96. RITCHEY, K.D.; SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E.; CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian Savannah Oxisol. Agronomy Journal, 72: 40-44, 1980.

97. RIZZINI, C.T. A flora do cerrado, análise florística das savanas centrais. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 1., São Paulo, 1962. São Paulo, EDUSP, 1963. p. 125-177.
98. _____. Contribuição ao conhecimento da estrutura do cerrado. Brasil Florestal, 6(22):3-16, 1975.
99. ROBINOVE, C.J. Computation with physical values from LANDSAT digital data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 48(5): 781-784, 1982.
100. ROCK, B.N.; VOGELMANN, J.E.; WILLIAMS, D.L.; VOGELMANN, A.F.; HOSHIZAKI, T. Remote detection of forest damage. Bioscience, 36(7): 439-445, 1986.
101. RODIN, L.E. & BASILEVIČ, N.I. World distribution of plant biomass. In: ECKARDT, F.E., ed. Functioning of terrestrial ecosystems at the primary production level. Paris, UNESCO, 1968. p. 45-52.
102. ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation system in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3., 1973. Proceedings. Washington, 1973. v.1, Sec. A, p. 309-317.
103. SAN JOSÉ, J.J. & MEDINA, Y.E. Organic matter production in the Trachypogon savanna at Calabozo, Venezuela. Tropical ecology, 17(2): 113-134, 1976.
104. _____. & MIRAGAYA, J.G. Contenido de nutrientes en el suelo y en la fitomasa de comunidades de la sabana de Trachypogon, Calabozo, Venezuela. Boletín Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales, 136(24): 113-122, 1979.
105. SANTIAGO, R.H.; MEDEIROS, J.S. & SANTOS, J.R. Seleção de canais TM/LANDSAT para avaliação das áreas de reflorestamento no Estado do Mato Grosso do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 4., Gramado, 1986. (No prelo).
106. SANTOS, J.R. & AOKI, H. Análise de índices de cobertura foliar das formas de cerrado em diferentes tipos de solo. Floresta, 14(2): 36-44, 1983.

107. SARMIENTO, G. The savannas of tropical America. In: Ecosystems of the world: tropical savannas. Amsterdam, Elsevier, 1983. v.13; p 245-288.
108. _____. The ecology of neotropical savannas. Cambridge, Harvard University Press, 1984. 235 p.
109. SEILER, W. & CRUTZEN, P.J. Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning. Climate change, 2(3): 207-247, 1980.
110. SLATER, P.N. & JACKSON, R.D. Atmospheric effect on radiation reflected from soil and vegetation as measured by orbiting sensors using various scanning directions. Applied Optics, 21: 3923-3931, 1982.
111. SOKAL, R.R. & ROHLF, F.J. Correlation. In: _____. Biometry: the principles and practice of statistics in biological research. San Francisco, W.H. Freeman, 1969. p. 497-548.
112. THOMPSON, D.R. & WEHMANEN, O.A. Using LANDSAT digital data to detect moisture stress in corn-soybean growing regions. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 46: 1087-1093, 1980.
113. TOKY, O.P. & RAMAKRISHNAN, P.S. Secondary succession following slash and burn agriculture in north-eastern India. J. Ecol., 71: 735-745, 1983.
114. TORRE, J.C.; MIRANDA, J.I. & LIRA, J. Detection of sugar cane growing stages by means of computed aided analysis of LANDSAT data. CONACYT, PCECCNA722418. s.d. 11 p.
115. TUCKER, C.J. Spectral estimation of grass canopy variables. Remote Sensing of Environment, 6: 11-26, 1977.
116. _____. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sensing of Environment, 8:127-150, 1979.
117. _____. Radiometric resolution for monitoring vegetation. How many bits are needed?. International Journal of Remote Sensing, 1(3): 241-254, 1980.

118. TUCKER, C.J. & MAXWELL, E.L. Sensor design for monitoring vegetation canopies. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 42(11): 1399-1410, 1976.
119. _____. & MILLER, L.D. Contribution of the soil spectra to grass canopy spectral reflectance. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 43: 721-726, 1977.
120. U.S. GEOLOGICAL SURVEY. Landsat data users notes. Issue n. 23 (July, 1982). Eros Data Center, Sioux Falls, South Dakota, p. 1-12.
121. WALTER, H. Vegetação e zonas climáticas: tratado de ecologia global. São Paulo, Ed. Pedagógica e Universitária, 1986. 326 p.
122. WEISER, R.L.; ASRAR, G.; MILLER, G.P.; KANEMASU, E.T. Assessing grassland biophysical characteristics from spectral measurements. Remote Sensing of Environment, 20: 141-152, 1986.
123. WHITTAKER, R.H. Approaches to classifying vegetation. In: _____. Classification of plant communities. The Netherlands, Dr. W. Junk, 1980. p- 3-31.
124. _____. Communities and ecosystems. New York, MacMillan, 1970. 162 p.
125. _____. & LIKENS, G.E. The biosphere and man. In: LIETH & WHITTAKER, R.H., ed. Primary productivity of the biosphere. New York, Springer, 1975. p. 305-328.
126. WISPELAERE, G. de. & FABREGUES, B.P. Action de recherche methodologique sur l'evaluation des ressources fourrageres par teledetection dans la region de Sud-Tamesna (Niger). s.l., Institut d'Elevage et de Medecine Veterinaire des Pays Tropicaux, 1986. 87 p.
127. WONNACOTT, T.H. & WONNACOTT, R.J. Introdução a estatística. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1980. 589 p.
128. YAZDANI, R. & DERENYI, E. A simple approach for monitoring vegetation changes for use with a digital geo data base. In: Renewable Resources Management - Applications of Remote Sensing. Proceedings. Seattle, 1983. p. 236-242.