

**IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS PRINCIPAIS  
TIPOS FUNCIONAIS DE PLANTAS (TFP) NO BIOMA CERRADO  
PARA USO EM MODELOS INTEGRADOS DE BIOSFERA  
TERRESTRE**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Suzana Maria Inácio de Carvalho (FATEA, Bolsista PIBIC/CNPq)  
E-mail: [suzana.carvalho@inpe.br](mailto:suzana.carvalho@inpe.br)

Dr. Jorge Alberto Bustamante Becerra (CCST/INPE, Orientador)  
E-mail: [jorge.bustamante@inpe.br](mailto:jorge.bustamante@inpe.br)

**COLABORADORES**

Dr. Celso Von Randow (CCST/INPE)  
Emily Ane Dionizio da Silva (FATEA, Bolsista PIBIC/CNPq)

Junho, 2010

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS  
Relatório Final de Atividades

Aos meus pais, **JOSÉ TADEU REIS DE CARVALHO** e **RITA DE CÁSSIA  
IGNÁCIO DE CARVALHO**, minha avó **HELENA CARIOCA DOS REIS  
CARVALHO**, meu irmão **GUSTAVO IGNÁCIO DE CARVALHO**.

## FRASES

“Se alguém quiser seriamente investigar a verdade das coisas, não deve escolher alguma ciência particular, porque todas têm conexão entre si e mútua dependência; mas pense apenas em aumentar a luz natural da razão, para que, em cada uma das circunstâncias da vida, o entendimento mostre à vontade o que deve escolher; e bem depressa se maravilhará de haver feito progressos, muito maiores que aqueles que se dedicaram a estudos particulares, e ainda, de haver alcançado não só tudo aquilo que os demais desejam, como também coisas mais elevadas do que esperavam”

**(René Descartes - Discurso do Método)**

“Isto sabemos.  
Todas as coisas estão ligadas  
como o sangue  
que une uma família.

Tudo o que acontece com a Terra,  
acontece com os filhos e filhas da Terra.  
O homem não tece a teia da vida;  
ele é apenas um fio.  
Tudo o que faz à teia,  
ele faz a si mesmo.”

**(- TED PERRY, inspirado no Chefe Seattle)**

“Tu te tornas eternamente responsável por aquilo que cativas”  
**(O Pequeno Príncipe)**

“Aprender é uma coisa de que a mente nunca se cansa, nunca tem medo e nunca se arrepende”

**(Leonardo Da Vinci)**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por fortalecer minha alma a cada amanhecer, brindando minha vida com as mais diversas graciosidades, me fazendo compreender de mansinho, toda delicadeza infinita do Universo, por me dar sabedoria para seguir sempre em frente e a todos os anjos que me cercam e que me fazem sempre acreditar na essência de tudo, que é o amor.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa concedida e ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, pela oportunidade deste sonho.

Ao meu querido e grande orientador Jorge Alberto Bustamante Becerra, por toda sua atenção, amizade e paciência ao transmitir seus ensinamentos, que me proporciona, e me faz admirar e amar cada vez mais tudo que envolve a Ciência, do latim *scientia*, significa conhecimento. E ainda, por indicar caminhos em momentos de insegurança, pela competência e principalmente por todas as oportunidades concedidas para o desenvolvimento e formação.

Ao meu querido co-orientador Celso von Randow, por toda a atenção, dedicação ao transmitir sábios conhecimentos, pelas sugestões e contribuições.

A todos os amigos e funcionários do INPE, pela amizade que me acolheram, em especial a amiga Emily Ane Dionízio da Silva, que está ao meu lado dia a dia, participando na realização dos meus sonhos.

A todos os amigos do grupo CCST-INPE, pelo convívio e pela contribuição para o enriquecimento do meu intelecto.

Aos amigos de curso, em especial a Ellen Mendes e Lucas Nogueira, pela amizade sincera e pelos momentos de descontração e alegria, pessoas que a cada dia me transmitem sentimentos puros e elevados.

Aos tios e primos, em especial a Mariana Inácio e Rafael Inácio, e aos primos que mesmo ausentes, estão presentes em meu coração.

A minha preciosa família, sem os quais não poderia ter realizado este trabalho.

Aos meus amados pais, José Tadeu Reis de Carvalho e Rita de Cássia Ignácio de Carvalho, a minha amada avó, Helena Carioca dos Reis Carvalho, agradeço com toda

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS  
Relatório Final de Atividades

força pelo alicerce, amor, respeito, confiança, pelas alegrias e a educação dedicada. Ao meu amado irmão Gustavo Ignácio de Carvalho, pelo amor e grande força nas minhas conquistas.

Ao meu amado Lucas Borges Areco, pelo amor, ternura, atenção, por estar ao meu lado, pelo respeito, por acreditar em meus ideais e participar intensamente na construção dos meus sonhos.

A todos estes anjos, eu agradeço por permanecerem sempre ao meu lado.

Meus sinceros agradecimentos a todos que contribuíram diretamente ou indiretamente para realização deste precioso trabalho.

## RESUMO

Modelos de interação biosfera-atmosfera de última geração, como o modelo integrado de biosfera-IBIS (Integrated Biosphere Simulator), usam a classificação de tipos funcionais de plantas (TFP) para determinar as classes de vegetação que pela sua vez interagem com a camada limite. O IBIS utiliza 12 TFPs (que vão de árvores tropicais a gramíneas C3) definidos através de parâmetros bioclimáticos e ecofisiológicos. Esses TFPs são reagrupados em quatro estratos fitofisionômicos: campestre (estrato 1) campo-cerrado e cerrado (estrato 2), cerradão e florestas decíduas (estrato 3) e florestas perenifólias (estrato 4); onde para cada estrato é definido um valor específico de LAI. No caso da classe savana, o modelo atribui maior peso de importância e LAI para os estratos 1, 3, 4 e 2, respectivamente. Simulações do modelo IBIS em escala global, em geral, apresentam bom desempenho no hemisfério norte e médio no hemisfério sul, especialmente na América do Sul (AS). Uma das causas deste desempenho médio na AS é devido ao fato que a vegetação de savana usada pelo modelo tem as características das savanas africanas e não as do cerrado brasileiro. Neste sentido, o objetivo do projeto é identificar e caracterizar os principais TFPs usados pelo modelo IBIS para determinar a classe savana (bioma cerrado). A metodologia consistiu na aplicação de técnicas análise multitemporal de dados índice de vegetação NDVI do sensor MODIS/TERRA no período 2000-2009 para determinar os mesmos estratos fitofisionômicos usados pelo modelo. Também foram usadas métricas de fenologia para caracterizar esses estratos. Os resultados mostram uma distribuição espacial dos estratos de Noroeste para o Sudeste que seguem um gradiente de maior a menor cobertura vegetal ao longo do bioma. O estrato dominante no bioma é o 2, com 52% de cobertura, seguido do 1 (24%), 3 (15%) e 4 (9%). A análise da sazonalidade da vegetação mostra que o estrato 1 apresenta sazonalidade marcante, seguido do 2, 3 e finalmente o 4 com sazonalidade menos definida pelo fato de representarem árvores perenes que obtêm água das camadas profundas do solo, diferentemente dos outros estratos. O uso das métricas mostram que os valores mínimos de NDVI (período de maior estiagem) para todos os estratos foram registrados em 2005. Já os valores máximos (período de maior precipitação e produção de biomassa), corresponderam aos anos de 2005 e 2009 nos 4 estratos. Igualmente, a diferença anual do valor mínimo e máximo de NDVI sempre foi maior em 2005. Isto indica que nesse ano, os valores extremos de NDVI foram mais acentuados do que nos outros anos analisados, indicando em geral para todos os estratos, maior cobertura vegetal na época de chuvas, devido provavelmente a maior precipitação nessa estação, e menor cobertura na de secas, devido a uma estiagem mais prolongada.

**Palavras-chaves:** Modelo integrado de biosfera terrestre – IBIS, tipos funcionais de plantas, fenologia, sazonalidade da vegetação, índices de vegetação (NDVI e LAI).

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1- Estrutura do modelo de biosfera terrestre IBIS. ....	4
Figura 2 - Distribuição geográfica das savannas no globo terrestre. 1) América do Sul: Brasil, Colômbia e Venezuela; 2) África (oeste): Senegal, Guiné, Costa do Marfim, Gana, Benin, Nigéria, Camarões, Chade e África Central; 3) África (central/sul): Angola, R.D.Congo, Zâmbia, Malawi, Zimbábue, Moçambique, Namíbia, Botsuana, e África do Sul; 4) África (leste) Etiópia, Somália, Uganda, Quênia, Tanzânia; 5) Ásia: Índia, Burma, Laos, Tailândia, Vietnam e Camboja; 6) Oceania: Austrália. ....	7
Figura 3 - Fitofisionomias de Cerrado.....	8
Figura 4 - Diagrama de bloco da distribuição das fisionomias de cerrado sensu lato em relação à profundidade do sol na vertente de um vale. ....	10
Figura 5 - Representação dos limites do Cerrado em relação às grandes bacias hidrográficas do Brasil. ....	11
Figura 6 - Estudo comparativo da anatomia dos estômatos, da condutância estomática e taxas de transpiração foliar, entre espécies congenéricas de Mata de Galeria e Cerrado. (1) <i>Myrsine ferruginea</i> ; (2) <i>Myrsine guianensis</i> ; (3) <i>Miconia acuminata</i> e (4) <i>Miconia pohliana</i> . Onde 1 e 3 representam as de Mata de Galeria ; 2 e 4 as de Cerrado. ....	13
Figura 7 - Representação esquemática da varredura do MODIS mostrando o aumento do tamanho dos pixels com a variação do ângulo de visada.....	14
Figura 8 - Produtos utilizados para a geração do MOD15. ....	17
Figura 9 - Ilustração de como o sensor faz a medição do produto. ....	18
Figura 10 - Localização do cerrado no contexto dos biomas brasileiros. A área sombreada corresponde a cobertura dos 4 tiles (cenas) do MODIS 13Q1. Os pontos coloridos correspondem à amostragem aleatória dos estratos fitofisionômicos. Estrato 1: gramíneas-herbácea; Estrato 2: arbustos; Estrato 3: árvores decíduas; Estrato 4: árvores perenifólias.....	20
Figura 11- Diagrama dos produtos extraídos para realização do trabalho. ....	26

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS  
Relatório Final de Atividades

Figura 12 - Representação da localização do bioma Cerrado e seus respectivos tiles: (h12 e 13 v09 e v10). .....	27
Figura 13- Dinâmica sazonal da vegetação do bioma cerrado brasileiro no ano de 2002. O ano analisado foi dividido em 23 períodos (horizontal) e a vegetação em valores de LAI (vertical), esta apresenta valores entre 0 a 70. Com amostragem com N= 639 pontos, representando todos os estratos fitofisionômicos distribuídos aleatoriamente no bioma. ....	30
Figura 14- Dinâmica sazonal da vegetação do bioma cerrado brasileiro no ano de 2002. O ano analisado compõe de 23 períodos (horizontal) e a vegetação em valores de NDVI (vertical), esta apresenta valores entre 0 a 255 (de ausência a máxima cobertura vegetal). Com amostragem com N= 639 pontos, representando todos os estratos fitofisionômicos distribuídos aleatoriamente no bioma. ....	31
Figura 15- Resposta sazonal da vegetação em valores de LAI (vertical), analisando o estrato 1 (herbáceas), 23 períodos (horizontal) que compõe um ano (2002). Este estrato representa um total de 251 pontos do bioma .....	33
Figura 16- Resposta sazonal da vegetação em valores de NDVI, analisando o estrato 1 (herbáceas) 23 períodos (horizontal) que compõe um ano (2002). Este estrato representa um total de 251 pontos do bioma. ....	34
Figura 17- Resposta sazonal da vegetação em valores de LAI, analisando o estrato 2 (arbustos), em 23 períodos (horizontal) que compõe um ano (2002). Este estrato representa um total de 318 pontos do bioma. ....	35
Figura 18- Resposta sazonal da vegetação em valores de NDVI, analisando o estrato 2 (arbustos), em 23 períodos (horizontal) que compõe um ano (2002). Este estrato representa um total de 318 pontos do bioma. ....	36
Figura 19- Resposta sazonal da vegetação em valores de LAI, analisando o estrato 3 (árvores decíduas) em 23 períodos (horizontal) que compõe um ano (2002). Este estrato representa um total de 59 pontos, distribuídos aleatoriamente ao longo do bioma. ....	37
Figura 20- Resposta sazonal da vegetação em valores de NDVI, analisando o estrato 3 (árvores decíduas) no ano de 2002. Este estrato representa um total de 59 pontos distribuídos aleatoriamente ao longo do bioma. ....	38
Figura 21- Resposta sazonal da vegetação em valores de LAI, analisando o estrato 4 (árvores perenifólias) no ano de 2002. Este estrato representa um total de 11 pontos distribuídos aleatoriamente ao longo do bioma. ....	39

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS  
Relatório Final de Atividades

Figura 22- Resposta sazonal da vegetação em valores de NDVI, analisando o estrato 4 (árvores perenifólias) no ano de 2002. Este estrato representa um total de 11 pontos distribuídos aleatoriamente ao longo do bioma.....	40
Figura 23- Coeficiente de correlação entre as variáveis LAI e NDVI para cada um dos estratos fitofisionômicos analisados. A escala do NDVI é de 0 a 255 (abscissa), e a do LAI é de 0 a 70 (ordenada). .....	41
Figura 24- Coeficiente de correlação entre as variáveis LAI e NDVI para cada um dos estratos fitofisionômicos analisados. A escala do NDVI é de 0 a 255 (abscissa), e a do LAI é de 0 a 70 (ordenada). .....	42
Figura 25- Coeficiente de correlação entre as variáveis LAI e NDVI para cada um dos estratos fitofisionômicos analisados. A escala do NDVI é de 0 a 255 (abscissa), e a do LAI é de 0 a 70 (ordenada). .....	43

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1- Inicialização do LAI para os quatro TFPs que o modelo adota. ....	5
Tabela 2 - Variáveis bioclimáticas e ecofisiológicas adotadas pelo modelo para gerar os tipos de classes de vegetação, em específico a Classe de Vegetação Savana, para cada tipo funcional de planta ou Plant Functional Type (PFT). ....	23
Tabela 3 - Classificação dos principais tipos funcionais de plantas TFPs, adotadas pelo modelo IBIS, para gerar as classes de vegetação.....	24

**LISTA DE ABREVIATURAS**

AS	– América do Sul
E1	– Estrato 1 (herbáceo)
E2	– Estrato 2 (arbustivo)
E3	– Estrato 3 (árvores decíduas)
E4	– Estrato 4 (árvores perenifólias)
TFP	– Tipos Funcionais de Plantas
GCMs	– Modelos de Circulação Geral da Atmosfera
IBIS	– Modelo Integrado da Biosfera
SiB	– Modelo Simplificado da Biosfera
MODIS	– Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
NASA	– National Aeronautics and Space Administration
NDVI	– Normalized Difference Vegetation Index
QA	– Quality Assurance
TERRA	– Earth Observing System
AQUA	– Earth Observing System
ENVI	– Environment for Visualizing Images
EOS	– Earth Observing System
EVI	– Enhanced Vegetation Index
Fpar	– Fraction of Photosynthetically Active Radiation
LAI	– Leaf Area Index
INPE	– Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS  
Relatório Final de Atividades

**SUMÁRIO**

CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO .....	1
1. 1 INTRODUÇÃO .....	1
1. 2 OBJETIVOS DO TRABALHO .....	2
CAPÍTULO 2- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	3
2. 1 Modelos de Interação Biosfera Terrestre .....	3
2. 2 Descrição do modelo integrado de biosfera terrestre - IBIS .....	3
2. 3 Savanas Tropicais.....	5
2. 4 Cerrado Brasileiro .....	7
2. 5 Tipos Funcionais de Plantas.....	11
2. 6 Características gerais do sensor MODIS.....	14
CAPÍTULO 3- MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3. 1 Área de estudo .....	19
3. 2 Material .....	21
3. 3 Métodos.....	22
CAPÍTULO 4- RESULTADOS .....	29
4. 1 Análise Geral.....	29
4. 2 Análise Específica .....	32
4. 3 Análise de Correlação.....	41
CONCLUSÃO.....	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO E OBJETIVOS DO TRABALHO

#### 1.1 INTRODUÇÃO

Modelos de interação biosfera-atmosfera de última geração, como o modelo integrado de biosfera-IBIS (Integrated Biosphere Simulator), usam a classificação de tipos funcionais de plantas (TFPs) para determinar as classes de vegetação que pela sua vez interagem com a camada limite.

O modelo de biosfera terrestre IBIS, utiliza a combinação de doze TFPs, onde cada TFP é caracterizado em termos de biomassa (carbono nas folhas, troncos e raízes finas) e índice de área foliar (LAI, Leaf Area Index), para a representação das classes de vegetação adotadas pelo modelo.

Simulações do modelo IBIS em escala global, em geral, apresentam bom desempenho no hemisfério norte e médio no hemisfério sul, especialmente na América do Sul (AS). Uma das causas deste desempenho médio na AS é devido ao fato que a vegetação de savana usada pelo modelo tem as características das savanas africanas e não as do cerrado brasileiro.

O cerrado (savana tropical brasileira) é um bioma que apresenta uma elevada complexidade em sua formação vegetal, com alta diversidade alfa (de espécies) e beta (de paisagens). Estes atributos permitem a ocorrência de comunidades vegetais com diferentes características funcionais com maior ou menor caducifólia, em função de gradientes latitudinais e longitudinais. Portanto, o Cerrado é considerado um mosaico de formações vegetais, cuja representação em modelos de superfície ainda é um desafio (BECERRA, 2010).

A identificação e caracterização dos principais TFPs são aspectos importantes, que tornam possível a caracterização de biomas em um grau de complexidade menor, possibilitando um aprimoramento da modelagem de sistemas ecológicos em escala regional e global.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS  
Relatório Final de Atividades

O sensoriamento remoto, tido como uma fonte contínua e regular para a obtenção de dados de superfície terrestre pode prover um monitoramento sistemático desse bioma (DUARTE et al., 2003). Assim, com base nas características fitofisionômicas do cerrado, obtidas pelo sensor orbital MODIS/TERRA, a partir dos produtos como os índices de vegetação Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) e LAI, os quais se aplicam em ecologia terrestre, indicam que as imagens fornecidas por sensoriamento remoto, possibilitam uma análise temporal e espacial adequada da fenologia da vegetação. Considerando a necessidade de aprimorar a representação do modelo de biosfera terrestre IBIS, em particular a classe de vegetação do cerrado brasileiro (savana), dados de sensoriamento remoto, forneceram um banco de dados contendo imagens que possibilitaram uma identificação mais detalhada da fisionomia existente na região.

## **1. 2 OBJETIVOS DO TRABALHO**

Os objetivos deste projeto é identificar e caracterizar os principais tipos funcionais de plantas, sendo estes, compatíveis aos estratos fitofisionômicos, que caracterizam o bioma cerrado brasileiro a partir da elaboração de um banco de dados, incluindo as forçantes bióticas e abióticas, onde os TFPs representam a combinação dessas forçantes associadas ao desenvolvimento e manutenção da vegetação (WOODWARD; CRAMER, 1996 e GITAY; NOBLE, CONNELL, 1999). A outra motivação é a possibilidade dos resultados obtidos neste trabalho serem aplicadas no modelo de biosfera terrestre IBIS, ou seja, utilizar os valores analisados para os estratos fitofisionômicos a partir dos dados obtidos por sensoriamento remoto, aplicando-os como novos parâmetros no IBIS, para uma melhor classificação da classe de vegetação Savana (cerrado brasileiro).

## CAPÍTULO 2

### 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 2.1 Modelos de Interação Biosfera Terrestre

Modelos de biosfera terrestre são do tipo mecanísticos, porém, tendem representar as interações envolvidas entre os sistemas físicos, químicos e biológicos da biosfera. São também desenvolvidos para o monitoramento preciso e tem se tornado crucial para detectar as mudanças dos ecossistemas e estimar de forma eficaz o cenário futuro.

Atualmente, os modelos incorporam uma série de processos do sistema terrestre relacionados à superfície continental como, por exemplo, processos biogeofísicos de maneira geral (fluxos de superfície, turbulência, etc.), fenologia e dinâmica de vegetação, ciclo do carbono terrestre, outros ciclos biogeoquímicos, hidrologia superficial, e emissões de gases-traço, VOCs, poeiras e aerossóis (OLESON et al., 2008).

Os modelos são forçados por seis tipos de variáveis meteorológicas: radiação de onda curta incidente, radiação de onda longa incidente, temperatura e umidade do ar, módulo da velocidade horizontal do vento, e precipitação. Conforme a configuração, esses dados são fornecidos por estação meteorológica, por dados de reanálise, ou calculados por um modelo atmosférico. (COSTA et al., 2009).

Quanto à utilização de tipos funcionais de plantas em modelos de biosfera terrestre, estes modelos, proporcionam uma simplificação e generalização da vegetação, tornando-os ferramentas apropriadas para simular a dinâmica das comunidades vegetais em diferentes ecossistemas.

#### 2.2 Descrição do modelo integrado de biosfera terrestre - IBIS

O IBIS faz parte de uma nova geração de modelos de biosfera global, classificado como um modelo dinâmico da vegetação global, que considera as

mudanças ocorridas na composição e estrutura da vegetação em resposta as condições ambientais. Este modelo compreende diversos processos, incluindo as interações entre a superfície e a atmosfera, ciclos de CO<sub>2</sub> e nutrientes, e dinâmica da vegetação (FOLEY et al., 1996; KUCHARIK et al., 2000).

O modelo segue uma hierarquia conceitual (Figura 1) e inclui submodelos organizados de acordo com a escala temporal: processos de superfície (transferência de energia, água, CO<sub>2</sub> e momentum), biogeoquímica do solo (ciclo do nitrogênio e do CO<sub>2</sub>), dinâmica da vegetação (competição das plantas por luz, água e nutrientes) e fenologia (baseada no crescimento medido por grau-dia) (IMBUZEIRO, 2005).

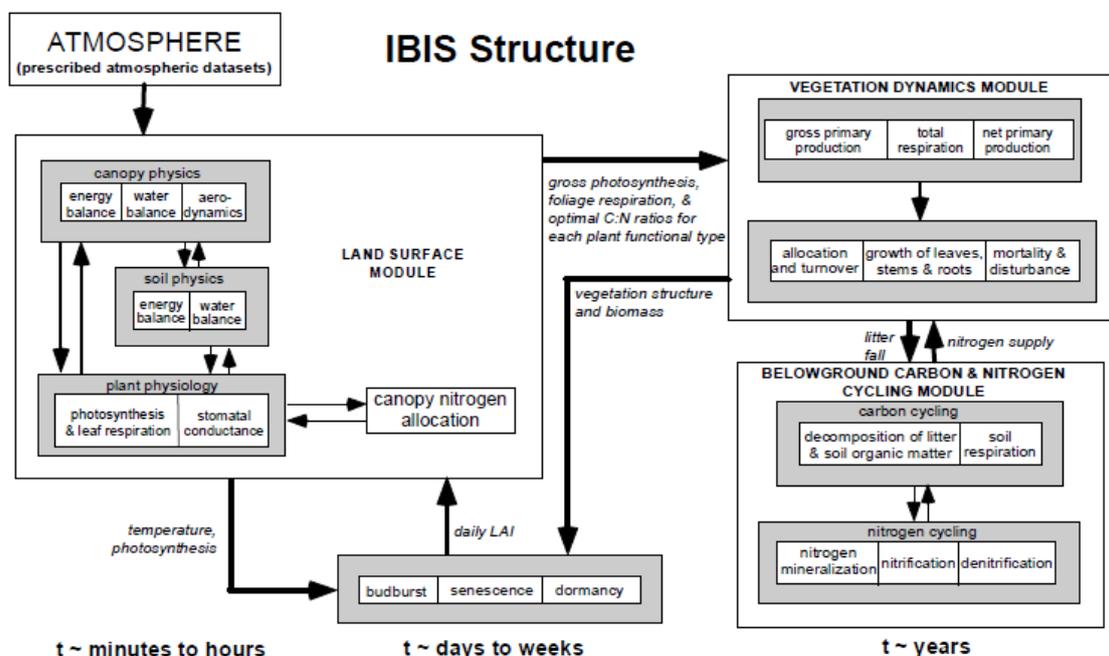


Figura 1- Estrutura do modelo de biosfera terrestre IBIS.

Fonte: Foley 1996.

Quanto aos tipos funcionais, o IBIS utiliza doze (TFPs), onde a descrição destas TFPs resulta em três pools de biomassa de carbono: nas folhas, troncos e raízes finas. Os parâmetros de alocação e volume de CO<sub>2</sub> são fixos para os TFPs.

O LAI de cada TFP é obtido dividindo carbono foliar pela área específica da folha. Em relação à concorrência entre os TFPs dentro da mesma camada de vegetação, é motivada pelas diferenças na elaboração anual do balanço de carbono resultantes de

diferentes estratégias ecológicas, incluindo diferenças na fenologia (sempre verdes vs decíduas), forma foliar (agulhas e folhas largas) como também as diferenças nas rotas fotossintéticas (C3 e C4) vegetação (FOLEY o et al., 1996; KUCHARIK et al., 2000).

A Tabela 1 ilustra os valores de LAI que o modelo adota para os quatro estratos: herbáceo, arbustivo, árvores decíduas e árvores perenifólias, referente à classe de vegetação Savana (Cerrado brasileiro).

Tabela 1- Inicialização do LAI para os quatro TFPs que o modelo adota.

Classe Savana	
PFT	Valor de lai
<b>plaievgr</b>	0.50
<b>plaideci</b>	1.00
<b>plaishrub</b>	0.50
<b>plaigrass</b>	2.00

Fonte: Foley & Kucharick (1996, 2000).

O modelo de biosfera terrestre considera o E1(plaigrass = gramíneas) com maior dominância no bioma Cerrado, em seguida dos estratos 3 ( plaideci = árvores decíduas), 4 (plaievgr = árvores perenifólias) e 2 (plaishrub= arbustos) respectivamente.

### 2. 3 Savanas Tropicais

No contexto histórico, diversas definições feitas por autores influentes, foram atribuídas para as savanas. Em geral, as definições levam em consideração aspectos fisionômicos, climáticos (estacionais), latitudinais, geográficos, florísticos, ecológicos (competição), eventos como fogo, além de sugerir dinâmica (tempo).

Cole 1986, define o termo savana como uma vegetação que compreende um estrato graminoso contínuo, usualmente com árvores e/ou arbustos exibindo características estruturais e funcionais similares. Inclui comunidades de composição florística variável, variando fisionomicamente de um campo puro, até arvoredos

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS  
Relatório Final de Atividades

decíduos e ainda considera invariavelmente, a transição entre a savana e a floresta tropical sendo bem definida e abrupta.

Já Walter, 1951, define savana como sistemas ecológicos formados por pradarias tropicais, nas quais algumas espécies isoladas de lenhosas vivem em competição com gramíneas e outras herbáceas.

Eiten 1968, 1972, define como campo gramíneo com árvores ou arbustos ou arvoredos espalhados.

E Mistry, 2000, define savana como ecossistemas dinâmicos determinados pela umidade e nutrientes disponíveis para as plantas, pelo fogo e herbivoria, a diferentes escalas espaciais e temporais.

As savanas são estabelecidas em um ambiente característico que é extremamente dinâmico e heterogêneo em termos espaciais e temporais. Este bioma é resultado de diversas variáveis que se interagem e que tornam este ambiente único.

A dinâmica que acontece dentro deste sistema é responsável pela estrutura e seu funcionamento. Há uma intrínseca rede de relações, como as interações entre as diversas variáveis, incluindo a disponibilidade de água, disponibilidade de nutrientes, fogo, herbivoria como também a intervenção humana.

As savanas tropicais cobrem cerca de 23 milhões de km<sup>2</sup>, o que equivale a 20% da superfície terrestre, situadas entre as florestas equatoriais úmidas e as regiões áridas e semi-áridas das latitudes intermediárias (COLE 1986, COLLISON 1988). Encontram-se distribuídas em quatro continentes: África com 65% de cobertura, 60% da Austrália, 45% da América do Sul e 10% da Índia e Sudeste Asiático (COLE 1986). Importantes fatores ambientais são determinantes para a ocorrência desse Bioma, como clima, solo, hidrologia, geomorfologia, fogo e pastagem de animais (COLE 1986, MISTRY 2000).

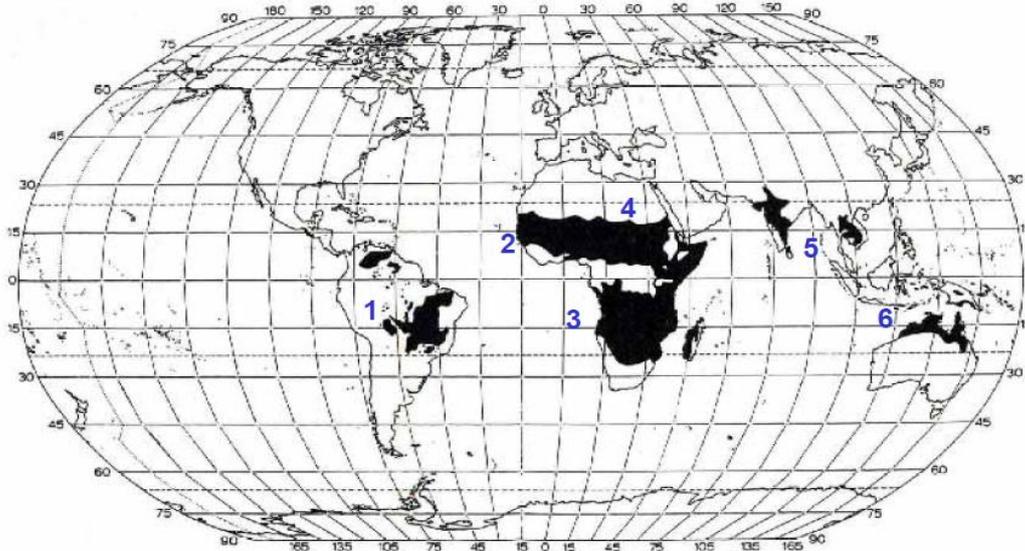


Figura 2 - Distribuição geográfica das savannas no globo terrestre. 1) América do Sul: Brasil, Colômbia e Venezuela; 2) África (oeste): Senegal, Guiné, Costa do Marfim, Gana, Benin, Nigéria, Camarões, Chade e África Central; 3) África (central/sul): Angola, R.D. Congo, Zâmbia, Malawi, Zimbábue, Moçambique, Namíbia, Botsuana, e África do Sul; 4) África (leste) Etiópia, Somália, Uganda, Quênia, Tanzânia; 5) Ásia: Índia, Burma, Laos, Tailândia, Vietnam e Camboja; 6) Oceania: Austrália.  
Fonte: Adaptada (Young e Solbrig, 1993).

A quantidade e distribuição da precipitação são os principais responsáveis nas variações climáticas e vegetacionais nas regiões tropicais. Nessas regiões, os solos são mais intemperizados do que em regiões temperadas, devido à estabilidade geológica das paisagens tropicais por longos períodos, especialmente na América do Sul e África, devido às grandes quantidades de chuvas (LATHWELL; GROUVE 1986).

#### 2. 4 Cerrado Brasileiro

O Cerrado é uma formação do tipo savana tropical, ocupa cerca de dois milhões de quilômetros quadrados no Brasil Central, representando 23% do território nacional, e é o segundo bioma em extensão, depois da Floresta Amazônica (EITEN, 1972; DIAS, 1992). Está presente nos estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, oeste da Bahia, oeste de Minas Gerais e o Distrito Federal, estendendo-se para o norte do Maranhão e Piauí e com filamentos em Rondônia e no Estado de São

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS  
Relatório Final de Atividades

Paulo. Áreas isoladas de cerrado também são encontradas nos estados do Amapá, Amazonas, Pará, Roraima e pequenas ilhas no Paraná (RATTER et al. 1997).

Este bioma é um complexo de formações vegetais, apresenta um mosaico de fitofisionomias, constituindo-se desde formações campestres (campo limpo), savânicas (campo sujo, campo cerrado e cerrado *stricto sensu*) até formações florestais (cerradão), florestas decíduas e florestas de galeria. A distribuição fitofisionômica do bioma está associada pela ocorrência do bioma ao longo de uma ampla faixa latitudinal.

A distribuição espacial e estrutura vertical da vegetação natural são determinadas pela interação de fatores ambientais abióticos e bióticos, como clima, solo, geomorfologia e fauna associada a estes ambientes naturais. Estas interações permitem também que a cobertura vegetal tenha um papel importante nos sistemas climáticos, devido a trocas de energia, água e gases com a atmosfera e também como fonte de produção e seqüestro de gases no ciclo biogeoquímico (SELLERS et al., 1997).

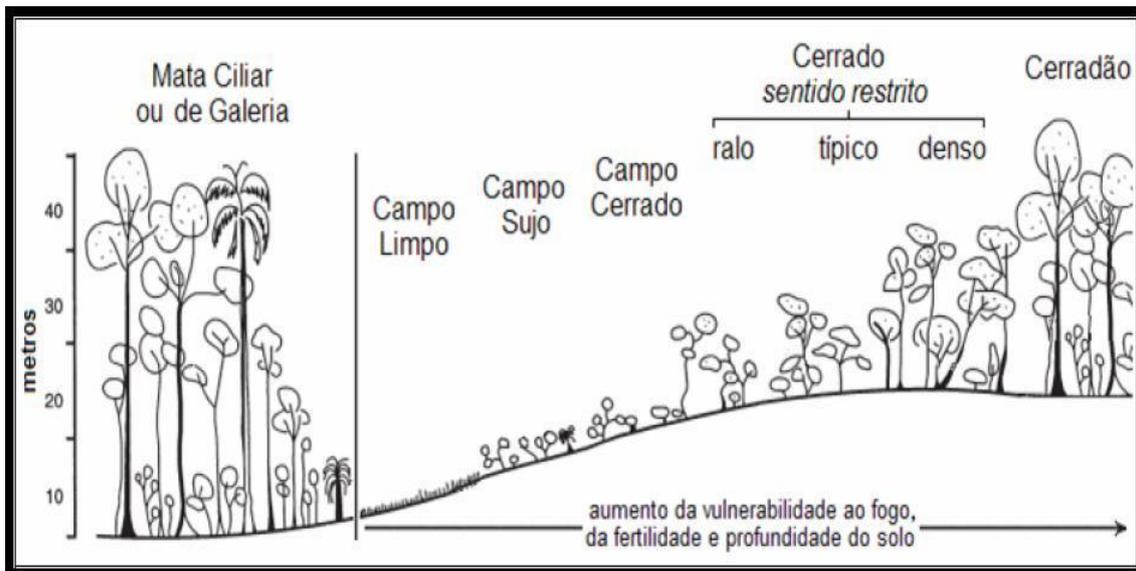


Figura 3 - Fitofisionomias de Cerrado

Fonte: Adaptada (Ribeiro & Walter e Ottmar et al. 1998, 2001).

Os cerrados brasileiros são marcados por uma forte sazonalidade pluviométrica; sendo o verão (outubro a abril) quente e chuvoso e o inverno (maio a setembro) frio e seco. De acordo com Becerra, um dos principais fatores climáticos que

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS  
Relatório Final de Atividades

influencia a ocorrência e distribuição espacial e temporal das fisionomias de cerrado é a precipitação pluvial.

Segundo Franco (2002), o sucesso de uma espécie vegetal neste tipo de ambiente depende, principalmente, da sua capacidade de manter um balanço hídrico adequado durante o período da seca, minimizando assim os efeitos que os déficits hídricos possam causar no balanço de carbono. Além da alta sazonalidade, os cerrados brasileiros são caracterizados pela baixa disponibilidade nutricional no solo (GOODLAND; POLLARD 1973) e pela presença freqüente de fogo (COUTINHO 1978); sendo estes estresses marcantes na determinação das fisionomias existentes no bioma.

O Latossolo predomina na região dos cerrados (GOODLAND 1971), representando cerca de 46% dos seus solos, seguido pelo Neossolo Quartzarênico com 15,2% (REATTO et al., 1998, 2005).

Os Latossolos são solos altamente intemperizados, os Neossolos Quartzarênicos são solos profundos, apresentando textura arenosa, constituídos essencialmente de quartzo, com máximo de 15% de argila, são muito porosos e excessivamente drenados (EMBRAPA CERRADOS, 2005).

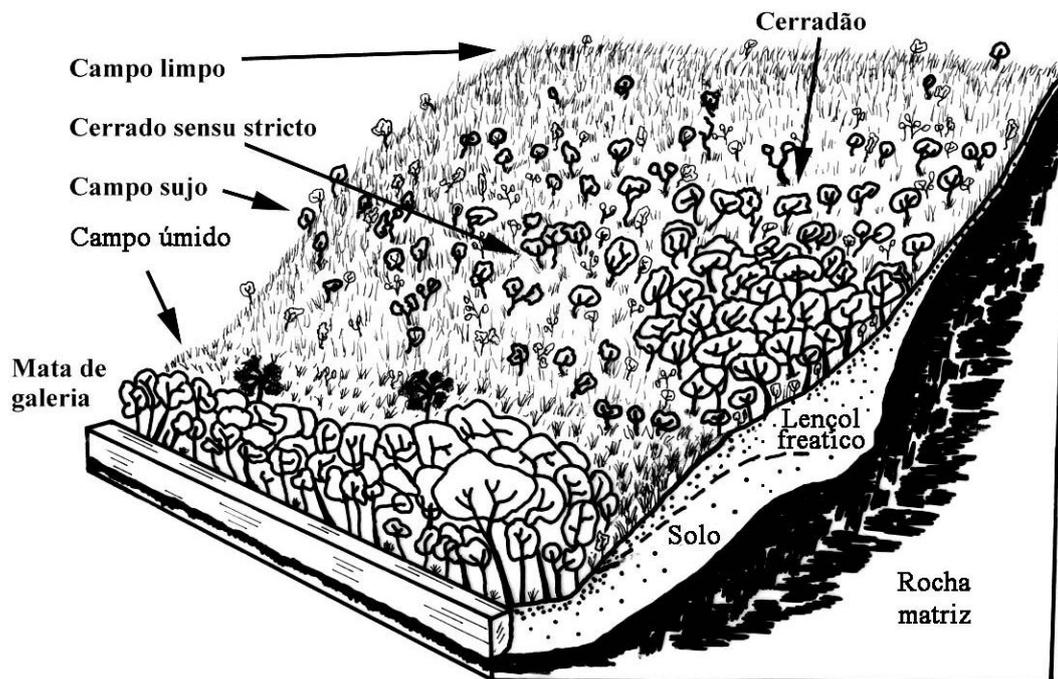


Figura 4 - Diagrama de bloco da distribuição das fisionomias de cerrado sensu lato em relação à profundidade do sol na vertente de um vale.

Fonte: Adaptada (Embrapa Cerrados, 2005).

Este bioma brasileiro representa um ambiente com recursos naturais valiosos, além das diferenças na sua fisionomia, apresentando uma alta diversidade em espécies florísticas, como em sua fauna, também se revela rico no ponto de vista hidrológico.

A região de Cerrado possui diversas nascentes de rios e, conseqüentemente, importantes áreas de recarga hídrica, que contribuem para grande parte das bacias hidrográficas brasileiras (EMBRAPA CERRADOS, 2005).

Sua elevada biodiversidade, atualmente estimada em seis mil espécies vegetais vasculares (MENDONÇA et al., 1998), é favorecida pela presença de três das maiores bacias hidrográficas da América do Sul (Tocantins, São Francisco e Paraná) (LATRUBESSE et al., 2005), além de uma extensa diversidade de solos, geologia e queimadas naturais (EITEN, 1972).

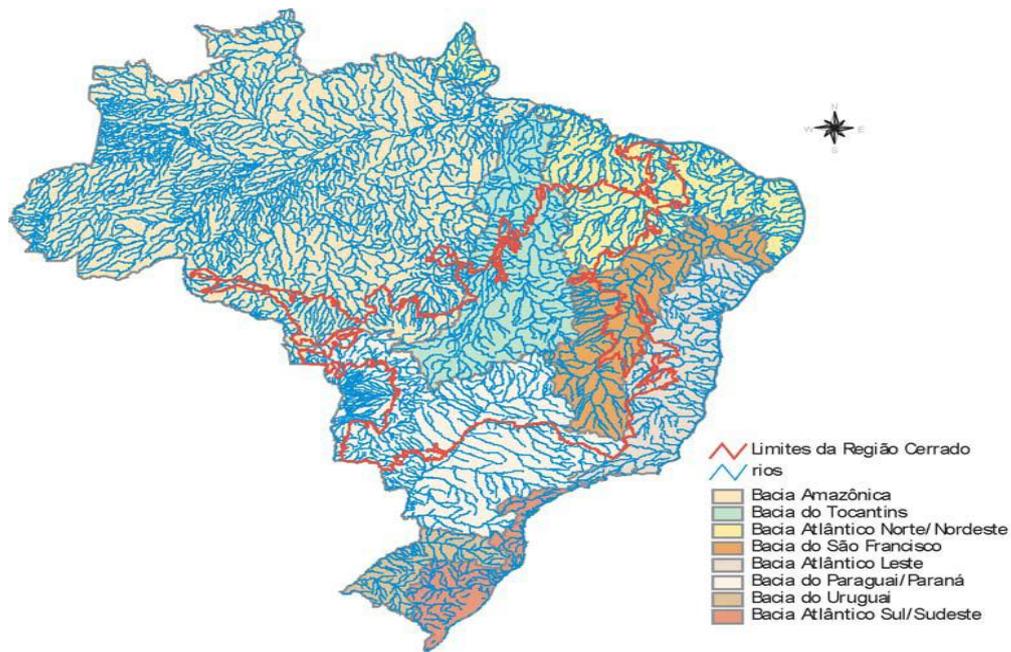


Figura 5 - Representação dos limites do Cerrado em relação às grandes bacias hidrográficas do Brasil.

Fonte: Adaptada (Embrapa Cerrados, 2005).

## 2. 5 Tipos Funcionais de Plantas

Sabe-se que os tipos funcionais de plantas são grupos de plantas que apresentam funções similares quanto à resposta ambiental, ao efeito na comunidade.

Estas semelhanças são baseadas pelo fato que este grupo vegetal tende a partilhar um conjunto de características-chave funcional que permitem a compreensão da relação entre vegetação e o ambiente (CORNELISSEN, 2003). Entre os principais atributos funcionais estão às características morfológicas, ecofisiológicas, bioquímicas, biofísicas, demográficas, hábito da planta (erva, arbusto, árvore), altura, deciduidade, modo de dispersão, modo de polinização, entre outros. Segundo Pillar 1999, os atributos mais relevantes são expressões observáveis de formas ou comportamentos associados, quanto à ocorrência ou performance dos organismos, a alterações em variáveis ecológicas.

Dentro das características funcionais, foi visto que os estômatos assumem um papel fundamental para a regulação dos fluxos de gases no vegetal e a densidade estomática, apresentando propriedades de regulação, como a abertura, onde ocorre a

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS  
Relatório Final de Atividades

absorção de CO<sub>2</sub> através da fotossíntese e o seu fechamento, para evitar perda de água por transpiração, havendo uma regulação temporal que ocorre noite e dia. O grau de abertura do poro estomático e a sua regulação são essenciais para a adaptação de espécies de ambientes que apresentem uma estação seca bem definida como o bioma Cerrado. A morfologia dos estômatos e sua densidade afetam a área de difusão dos gases e sua trajetória através dos poros estomáticos. Nota-se que existe uma relação inversa e proporcional, onde quanto maior a densidade estomática (número de estômatos por área) menor é o estômato. Pode ser postulado que as espécies do cerrado apresentam uma maior densidade estomática e estômatos menores, e que há diferenças entre estas características para espécies florestais. Esses atributos são relevantes quando falamos em adaptação de espécies, pois tais atributos podem revelar a capacidade de ajustar estas características às pressões ambientais.

Entretanto, através do estudo comparativo da anatomia dos estômatos, da condutância estomática e taxas de transpiração foliar, entre espécies congênicas de Mata de Galeria e Cerrado, (Figuras 6), foi visto que ao contrário do que foi postulado, as espécies de Mata de Galeria tais como *Myrsine ferruginea* e *Miconia acuminata* apresentaram uma maior densidade estomática, conseqüentemente apresentando estômatos em menor dimensão em relação às espécies *Myrsine guianenses* e *Miconia pohliana* referentes ao Cerrado, que apresentaram maiores dimensões dos poros estomáticos, porém em menor densidade. Uma das possíveis explicações seria pelo fato de que, como as espécies do Cerrado apresentam extensas raízes, possibilitando a busca por água em camadas mais profundas do solo, durante a estação seca.

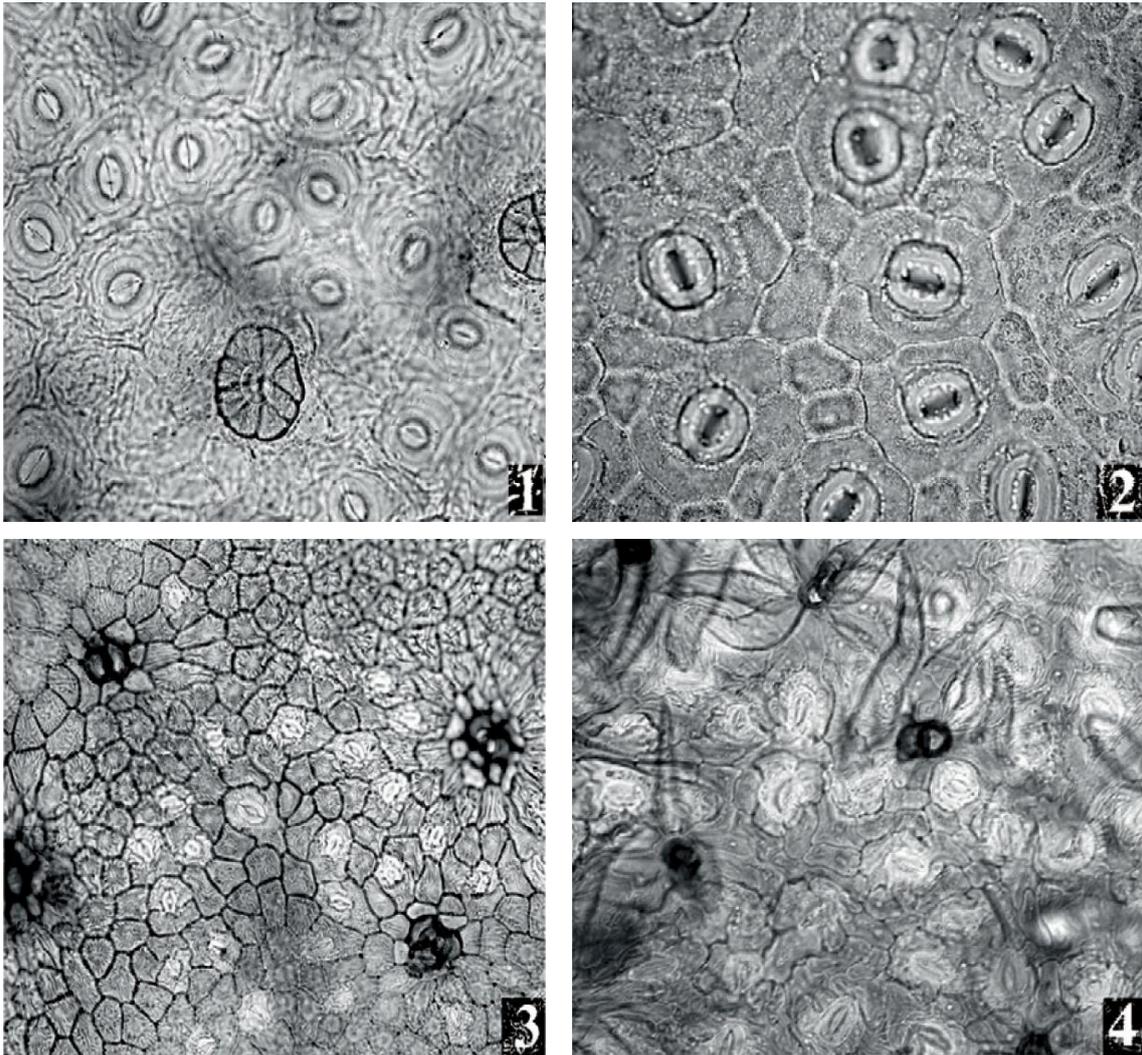


Figura 6 - Estudo comparativo da anatomia dos estômatos, da condutância estomática e taxas de transpiração foliar, entre espécies congênicas de Mata de Galeria e Cerrado. (1) *Myrsine ferruginea*; (2) *Myrsine guianensis*; (3) *Miconia acuminata* e (4) *Miconia pohliana*. Onde 1 e 3 representam as de Mata de Galeria ; 2 e 4 as de Cerrado.

Fonte: Adaptada (Rossato, 2009).

De acordo com Cornelissen 2003, há um crescente reconhecimento de que a classificação das espécies vegetais terrestres, em base em seus aspectos funcionais (tipos funcionais de plantas), ao invés de sua identidade taxonômica, consiste em um caminho promissor para a resolução de importantes questões ecológicas em escala de ecossistemas, paisagens ou biomas.

## 2. 6 Características gerais do sensor MODIS

O sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) a bordo dos satélites TERRA e AQUA, que foram lançados em 1999 e 2002, respectivamente, é um sistema que foi desenvolvido pela EOS/NASA (Earth Observing System/ National Aeronautics).

O sensor MODIS foi projetado para satisfazer os requerimentos de três campos de estudos diferentes: atmosfera, oceano e terra, com bandas de resolução espectral e espacial selecionadas para o conhecimento de diferentes necessidades observacionais e para oferecer uma cobertura global quase diariamente (JUSTICE, 2002).

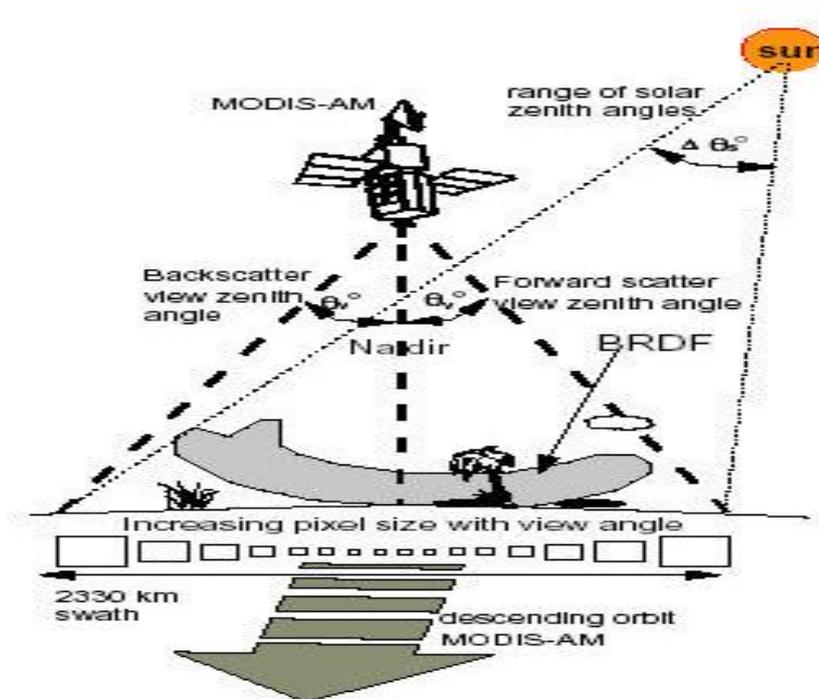


Figura 7 - Representação esquemática da varredura do MODIS mostrando o aumento do tamanho dos pixels com a variação do ângulo de visada.

Fonte: Adaptada (Anderson et al, 2003).

A importante aplicação da informação precisa sobre a cobertura global da superfície está na inferência de parâmetros, que influenciem, tanto nos processos biofísicos, quanto nas trocas de energia entre a atmosfera e a superfície terrestre. Estes parâmetros têm por finalidade identificar tipos de cobertura terrestre para a parametrização através das informações espectrais, temporais, espaciais e direcionais contidas nos sensores, citando como exemplo, o próprio MODIS. Nesse sentido, o objetivo dos produtos gerados pelo sistema MODIS está, basicamente, na quantificação e detecção das mudanças da cobertura terrestre, e nos processos naturais e antrópicos, auxiliando assim, nos diversos modelos regionais e globais existentes (ANDERSON et al., 2003).

O sensor MODIS dispõe de diversos produtos, entre eles o produto MOD13Q1 e MOD15A2, que serão descritos mais detalhadamente a seguir.

### **2.6. 1 Produto MOD13Q1 e MOD15A2**

Os objetivos dos índices de vegetação do MODIS são:

- Gerar índices de vegetação em imageamentos sem nuvens;
- Maximizar a cobertura global e temporal na resolução espacial mais fina possível;
- Padronizar dados de acordo com a posição sol-sensor-alvo;
- Assegurar a qualidade e a consistência dos dados;
- Descrever e reconstituir dados de variações fenológicas;
- Discriminar com precisão variações interanuais na vegetação.

O índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) é uma relação entre medidas espectrais (reflectância -  $r$ ) de duas bandas, a do infravermelho próximo (800-1100 nm) e a do vermelho (600-700 nm), e visa eliminar diferenças sazonais do ângulo do Sol e minimiza os efeitos da atenuação atmosférica, observados para dados multitemporais. Os valores obtidos com o NDVI são contidos em uma mesma escala de valores, entre -1 e 1.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS  
Relatório Final de Atividades

Uma peculiaridade atribuída ao NDVI é a rápida saturação, o que o torna insensível ao aumento da biomassa vegetal a partir de determinado estágio de desenvolvimento (MOREIRA, 2001).

O MOD 13 possui dois índices de vegetação, o índice da diferença normalizada (NDVI) e o índice de vegetação melhorado (EVI), que são produzidos globalmente com 1 Km e 500 m de resolução e composições no período de 16 dias (Figura e). Enquanto o NDVI é sensível à clorofila, o EVI é mais sensível à variações na resposta estrutural do dossel, incluindo o índice de área foliar (LAI), a fisionomia da planta e a arquitetura do dossel (HUETE *et al.*, 2002).

O MOD 15 é o *Leaf Area Index* (LAI) e a Fração da Radiação Absorvida pela Vegetação Fotossinteticamente Ativa (FPAR), fornecidos diariamente, em uma base de 8 ou 32 dias. O LAI representa uma importante propriedade estrutural do dossel da vegetação, medindo a área de folhas por unidade de área de terreno. O FPAR mede as proporções da radiação disponível nos comprimentos de onda que a vegetação fotossinteticamente ativa absorve -400 a 700 nm.

Estas são as variáveis biofísicas que descrevem a estrutura do dossel e estão relacionados a processos funcionais de taxas de energia e troca de massa. Para tanto, têm sido utilizadas exaustivamente, como parâmetros derivados de dados de satélite para o cálculo de fotossíntese, evapotranspiração e produtividade primária líquida (MYNENI *et al.*, 2002).

Para gerar o produto MOD15 é considerada a integração de outros produtos, ilustrado pelos diagramas abaixo:

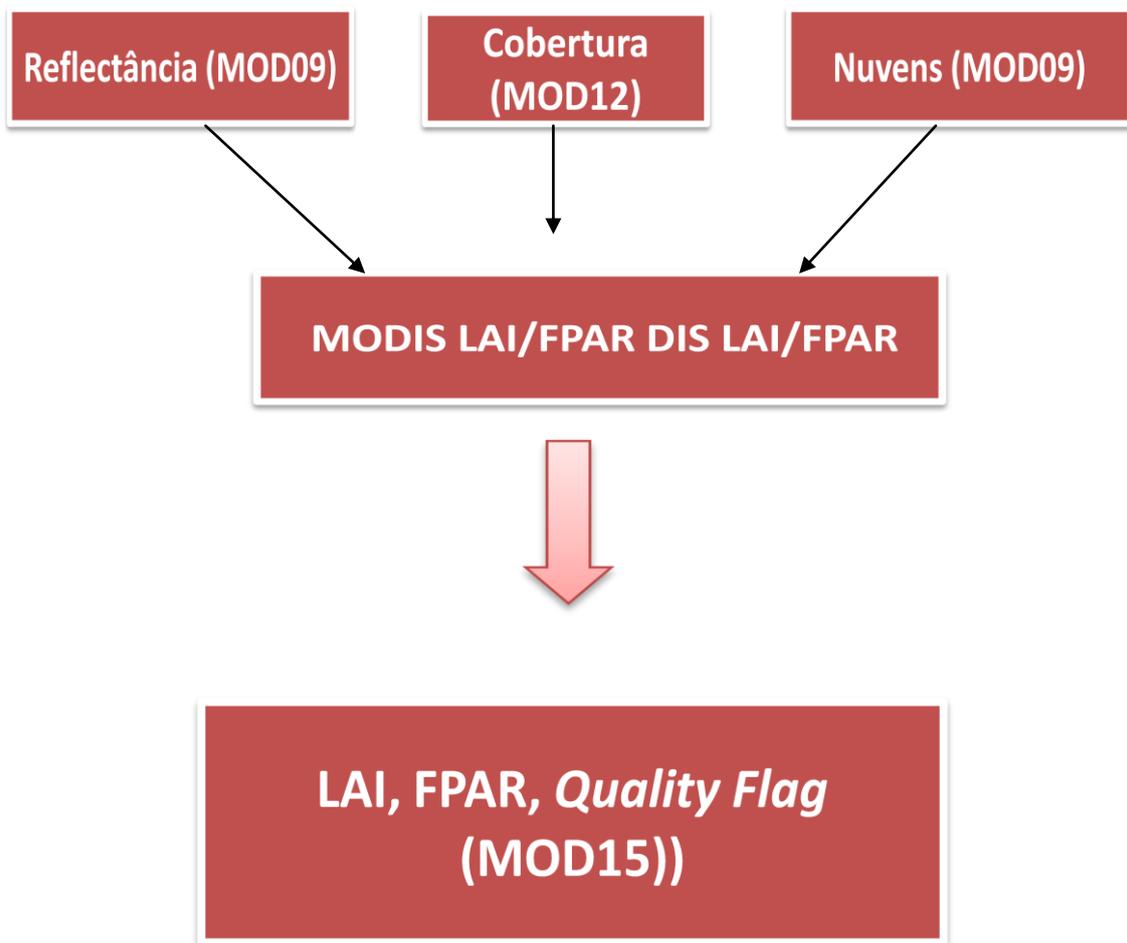


Figura 8 - Produtos utilizados para a geração do MOD15.  
Fonte: Adaptada (Anderson, 2003).

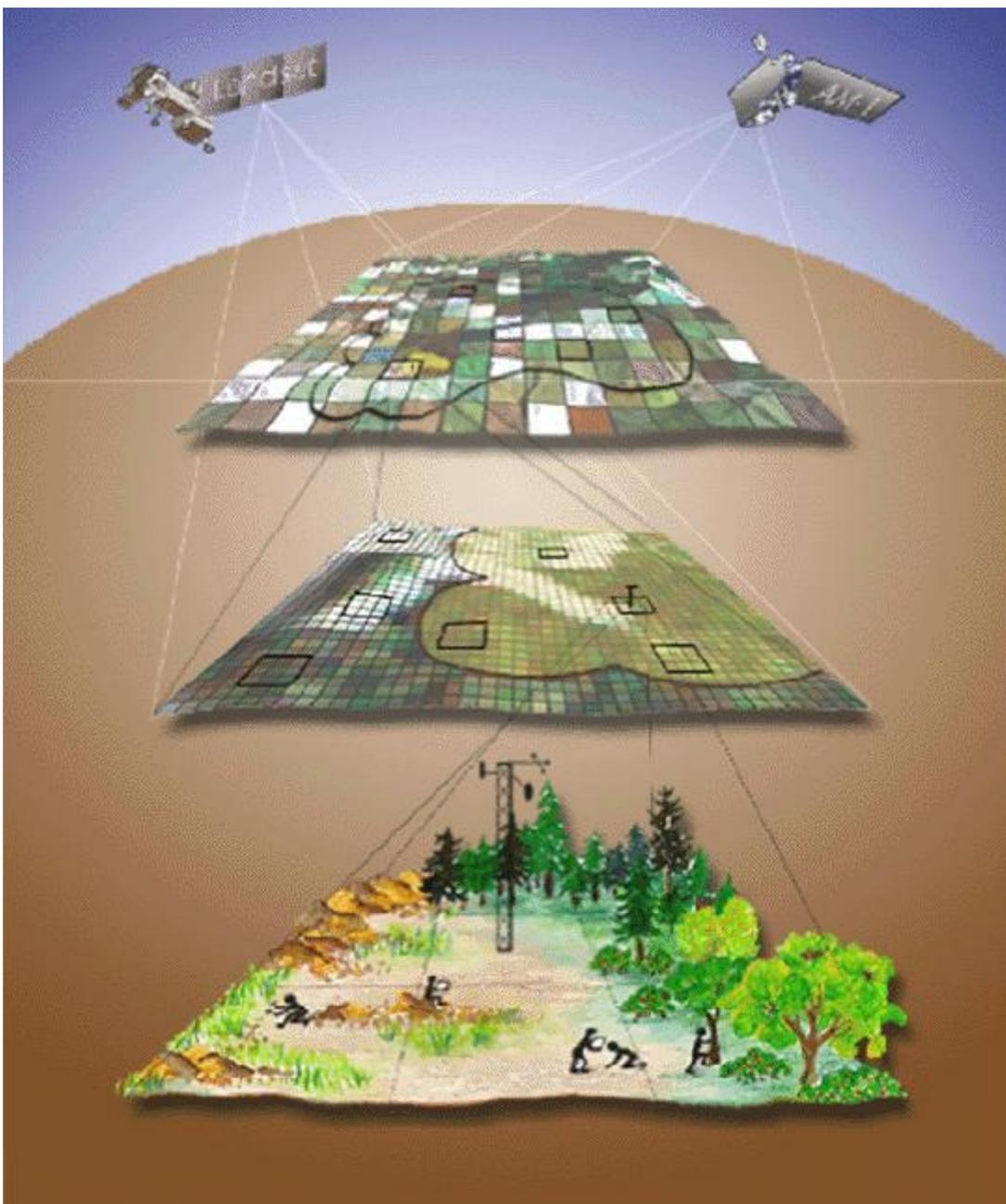


Figura 9 - Ilustração de como o sensor faz a medição do produto.  
Fonte: Adaptada (R. B. Myneni, Y. Knyazikhin, 1999).

### CAPÍTULO 3

#### 3 MATERIAL E MÉTODOS

##### 3.1 Área de estudo

O Bioma Cerrado (savana tropical brasileira) representa uma área de 2 milhões de km<sup>2</sup>, cobrindo a 22% do território nacional, perdendo em extensão somente para a Floresta Amazônica. Este bioma é uma formação complexa de vegetação, caracterizada por um mosaico de fisionomias que variam desde campos, passando por vegetação arbustiva esparsa até matas, mostrando assim uma grande variabilidade estrutural e grandes diferenças em porte e densidade (EITEN, 1972; IBGE 1992).

Apesar de possuir uma grande importância ecológica, o Cerrado é um dos biomas mais ameaçados no mundo, considerado como um hotspot (MYERS et al., 2000) e a remoção das áreas nativas tem sido muito acelerada nas últimas décadas (AGUIAR et al., 2004).

A vegetação do bioma estende-se pelo Brasil Central em uma diagonal entre o litoral nordeste a leste e o Chaco a oeste (IBGE 2006), situado entre as latitudes 3° - 24° S e longitude 41° - 63 W.

A sazonalidade é bem definida neste bioma, com verões chuvosos (outubro a março) e invernos secos (abril a setembro) (clima Tropical sazonal).

No período de maior estiagem há um maior estresse hídrico, ocasionando uma perda total ou parcial das folhas, novas folhas serão novamente produzidas num período com maior disponibilidade hídrica no solo (período chuvoso). Entretanto, apesar do bioma se encontrar neste contraste de clima, o período de seca não impossibilita o desenvolvimento da vegetação, levando em consideração que a grande maioria das espécies encontradas neste ambiente, apresenta um sistema radicular extenso, o que possibilita a captura de água nas camadas mais profundas dos solos durante o período de maior estiagem.

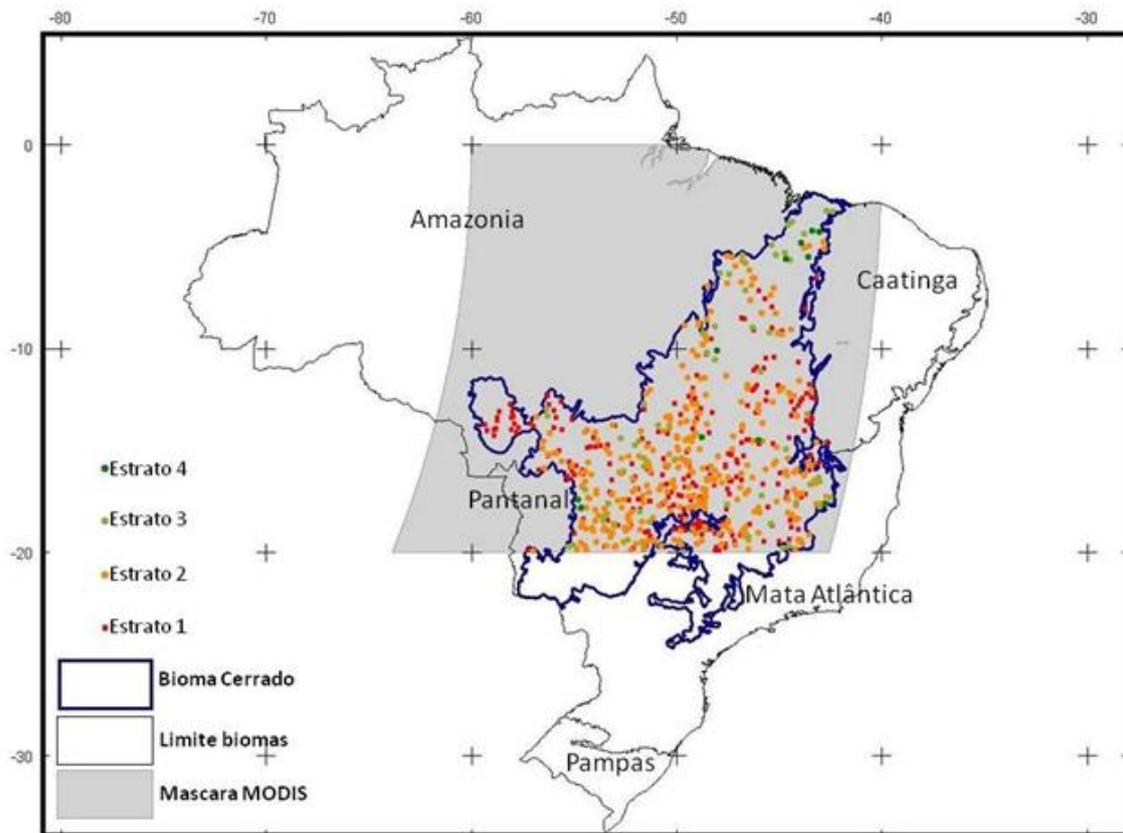


Figura 10 - Localização do cerrado no contexto dos biomas brasileiros. A área sombreada corresponde a cobertura dos 4 tiles (censo) do MODIS 13Q1. Os pontos coloridos correspondem à amostragem aleatória dos estratos fitofisionômicos. Estrato 1: gramíneas-herbácea; Estrato 2: arbustos; Estrato 3: árvores decíduas; Estrato 4: árvores perenifólias. Fonte: Adaptada de Becerra (2010).

A área de estudo é gerada a partir de um mosaico dos seguintes *Tiles*: h12v09, h12v10, h13v09 e h13v10; com latitude Sul de 0 a -20° e longitude Oeste de -60 a -40. Esta área assim definida cobre 90% do bioma do cerrado não cobrindo o extremo sul do bioma, abaixo do 20° LS (Figura 9).

### 3.2 Material

Os materiais utilizados neste trabalho foram:

- Análise bibliográfica sobre o modelo integrado de biosfera-atmosfera IBIS, sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), tipos funcionais de plantas e o bioma Cerrado.
- O modelo integrado de biosfera terrestre IBIS. A versão utilizada foi a 0D.
- Classificação de tipos funcionais de vegetação usado no modelo IBIS.
- Classificação da vegetação usada pelo modelo IBIS.
- Os índices analisados neste trabalho são LAI e NDVI. O LAI é uma variável biofísica que descreve a estrutura do dossel e está relacionada a processos funcionais de taxas de energia e troca de massa (OIGHENSTEIN et al., 2003). O NDVI é um dos índices capazes de detectar mudanças no crescimento e condição fisiológica/ estresse hídrico de uma determinada cultura ou vegetação. (FILHO et al., 2005). A resposta sazonal dos estratos fitofisionômicos, foi analisada a partir de curvas temporais, definidas em função de valores médios para cada variável (LAI e NDVI).
- Imagens MODIS de 2000 a 2009, disponibilizadas na internet em forma de produtos (MOD15A2 que corresponde uma composição de 8 ou 32 dias), resolução espacial de 1 km. Os parâmetros selecionados foram: Leaf Area Index (LAI), Fração da Radiação Absorvida pela Vegetação Fotossinteticamente Ativa (FPAR) que, mede as proporções da radiação disponível nos comprimentos de onda que a vegetação fotossinteticamente ativa absorve -400 a 700 nm. O produto (MOD13Q1 que corresponde uma composição de 16 dias), resolução espacial de 250 m. Os parâmetros selecionados deste produto foram: imagens dos índices de vegetação Enhanced Vegetation Index (EVI) e Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).
- Programas como: Modis Tool, ConvGeotiff, ENVI 4.3 e ArcView.

- Para a elaboração do mosaico foram utilizados os seguintes *Tiles*: h12v09, h12v10, h13v09 e h13v10.
- Para a classificação dos estratos foi utilizada uma árvore de decisão, definindo os estratos gramíneo-herbáceo (E1), arbustivo (E2), árvores decíduas (E3) e árvores perenifólias (E4) com seus respectivos valores: 100-174, 175-199, 200-219 e 220-255.

### 3.3 Métodos

A metodologia considera duas partes: A primeira inclui o estudo das variáveis envolvidas na representação das classes de vegetação, em específico a classe savana (cerrado) que o modelo de biosfera terrestre adota e os principais tipos funcionais de plantas (TFPs) utilizados: árvores perenifólias (TFP1), árvores decíduas (TFP2), arbustos (TFP3) e gramíneas (TFP4). A segunda parte inclui a elaboração de um banco de dados, contendo informações de forçantes bióticas e abióticas, como o banco de dados contendo: índices de vegetação (NDVI e LAI), obtidos através do sensor orbital MODIS/TERRA, que permite identificar as principais fitofisionomias do bioma Cerrado, considerando as resoluções temporais e espaciais, caracterizando os principais estratos fitofisionômicos: herbáceas (E1), arbustivos (E2), árvores decíduas (E3) e árvores perenifólias (E4).

#### 3.3.1 Variáveis do modelo IBIS

O modelo IBIS considera muitos fatores e variáveis, como física do dossel, do solo, fisiologia da planta, fenologia da vegetação como ciclos biofísicos e biogeoquímicos.

A Tabela 1 ilustra as variáveis bioclimáticas e ecofisiológicas adotadas pelo IBIS, e os respectivos valores de TFPs referente à classe de vegetação Savana. Onde TminL: temperatura mínima absoluta ( limite inferior,C), TminU: temperatura mínima absoluta ( limite superior,C), Twarm: temperatura do mês mais quente [C4], GDD:

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS  
Relatório Final de Atividades

crescimento medido por graus-dia, onde for acima do limiar de 5 °C ( dossel superior), ou o mínimo crescimento graus\_dia, acima do limiar de 0 °C (menor cobertura do dossel), v<sub>max\_pft</sub>: atividade máxima Rubisco a 15°C ao topo do dossel em mol [CO<sub>2</sub> m<sup>2</sup>.s], specla: área específica foliar (m<sup>2</sup> Kg<sup>-1</sup>), Tauleaf: tempo de retorno de biomassa foliar (anos), Tauroot: tempo de retorno de biomassa das raízes (anos), Tauwood: tempo de retorno de biomassa dos galhos (anos), Aleaf: fração de alocação de carbono nas folhas, Aroot: fração de alocação de carbono nas raízes finas e Awood: fração de alocação de carbono nos galhos.

Tabela 2 - Variáveis bioclimáticas e ecofisiológicas adotadas pelo modelo para gerar os tipos de classes de vegetação, em específico a Classe de Vegetação Savana, para cada tipo funcional de planta ou Plant Functional Type (PFT).

Variáveis	PFTs			
	1	2	9	11
<b>TminL</b>	0.0	0.0	9999.0	9999.0
<b>TminU</b>	9999.0	9999.0	9999.0	9999.0
<b>Twarm</b>	9999.0	9999.0	9999.0	22.0
<b>GDD</b>	9999.0	9999.0	100	100
<b>Vmax_pft</b>	120.e-06	65.0e-06	27.5e-06	15.0e-06
<b>specla</b>	17.0	17.0	12.5	15.0
<b>Tauleaf</b>	1.01	1.00	1.50	1.25
<b>Tauroot</b>	1.00	1.00	1.00	1.00
<b>Tauwood0</b>	25.0	25.0	5.0	9999.0
<b>Aleaf</b>	0.40	0.40	0.45	0.45
<b>Aroot</b>	0.20	0.20	0,40	0.55
<b>Awood</b>	0.40	0.40	0.15	0.00

Fonte: Foley & Kucharick (1996, 2000).

As quinze classes adotadas pelo modelo Tabela 4 (FOLEY; KUCHARICK) são geradas a partir da combinação de um conjunto de doze tipos funcionais de plantas (Tabela 3), definidos através de parâmetros bioclimáticos e ecofisiológicos (Tabela 2).

Esses doze TFPs, são reagrupados em quatro estratos fitofisionômicos, campestre (estrato 1) campo-cerrado e cerrado (estrato 2), cerradão e florestas decíduas (estrato 3) e florestas perenifólias (estrato 4); onde para cada estrato é definido um valor específico de LAI. No caso da classe savana, o modelo atribui maior peso de importância e LAI para os estratos 1, 3, 4 e 2, respectivamente.

Tabela 3 - Classificação dos principais tipos funcionais de plantas TFPs, adotadas pelo modelo IBIS, para gerar as classes de vegetação.

---

### **Tipos Funcionais de Plantas**

---

- 1 Árvores perenifólias com folhas largas tropical
- 2 Árvores caducifólias com folhas largas tropical
- 3 Árvores perenifólias com folhas largas de clima temperado-quente
- 4 Árvores perenifólias de coníferas de clima temperado
- 5 Árvores caducifólias com folhas largas de clima temperado-frio
- 6 Árvores perenifólias com folhas aciculadas (coníferas) boreal
- 7 Árvores caducifólias com folhas largas boreal
- 8 Árvores caducifólias com folhas aciculadas (coníferas) boreal
- 9 Arbustos perenifólios
- 10 Arbustos caducifólios de clima frio
- 11 Gramíneas C4 de clima quente
- 12 Gramíneas C3 de clima frio

---

Fonte: Foley & Kucharick (1996, 2000).

Tabela 4 - Classes de vegetação que o modelo IBIS utiliza, através da combinação de TFPs.

---

<b>Classes de Vegetação</b>
1 Floresta perenifólia tropical
2 Floresta decídua tropical
3 Floresta perenifólia temperada
4 Floresta perenifólia de coníferas temperada
5 Floresta decídua temperada
6 Floresta perenifólia boreal
7 Floresta decídua boreal
8 Floresta mista
9 Savana
10 Campos/steppe
11 Arbustos densos
12 Arbustos abertos
13 Tundra
14 Deserto
15 Deserto Polar

---

Fonte: Foley & Kucharick (1996, 2000).

### **3.3. 2 Banco de Dados**

Nesta etapa foi feito o cadastramento e a obtenção de dados MODIS, para a elaboração de um banco de dados referente à região do bioma Cerrado, obtidos gratuitamente através do site <http://www.wist.echo.nasa>; através do WS\_FTP. Neste momento, foram obtidos dados de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Enhanced Vegetation Index (EVI), Leaf area index (LAI) e Fractional

Photosynthetically Active Radiation (FPAR). O diagrama abaixo ilustra os produtos extraídos.

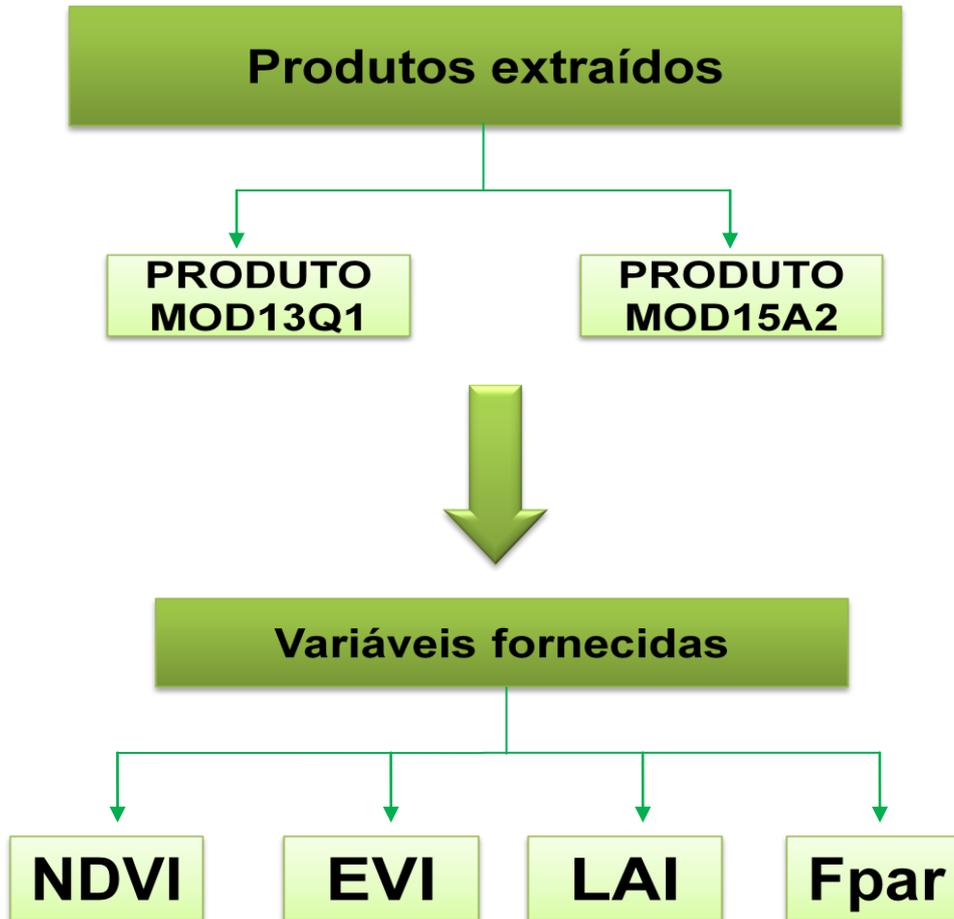


Figura 11- Diagrama dos produtos extraídos para realização do trabalho.

Após a obtenção dos produtos MOD13Q1 e MOD15A2, foi realizada as seguintes etapas: redução da radiometria dos produtos extraídos, os produtos MOD13Q1 (NDVI e EVI) foram importados e convertidos em dados GeoTiff. Em seguida, as imagens foram transformadas de 16 bits em 8 bits. Assim, foram gerados mosaicos utilizando os *tiles* (h12 e 13, v09 e v10), feito o empilhamento das imagens, obtendo uma imagem multitemporal e finalmente a extração da representação temporal das variáveis: LAI e NDVI. O tempo de processamento dos produtos varia devido ao

peso da imagem extraída, o NDVI leva um tempo maior do que o LAI, tendo em vista que o tamanho de sua imagem é de 273 MB enquanto o LAI é de 3,90 MB.

Posteriormente, os dois conjuntos de dados, (NDVI e LAI) foram padronizados em uma mesma resolução temporal de 23 períodos. O NDVI foi padronizado com a mesma resolução espacial de LAI (resolução de 1 km), para que todas as variáveis envolvidas fossem passíveis de serem comparadas e analisadas. Os valores obtidos, foram plotados em um gráfico, que mostra no eixo x os períodos dos anos analisados e no eixo y os valores, a resposta, do índice. Os resultados foram gráficos para cada índice, (LAI e NDVI), que mostra o padrão sazonal da vegetação independentemente para os índices analisados.

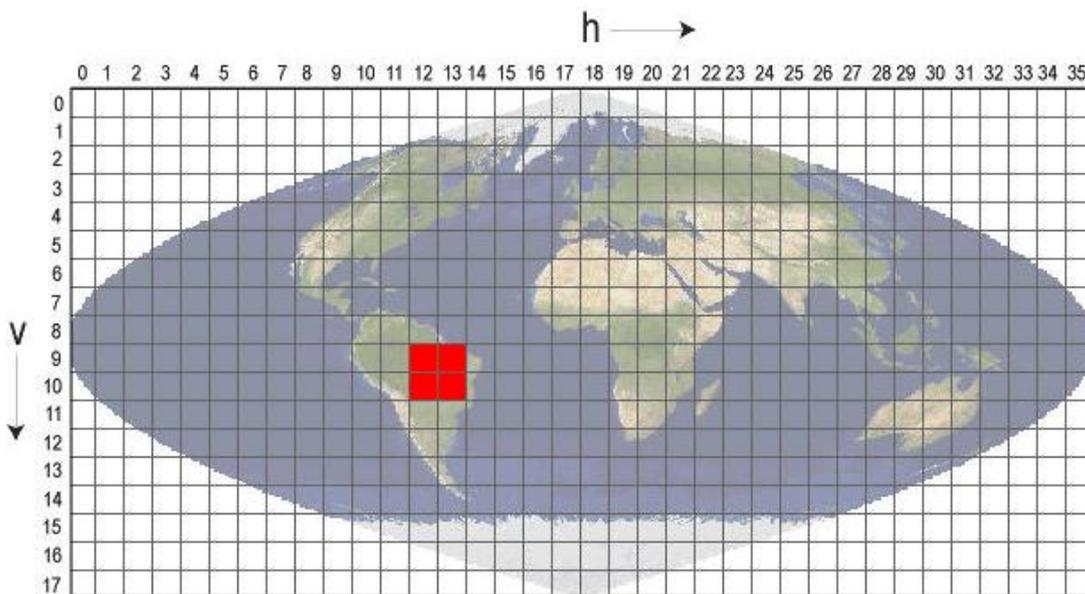


Figura 12 - Representação da localização do bioma Cerrado e seus respectivos tiles: (h12 e 13 v09 e v10).

Fonte: Adaptada (site < <http://modis.gsfc.nasa.gov/>>).

### 3.3. 3 Definição dos estratos fitofisionômicos

As técnicas de análise multitemporal dos dados de índice de vegetação, como NDVI e LAI, no período 2000-2009, foram utilizadas para determinar os mesmos estratos fitofisionômicos utilizados pelo modelo de biosfera terrestre. Este estudo permitirá a análise do ritmo cíclico de eventos biológicos e as causas desse ritmo com

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS  
Relatório Final de Atividades

relação às forçantes bióticas e abióticas que estão associadas ao desenvolvimento e a manutenção da vegetação, através deste monitoramento sistemático fornecido pelo sensor.

A caracterização dos estratos foi feita através de métricas de fenologia, definindo os valores para cada estrato: 100-174 herbáceos (E1), 175-199 arbustivos (E2), 200-219 árvores caducifólias (E3) e 220-255 árvores perenifólias (E4).

Para realizar o estudo da região do Cerrado brasileiro, foi utilizado uma amostragem com N= 639 pontos, que corresponde aos pontos distribuídos aleatoriamente ao longo do Cerrado inteiro, onde o E1 corresponde a (251 pontos), E2 (318 pontos), E3 (59 pontos) e E4 (11 pontos).

Foram aplicadas técnicas de avaliação de séries temporais e análise multivariada para avaliar a relação entre NDVI e LAI e relacionar a influência da variável ambiental (precipitação) no padrão da distribuição dos quatro estratos: (E1), (E2), (E3) e (E4) e sua respectiva formação vegetal: campestre (E1), campo-cerrado e cerrado (E2), cerradão e florestas decíduas (E3) e florestas perenifólias (E4), na região de estudo.

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS

Os resultados são apresentados seguindo a seguinte sequência: Análise do índice de área foliar dos estratos herbáceo (E1), arbustivo (E2), arbórea decídua (E3) e árvores perenifólias (E4) da classe de vegetação savana (Cerrado), representadas pelo modelo de biosfera terrestre IBIS. Análise geral, obtidas por sensoriamento remoto da vegetação, envolvendo as variáveis LAI, NDVI e os estratos fitofisionômicos do bioma Cerrado. Análise específica de cada estrato para cada variável e as análises de correlações entre os dados amostrais, onde se avalia como as variáveis envolvidas estão relacionadas uma com a outra.

#### 4.1 Análise Geral

A resposta sazonal dos estratos fitofisionômicos, foi analisada a partir de curvas temporais, definidas em função de valores médios para cada variável (LAI e NDVI). As (Figuras 13 e 14) mostram os resultados totais de LAI e NDVI respectivamente, envolvendo todos os estratos no período de 2002.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS  
Relatório Final de Atividades

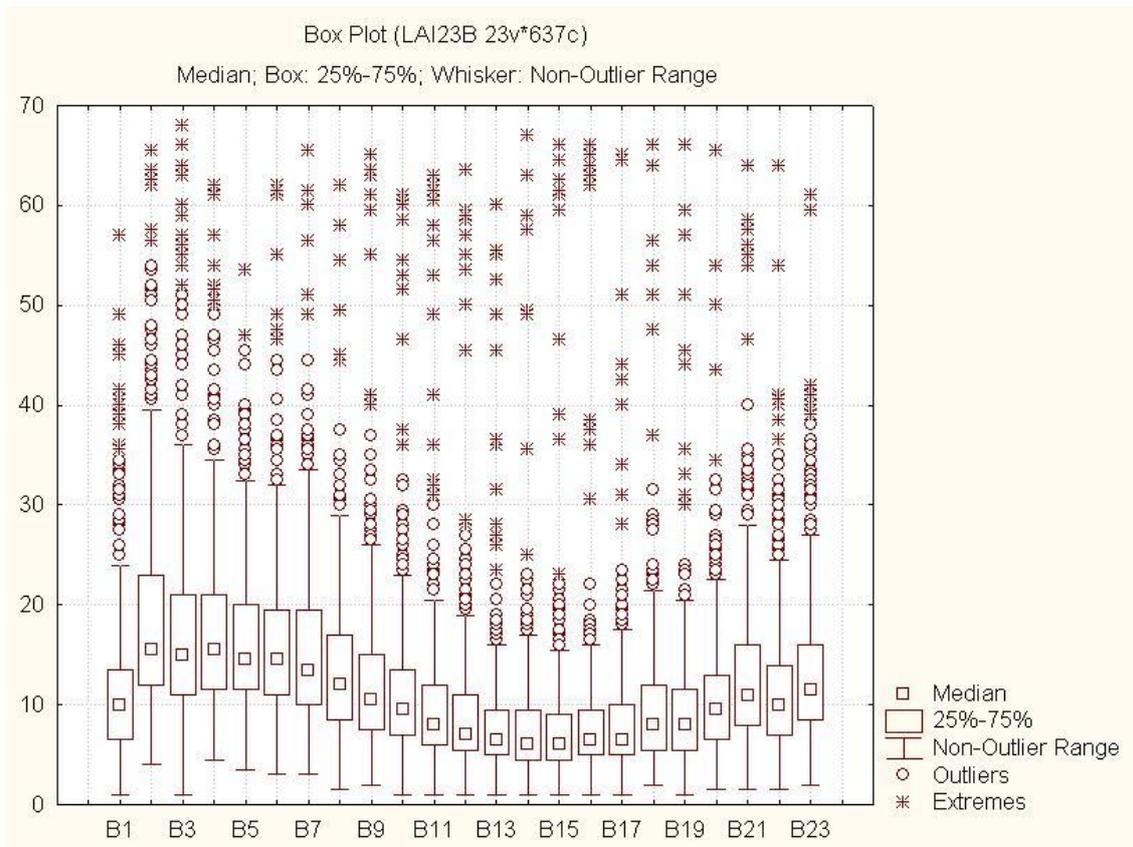


Figura 13- Dinâmica sazonal da vegetação do bioma cerrado brasileiro no ano de 2002. O ano analisado foi dividido em 23 períodos (horizontal) e a vegetação em valores de LAI (vertical), esta apresenta valores entre 0 a 70. Com amostragem com N= 639 pontos, representando todos os estratos fitofisionômicos distribuídos aleatoriamente no bioma.

Ao acompanhar os valores a partir da mediana, observa-se que os menores valores encontrados compreendem aos períodos B13, B14 e B15, época de maior estiagem, e observa-se uma reação no período B16.

O maior valor para o índice é verificado nos períodos chuvosos, representados por B2 até o B6, em seguida o índice acompanha a sazonalidade, passando pela estação seca, constituindo por valores baixos de LAI. A figura revela que há um elevado número com valores extremos e outros valores que estão fora do padrão.

Valores baixos de LAI indicam que há uma diminuição da cobertura vegetal (diminuição da produção de folhas) além de a estação seca ser o período em que as folhas caem e muitas espécies chegam a morrer devido ao déficit hídrico ocasionado neste

período. Analisando a Figura 14 abaixo, é possível fazer uma análise comparativa entre os valores de LAI e NDVI, para o mesmo ano.

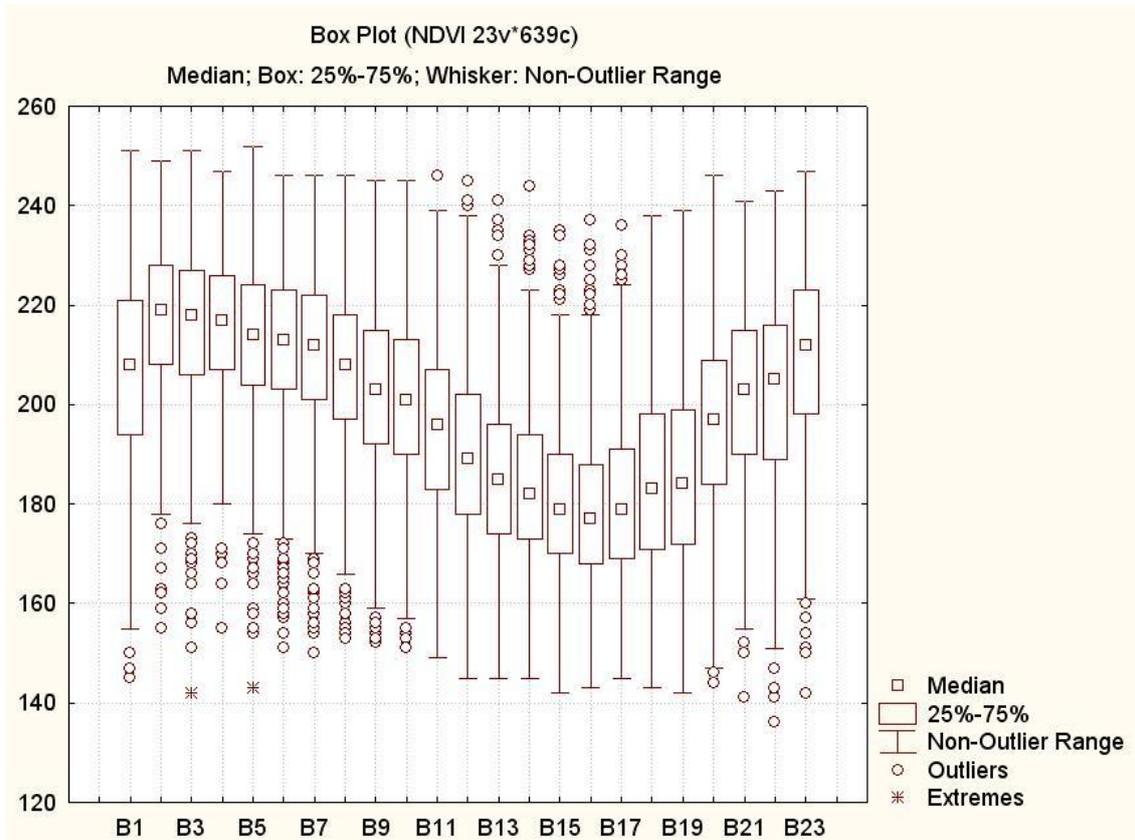


Figura 14- Dinâmica sazonal da vegetação do bioma cerrado brasileiro no ano de 2002. O ano analisado compõe de 23 períodos (horizontal) e a vegetação em valores de NDVI (vertical), esta apresenta valores entre 0 a 255 (de ausência a máxima cobertura vegetal). Com amostragem com N= 639 pontos, representando todos os estratos fitofisionômicos distribuídos aleatoriamente no bioma.

Ao comparar as duas figuras, pode-se compreender que, embora a sazonalidade seja bem representada, há uma defasagem entre os valores de LAI e NDVI.

Observa-se que o LAI responde à sazonalidade primeiro que o NDVI, enquanto o índice de área foliar apresenta sua queda nos períodos B13, B14 e B15, tornando reagir no B16, o NDVI apresenta sua queda no período B16 e torna a reagir no período B18. A Figura 14 mostra que os menores valores da vegetação são analisados no período B16, e os maiores valores são encontrados nos períodos B3 a B7.

Esta tendência geral de regressão pode ser explicada devido à região constituir maior densidade dos estratos E1 e E2, já que a amostra com N= 639, que corresponde aos pontos distribuídos aleatoriamente ao longo do bioma inteiro, representa em sua maior parte pelos respectivos estratos: E1 (251 pontos) e E2 (318 pontos), os quais respondem mais fortemente a sazonalidade do que os estratos 3 e 4.

#### **4. 2 Análise Específica**

Neste item são apresentados os resultados específicos por tipo de estrato fitofisionômico, E1, E2, E3 e E4, analisando os dois índices de vegetação (LAI e NDVI), avaliando a sazonalidade da vegetação no período de 2002. Os resultados obtidos através da análise (Box Plot) mostram o padrão da sazonalidade da vegetação e revelam as diferenças de sazonalidade nos diferentes estratos analisados.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS  
Relatório Final de Atividades

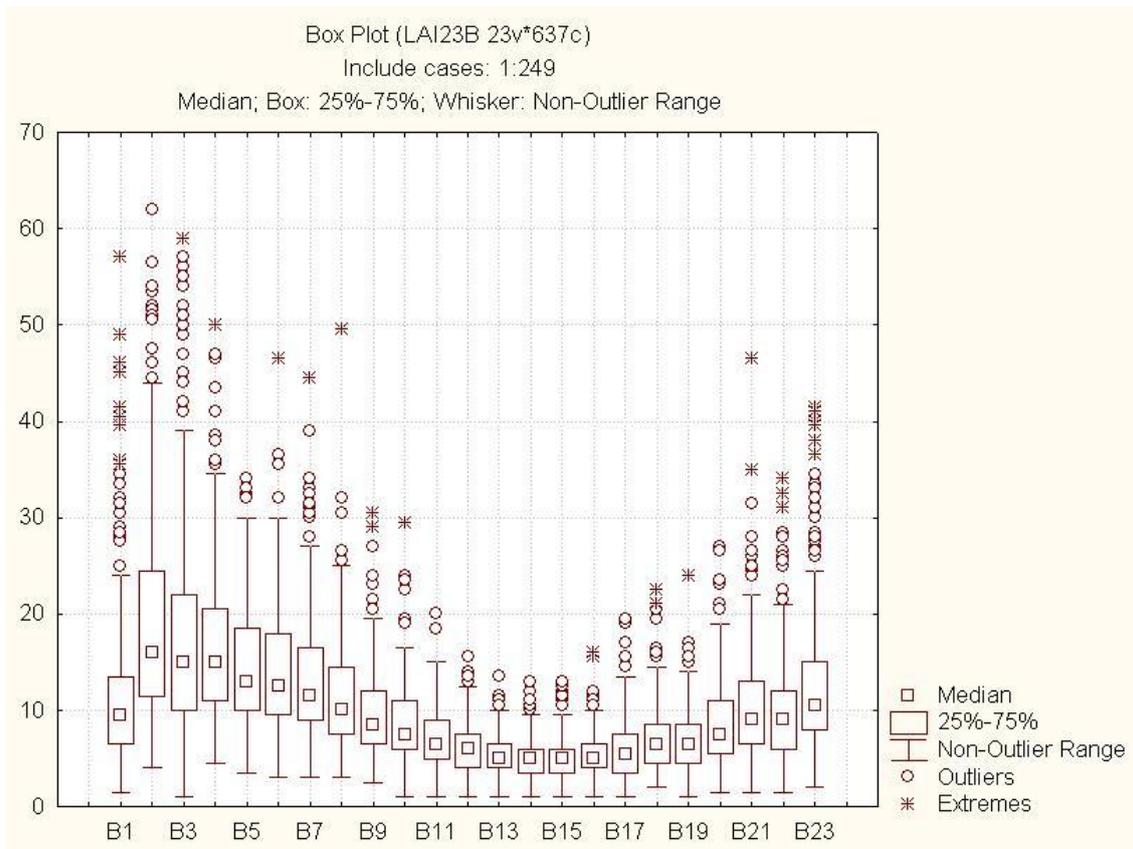


Figura 15- Resposta sazonal da vegetação em valores de LAI (vertical), analisando o estrato 1 (herbáceas), 23 períodos (horizontal) que compõe um ano (2002). Este estrato representa um total de 251 pontos do bioma

A análise mostra que os valores de LAI neste estrato fitofisionômico são baixos, principalmente na época de maior estiagem. Acompanhando a mediana, nota-se que os valores mínimos se encontram nos períodos B13, B14, B15 e B16. Ao comparar o estrato 1 em valores de LAI com o estrato 1 em valores de NDVI (Figura 16), observa-se que são encontrados os menores valores para a vegetação neste bioma. Este fato pode ser explicado devido ao déficit hídrico ocasionado pela estiagem neste ambiente. O estresse hídrico severo faz com que ocorra a inibição da divisão celular, o fechamento estomático assim como a inibição da fotossíntese, o que ocasiona perda da fitomassa foliar.

As variações sazonais deste estrato ocorrem principalmente devido a seu ciclo de vida, pois trata-se de uma espécie de ciclo anual, onde apresentam quedas significativas de fitomassa foliar na estação seca, e um aumento na estação chuvosa.

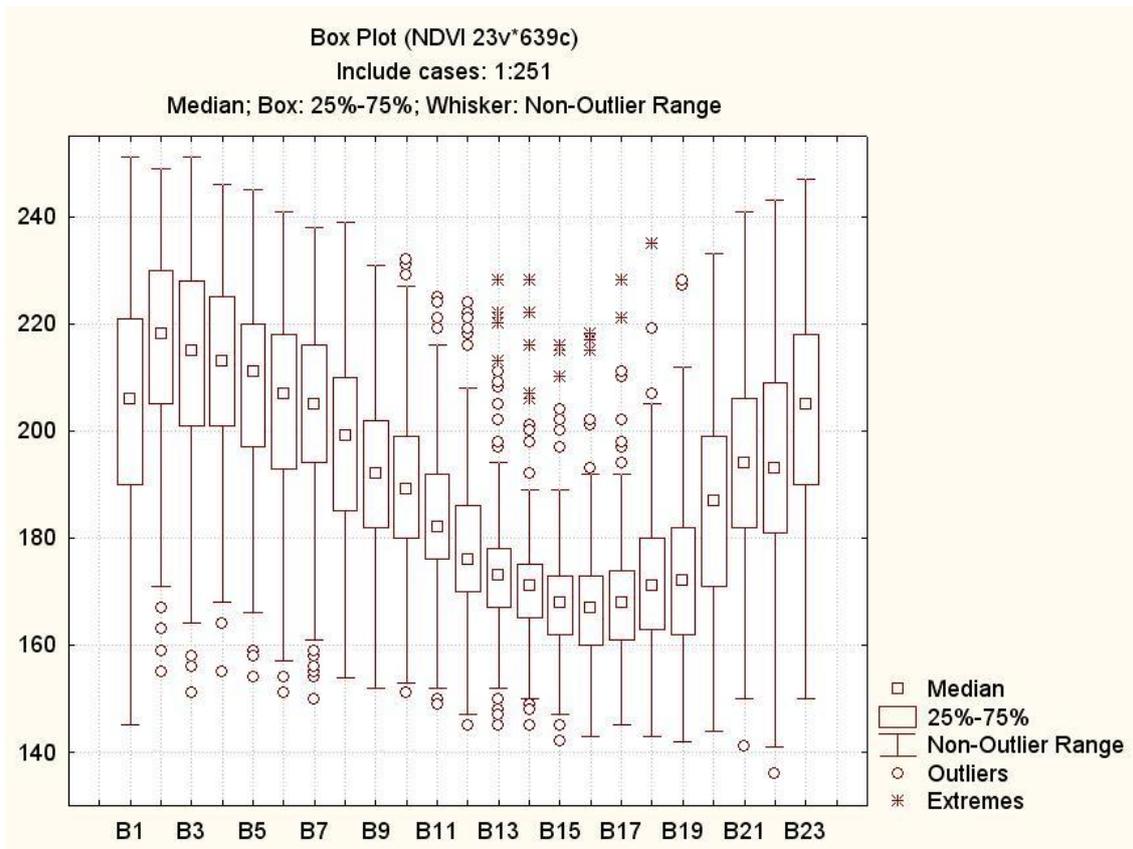


Figura 16- Resposta sazonal da vegetação em valores de NDVI, analisando o estrato 1 (herbáceas) 23 períodos (horizontal) que compõe um ano (2002). Este estrato representa um total de 251 pontos do bioma.

A análise mostra que o estrato 1, apresenta uma sazonalidade marcante. Isto indica a forte dependência dos estratos herbáceos em relação à precipitação, onde haverá uma maior produção de folhas, ou seja, uma maior cobertura vegetal, quando houver uma alta disponibilidade hídrica no solo. A produtividade de plantas depende da disponibilidade deste recurso, como também a eficiência como o estrato o utiliza para aproveitá-lo. Haverá uma menor cobertura vegetal na época de maior estiagem, onde estes estratos perdem suas folhas, devido ao déficit hídrico, e a outras perturbações, como o fogo, o que é comum neste ambiente.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS  
Relatório Final de Atividades

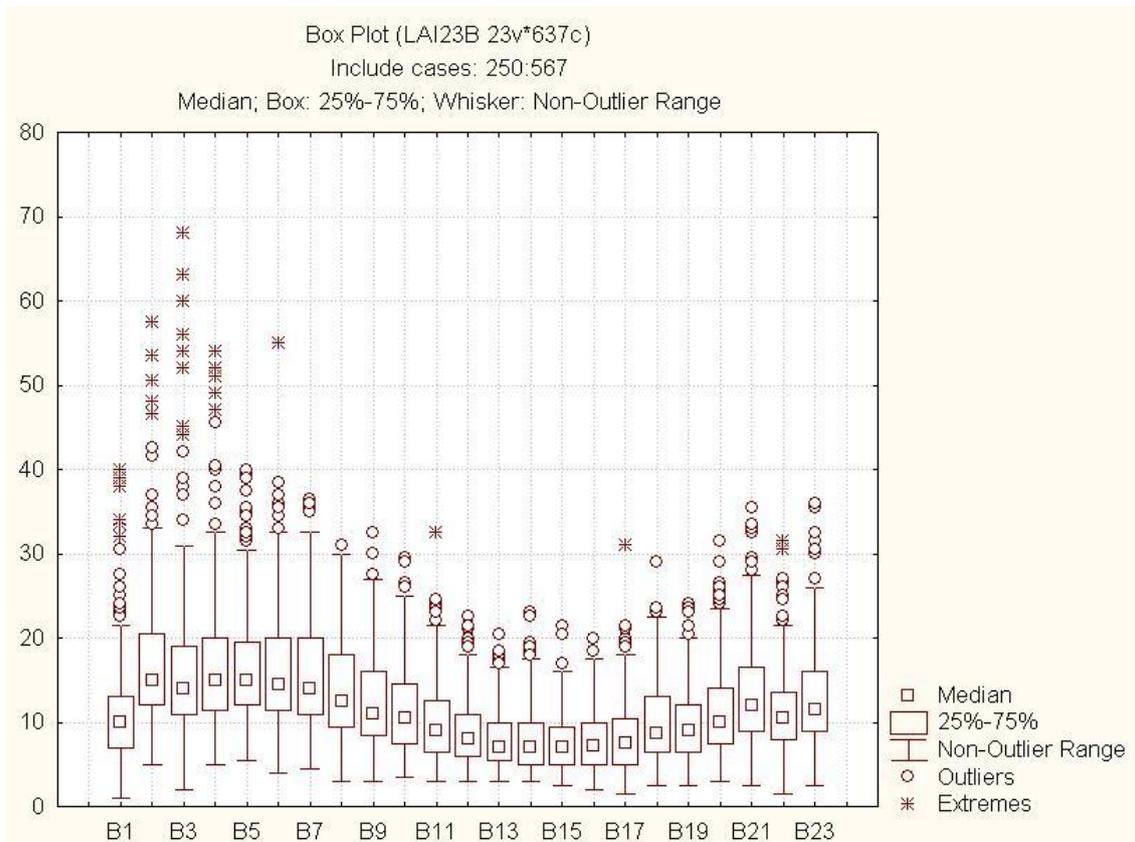


Figura 17- Resposta sazonal da vegetação em valores de LAI, analisando o estrato 2 (arbustos), em 23 períodos (horizontal) que compõem um ano (2002). Este estrato representa um total de 318 pontos do bioma.

A análise mostra que a sazonalidade neste estrato fitofisionômico não é marcante tanto quanto o estrato 1, analisado anteriormente. Porém, ainda os valores encontrados no período de estiagem são baixos, o que revela que há uma menor produção de biomassa na estação seca, consequentemente diminuindo a produtividade daquele ambiente.

Ao acompanhar a mediana neste estrato, nota-se que os menores valores encontrados de LAI, se estendem nos períodos de B13 a B15, e os maiores são observados nos períodos B2 a B7.

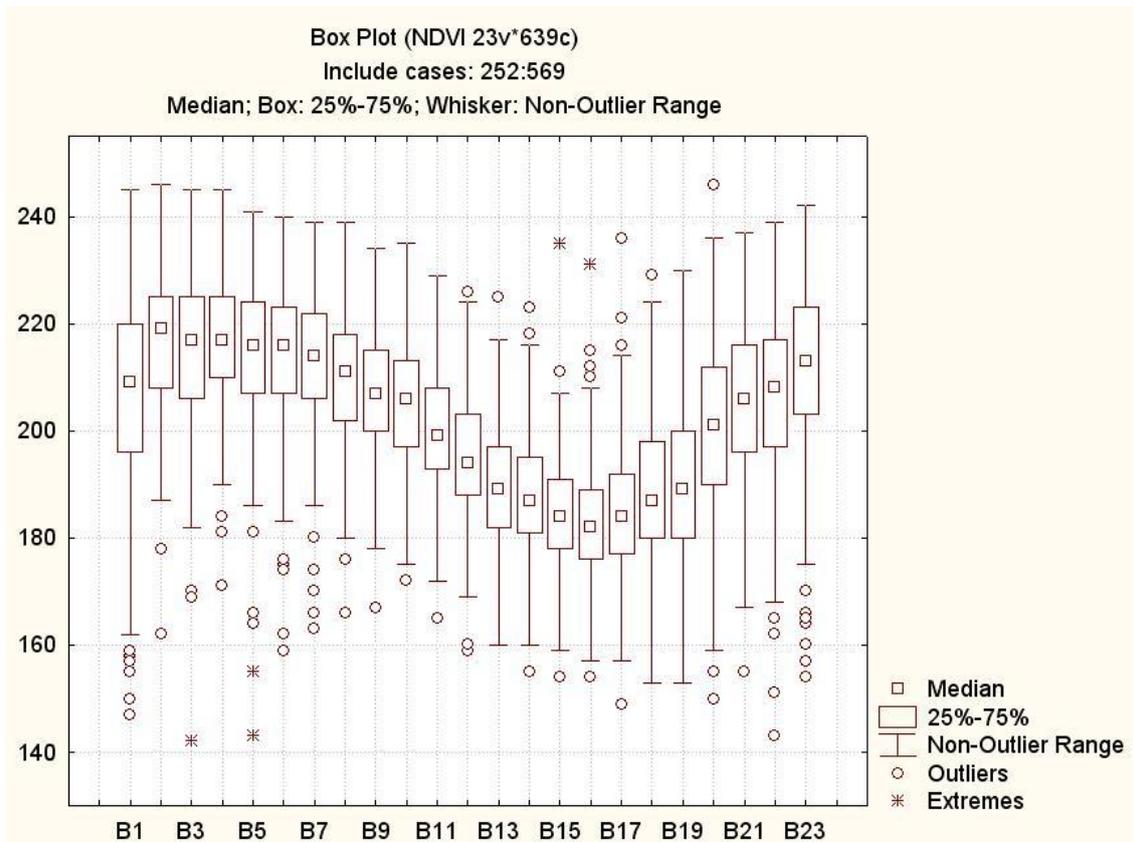


Figura 18- Resposta sazonal da vegetação em valores de NDVI, analisando o estrato 2 (arbustos), em 23 períodos (horizontal) que compõe um ano (2002). Este estrato representa um total de 318 pontos do bioma.

A análise mostra que a sazonalidade ainda é definida, apesar de o índice apresentar valores maiores no período de estiagem em relação ao estrato 1. Em fato, os estratos revelam uma mesma tendência de variação, diminuição de valores na época chuvosa para época de maior estiagem.

Ao acompanhar a mediana, observa-se que o menor valor encontrado neste estrato é no período B16, e tem seus valores máximos no período B2.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS  
Relatório Final de Atividades

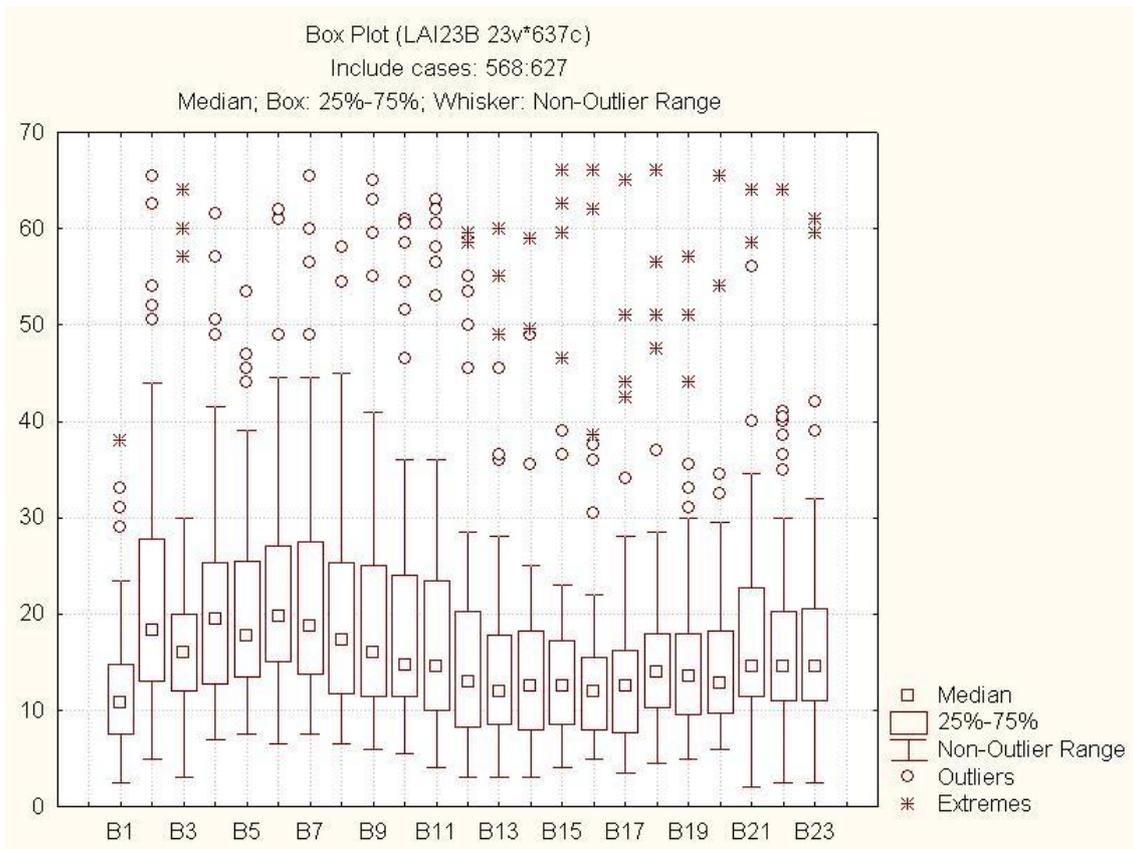


Figura 19- Resposta sazonal da vegetação em valores de LAI, analisando o estrato 3 (árvores decíduas) em 23 períodos (horizontal) que compõe um ano (2002). Este estrato representa um total de 59 pontos, distribuídos aleatoriamente ao longo do bioma.

A análise indica uma menor variação sazonal, devido à maior presença de biomassa estrutural das árvores decíduas ao longo do ano. Ao analisar a Figura 19, fica claro que, à medida que a composição da vegetação vai modificando-se, a resposta à sazonalidade também se modifica.

Observa-se, que o estrato 3, não responde tão fortemente à sazonalidade, como nos estratos 1 e 2, analisados anteriormente. Pode-se observar que o menor valor registrado para este índice é no período B1 e B16, entretanto, há um maior valor de LAI neste estrato, quando comparamos com os estratos 1 e 2.

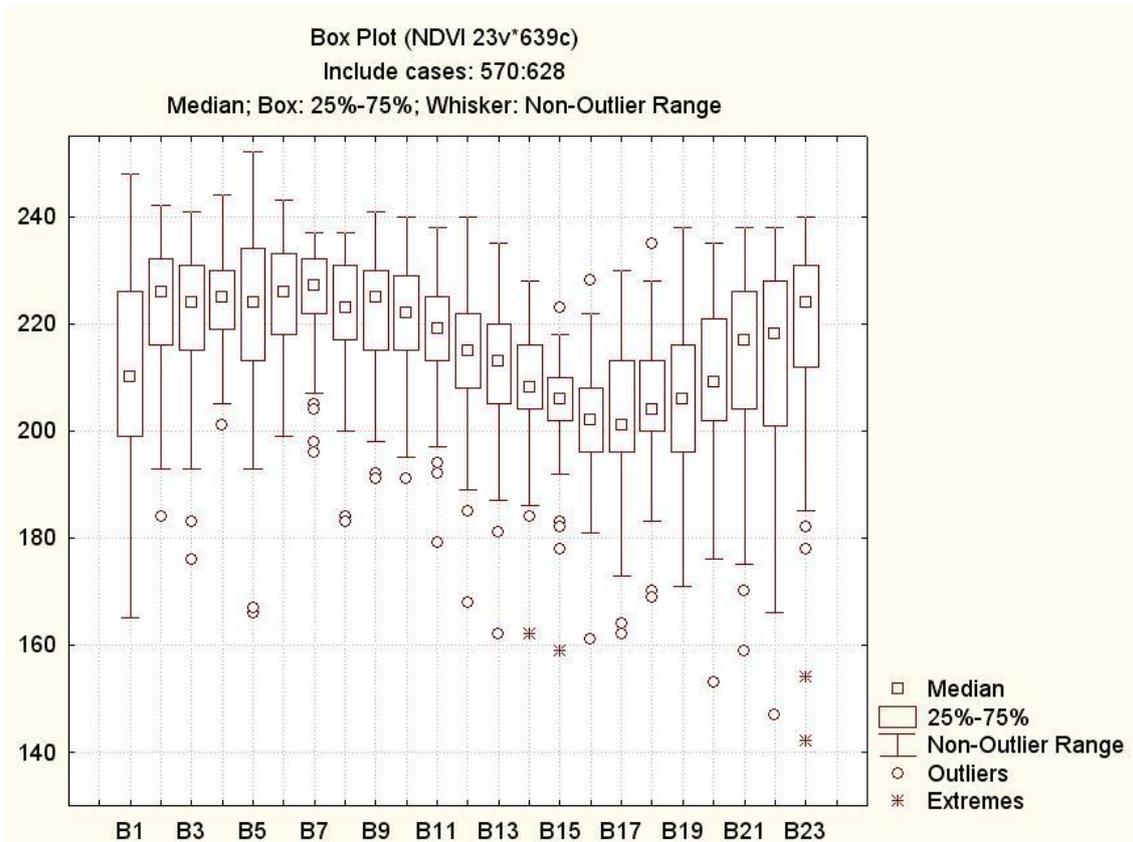


Figura 20- Resposta sazonal da vegetação em valores de NDVI, analisando o estrato 3 (árvores decíduas) no ano de 2002. Este estrato representa um total de 59 pontos distribuídos aleatoriamente ao longo do bioma.

Ao acompanhar a mediana, avaliando a sazonalidade da vegetação em valores de NDVI, observa-se a mesma tendência, onde o estrato 3, apresenta um menor grau na resposta a sazonalidade. Os menores valores registrados para este estrato é encontrado no período B17, e logo este estrato reage, obtendo valores maiores de NDVI. Isto significa que há uma maior cobertura vegetal neste período, analisando o estrato 3, que compreende por árvores decíduas.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS  
Relatório Final de Atividades

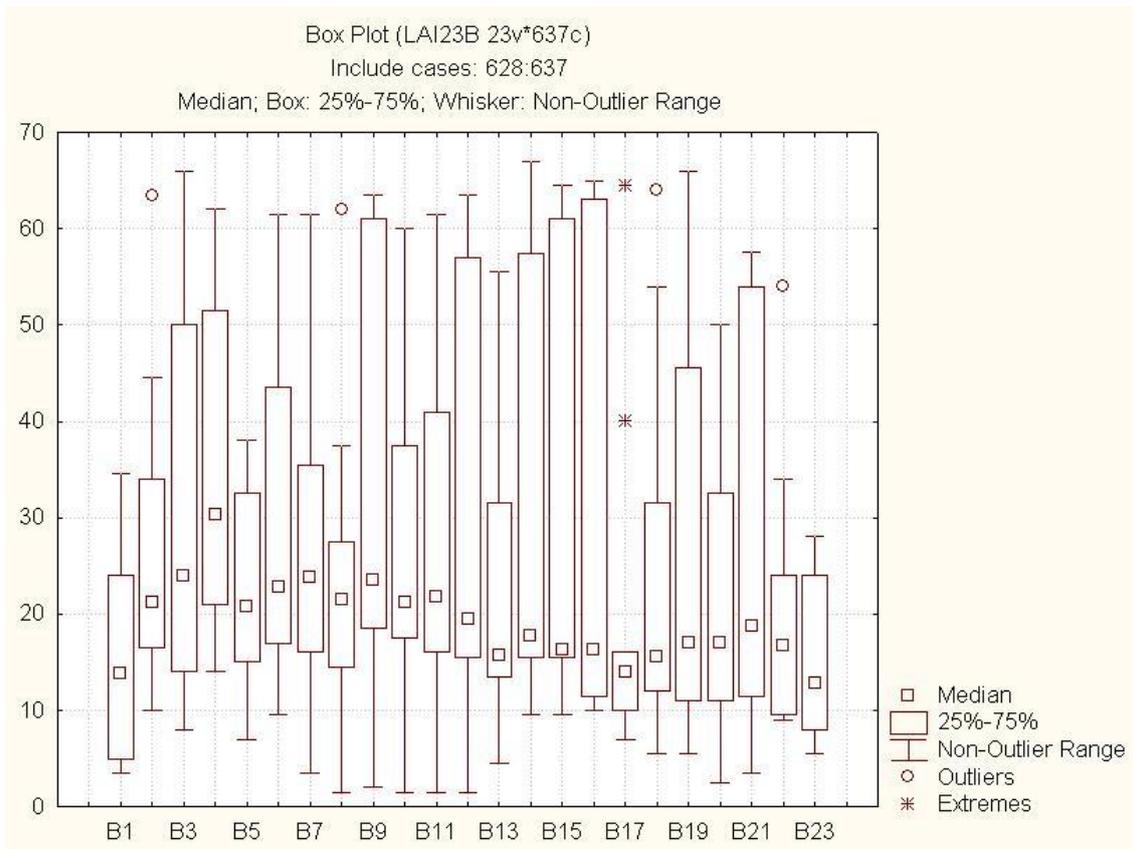


Figura 21- Resposta sazonal da vegetação em valores de LAI, analisando o estrato 4 (árvores perenifólias) no ano de 2002. Este estrato representa um total de 11 pontos distribuídos aleatoriamente ao longo do bioma.

Ao acompanhar a mediana, verifica-se uma tendência irregular para o estrato 4. O menor valor encontrado é referente ao período B17, em seguida o estrato reage, apresentando altos e baixos ao longo do período.

Por se tratar de um estrato arbóreo perenifoliar, pode-se dizer que, a água parece não ser um fator limitante para a produção de novas folhas neste estrato mesmo em épocas de estiagem. Uma possível explicação é que, como estes estratos possuem raízes profundas, conseguindo atingir camadas de solo permanentemente úmidas, mesmo na época seca, este contato possibilita a área de superfície necessária para a absorção de água, ou seja, a água disponível no solo penetra na raiz, logo, este estrato não perde seu componente fotossintetizante na época seca, garantindo uma alta fitomassa foliar e produtividade. Segundo Huete et al. 2006, a disponibilidade hídrica das áreas de florestas proporcionaria uma estabilidade na atividade fotossintética e

conseqüente produção de fitomassa foliar mantida (ou com pequena queda) na época seca.

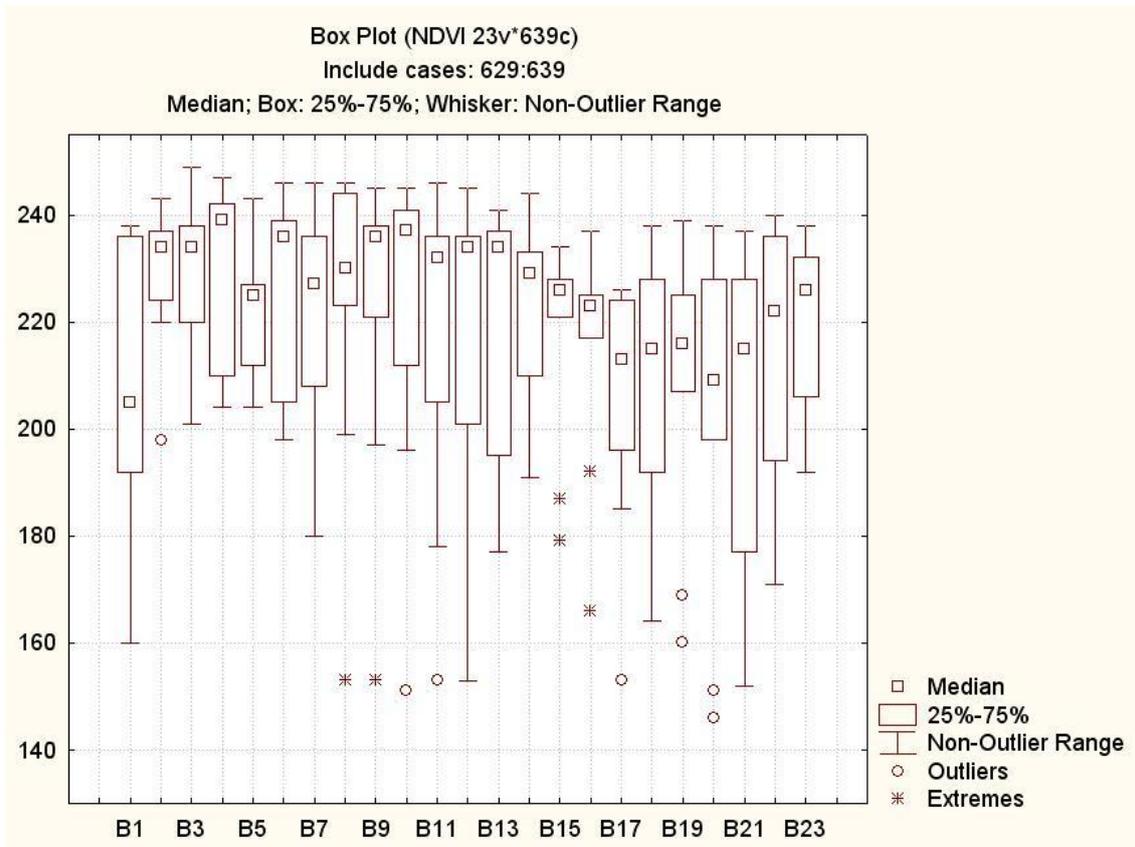


Figura 22- Resposta sazonal da vegetação em valores de NDVI, analisando o estrato 4 (árvores perenifólias) no ano de 2002. Este estrato representa um total de 11 pontos distribuídos aleatoriamente ao longo do bioma.

Acompanhando a mediana, observa-se a sazonalidade menos definida para a vegetação. O valor mínimo de NDVI encontrado neste período é em B20 e o máximo em B4, porém os valores apresentam-se irregulares, com altos e baixos, retratando a menor variação sazonal.

Os resultados obtidos através da análise Box Plot, mostraram o comportamento sazonal da vegetação, revelando as diferenças da resposta nos diferentes estratos fitofisionômicos. Este comportamento mostrou alta atividade fotossintética e fitomassa foliar na estação chuvosa, com diminuição na época seca, revelando um padrão sazonal para os estratos, onde E1 apresentou uma sazonalidade bem definida, seguido dos estratos 2, 3 e 4.

### 4.3 Análise de Correlação

Neste item são apresentados os resultados obtidos através da análise de correlação entre os estratos fitofisionômicos, avaliando como as variáveis LAI e NDVI estão relacionadas uma com a outra, nos períodos de 2002, 2005 e 2008. O grau de ajuste varia de 0 a 1, onde valores próximos a 0 significa uma baixa relação, e valores próximos a 1, uma alta relação. Em geral, o ano de 2002 foi o que apresentou o maior grau de ajuste, seguido de 2005 e 2008.

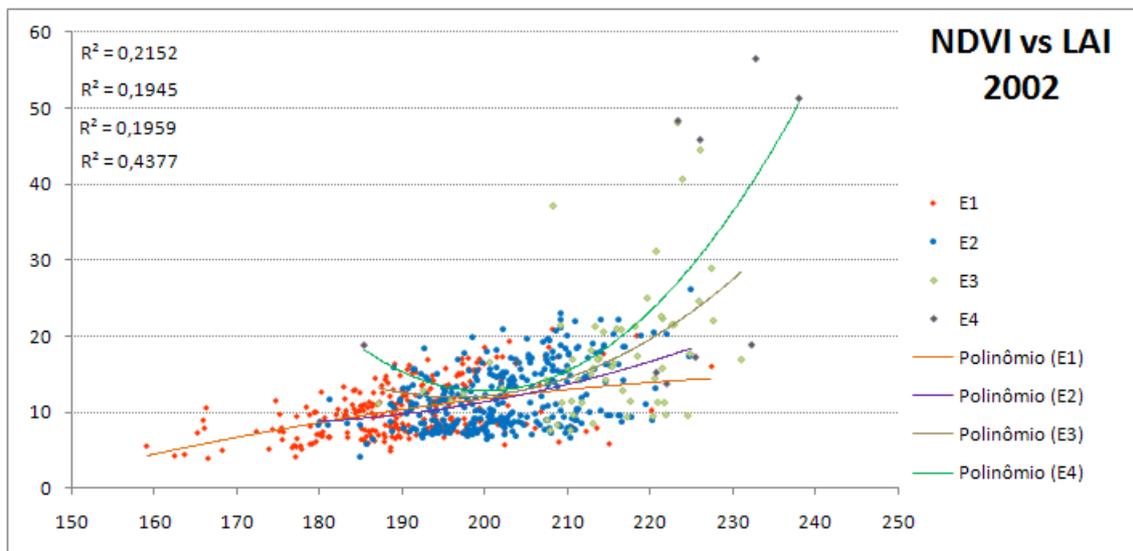


Figura 23- Coeficiente de correlação entre as variáveis LAI e NDVI para cada um dos estratos fitofisionômicos analisados. A escala do NDVI é de 0 a 255 (abscissa), e a do LAI é de 0 a 70 (ordenada).

A Figura 23 mostra o resultado da análise do coeficiente de correlação polinomial entre as variáveis LAI e NDVI para cada um dos estratos fitofisionômicos no ano de 2002. As linhas representadas por cores diferentes mostram o grau de ajuste entre os estratos e as variáveis envolvidas. Estes resultados indicam que quanto maior o valor de  $R^2$ , maior é a relação entre as variáveis sobre a vegetação. A sequencia

crescente do valor de  $R^2$  é: E1 (menor  $R^2$ ), E2, E3 e E4 (maior  $R^2$ ). Estes resultados mostram um gradiente de  $R^2$  para os estratos fitofisionômicos.

O E4 é o que possui maior valor de  $R^2$  (0,4377), isto significa que, o estrato arbóreo apresenta maior relação entre as variáveis, em contraste com os demais estratos.

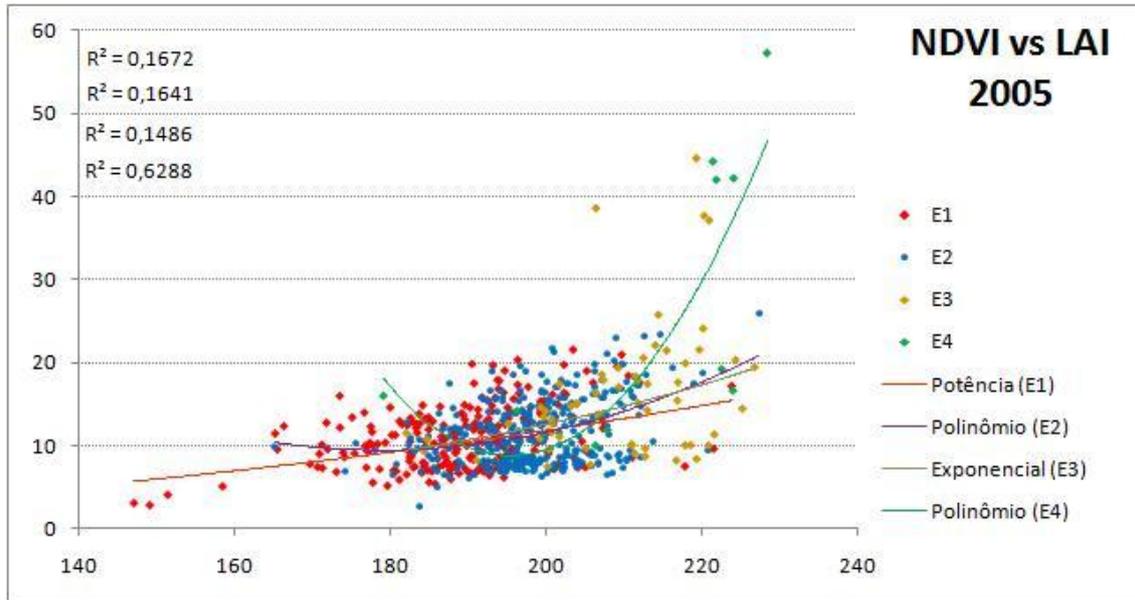


Figura 24- Coeficiente de correlação entre as variáveis LAI e NDVI para cada um dos estratos fitofisionômicos analisados. A escala do NDVI é de 0 a 255 (abscissa), e a do LAI é de 0 a 70 (ordenada).

A Figura 24 mostra o resultado da análise do coeficiente de correlação potencial, polinomial e exponencial (que correspondem ao melhor grau de ajuste), entre as variáveis LAI e NDVI para cada um dos estratos fitofisionômicos no ano de 2005. O maior valor de grau de ajuste referente ao E4 é encontrado neste ano. Os valores de  $R^2$  seguem a seguinte sequência: E3 com o menor valor ( $R^2 = 0,1486$ ), E2 ( $R^2 = 0,1641$ ), E1 ( $R^2 = 0,1672$ ) e E4 com o maior valor ( $R^2 = 0,6288$ ).

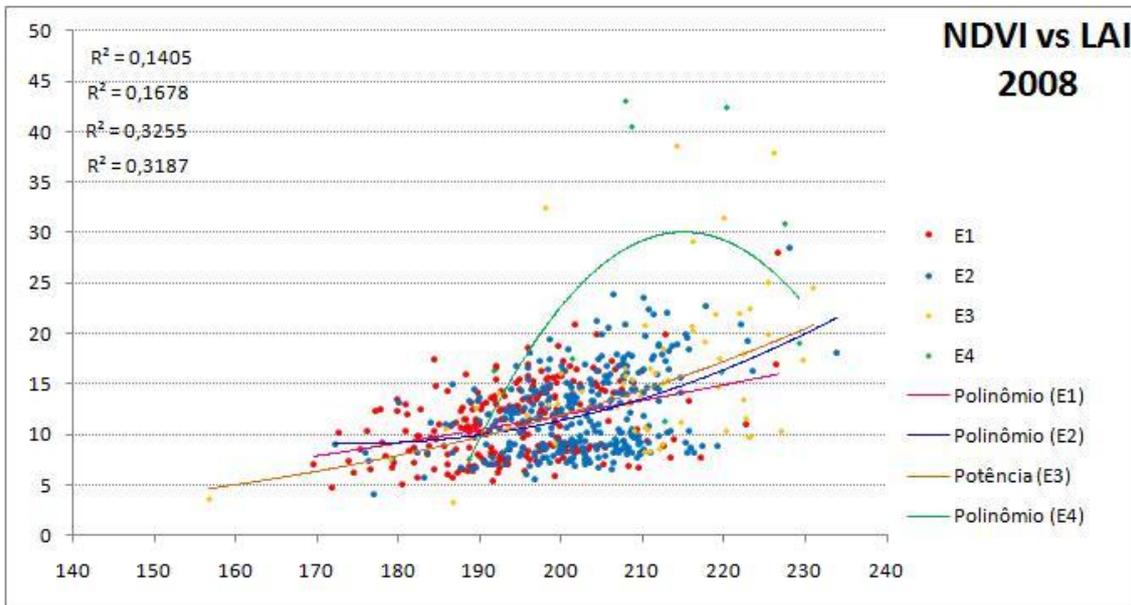


Figura 25- Coeficiente de correlação entre as variáveis LAI e NDVI para cada um dos estratos fitofisionômicos analisados. A escala do NDVI é de 0 a 255 (abscissa), e a do LAI é de 0 a 70 (ordenada).

A figura 25 mostra o resultado da análise do coeficiente de correlação polinomial e potencial, sendo as duas correspondentes ao melhor grau de ajuste entre as variáveis envolvidas no ano de 2008. Neste período o estrato que apresenta o melhor grau de ajuste foi o estrato 3. Os valores de  $R^2$  seguem a seguinte sequência: E1 com o menor valor ( $R^2 = 0,1405$ ), E2 ( $R^2 = 0,1678$ ), E4 ( $R^2 = 0,3187$ ) e E3 com o maior valor ( $R^2 = 0,3255$ ). Isto significa que, neste período o estrato 3 (árvores decíduas) apresenta maior relação entre as variáveis.

As análises feitas de correlação mostram que o E4 e E3 (apenas no ano de 2008), apresentaram maiores valores de  $R^2$ . Esta correlação pode estar associada ao gradiente latitudinal, por se tratar de árvores decíduas e perenifólias, como pode ser analisado no trabalho, estes estratos apresentam maiores valores de LAI e NDVI, e uma menor variação sazonal.

Além disto, estas análises indicaram que as variáveis LAI e NDVI responderam de forma diferenciada às variações sazonais.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÃO

As conclusões do trabalho, ainda que preliminares, indicaram que a distribuição espacial dos estratos segue um gradiente de maior a menor cobertura vegetal, de Noroeste para o Sudeste, ao longo do bioma e a partir das análises feitas por sensoriamento remoto da vegetação, indicaram que ao contrário do modelo, que considera o E1 (gramíneas) dominante em seguida E3 (árvores decíduas) E4 (árvores perenifólias) e E2 (arbustos) respectivamente, mostraram que os estratos dominantes do cerrado brasileiro seguem a ordem de 52% E2, seguido do 1 (24%), E3 (15%) e E4 (9%).

Através da análise multitemporal dos dados fornecidos pelo sensor orbital MODIS, foi observado que de fato, os estratos fitofisionômicos seguem um gradiente quanto à sazonalidade, onde o E1 apresenta uma sazonalidade mais definida, revelando a influência forte que a precipitação exerce no aumento da cobertura vegetal. No período de maior estiagem é o estrato que apresenta os máximos de queda foliar, seguido dos estratos 2, 3 e 4. Em relação ao estrato 4, pôde-se verificar que a sazonalidade é menos definida, uma possível explicação é que, devido a suas características funcionais e estruturais, estes estratos conseguem obter água das camadas mais profundas do solo, pois constituem de um sistema radicular bem desenvolvido, o que possibilita o seu desenvolvimento, em períodos de maior estiagem.

De acordo com estas respostas da vegetação, fica evidente que a fenologia da vegetação neste ambiente é bem definida, onde em períodos chuvosos há o aumento na produção de folhas, onde se atinge valores maiores de LAI e NDVI, e na estação seca, ocorrem às quedas nos valores dos índices de vegetação, relatando a diminuição da biomassa estrutural dos estratos.

Os estratos fitofisionômicos, compatíveis com os tipos funcionais de plantas, analisados por sensoriamento remoto, proporciona valores reais para a representação do cerrado brasileiro no modelo de biosfera terrestre. Neste contexto, deve haver uma sinergia em relação às variáveis LAI e NDVI na classificação dos tipos funcionais de plantas para o cerrado brasileiro (savana tropical brasileira).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, L. M. S; et. al. Diversidade Biológica do Cerrado. Pp: 17-40. *In*: Aguiar, L. M. S. & Camargo, A. J. A. (Ed.). Cerrado: ecologia e caracterização. Planaltina, Embrapa Cerrados, 2004.

ANDERSON, L.O. et al. Sensor MODIS: Uma abordagem geral. INPE. São José dos Campos: INPE, 2003. Disponível em:  
<<http://mtcm12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marciana/2003/12.11.08.55/doc/publicacao.pdf>> Acesso: 10 Jun 2010.

BECERRA, J. A. B, et al. Relação do padrão sazonal da vegetação com precipitação na região de cerrado da Amazônia legal, usando índices espectrais de vegetação. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.24, n.2, 125-134, 2009.

BONAN, G.B, et al. Landscapes as patches of plant functional types: an integrating concept for climate and ecosystem models. *Global Biogeochem. Cycles*, in press, 2002.

COLE, M.M. *The Savannas: biogeography and geobotany*. London. Academic Press. 438 p. 1986.

COLLINSON, A. S. *Introduction to World Vegetation*. London, Unwin Hyman. 320 p. 1988.

CORNELISSEN, J.H.C. et al. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide Australian. *Journal of Botany*, 51, 335-380. 2003.

COSTA, M. H. et al. Estado –da - arte da simulação da taxa de fixação de carbono de ecossistemas tropicais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.24, n.2, 179-187, 2009.

COUTINHO, L.M. O conceito de cerrado. *Revista Brasileira de Botânica* 1: 17-23, 1978.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS  
Relatório Final de Atividades

DIAS, B. F. S. Cerrados: uma caracterização. In: DIAS, B. F. S. (Org.) Alternativas de desenvolvimento dos Cerrados: manejo e conservação dos recursos naturais renováveis. Brasília: Fundação Pró-Natureza, p. 11-25, 1992.

EITEN, G. The cerrado vegetation of Brazil. Botanical Review 38: 201-304, 1972.

EITEN, G. The Cerrado vegetation of Brazil. The Botanical Review, New York, V. 38, n. 2, p. 201-341, 1972.

FRANCO, A.C. 2002. Ecophysiology of woody plants. In: OLIVEIRA, P.S & MAQUIS, R.J. 2002. The cerrados of Brazil. Columbia University Press, New York. 178-197.

FOLEY, J.A. et al, An integrated biosphere model of land surface process, terrestrial carbon balance and vegetation dynamics, Global Biogeochemical Cycles, 10 (4), 603-628, 1996.

GOODLAND, R. & POLLARD, R. 1973. The Brazilian cerrado vegetation: a fertility gradient. Journal of Ecology 61: 219-224.

HUETE, A.R.; et al. Amazon rainforests greenup with sunlight in dry season. Geophys. Res. Lett, v. 33, L06405, 2006.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1992. Manual técnico da vegetação brasileira. Rio de Janeiro, IBGE. 92 p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2006. Mapa dos Biomas. Disponível em: < [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br) > Acesso em: 19 Mai. 2010.

IMBUZEIRO, H. M. A. Calibração do modelo IBIS na Floresta Amazônica usando múltiplos sítios. 2005. 67f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS  
Relatório Final de Atividades

JUSTICE, C., et al. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): Land remote sensing for global change research. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1998, 36(4), 1228-1249, (1998).

KUCHARIK, C. et al. Testing the Performance of a Dynamic Global Ecosystem Model: Water Balance, Carbon Balance, and Vegetation Structure, *Global Biogeochemical Cycles*, 14 (3), 795-825, 2000.

LARCHER, Walter. *Ecofisiologia Vegetal*. São Carlos: Rima, 2006.

LATRUBESSE EM, STEVAUX J & SINHA R. Tropical rivers. *Geomorphology, Netherlands*, 70 (3-4): 187-206, 2005.

LATHWELL, D. J. & GROVE, T. L. Soil – plant relationships in the tropics. *Annual Review of Ecology and Systematics* 17: 1-16, 1986.

KNYAZIKHIN, Y. et al. MODIS Leaf Area Index (LAI) and Fraction of Photosynthetically Active Radiation Absorbed by Vegetation (FPAR) Product (MOD15) Algorithm Theoretical Basis Document, 1999. Disponível em: <[http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd\\_mod15.pdf](http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod15.pdf) > Acesso em: 20 de Març. 2010.

MENDONÇA RC, FELFILI JM, WALTER BMT, SILVA MC, REZENDE AV, FILGUEIRAS TS & NOGUEIRA PE. 1998. Flora vascular do Cerrado. In: SANO SM & ALMEIDA SP. (Ed.). *Cerrado: ambiente e flora*. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, p. 289-556.

MYNENI, R.B.; et al. Global products of vegetation leaf area and fraction absorbed PAR from year one of MODIS data. *Remote Sensing of Environment*. v. 83, n. 1-2, p. 214– 231, Nov. 2002.

MYERS, N.; et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858, 2000.

OLESON, K. W., et al. (2008), Improvements to the Community Land Model and their impact on the hydrological cycle, *J. Geophys. Res.*, 113, G01021 doi:10.1029/2007JG000563.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS  
Relatório Final de Atividades

PILLAR, V. D. On the identification of optimal plant functional types. *Journal of Vegetation Science* 10: 631-640, 1999.

RATTER, J. A.; Bridgeater, S. 1997. The Brazilian Cerrado vegetation and threats to its biodiversity. *Annals of Botany* 80: 223-230.

REATTO, A; Correia, J.R.; Spera, S.T. Solos do Bioma Cerrado: aspectos pedológicos. *In: Sano, S.M.; Almeida, S.P., ed. Cerrado: ambiente e flora*. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. p.47-83.

ROSSATO, D. R., et al. Características estomáticas de pares congêneros de cerrado e mata de galeria crescendo numa região transicional no Brasil central. *Acta bot. Bras.* 23 (2): 499-508, 2008.

SCARIOT, A; Silva J. C. S.; Felifili, J.M. Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. 439 p: Il. ISBN 85-87166-81-6. Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação Brasília-DF 2005.

SELLERS, P. J; et al. A Simple Biosphere Model (SiB) for use within general circulation models. *J. Atmos. Sci.*, v. 43, 505-531, 1986.

SELLERS, P.J. The impact of using area-averaged land surface properties -topography, vegetation condition, soil wetness -In calculations of intermediate scale (approximately 10 km<sup>2</sup>) surface-atmosphere heat and moisture fluxes. *J. Hydrol.*, v.190, 3-4, pp. 269-301, 1997.

WOODWARD, F.I.; CRAMER, W. 1996. Plant functional types and climatic changes: Introduction. *J. Veg. Sci.* 7: 306-308.

YOUNG, M. D.; SOLBRIG, O. T. (Ed.). *The world's savannas: economic driving forces, ecological constraints and policy for sustainable use*. Paris: UNESCO, 1993. 350 p.