



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-14610-TDI/1190

**ANÁLISE HARMÔNICA DE SÉRIES TEMPORAIS DE DADOS
MODIS COMO UMA NOVA TÉCNICA PARA
CARACTERIZAÇÃO DA PAISAGEM E ANÁLISE DE LACUNAS
DE CONSERVAÇÃO**

María Silvia Pardi Lacruz

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, orientada pelos Drs. João Roberto dos Santos e Yosio Edemir Shimabukuro, aprovada em 25 de abril de 2006.

528.711.7

Pardi Lacruz, M. S.

Análise de séries temporais de dados *MODIS* como uma nova técnica para a caracterização de paisagem e análise de lacunas de conservação / María Silvia Pardi Lacruz. – São José dos Campos: INPE, 2006.

129p. ; (INPE-14610-TDI/1190)

1.Análise harmônica. 2.Análise de lacunas de conservação.
3.Corredores ecológicos. 4.Imagens *MODIS*. 5.Amazônia.
6.Cerrado. I.Título.

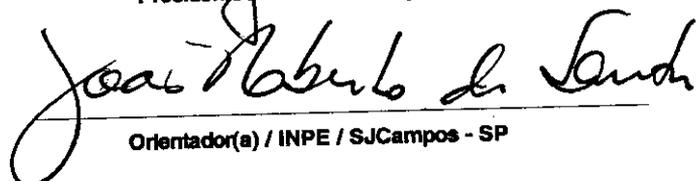
Aprovado (a) pela Banca Examinadora
em cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de **Doutor(a)** em
Sensoriamento Remoto

Dr. Nelson Jesus Ferreira



Presidente / INPE / SJCampos - SP

Dr. João Roberto dos Santos



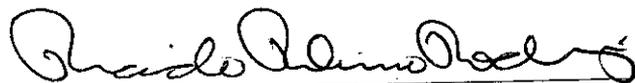
Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

Dr. Yosio Edemir Shimabukuro



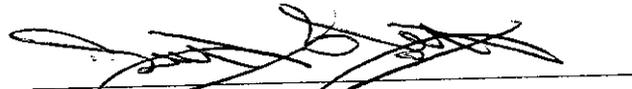
Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

Dr. Ricardo Ribeiro Rodrigues



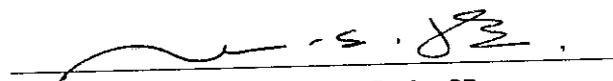
Convidado(a) / ESALQ/USP / Piracicaba - SP

Dr. Leandro Valle Ferreira



Convidado(a) / MPEG / Belém - PA

Dra. Marisa Dantas Bitencourt



Convidado(a) / USP / São Paulo - SP

Aluno (a): **Marfa Silvia Pardi Lacruz**

São José dos Campos, 25 de abril de 2006

Lo imposible está en la mente de los cómodos.

A papá.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de advertir que estes agradecimentos não estão finalizados. Mesmo tenham se passado muitos anos, já que sempre haverá pessoas que deveriam estar nesta lista e por esquecimento, não constam da mesma.

Ao Dr. João Roberto dos Santos, orientador acadêmico, pela amizade, confiança e oportunidades de pesquisa e ao Dr. Yosio Edemir Shimabukuro, orientador acadêmico, pelo aprendizado sobre os dados *MODIS*.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), pela oportunidade de estudo e utilização de suas instalações.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudo.

Ao Dr. Nelson Jesus Ferreira, por me apresentar a análise harmônica, e pelo seu constante incentivo, apoio e amizade.

Aos diferentes "pais" da implementação dos algoritmos de análise harmônica no IDL: Jorge Conrado Conforte, Manoel de Araújo Sousa Júnior e Camilo Daleles Rennó.

À Dra. Jeanine Maria Felfili e ao Dr. Juan Silva, por subministrar o trabalho e os mapas em formato digital (ainda sem publicar, na época) das unidades ecológicas do Cerrado.

Ao Edson Sano e ao Alfredo Pereira, pelas valiosas informações sobre o cerrado.

À Liana Anderson e ao Egidio Arai pelas dicas e informações sobre as imagens *MODIS*.

Ao meu vizinho de mesa, José Marinaldo Gleriani, pela amizade e pelas valiosas discussões sobre temas tão diversos.

Ao Camilo Daleles Rennó, amigo muito querido e especial desde o primeiro dia que começamos o mestrado.

À Cecília Maria Toledo Barbosa, Sidnei João Siqueira Sant'Anna e Terezinha Gomes, pela valiosa amizade.

Ao Dr. Lênio Soares Galvão, Dra. Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo e Sr. José Benedito dos Santos Novaes Martins, pelo apoio e a valiosa ajuda no momento que tanto necessitava.

A Etel, pelo seu apoio incondicional, sua ajuda e amizade.

A meus tios e primos que tanto torceram por mim.

Ao meu pai, exemplo de pessoa completa, como profissional, como amigo e, principalmente, como pai, muito querido por todos.

À minha mãe pelo incentivo e a força de sempre.

Ao Roberto, pelas possibilidades.

Ao Carlos Enrique, pela companhia eterna.

Ao Manoel, pelas discussões às vezes não tão "harmônicas" sobre a análise harmônica e principalmente pelo apoio incondicional, força, companheirismo e por estar sempre presente na minha vida.

RESUMO

Nos últimos anos, as políticas de conservação da natureza têm se baseado cada vez mais na constituição de redes de espaços protegidos, como corredores ecológicos, do que em unidades isoladas de conservação. Neste sentido, o uso de técnicas de sensoriamento remoto com sensores de moderada resolução espacial e alta frequência temporal, apresenta-se fundamental para a obtenção de informação atualizada de extensas regiões, o que tem dado origem à procura de novas técnicas de processamento e análise para este tipo de informação. A análise harmônica apresenta-se como uma técnica que permite integrar as características temporais de séries de imagens com a informação espacial das mesmas, obtendo assim, informação de grande utilidade para o monitoramento de áreas naturais e das atividades antrópicas que se desenvolvem nestas áreas. O objetivo do presente estudo é realizar uma análise de lacunas de conservação das ecorregiões que compõem os corredores ecológicos Sul da Amazônia e Jalapão - Mangabeiras, a partir da caracterização do uso e cobertura do solo obtido da aplicação de análise harmônica de imagens índice de vegetação *NDVI* e *EVI* do *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)*. A análise harmônica de séries temporais *MODIS* constitui uma nova técnica, eficiente e de grande utilidade para a caracterização da paisagem. Os resultados mostraram o potencial desta técnica para a geração de mapas de uso e cobertura do solo dos biomas Amazônia e Cerrado. Adicionalmente, a análise da representatividade dos tipos de vegetação na área em estudo demonstrou que em geral, a maioria das tipologias está presente em unidades de conservação, no entanto ao considerar somente aquelas unidades com pelo menos 10% protegido, há grandes vazios de conservação.

HARMONIC ANALYSIS OF TIME SERIES MODIS FOR THE LANDSCAPE CHARACTERIZATION AND GAP ANALYSIS OF THE SUL DA AMAZONIA AND JALAPÃO – MANGABEIRAS ECOLOGICAL CORRIDORS

ABSTRACT

In the last few years, nature conservation policies were based each time more on the constitution of protected spaces as ecological corridors, than in isolated conservation units. In this frame, the use of remote sensing techniques with sensors of moderate spatial resolution and high temporal frequency is of fundamental importance to obtain updated information from extensive regions, which originated the search for new processing and analysis techniques for this type of information. The harmonic analysis is a technique that allows the integration of the temporal characteristics of image series with its spatial information, obtaining so information of great utility to monitor natural areas and human activities developed in these areas. The objective of this study is to do an analysis of gaps of conservation from eco-regions which compose the ecological corridors of "South Amazon" and "Jalapão-Mangabeiras" regions, from the characterization of land use/land cover obtained by the application of harmonic analysis of vegetation indices images like NDVI and EVI from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). The results showed the potential of harmonic analysis to obtain information on the dynamics of land use/land cover from natural and human landscapes; for the classification of the additive term, amplitude and the phase of the first harmonic which permits to map the area satisfactorily and the deforestation of both the Amazon and the Savanna (Cerrado) biomes. Additionally the analysis of the representation of vegetation types in the area under study showed that in general most typologies occur in conservation units. Nevertheless when considering only those units with at least 10% from the area under protection, there are many spaces without conservation.

SUMÁRIO

Pág.

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-------------------|---|-----------|
| CAPÍTULO 1 | INTRODUÇÃO | 23 |
| CAPÍTULO 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 27 |
| 2.1 | Índices de Vegetação do <i>MODIS</i> | 27 |
| 2.1.1 | O <i>NDVI/MODIS</i> | 28 |
| 2.1.2 | O <i>EVI/MODIS</i> | 29 |
| 2.1.3 | Geração dos Índices de Vegetação do <i>MODIS</i> | 31 |
| 2.1.4 | Exemplos de Aplicações dos Índices de Vegetação do <i>MODIS</i> | 32 |
| 2.2 | Análise Harmônica | 33 |
| 2.3 | Corredores Ecológicos | 37 |
| 2.4 | Análise de Lacunas de Conservação | 41 |
| 2.4.1 | Análise de Lacunas de Conservação no Brasil | 44 |
| CAPÍTULO 3 | ÁREA EM ESTUDO | 47 |
| CAPÍTULO 4 | MATERIAIS E MÉTODO | 51 |
| 4.1 | Materiais | 51 |
| 4.1.1 | Séries Temporais <i>MODIS</i> | 51 |
| 4.1.2 | Imagens <i>TM/Landsat</i> e <i>CCD/CBERS</i> | 51 |
| 4.1.3 | Material Cartográfico e Tabular | 51 |
| 4.1.4 | Trabalhos de Campo | 52 |
| 4.1.5 | Programas de Computador Utilizados nesta Tese | 53 |
| 4.2 | Metodologia | 53 |
| 4.2.1 | Pré-processamento das Séries Temporais <i>MODIS</i> | 53 |
| 4.2.2 | Análise Harmônica | 53 |
| 4.2.3 | Estruturação do Banco de Dados | 54 |
| 4.2.4 | Mapa de Uso e Cobertura do Solo Baseado nos Resultados da Análise Harmônica | 54 |
| 4.2.5 | Análise de Lacunas de Conservação | 55 |

| | | |
|-------------------|---|------------|
| CAPÍTULO 5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 57 |
| 5.1 | Análise Harmônica | 57 |
| 5.1.1 | Caracterização do Uso e Cobertura do Solo Utilizando Análise Harmônica.. | 58 |
| 5.1.1.1 | Imagens Termo Aditivo..... | 58 |
| 5.1.2 | Imagens Amplitude | 61 |
| 5.1.3 | Imagens Fase | 64 |
| 5.1.4 | Imagens Variância | 66 |
| 5.1.5 | Comportamento de Algumas Feições através de Análise Harmônica | 67 |
| 5.1.5.1 | Floresta Primária | 67 |
| 5.1.5.2 | Vegetação Secundária | 68 |
| 5.1.5.3 | Cerrado | 69 |
| 5.1.5.4 | Agricultura | 70 |
| 5.1.6 | Classificação das Imagens Termo Aditivo, Amplitude e Fase | 71 |
| 5.2 | Análise de Lacunas de Conservação | 79 |
| 5.2.1 | Representatividade Ecológica dos Tipos de Vegetação nas Unidades de Conservação de Proteção Integral na Área de Estudo | 79 |
| 5.2.2 | Representatividade Ecológica dos Tipos de Vegetação nas Unidades de Conservação de Proteção Integral nas Diferentes Ecorregiões | 87 |
| 5.2.2.1 | Interflúvio do Madeira - Tapajós | 88 |
| 5.2.2.2 | Interflúvio do Tapajós - Xingu | 90 |
| 5.2.2.3 | Interflúvio do Xingu - Tocantins – Araguaia | 91 |
| 5.2.2.4 | Interflúvio do Tocantins - Araguaia – Maranhão | 92 |
| 5.2.2.5 | Florestas Secas do Mato Grosso | 93 |
| 5.2.2.6 | Florestas de Babaçu do Maranhão | 94 |
| 5.2.2.7 | Planícies de Tocantins - Piauí - Bahia | 95 |
| 5.2.3 | Representatividade Ecológica dos Tipos de Vegetação nas Unidades de Conservação de Proteção Integral nos Corredores Ecológicos | 97 |
| 5.2.3.1 | Corredor Sul da Amazônia | 97 |
| 5.2.3.2 | Corredor Jalapão – Mangabeiras | 102 |
| CAPÍTULO 6 | CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 105 |
| 6.1 | Conclusões | 105 |
| 6.2 | Recomendações | 107 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 109 |
| | APÊNDICE A | 117 |

LISTA DE FIGURAS

| | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| 2.1 - Curva de coseno representando o primeiro harmônico (a); curvas para os primeiros três harmônicos (b); curva resultante da somatória dos três harmônicos (c)..... | 34 |
| 2.2 - Funções dos corredores de conservação | 41 |
| 3.1 - Ecorregiões que compõem a área em estudo | 48 |
| 5.1 - Imagem termo aditivo ou termo zero do índice de vegetação <i>NDVI</i> , a linha preta indica o limite da área em estudo | 58 |
| 5.2 - Imagem termo aditivo ou termo zero do índice de vegetação <i>EVI</i> , a linha preta indica o limite da área em estudo | 59 |
| 5.3 - Perfil na imagem termo aditivo do índice <i>EVI</i> representando cerrado, contato floresta - cerrado, floresta primária e vegetação secundária | 60 |
| 5.4 - Perfil na imagem termo aditivo do índice <i>NDVI</i> representando cerrado, contato floresta - cerrado, floresta primária e vegetação secundária | 61 |
| 5.5 - Imagem amplitude do primeiro harmônico do índice <i>EVI</i> | 62 |
| 5.6 - Imagem amplitude do primeiro harmônico do índice <i>NDVI</i> | 62 |
| 5.7 - Primeiro (a) e segundo termo (b) da imagem amplitude do <i>EVI</i> para o ano de 2004 de uma área agrícola localizada no cerrado; os tons de amarelo e vermelho indicam as áreas de maior variação durante o ano | 63 |
| 5.8 - Imagem ângulo de fase do índice de vegetação <i>EVI</i> | 64 |
| 5.9 - Imagem ângulo de fase do índice de vegetação <i>NDVI</i> | 65 |
| 5.10 - Diferença de ângulo de fase em áreas de desflorestamento localizadas ao norte (a) e ao sul (b) da área em estudo | 65 |
| 5.11 - Imagem variância do <i>EVI</i> correspondente ao primeiro harmônico | 66 |
| 5.12 - Imagem variância do <i>NDVI</i> correspondente ao primeiro harmônico | 67 |
| 5.13 - Curva de ajuste de amostra de floresta primária (a) e distribuição da variância (b) | 68 |
| 5.14 - Curva de ajuste de amostra de vegetação secundária (a) e distribuição da variância (b) | 69 |
| 5.15 - Curva de ajuste de uma amostra de cerrado (a) e distribuição da variância (b) | 69 |
| 5.16 - Curva de ajuste de amostra de agricultura com ciclo anual (a) e distribuição da variância (b) | 70 |

| | |
|---|----|
| 5.17 - Curva de ajuste de amostra de agricultura com ciclo semianual (a) e distribuição da variância (b) | 71 |
| 5.18 - Composição colorida das imagens amplitude (R), termo aditivo (G) e ângulo de fase das ecorregiões Florestas Secas do Mato Grosso e interflúvio do Xingu - Tocantins - Araguaia | 72 |
| 5.19 - Classificação das imagens termo aditivo, amplitude e fase das ecorregiões Florestas Secas do Mato Grosso e interflúvio do Xingu - Tocantins - Araguaia | 73 |
| 5.20 - Comparação dos resultados da classificação das imagens termo aditivo, amplitude e fase (a) e o resultado do Projeto PRODES (b) | 75 |
| 5.21 - Diagrama polar com a distribuição de amostras de campo limpo (em laranja) e campo sujo (em verde) | 76 |
| 5.22 - Diagrama polar com a distribuição de amostras de campo cerrado (em azul) e cerrado (em vermelho) | 76 |
| 5.23 - Composição colorida das imagens amplitude (R), termo aditivo (G) e ângulo de fase das unidades ecológicas do cerrado consideradas neste estudo | 77 |
| 5.24 - Classificação a partir das imagens termo aditivo, amplitude e fase das unidades ecológicas do cerrado consideradas neste estudo | 78 |
| 5.25 - Mapa de unidades de vegetação do IBGE utilizado na análise de lacunas de conservação (escala original 1:5.000.000) | 80 |
| 5.26 - Mapa de representatividade dos tipos de vegetação na área em estudo..... | 83 |
| 5.27 - Mapa de representatividade dos tipos de vegetação com pelo menos 10% da sua área em unidades de conservação | 84 |
| 5.28 - Mapa de representatividade dos tipos de vegetação em unidades de conservação e terras indígenas | 85 |
| 5.29 - Mapa de representatividade dos tipos de vegetação com pelo menos 10% da sua área em unidades de conservação e em terras indígenas | 86 |
| 5.30 - Mapas de representatividade dos tipos de vegetação considerando a presença/não presença (a) e pelo menos 10% da área (b) na ecorregião Interflúvio do Madeira - Tapajós | 89 |
| 5.31 - Mapas de representatividade dos tipos de vegetação considerando a presença/não presença (a) e pelo menos 10% da área (b) na ecorregião Interflúvio do Tapajós - Xingu | 90 |
| 5.32 - Mapas de representatividade dos tipos de vegetação considerando a presença/não presença (a) e pelo menos 10% da área (b) na ecorregião Xingu - Tocantins - Araguaia | 92 |

| | |
|--|-----|
| 5.33 - Mapas de representatividade dos tipos de vegetação considerando a presença/não presença (a) e pelo menos 10% da área (b) na ecorregião interflúvio do Tocantins - Araguaia - Maranhão | 93 |
| 5.34 - Mapas de representatividade dos tipos de vegetação considerando a presença/não presença (a) e pelo menos 10% da área (b) na ecorregião Floresta Secas de Mato Grosso | 94 |
| 5.35 - Mapas de representatividade dos tipos de vegetação considerando a presença/não presença (a) e pelo menos 10% da área (b) na ecorregião Florestas de Babaçu de Maranhão | 95 |
| 5.36 - Mapas de representatividade dos tipos de vegetação considerando a presença/não presença (a) e pelo menos 10% da área (b) na ecorregião Planícies de Tocantins - Piauí - Bahia | 96 |
| 5.37 - Reserva Biológica do Gurupi (em primeiro plano) e a Terra Indígena Baú (floresta em segundo plano) | 98 |
| 5.38 - Usos conflitantes verificados dentro da reserva Biológica do Gurupi: exploração madeireira (a); áreas de pastagem (b); queimadas após desflorestamento (c); fornos de carvão (d) | 99 |
| 5.39 - Mapas de representatividade dos tipos de vegetação considerando a presença/não presença (a) e pelo menos 10% da área (b) no Corredor Ecológico Sul da Amazônia | 100 |
| 5.40 - Unidades de conservação federais e estaduais do Corredor Ecológico Jalapão - Mangabeiras | 102 |
| 5.41 - Mapa de representatividade dos tipos de vegetação no Corredor Ecológico Jalapão - Mangabeiras | 103 |

LISTA DE TABELAS

| | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| 5.1 - Percentagem de Área Protegida em Unidades de Conservação Integral, Área Desflorestada e Número de Focos de Queimadas para o Ano 2004 de cada Ecorregião | 87 |
| 5.2 - Número de Focos de Queimadas nas Unidades Conservação de Proteção Integral da Ecorregião Interflúvio do Madeira - Tapajós para o Período 2001 - 2004 | 89 |
| 5.3 - Número de Focos de Queimadas nas Unidades de Conservação de Proteção Integral da Ecorregião Planícies Tocantins - Piauí - Bahia para o Período 2001 - 2004 | 97 |
| 5.4 - Tipos de Vegetação Presentes no Corredor Ecológico Sul da Amazônia e Representatividade dentro das Unidades de Conservação e Terras Indígenas . | 101 |
| 5.5 - Tipos de Vegetação Presentes no Corredor Ecológico Sul da Amazônia e Representatividade dentro das Unidades de Conservação e Terras Indígenas . | 104 |
| A.1 - Tipos de Vegetação Presentes na Área em Estudo e Extensão em Unidades de Conservação de Proteção Integral, em Terras Indígenas e em Ambas..... | 117 |
| A.2 - Tipos de Vegetação Presentes na Ecorregião Interflúvio do Madeira - Tapajós e Extensão em Unidades de Conservação de Proteção Integral, em Terras Indígenas e em Ambas | 119 |
| A.3 - Tipos de Vegetação Presentes na Ecorregião Interflúvio do Tapajós - Xingu e Extensão em Unidades de Conservação de Proteção Integral, em Terras Indígenas e em Ambas | 121 |
| A.4 - Tipos de Vegetação Presentes na Ecorregião Interflúvio do Xingu - Tocantins - Araguaia e Extensão em Unidades de Conservação de Proteção Integral, em Terras Indígenas e em Ambas | 122 |

| | |
|--|-----|
| A.5 - Tipos de Vegetação Presentes na Ecorregião Interflúvio do Tocantins - Araguaia - Maranhão e Extensão em Unidades de Conservação de Proteção Integral, em Terras Indígenas e em Ambas | 123 |
| A.6 - Tipos de Vegetação Presentes na Ecorregião Florestas Secas do Mato Grosso e Extensão em Unidades de Conservação de Proteção Integral, em Terras Indígenas e em Ambas | 124 |
| A.7 - Tipos de Vegetação Presentes na Ecorregião Florestas de Babaçu do Maranhão e Extensão em Unidades de Conservação de Proteção Integral, em Terras Indígenas e em Ambas | 126 |
| A.8 - Tipos de Vegetação Presentes Na Unidade Ecológica Planícies de Tocantins - Piauí - Bahia e Extensão em Unidades de Conservação de Proteção Integral, Terras Indígenas e em Ambas..... | 128 |

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A perda de biodiversidade é um aspecto particularmente grave na região tropical onde populações humanas crescentes e pressões econômicas estão levando a uma ampla conversão das florestas tropicais em um mosaico de habitats alterados. Mais recentemente, a expansão da fronteira agrícola sobre áreas de cerrados tem sido bastante expressiva convertendo este bioma numa paisagem fragmentada inserida em uma matriz de agrossistemas.

Na Amazônia brasileira a eliminação de florestas cresceu durante as décadas de 70 e 80 e continua em taxas alarmantes. Dados oficiais do INPE sobre o desflorestamento na região amazônica mostram que já foram desflorestados cerca de 700 mil quilômetros de florestas, sendo o último dado oficial o estimado para o período agosto 2003 a agosto 2004 de 26.30 km² (INPE, 2006). No entanto, esta situação é ainda mais grave, já que no programa de monitoramento realizado pelo INPE somente estão contabilizadas as áreas onde a floresta foi totalmente retirada através de práticas de corte raso, sem considerar as degradações provocadas por atividades madeireiras e incêndios florestais (Skole e Tucker, 1993; Krug, 2001), nem aquelas áreas originalmente ocupadas por formações savânicas.

A maior parte da atividade madeireira tem ocorrido de forma complementar à agricultura, de maneira que a fronteira de exploração madeireira tem acompanhado a expansão da fronteira agrícola. Embora existam áreas com manejo florestal, o padrão dominante é a exploração madeireira predatória caracterizada por danos excessivos à floresta, pressão excessiva sobre espécies de alto valor econômico e aumento da suscetibilidade ao fogo das áreas exploradas (Uhl et al., 1997).

Uma forma de minimizar os efeitos da destruição de habitats e do empobrecimento de biodiversidade é através da criação de áreas protegidas ou ampliação das já existentes. No Brasil, o sistema de Áreas de Proteção Federal é insuficiente e apresenta limitações:

algumas unidades de conservação criadas a partir da década de 60 ainda não foram legalmente implementadas e inclusive, em alguns casos os proprietários anteriores não foram indenizados (Silva, 2005).

Inicialmente, o motivo principal para a criação de unidades de conservação era preservar áreas de belezas naturais (Margules e Usher, 1981). Posteriormente, determinou-se que os esforços de conservação não deveriam estar limitados somente à proteção de paisagens atraentes e ser estendidos para proteger as áreas que permitam manter os ecossistemas e o equilíbrio ecológico. Novos critérios também estão baseados no grau de endemismos e na fragmentação do habitat (Ferreira et al., 1999).

Neste cenário é necessário estabelecer uma metodologia para criar novas áreas de conservação e/ou aumentar as áreas existentes, levando em consideração a representatividade e a persistência (uma vez criada, deve promover a sobrevivência das espécies e da biodiversidade nela contida). A representatividade das unidades de conservação pode ser estudada através da análise de lacunas de conservação, metodologia que identifica vazios de informação na representação da biodiversidade em áreas de manejo; esta metodologia visa manter, a longo prazo, as populações de espécies nativas e os ecossistemas naturais. Uma solução intermediária entre o planejamento resultante da análise de lacunas e o planejamento que valoriza a continuidade, resultando em unidades de conservação maiores e de difícil manejo são os corredores ecológicos (Oliveira et al., 2002).

Os corredores ecológicos têm sido apontados como uma estratégia adequada para minimizar a perda de espécies e da variabilidade genética associadas com o isolamento das áreas protegidas, para promover a conectividade entre diferentes unidades de conservação, e incentivar usos de baixo impacto nas áreas vizinhas às unidades de conservação. A delimitação e estabelecimento de corredores ecológicos e em geral, de unidades de conservação exigem estudos sobre os recursos naturais, as ameaças e pressões existentes sobre os mesmos, assim como das áreas protegidas já criadas e a sua representatividade no âmbito biorregional.

Neste sentido, o uso de técnicas de sensoriamento remoto aplicadas a sensores de moderada resolução espacial e alta frequência temporal apresenta-se fundamental para a obtenção de informação atualizada de extensas regiões, o que tem dado origem à procura de novas técnicas de processamento e análise para este tipo de informação. A análise harmônica, comumente aplicada a dados meteorológicos, apresenta-se como uma técnica que permite integrar as características temporais de séries de imagens com a informação espacial da mesma, obtendo assim, informação de grande utilidade para o monitoramento de áreas naturais e das atividades antrópicas que se desenvolvem nestas áreas.

Assim, as hipóteses que sustentam este estudo são:

- Utilizando séries temporais de índices de vegetação de imagens *MODIS* e análise harmônica é possível obter informação sobre a dinâmica da vegetação e do uso do solo dos corredores ecológicos Sul da Amazônia e Jalapão - Mangabeiras.
- Os tipos de vegetação presentes nos corredores ecológicos em estudo estão devidamente representados e em condições adequadas nas unidades de proteção integral que estão localizadas dentro destes corredores.

Este trabalho tem como objetivo geral realizar uma análise de lacunas de conservação das ecorregiões que compõem os corredores ecológicos Sul da Amazônia e Jalapão - Mangabeiras, a partir da caracterização do uso e cobertura do solo obtido da aplicação de análise harmônica de imagens índice de vegetação *NDVI* e *EVI* do *MODIS* (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*).

Os objetivos específicos do presente trabalho são:

- Analisar a dinâmica sazonal do uso e cobertura do solo a partir de séries temporais (janeiro 2001 - dezembro 2004) de imagens *NDVI* e *EVI* do sensor *MODIS* utilizando técnicas de análise harmônica.

- Elaborar um mapa de uso e cobertura do solo atualizado a partir do mapa de vegetação e as imagens termo aditivo, amplitude e fase obtidas da análise harmônica.
- Determinar e analisar a representatividade dos tipos de vegetação nas diferentes unidades de proteção integral, localizadas dentro das ecorregiões que compõem a área em estudo.
- Criar um banco de dados geográficos com informações relevantes para a consolidação do sistema de vigilância e monitoramento e como subsídio ao plano de manejo dos corredores ecológicos em estudo.

Este trabalho está organizado em cinco capítulos. O Capítulo 1 apresenta uma breve introdução sobre os corredores ecológicos e a utilização de séries de índice de vegetação *MODIS* e análise harmônica como fonte de dados e tipo de processamento respectivamente, assim como a hipótese de trabalho e os objetivos a serem atingidos. O Capítulo 2 contém a fundamentação teórica na qual a pesquisa foi baseada. No Capítulo 3 é apresentada a caracterização da área de estudo. O Capítulo 4 contém o material utilizado e o procedimento metodológico definido para a elaboração do trabalho. Os resultados obtidos e a discussão dos mesmos estão apresentados no Capítulo 5. O Capítulo 6 contém as conclusões e considerações finais do trabalho e um último capítulo com a bibliografia citada.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são abordados aspectos relacionados com os índices de vegetação do *MODIS*, suas características e formulações, assim como o processo de geração das composições índice de vegetação. Em seguida, se discutem aspectos relacionados com a análise harmônica e a aplicação desta técnica. Na sessão seguinte se apresentam as definições de corredores ecológicos, as características e funções. Para finalizar, se discutem aspectos relacionados com a análise de lacunas de conservação e se apresentam exemplos de aplicação no Brasil.

2.1 Índices de Vegetação do *MODIS*

Os índices de vegetação são transformações espectrais de duas ou mais bandas realizadas com o intuito de realçar a contribuição das propriedades da vegetação e permitir comparações espaciais e temporais da atividade fotossintética e das variações estruturais do dossel. Estes índices estão correlacionados com o índice de área foliar, a biomassa e com a percentagem de cobertura da vegetação e permitem monitorar as variações sazonais, interanuais e em longo prazo da vegetação no que se refere a parâmetros estruturais, fenológicos e biofísicos (Huete et al., 2002).

Os índices de vegetação não respondem somente à quantidade de vegetação fotossinteticamente ativa num *pixel*, mas também ao conteúdo de clorofila da folha, à fisionomia e estrutura do dossel.

Dentre os produtos derivados do *MODIS* existem dois índices de vegetação: o *Normalized Difference Vegetation Index - NDVI* e o *Enhanced Vegetation Index - EVI*, os quais são produzidos em composições de 16 dias com resolução de 250 m, 500 m, 1 km e 25 km, e composições mensais com resolução de 1 km e 25 km; os produtos de 25 km são utilizados em modelagem climática (Huete et al. 2002).

Estes dois índices se complementam em estudos globais de vegetação, tanto na detecção de mudanças na vegetação como na extração de parâmetros biofísicos do dossel:

enquanto o *NDVI* é sensível à clorofila, o *EVI* responde mais às variações estruturais do dossel, incluindo índice de área foliar, tipo de dossel, fisionomia da planta e arquitetura do dossel (Gao et al., 2000; Huete et al., 2002). Os valores de *EVI* são geralmente menores que os do *NDVI* de maneira a garantir a sensibilidade em toda a variabilidade de paisagens: de desertos a florestas densas. Quando não há variações significativas no solo de fundo e no conteúdo de aerossóis da atmosfera, os valores dos índices estão altamente correlacionados. Em solos escuros, o *NDVI* apresenta valores mais altos e incorretos; neste índice as relações biofísicas são dependentes do brilho do substrato de fundo, enquanto no *EVI* são quase independentes.

Para os índices de vegetação do *MODIS* é disponibilizada também a imagem de qualidade, as quais permitem ter informação *pixel a pixel* sobre a qualidade do índice, quantidade de aerossóis presentes, correções atmosféricas aplicadas, presença de nuvens misturadas e método utilizado para a geração da composição, dentre outros.

2.1.1 O NDVI/MODIS

O *NDVI* é uma razão normalizada das bandas do infravermelho próximo e o vermelho e foi incluído no *MODIS* como uma forma de dar continuidade aos dados de *NDVI* obtidos a partir do *AVHRR NOAA* (Justice et al., 1998). O *NDVI* é calculado a partir da seguinte fórmula:

$$\text{NDVI} = \frac{r_{\text{IVP}} - r_{\text{VERMELHO}}}{r_{\text{IVP}} + r_{\text{VERMELHO}}} \quad (2.1)$$

onde r_{IVP} e r_{VERMELHO} são os fatores de reflectância de superfície das bandas do infravermelho próximo e do vermelho, respectivamente.

O *NDVI* tem sido o índice de vegetação mais utilizado em aplicações florestais, de agricultura e ecológicas e como um importante parâmetro para vários modelos em escala regional e global, incluindo modelos de circulação global, modelos hidrológicos e biogeoquímicos. Apesar de sua ampla utilização, este índice apresenta limitações no que se refere a sua alta sensibilidade à variação do substrato do dossel, sendo que a

degradação do *NDVI* é particularmente forte em substratos de alto brilho (Huete, 1987); sensibilidade à presença de aerossóis (Holben, 1986) e, à saturação do índice em dosséis densos ou de alto índice de área foliar (Lillesaeter, 1982), a qual é mais pronunciada nos dados *MODIS* devido à banda vermelha ser mais estreita (Huete et al. 2000). Outras desvantagens do *NDVI* são a não linearidade inerente dos índices baseados em razão de bandas e os efeitos, ainda persistentes no *NDVI/MODIS*, de ruídos aditivos (Huete, 1988).

As bandas espectrais do *MODIS* utilizadas para a geração deste índice (vermelha, 620 - 670 nm e infravermelha próxima, 841 - 876 nm) são mais estreitas do que as bandas no *AVHRR* (vermelha, 580 - 680 nm e infravermelha próxima, 725 - 1100 nm) o que ocasiona diferenças na resposta espectral dos dosséis e, por conseguinte, diferenças na resposta do índice de vegetação (Teillet et al., 1997). As bandas mais estreitas do *MODIS* excluem as regiões de absorção de água localizadas em 950 nm e 1100 nm, aproximadamente, e também faz a banda vermelha mais sensível à absorção da clorofila (van Leeuwen et al., 1999).

2.1.2 O *EVIMODIS*

Progressos significativos têm sido feitos com o intuito de melhorar as equações para o cálculo dos índices de vegetação e de reduzir os problemas de fundo do dossel, de contaminação atmosférica e de saturação (Huete et al., 1994). A seqüência desses progressos iniciou-se com o *SAVI* - *Soil Adjusted Vegetation Index*, o qual permite modelar de maneira mais precisa a transferência da radiação infravermelha em dosséis abertos, com o objetivo de remover os ruídos de substrato (Huete, 1988). A fórmula para calcular o *SAVI*:

$$SAVI = \frac{(1+L)(r_{IVP} - r_{VERMELHO})}{(r_{IVP} + r_{VERMELHO} + L)} \quad (2.2)$$

onde r_{IVP} é a reflectância do infravermelho próximo, $r_{VERMELHO}$ a reflectância do vermelho e L, o fator de ajuste do substrato do dossel, cujo valor pode variar de 0 para áreas com alta densidade de cobertura vegetal até 1 para áreas com pouca cobertura de

vegetação. Ferreira e Huete (2004) utilizaram o valor de $L = 0,5$ em um estudo numa área de cerrado do Brasil.

Posteriormente, Kaufman e Tanré (1992) desenvolveram um índice de vegetação resistente aos efeitos atmosféricos, para o qual incorporaram a banda azul na equação do *NDVI* surgindo o *ARVI - Atmospherically Resistant Vegetation Index* cuja fórmula é:

$$ARVI = \frac{(r^{\circ}_{IVP} - r^{\circ}_{VERMELHO AZUL})}{(r^{\circ}_{IVP} + r^{\circ}_{VERMELHO AZUL})} \quad (2.3)$$

onde r° são as reflectâncias com correções prévias para espalhamento molecular e absorção de ozônio das bandas do infravermelho próximo, do vermelho e do azul, e L é um fator para minimizar os efeitos do ruído atmosférico, que os autores recomendam que seja igual a 1 (Karnieli et al. 2001).

O *EVI* é um índice melhorado para realçar o sinal da vegetação através da otimização na sensibilidade em regiões com altos valores de biomassa e permite realizar um melhor monitoramento da vegetação através da redução dos efeitos de substrato do dossel e da influência da atmosfera (Huete et al., 1994; Huete et al., 1997). A fórmula para calcular o *EVI* é a seguinte:

$$EVI = G \frac{r_{IVP} - r_{VERMELHO}}{r_{IVP} + C_1 \times r_{VERMELHO} - C_2 \times r_{AZUL} + L} \quad (2.4)$$

onde G é o ganho; r é a reflectância de superfície corrigida ou parcialmente corrigida da absorção das bandas do infravermelho próximo, do vermelho e do azul, respectivamente; L é o fator de ajuste do substrato do dossel; C_1 e C_2 são coeficientes da resistência de aerossóis, que utiliza a banda azul para atenuar a influência dos aerossóis na banda vermelha (Kaufman e Tanré, 1992). Os coeficientes adotados no algoritmo do *EVI/MODIS* são: $L = 1$, $C_1 = 6$, $C_2 = 7,5$ e ganho $G = 2,59$ (Huete et al., 1994).

2.1.3 Geração dos Índices de Vegetação do MODIS

Os índices de vegetação do *MODIS* são gerados a partir de observações num período de 16 dias; pela sobreposição da órbita e as múltiplas observações num mesmo dia, durante um ciclo podem ser coletadas um máximo de 64 observações, porém, devido à presença de nuvens e à cobertura espacial do sensor, este número pode variar entre 0 e 64, com menores observações nas latitudes equatoriais.

Uma vez coletadas todas as observações do período, é aplicado um filtro baseado na qualidade, presença de nuvens e geometria de observação, de maneira que somente aqueles *pixels* com alta qualidade e livres de nuvens são retidos para gerar a composição. *Pixels* contaminados com nuvens e com ângulos de observação extremos *off-nadir* são considerados de baixa qualidade, enquanto que *pixels* com visão nadir e com mínimos resíduos atmosféricos representam os *pixels* de melhor qualidade. Geralmente, o número de *pixels* aceitáveis para gerar a composição é menor do que 10 e freqüentemente, inclusive menor do que 5.

O algoritmo para a geração dos índices de vegetação do *MODIS* dispõe de três componentes: o *BRDF-C* - *bidirectional reflectance distribution function composite*; o *CV-MVC* - *constrained-view angle - maximum value composite*; e o *MVC* - *maximum value composite*. A técnica utilizada depende do número e a qualidade das observações e tanto o *NDVI* como o *EVI* são calculados utilizando os mesmos *pixels* (Huete et al., 2002).

Primeiramente, o método utilizado é o *BRDF-C* que usa todas as observações com reflectância bidirecional de qualidade aceitável. Este método apresenta a desvantagem que necessita no mínimo, cinco observações livres de nuvens (van Leeuwen et al., 1999; Huete et al., 2002).

Nos casos em que não se disponha das cinco observações livres de nuvens, o algoritmo adota o método *CV-MVC*, o qual compara os dois maiores valores de *NDVI* e seleciona a observação mais próxima ao nadir, procedimento este que ajuda a reduzir a

descontinuidade espacial e temporal da composição (van Leeuwen et al., 1999; Huete et al., 2002).

Caso somente uma observação de qualidade esteja disponível, os índices de vegetação são calculados a partir desse valor; se nenhuma observação passou a etapa da filtragem, a técnica *MVC* é utilizada, selecionando o *pixel* de maior valor de *NDVI* para formar a composição. Este método minimiza a seleção de *pixels* com nuvens ou aerossóis e a influência do ângulo de visada não é tão forte no caso de dados sem correção atmosférica. No entanto, no caso de dados *MODIS* que os valores passam por uma correção atmosférica antes da composição do índice de vegetação, o *MVC* aumenta a seleção de *pixels off-nadir*, particularmente em florestas abertas, com altos valores de *NDVI* quando observados obliquamente (Huete et al., 2002).

2.1.4 Exemplos de Aplicações dos Índices de Vegetação do MODIS

Algumas das aplicações dos índices de vegetação do *MODIS* em áreas da Amazônia e do Cerrado indicam em geral, bons resultados na discriminação de diferentes tipologias vegetais ou das características fenológicas. Huete et al. (2002) avaliaram os produtos de índice de vegetação nos primeiros 12 meses, comparando-os com medidas radiométricas obtidas de avião, imagens *ETM+* e dados biofísicos coletados em campo. Os autores utilizaram quatro áreas-teste que representam vários tipos de biomas: áreas semi-áridas com a presença de gramíneas, áreas semi-áridas com arbustos, savanas e florestas tropicais. Os resultados mostraram que os dados *MODIS* permitiram discriminar variações sazonais na vegetação, variações na cobertura da superfície terrestre e que os dados foram sensíveis às variações nos parâmetros biofísicos da vegetação. Os dados correspondentes à Floresta Nacional do Tapajós apresentaram ruídos devido à baixa qualidade dos *pixels* disponíveis, os quais não permitiram observar padrões fenológicos da vegetação.

Ferreira et al. (2001) avaliaram o desempenho dos índices de vegetação *EVI/MODIS* e *NDVI/MODIS* na discriminação de tipos de vegetação do cerrado no Parque Nacional de Brasília. A partir da análise das variações sazonais registradas nas imagens índices de vegetação foram discriminadas as classes: campo limpo, campo sujo, campo cerrado,

cerrado e floresta de galeria. O *EVI* mostrou uma resposta melhor do que o *NDVI* ainda que não foi possível diferenciar entre cerrado e campo cerrado; já o *NDVI* não discriminou entre campo limpo e campo sujo.

Ferreira et al. (2004) utilizaram o espectro completo de bandas *MODIS* e os índices de vegetação *NDVI* e *EVI* para a discriminação dos tipos de cobertura vegetal de uma região de cerrado no Brasil. Os resultados indicaram que o melhor resultado encontrado foi com a utilização de todas as bandas disponíveis (91% de acerto na classificação). No que se refere aos índices de vegetação, o *NDVI* apresentou um melhor desempenho que o *EVI* (75% e 71% respectivamente) já que permitiu uma melhor discriminação entre as classes enquanto o *EVI* mostrou uma maior variação intraclasse, gerando confusão na discriminação das mesmas. No entanto os autores reportaram que através da utilização destes dois índices em conjunto, a discriminação das classes aumenta para 82%.

Zhang et al. (2003) propuseram uma nova metodologia para estudo da fenologia da vegetação baseado na observação de quatro etapas chaves de transição: crescimento (início da atividade fotossintética); maturidade (área foliar máximo da planta); senescência (decréscimo rápido da atividade fotossintética e da área foliar); e, dormência (atividade fisiológica da planta próxima de 0). Estes autores aplicaram a metodologia proposta numa área em New England, utilizando o *EVI* e o *NDSI - Normalized Difference Snow Index* a partir de dados *MODIS* e obtiveram resultados consistentes com o comportamento da vegetação da região.

2.2 Análise Harmônica

A abordagem dos estudos sobre fenologia da vegetação utilizando séries temporais de imagens de sensoriamento remoto tem variado consideravelmente, desde a análise por componentes principais, análise textural até a utilização de métricas que descrevem as mudanças sazonais do índice de vegetação de diferença normalizada. Recentemente, a análise harmônica ou análise de Fourier tem sido utilizada para analisar séries sucessivas de imagens de sensoriamento remoto (Jakubauskas et al., 2001).

A análise harmônica permite representar uma função complexa como a somatória de ondas (termos) senoidais e cossenoidais, onde cada onda é definida por um valor único de amplitude e de fase. A amplitude corresponde à metade do valor onde a função é maximizada e a fase (ou ângulo de fase) é o deslocamento entre a origem e o pico da onda no intervalo de 0 até 2π (Davis, 1986).

Cada termo designa o número de ciclos completados por uma onda num determinado intervalo: o primeiro harmônico ou harmônico fundamental tem um período T (onda anual) igual ao período total em estudo; o segundo harmônico tem um período igual à metade do período do primeiro harmônico $T/2$ (onda semestral), o terceiro harmônico $T/3$ (onda quadrimestral) e assim sucessivamente (). Em geral, o número de harmônicos equivale à metade do número de observações, no entanto, os dois ou três primeiros harmônicos geralmente são suficientes para descrever a função periódica. Similar á técnica de componentes principais, cada termo representa uma percentagem da variância total da série de dados (Panofsky e Brier, 1968).

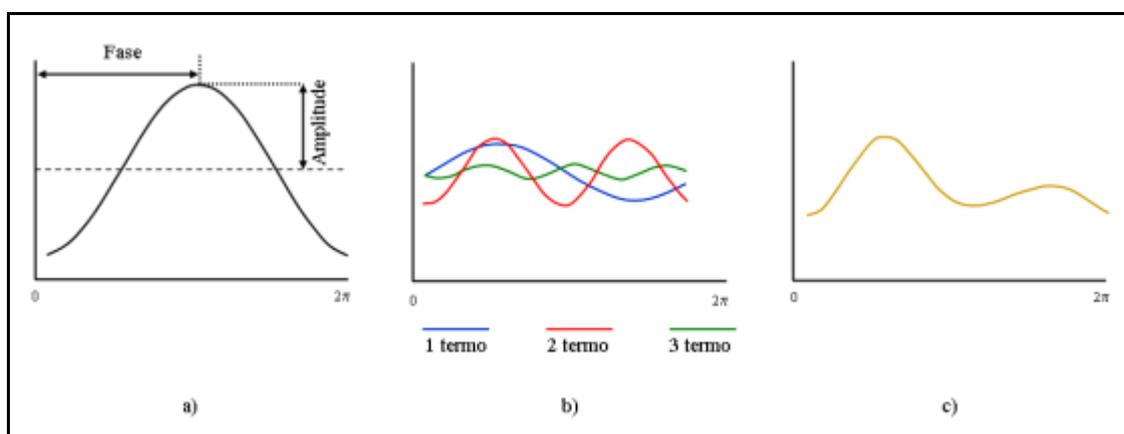


FIGURA 2.1 - Curva de coseno representando o primeiro harmônico (a); curvas para os primeiros três harmônicos (b); curva resultante da somatória dos três harmônicos (c).

FONTE: Modificada de Jakubauskas et al. (2001, p. 462).

Segundo Wilks (1995), uma dada série temporal de dados de N amostras equidistantes de uma variável y , pode ser representada por uma função harmônica:

$$y_i = \bar{y} + \sum_{j=1}^{N/2} C_j \cos(\omega_j t - \phi_j) \quad (2.5)$$

onde \bar{y} representa a média dos valores da série de dados, C_j a amplitude, ω_j a frequência, e ϕ_j o ângulo de fase.

É possível escrever a equação anterior utilizando a função seno. No entanto, a função coseno é geralmente utilizada, pois o ângulo de fase pode ser facilmente determinado como correspondendo ao tempo onde a função harmônica é maximizada:

$$t = \frac{\phi_j N}{2\mathbf{p}} \quad (2.6)$$

Para estimar a amplitude se utiliza a fórmula

$$C_j = \sqrt{A_j^2 + B_j^2} \quad (2.7)$$

onde A_j e B_j são as componentes de coseno e seno respectivamente do vetor amplitude (C_j) e são obtidas pelas fórmulas seguintes:

$$A_j = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^N y_t \cos\left(\frac{2\mathbf{p} t}{N}\right) \quad (2.8)$$

e

$$B_j = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^N y_t \sin\left(\frac{2\mathbf{p} t}{N}\right) \quad (2.9)$$

Já o ângulo de fase é dado pela equação

$$\left\{ \begin{array}{ll} \tan^{-1} \frac{B_j}{A_j} & A_j > 0 \\ \phi_j = \tan^{-1} \frac{B_j}{A_j} \pm \mathbf{p} \quad \text{ou } \pm 180^\circ & A_j < 0 \\ \frac{\pi}{2} \quad \text{ou } 90^\circ & A_j = 0 \end{array} \right. \quad (2.10)$$

Para calcular a contribuição de cada harmônico (j) na variância total da série de dados, se utiliza a razão entre a amplitude do harmônico e duas vezes a variância populacional (S^2) (Panofsky e Brier, 1968):

$$j = \frac{C_j^2}{2S^2} \quad (2.11)$$

O comportamento dos parâmetros da análise harmônica (amplitude e ângulo de fase) em estudos de paisagens, através de séries temporais de dados, é indicativo do tipo de mudança que está acontecendo na área em estudo. Assim, mudanças sazonais somente na amplitude podem indicar variações no tipo de uso e cobertura da terra ou nas condições da vegetação (aridez, inundações, sobrepastoreio); mudanças apenas no ângulo de fase, podem indicar variações no tempo de máximo vigor, o que por sua vez pode ser uma consequência de variações na época de plantio ou de colheita; mudanças tanto na amplitude como no ângulo de fase podem ser indicativos de mudanças maiores e significativas na condição da superfície terrestre. Estas mudanças radicais podem ser resultado de regeneração após fogo, mudanças no manejo da terra, perda de vegetação por perturbações naturais ou antrópicas, ou mudanças no clima regional ocasionando mudanças na vegetação (Jakubauskas et al., 2001).

Jakubauskas et al. (2002a) aplicaram a análise harmônica num conjunto de 9 anos de imagens *NDVI/AVHRR* com o intuito de conhecer as mudanças interanuais de uso e cobertura de solo na região de Great Plains, nos Estados Unidos. Os resultados mostraram o potencial da técnica no monitoramento do uso e cobertura do solo como consequência de mudanças climáticas.

Ainda com séries de imagens mensais *NDVI/AVHRR* e análise harmônica, Azzali e Menenti (2000) mapearam unidades homogêneas de vegetação-solo-clima no Sul da África. Os resultados mostraram uma estreita relação entre os valores de amplitude do primeiro e segundo harmônico com os níveis de aridez que influenciam os tipos de vegetação e a fenologia dos mesmos.

Moody e Johnson (2001) também utilizaram as imagens amplitude e fase dos dois primeiros harmônicos de séries *NDVI/AVHRR* e amostras de campo, para a classificação de formações vegetais de savana, florestas e áreas de culturas.

Através da análise dos três primeiros harmônicos de um conjunto de imagens bimensais de *NDVI/AVHRR* de 1992, Jakubauskas et al. (2002b) conseguiram identificar diferentes culturas agrícolas. Os autores utilizaram um mapa de uso e cobertura do solo reamostrado para uma resolução de 1 quilômetro para identificar os *pixels* puros que serviram como referência para a análise. Os resultados mostraram a viabilidade da metodologia adotada, apesar da imprecisão do mapeamento pela resolução empregada e a discriminação das culturas pelos padrões dos harmônicos.

A análise harmônica, da mesma maneira que a análise por componentes principais, permite a redução da dimensionalidade das imagens. No entanto, a análise harmônica apresenta a vantagem de que a transformação é feita *pixel a pixel* e o resultado de um *pixel* é independente do resto da imagem (Jakubauskas et al., 2001).

Segundo estes autores, o potencial da análise harmônica como filtro de redução de ruídos deve ser explorado, uma vez que o ruído introduzido numa série temporal de *NDVI* por nuvens ou pelo tipo de processamento para formação das imagens não é periódico.

Adicionalmente, a análise harmônica tem sido utilizada para reconstruir imagens livres de nuvens de séries de dados *NDVI* (Roerink et al., 2000) e *SPOT/VEGETATION* (Wada e Ohira, 2004).

2.3 Corredores Ecológicos

A perda e fragmentação do habitat tem sido um dos aspectos mais marcantes da alteração ambiental causada pelo homem. A modificação da paisagem tornou-se uma das principais causas da extinção de espécies e a conseqüente perda da diversidade biológica.

A fragmentação do habitat é o processo mediante o qual uma superfície contínua é reduzida em área e dividida em dois ou mais partes ou fragmentos (Shafer, 1990; Reed et al., 1996). Em geral, quase toda redução de hábitat ocorre junto com a fragmentação do mesmo, porém pode haver fragmentação sem que aconteça uma redução significativa da área, como é o caso da divisão de um habitat por uma estrada, uma via férrea ou um oleoduto (Primack e Ros, 2002).

Os fragmentos de habitat diferem do habitat original em três aspectos: menor tamanho, mais borda, e o centro de cada remanescente está mais próximo da borda. A fragmentação tem efeito sobre as condições microclimáticas dos fragmentos (Shelhas e Greenberg, 1996; Laurence e Bierregaard, 1997), na abundância de algumas espécies e sobre as interações biológicas das mesmas (Bustamante e Grez, 1995). As flutuações nos níveis de luz, temperatura, umidade e vento podem ser sentidos até 250 metros no interior de uma floresta (Primack e Ros, 2002).

Como solução para minimizar ou até reverter o impacto negativo da fragmentação tem-se sugerido a criação de zonas de amortecimento e corredores biológicos. Para Gascon et al. (2004) o estabelecimento de redes de áreas protegidas, conectadas por corredores e inseridas em matrizes com usos de baixo impacto, representa a melhor estratégia para a conservação da diversidade biológica em paisagens dominadas pelo homem.

Nos últimos anos as políticas de conservação da natureza têm se baseado cada vez mais na constituição de redes de espaços protegidos do que em unidades isoladas de conservação. Assim, os corredores ecológicos jogam um papel importante como elementos que conectam áreas protegidas (Simberloff et al., 1992; Rosenberg et al., 1997; Labaree, 2000) e facilitam a conectividade em paisagens fragmentadas, de maneira a diminuir a taxa de perda de diversidade de espécies (Arenas Cabello, 2003).

Os corredores permitem a dispersão de plantas e animais entre as reservas, facilitando o fluxo genético e a colonização de outras localidades idôneas. Os corredores também podem contribuir para a conservação de animais que migram estacionalmente entre diferentes habitat para conseguir alimento. Em alguns casos, é suficiente deixar

manchas do habitat original entre as grandes unidades de conservação denominadas passadeiras, para facilitar o movimento de espécies (Bier e Noss, 1998).

Os corredores podem ser definidos principalmente em relação ao tamanho, à função ou ao tipo de cobertura. De acordo ao tamanho, um corredor pode variar desde uma faixa de 5 metros de largura (Keals e Majer 1991) até paisagens de quilômetros de extensão (Felton 1996). De acordo com o tamanho, o NRCS (1999) classifica aos corredores em regionais, que facilitam o movimento através de extensas áreas de diversos ecossistemas; corredores de bacias hidrográficas, que facilitam o movimento dentro da bacia; e corredores agrícolas, que facilitam o movimento localizado.

Em relação ao objetivo, os corredores podem ser corredores biológicos ou de habitat, que tem como função promover o fluxo genético entre fragmentos de hábitat; corredores de conservação, que tem como objetivo além da conectividade biológica, a conectividade social, o planejamento bioregional com ênfase em práticas de uso sustentável (dentro dos corredores de conservação existem corredores biológicos); e os corredores de desenvolvimento sustentável que tem como finalidade a conectividade biológica, social, política, econômica e comercial (Cracco e Guerrero, 2004).

Em função ao tipo de cobertura, os corredores podem ser: ambientais, aqueles que compreendem áreas naturais não antropizadas; corredores remanescentes, que são o produto mais óbvio da perturbação da matriz adjacente e estão compostos por faixas de vegetação remanescente; corredores introduzidos ou plantados; corredores de perturbação, que incluem áreas antropizadas; e corredores de regeneração, formados por áreas antigamente antropizadas e que estão em processo de regeneração.

A estrutura ideal de um corredor deve preservar os nodos importantes (reservas), conectados por corredores numa matriz de múltiplos usos (zonas de amortecimento) onde são permitidas algumas atividades humanas de baixo impacto.

O planejamento de corredores deve levar em consideração quatro princípios básicos (NRCS, 1999):

- Corredores contínuos são melhores do que corredores fragmentados;
- Corredores largos são melhores do que estreitos;
- A conectividade natural existente dentro dos corredores deve ser mantida ou restaurada;
- Dois ou mais corredores que permitam a conectividade entre manchas são melhor do que um corredor só.

Os corredores podem desempenhar as funções de habitat para algumas espécies; canal ou conduto para o transporte de energia, água, nutrientes, genes, sementes, organismos ou outros elementos; filtro ou barreira que interceptam o vento, água, nutrientes, genes ou animais; fonte quando liberam objetos e substâncias na matriz adjacente; e sumidouro quando recebe e retém (pelo menos temporalmente) objetos e substâncias que se originam na matriz adjacente (FIGURA 2.2) Estas funções operam simultaneamente, variam com mudanças sazonais e do clima, e mudam com o tempo.

No Brasil, o conceito de corredores ecológicos foi introduzido a meados da década de 90 como uma estratégia do Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil - PPG-7 (Ayres et al., 2005).

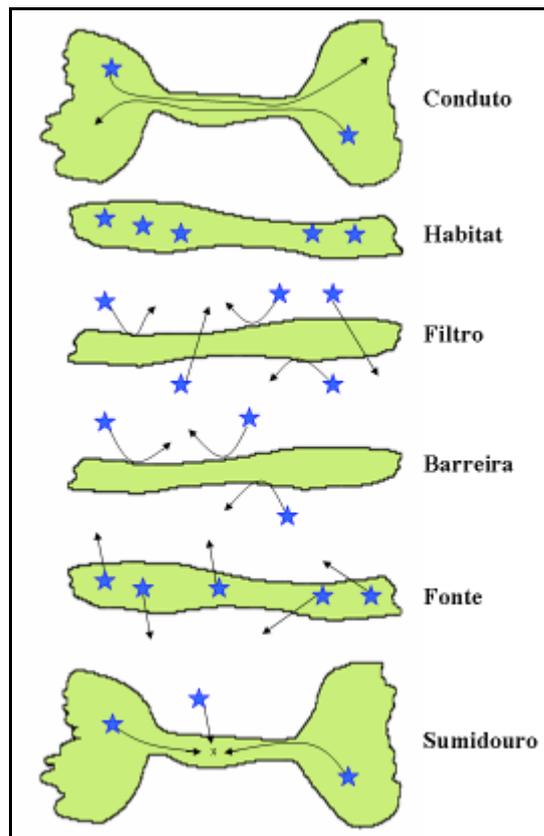


FIGURA 2.2 - Funções dos corredores de conservação.

FONTE: Modificada de Hess e Fischer (2001, pág. 201).

2.4 Análise de Lacunas de Conservação

A análise de lacunas (*Gap Analysis*) de conservação é uma metodologia que identifica vazios de informação na representação da biodiversidade em áreas de manejo, de maneira de manter a longo prazo as populações de espécies nativas e os ecossistemas naturais.

O método se baseia na identificação e classificação dos diferentes elementos de diversidade biológica (ecossistemas principais, tipos de vegetação, tipos de habitat, espécies). Em seguida, se examina o sistema de áreas de proteção e outras unidades de gestão da terra, existentes e ou propostos, que ajudem a conservar a diversidade biológica para finalmente determinar quais elementos não estão representados ou estão mal representados no sistema existente de áreas protegidas. Uma vez identificadas as

áreas onde existem lacunas de conservação, são estabelecidas as prioridades para a integração de áreas representativas dentro do sistema de unidades de conservação (Burley, 1988).

Com o intuito de garantir uma conservação efetiva da biodiversidade, alguns aspectos como tamanho e localização das áreas protegidas, fragmentação da paisagem e estratégia para incluir novas unidades no sistema de áreas protegidas, devem ser levados em consideração no momento de planificar estas áreas. Por exemplo, no caso de estar isoladas, até as maiores reservas do mundo podem ser incapazes de preservar a maioria das espécies de grandes mamíferos se não se dispõe de um manejo efetivo da área. As espécies aparentemente protegidas podem ser extintas se são removidos os recursos requeridos por elas ou é impedido o acesso aos mesmos. A probabilidade de extinção aumenta quando se reduz o tamanho das populações ou o tamanho da reserva (Wilcox, 1980).

Em qualquer reserva, a taxa de colapso para a diversidade das espécies aumenta com a diminuição da área da reserva. Somente uma pequena fração das espécies de plantas e vertebrados, especialmente se são tropicais, se dispersarão entre as reservas mais próximas (Frankel e Soulé, 1981).

Para que uma unidade de conservação integral seja uma entidade ecológica viável capaz de preservar 50% de suas espécies originais, esta deve abranger no mínimo 10% da extensão original do hábitat (Myers, 1988).

Geralmente, a conservação biológica é mais efetiva numa área silvestre extensa do que em um conjunto de pequenas áreas isoladas que contenham o mesmo tipo de hábitat e igual tamanho total. Entre a comunidade de cientistas que trabalham com biodiversidade e áreas protegidas, não existe um acordo no que se refere ao tamanho mínimo crítico de populações e ecossistemas necessários para se conservar a biota a perpetuidade (Burley, 1988).

No caso das florestas tropicais os estudos indicam que uma área de 1.000 km² deve ser suficiente para a conservação das espécies florestais, no entanto algumas espécies de

mamíferos requerem áreas de até 10.000 km² para manter as populações (Ledec e Goodland, 1988; Chiarello, 2000).

Para Monmonier (1994), a identificação de lacunas de conservação é importante se a proteção está orientada a habitats e não a um número reduzido de espécies chamativas.

O desenvolvimento de métodos para análise de lacunas de conservação começou em 1987 em resposta à necessidade de complementar o manejo espécie por espécie e de informação sinóptica e geográfica na distribuição de cada espécie nativa de vertebrados, comunidades naturais assim como a situação de manejo da área (Scott *et al.*, 1987).

Muitos países iniciaram estudos de análise de lacunas de conservação a nível nacional, mas poucos o abordaram de forma total ou sistemática, com objetivos definidos, sendo Grã Bretanha, Peru, Austrália e África do Sul as exceções (Burley, 1988) e mais recentemente os Estados Unidos. Alguns países como Costa Rica, México e Venezuela realizaram estudos isolados para a identificação de áreas silvestres a serem protegidas, baseados nesta metodologia (Maldonado e Dobbin, 1988; CI, 1989; Paolillo *et al.*, 1993).

Scott *et al.* (1993) apresentam algumas das limitações da análise de lacunas de conservação:

- Os mapas de vegetação não representam habitats menores do que a área mínima de mapeamento, por exemplo, muitos elementos de micro-habitat, tais como áreas costeiras, não são discriminados numa matriz de floresta. Estes habitats devem ser incluídos a partir de avaliações de imagens e fotografias de alta resolução;
- Os limites entre tipos de vegetação raramente são tão abruptos como aparecem nos mapas, os gradientes existentes devem ser identificados em análises de imagens de alta resolução;

- Embora os mapas de distribuição de espécies tenham mostrado uma precisão razoável (mínimo de 70%) a presença de espécies de interesse particular deve ser confirmada no campo antes de iniciar as atividades de manejo respectivas;
- Os resultados da análise não indicam a qualidade do hábitat nem a densidade de população, somente consideram a presença ou ausência de uma espécie ou ecossistema dentro do sistema nacional de unidades de conservação, independentemente se são raros ou comuns;
- A informação dos inventários de espécies deve ser complementada com informações adicionais para fornecer mais conhecimentos dos fatores que influenciam a população, as diferenças entre hábitat fontes e hábitat sumidouros, as inter-relações entre espécies, os regimes de perturbação, e outros problemas na ecologia e na biologia da conservação. Estas informações complementares são de grande importância para delimitar as áreas de manejo de biodiversidade.

2.4.1 Análise de Lacunas de Conservação no Brasil

No Brasil, alguns autores têm trabalhado com análise de lacunas de conservação nos diferentes biomas. Alguns destes trabalhos são comentados a seguir.

Ayres e Best (1979) utilizaram as grandes regiões interfluviais da Amazônia como unidades biogeográficas para a conservação da fauna amazônica.

Fearnside e Ferraz (1995) utilizaram uma abordagem de análise de lacunas de conservação na Amazônia Legal baseada nas unidades de vegetação determinadas pelo projeto RADAMBRASIL e os limites estaduais como unidade biogeográfica, com o intuito de identificar quais tipos de vegetação não estavam representados em unidades protegidas e semi-protegidas da região. Os autores consideram como unidades protegidas as estações ecológicas, os parques nacionais, as reservas biológicas e as reservas ecológicas; as unidades semi-protegidas são: florestas nacionais, reservas florestais, reservas extrativistas e terras indígenas. Os resultados mostraram que 67%

das zonas de vegetação definidas pelos autores (áreas prioritárias de conservação baseadas no critério mínimo de proteger pelo menos um exemplar de cada tipo de vegetação em cada estado) não estão protegidas, sendo as áreas mais críticas o contato entre floresta e cerrado em Maranhão, Tocantins e Mato Grosso.

Silva (1998) utilizou uma abordagem resultante da junção de métodos utilizados por Ayres e Best (1979) e Fearnside e Ferraz (1995). Este autor realizou a análise de lacunas de conservação baseada no mapa de vegetação do RADAMBRASIL, as regiões interfluviais da Amazônia Legal como unidades biogeográficas e as unidades de conservação integral.

Nelson e Oliveira (1999) apresentaram uma nova abordagem para a indicação de áreas prioritárias para a conservação da Amazônia brasileira, baseando-se no uso dos tipos de vegetação e a distância geográfica como indicadores de complementaridade na flora.

Por último, Ferreira (2001) realizou uma análise da representatividade das unidades de conservação de proteção integral, de uso sustentável e terras indígenas no bioma amazônico, utilizando como unidade biogeográfica a ecorregião e as unidades de paisagem resultante da combinação dos tipos de vegetação e solos da região. Os resultados mostraram que das 23 ecorregiões existentes no bioma, a ecorregião Várzeas de Gurupá não tem nenhuma unidade de conservação de proteção integral, uso sustentável ou terras indígenas; 12 ecorregiões apresentam menos de 5% de sua área em unidades de conservação de proteção integral. As ecorregiões Madeira-Tapajós, Xingu-Tocantins-Araguaia, Várzeas de Monte Alegre e Várzeas do Marajó encontram-se em situação crítica, devido ao baixo nível de proteção em unidades de conservação e alta percentagem de desflorestamento. No que se refere às unidades de paisagem, 61% não estão representadas em nenhuma unidade de proteção integral e 94,5% tem menos de 10% de sua área nestas unidades de conservação.

CAPÍTULO 3

ÁREA EM ESTUDO

A área de estudo objeto principal desta pesquisa corresponde aos corredores ecológicos Sul da Amazônia e Jalapão-Mangabeiras. No entanto para a análise de lacunas de conservação e representatividade das unidades de conservação existentes dentro destes corredores, foram consideradas como unidades biogeográficas de análise as ecoregiões definidas pela *WWF* baseadas no mapa digital das ecoregiões da América do Sul e do Caribe (Dinerstein et al., 1995). Estes autores definem ecoregião como um conjunto de comunidades naturais geograficamente distintas que compartilham a grande maioria de suas espécies, dinâmica ecológica, e condições ambientais similares e que cujas interações ecológicas são essenciais para a sua persistência a longo prazo.

Visto que estes autores consideram o cerrado como uma única ecoregião, optou-se pela utilização da classificação em unidades ecológicas proposta por Silva et al. (2006) para esta região específica.

Assim, foram consideradas as ecoregiões interflúvio do Madeira - Tapajós, interflúvio do Tapajós - Xingu, interflúvio do Xingu – Tocantins - Araguaia, interflúvio do Tocantins - Araguaia - Maranhão, Florestas Secas do Mato Grosso, florestas de babaçu do Maranhão e as unidades ecológicas 1d, 2c e 3d para o cerrado, denominadas neste trabalho de Planícies de Tocantins - Piauí - Bahia. A FIGURA 3.1 apresenta a área em estudo com as ecoregiões consideradas.

O Corredor Sul da Amazônia está localizado entre os Estados Amazonas, Pará, Tocantins e Maranhão entre as coordenadas geográficas S 2° 45' - S 6° 53' e W 46° 56' - W 59° 49'. O corredor tem uma extensão de aproximadamente 31.581.579 hectares, forma parte do Projeto Corredores Ecológicos do PPG7, cujo objetivo é fortalecer a gestão participativa para o planejamento, monitoramento e controle de ações conservacionistas nos sete corredores ecológicos que conformam este projeto.

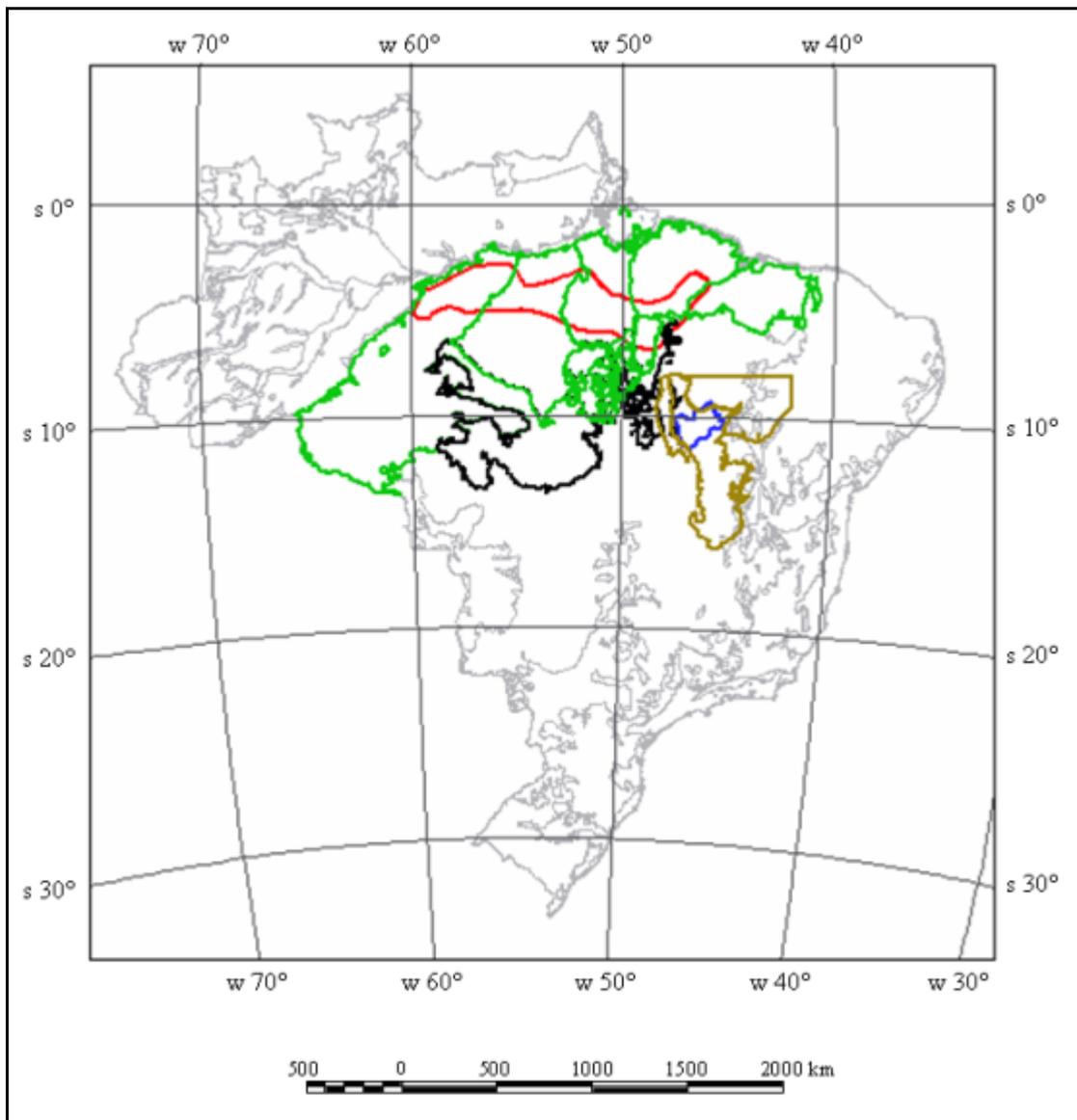


FIGURA 3.1 - Ecorregiões que compõem a área em estudo.

Os resultados de uma avaliação realizada com o intuito de priorizar os investimentos nos corredores ecológicos do PPG7, identificaram o Corredor Ecológico Sul da Amazônia como vulnerável, importante e de moderada prioridade na escala regional (MMA, 2002). Este corredor inclui oito áreas prioritárias para a conservação em três ecorregiões principais e foi identificado como vulnerável, importante localmente, e de moderada prioridade na escala regional no *workshop* de Miami em 1994 (Ayres et al., 2005).

O bioma cerrado tem apresentado elevadas taxas de desflorestamento que variam entre 22.000 e 30.000 km² por ano (Machado et al., 2004). As principais ameaças para o cerrado são: a degradação dos solos e dos ecossistemas e a introdução de espécies exóticas (Klink e Machado, 2005). Cerca de 18% da extensão total da ecorregião corresponde a áreas antropizadas, localizadas principalmente na parte sul-oeste.

O Corredor Ecológico Jalapão - Mangabeiras está localizado na confluência dos Estados Tocantins, Piauí, Maranhão e Bahia. É uma área de grande importância por conter as nascentes dos rios Tocantins, Parnaíba e São Francisco (Arruda e Nogueira de Sá, 2004). A região do Jalapão foi considerada como uma das áreas prioritárias para a conservação do cerrado brasileiro (MMA, 1999).

A área dos corredores e as ecorregiões em estudo têm uma extensão aproximada de 235.981.556 hectares e compreende parte dos Estados Amazonas, Rondônia, Pará, Mato Grosso, Maranhão, Tocantins, Piauí, Bahia e Minas Gerais.

CAPÍTULO 4

MATERIAIS E MÉTODO

Neste capítulo são descritos os materiais utilizados, assim como a metodologia adotada para o processamento e análise da informação e obtenção dos resultados.

4.1 Materiais

Os materiais utilizados consistem em produtos de sensoriamento remoto assim como material cartográfico.

4.1.1 Séries Temporais MODIS

Para o desenvolvimento deste estudo foram utilizadas composições dos índices de vegetação *Normalized Difference Vegetation Index - NDVI* e *Enhanced Vegetation Index - EVI* de 16 dias (produto MOD13Q1), com resolução espacial de 250 metros, *tiles* H11V09, H11V10, H12V09, H12V10, H13V09 e H13V10 do período de janeiro de 2001 a dezembro de 2004. Estes dados foram obtidos diretamente através de *ftp* do site <http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>.

4.1.2 Imagens TM/Landsat e CCD/CBERS

Adicionalmente foram utilizadas imagens do sensor *TM/Landsat* como material de apoio para os trabalhos de campo realizados na Reserva Biológica do Gurupi e no corredor ecológico Jalapão - Mangabeiras, sendo que para este último também foram utilizadas imagens *CBERS* para a identificação dos usos atuais na área.

4.1.3 Material Cartográfico e Tabular

Foram usados como material cartográfico e dados tabulares:

- Mapa de corredores ecológicos do Projeto PPG7;
- Mapa de corredores ecológicos do IBAMA;

- Mapa de ecorregiões do Brasil elaborado pelo *WWF - World Wildlife Fund* baseado no mapa digital das ecorregiões da América do Sul e Caribe, Dinerstein et al. (1995);
- Mapa de vegetação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2004), escala 1:5.000.000;
- Mapa de unidades ecológicas do cerrado (Silva et al., 2006);
- Mapa de limites das unidades de conservação de proteção integral - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA);
- Mapa de limites das terras indígenas – Fundação Nacional do Índio (FUNAI);
- Mosaicos resultantes do Projeto de Estimativa do Desmatamento da Amazônia - Prodes Digital correspondentes aos anos 2001 a 2004 (www.inpe.br/prodes/);
- Mapa de desmatamento do cerrado para o ano 2002 (Machado et al., 2004);
- Dados de focos de queimadas disponíveis no endereço <http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/>

4.1.4 Trabalhos de Campo

Foram realizados dois trabalhos de campo com intuito de adquirir dados sobre o meio físico e conhecer o estado atual das unidades de conservação visitadas. Devido à extensão do corredor ecológico Sul da Amazônia, ao conhecimento prévio de alguns setores ao oeste deste corredor e do alto grau de antropização da parte leste, foi selecionada a Reserva Biológica do Gurupi e áreas circunvizinhas para a realização do primeiro campo. Este trabalho foi realizado em outubro de 2003 com apoio do IBAMA.

O segundo trabalho de campo foi realizado no corredor Jalapão - Mangabeiras em junho de 2004 com apoio da Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente - Seplan de Tocantins e da Fundação Natureza do Tocantins - NATURANTINS.

4.1.5 Programas de Computador Utilizados nesta Tese

A extração das composições correspondentes aos índices de vegetação, reprojeção e criação dos mosaicos dos diferentes *tiles* dos dados *MODIS* foram realizados utilizando o software *MODIS Reprojection Tool*.

Os algoritmos para a análise harmônica dos dados foram implementados em *IDL - Interactive Data Language software* (versão 6.0) e posteriormente visualizados e analisados no *ENVI - The Environment for Visualizing Images* (versão 4.0).

A estruturação do banco de dados dos corredores ecológicos em estudo assim como a integração e análise dos dados foi realizada no *SPRING* (versões 3.6.03 e 4.2).

4.2 Metodologia

A metodologia foi desenvolvida em cinco etapas que são detalhadas a seguir.

4.2.1 Pré-processamento das Séries Temporais *MODIS*

Os produtos *MODIS* correspondente aos índices de vegetação foram obtidos na projeção sinusoidal, com um nível de quantização de 16 bits e em formato *HDF (Hierarchy Data Format)*. Cada uma das 552 composições (23 composições por ano para cada *tile*) foi processada no programa *MODIS Reprojection Tool*, de maneira de extrair os dois índices de vegetação disponíveis e gerar os mosaicos da área em estudo em projeção UTM e formato *Geotiff*.

4.2.2 Análise Harmônica

A análise harmônica dos dados foi realizada a partir de uma série de algoritmos implementados em linguagem *IDL* e executados em ambiente *ENVI*. Os dados de entrada foram meta-arquivos criados no *ENVI*, cada um deles contendo o conjunto dos 23 mosaicos de cada índice de vegetação para cada ano em estudo. O resultado deste processamento consistiu em uma imagem termo aditivo, assim como as imagens amplitude, fase e variância para os seis primeiros harmônicos para cada índice de vegetação e para cada ano em estudo.

Para uma melhor discriminação das diferentes feições das imagens, foram criadas tabelas de cores para cada tipo de imagem resultante.

4.2.3 Estruturação do Banco de Dados

O banco de dados foi estruturado com seis projetos: o projeto principal denominado Corredores que contém todos os planos de informação da área e 5 projetos menores que correspondem sub-áreas com uma ou duas ecorregiões; estes projetos menores foram criados para a segmentação e classificação das imagens resultantes da análise harmônica, visto o tamanho de cada imagem resultante (11.575 colunas x 7.570 linhas). As imagens classificadas foram exportadas novamente para o banco principal e realizado o mosaico.

4.2.4 Mapa de Uso e Cobertura do Solo Baseado nos Resultados da Análise Harmônica

O objetivo desta etapa consistiu na geração de um mapa de uso e cobertura do solo atualizado a partir dos resultados da análise harmônica correspondentes ao último ano do período em estudo. Assim, foram importados para o banco de dados os termos aditivos e as imagens amplitude e fase do primeiro harmônico, tanto do *NDVI* como do *EVI*.

Para a segmentação das imagens foram realizados vários testes com limiares diferentes, a fim de verificar qual se adaptava melhor às características de toda a cena. Assim, foi realizada a segmentação por crescimento de regiões (Bins et al., 1993; Erthal et al, 1993) utilizando como limiares de similaridade e de área, 30 e 50 respectivamente.

Uma vez segmentada a imagem, foi feita a extração de regiões para dar início à classificação. Foi definida uma legenda para a ecorregião do cerrado e outras para as ecorregiões restantes.

Para a classificação da imagem foi utilizado o método de classificação supervisionada por regiões Battacharya (Mather, 1999). A escolha das áreas de treinamento foi feita a partir do conhecimento prévio da área e da homogeneidade interna de cada classe.

Posteriormente foi analisado o desempenho de cada uma das amostras de aquisição e de teste selecionadas, a partir da matriz de classificação e da opção de análise de amostras fornecidas pelo programa. As amostras que apresentavam um desempenho baixo foram excluídas e foram tomadas novas amostras correspondentes a essas classes. Este processo iterativo se repetiu até obter-se um bom desempenho de cada uma das amostras selecionadas, levando em consideração que cada classe estivesse representada por um número considerável de amostras.

O último passo consistiu no mapeamento de classes e geração dos mapas de uso e cobertura para cada ecorregião. Estes mapas foram exportados para o projeto geral e realizado o mosaico de todas as sub-áreas. Somente foram feitas edições no mapa resultante em algumas áreas nos limites entre ecorregiões, de maneira de homogeneizar as classes.

4.2.5 Análise de Lacunas de Conservação

A análise de lacunas de conservação foi feita em base ao mapa de vegetação do Brasil (IBGE, 2004). Inicialmente, as classes de áreas agrícolas e desflorestamento da classificação da etapa anterior, seriam sobrepostas ao mapa de vegetação com o intuito de analisar somente vegetação sem antropização. No entanto, o mapa utilizado considera as áreas de antropismos e, ao comparar a classe definida pelo mapa e a obtida pelo processo de classificação, se observa que há uma boa correspondência entre ambas as classes e optou-se por utilizar a do mapa por apresentar uma generalização da classe.

As unidades de gestão consideradas para a análise de lacunas de conservação foram as unidades de proteção integral federais e as terras indígenas. As unidades de proteção estadual não foram levadas em conta, devido às diferenças existentes dentre os estados no que a estas áreas se refere; por outro lado, as unidades de uso sustentável também não foram consideradas, visando um enfoque estrito de conservação.

Para o mapeamento da representatividade dos tipos de vegetação em unidades de conservação de proteção integral e/ou em terras indígenas foram feitos programas em Legal - Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico no SPRING utilizando

expressões Booleanas. Os resultados são mapas temáticos com três classes: tipos de vegetação representados em unidades de conservação, tipos de vegetação não representados em unidades de conservação e vegetação antropizada.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir são representados primeiramente os resultados da análise harmônica das séries de imagens índice de vegetação *EVI* e *NDVI* do período de 2001 a 2004. Foram realizadas análises anuais para cada índice, com o intuito de conhecer as potencialidades desta técnica na detecção de mudanças naturais sazonais e antrópicas nos diferentes biomas que compõem a área em estudo. Neste capítulo são apresentados também os resultados da análise de lacunas de conservação em três níveis: primeiro considerando a totalidade da área em estudo, segundo considerando cada ecorregião isoladamente e terceiro, nos corredores em estudo.

5.1 Análise Harmônica

Como resultados do cálculo da análise harmônica foram geradas as imagens termo aditivo, amplitude, fase e variância. A imagem termo aditivo ou termo zero é a média aritmética dos valores do índice de vegetação de uma série de dados e representa o vigor total para cada tipo de cobertura vegetal.

As imagens amplitude indicam a variação máxima de cada índice de vegetação para todo o período. Estas imagens têm o mesmo range de valores do que os índices de vegetação (0 a 1). Altos valores de amplitude indicam um alto grau de variação, assim, elevados valores de amplitude no primeiro termo indicam um padrão temporal unimodal e no segundo termo, um padrão semianual.

A terceira imagem gerada no processo foi a imagem fase ou ângulo de fase, que indica o tempo ao longo da série em que acontece o máximo valor de amplitude. O intervalo dos valores das imagens fase é de 0° a 360° .

Para finalizar, foram geradas imagens de variância, as quais indicam a percentagem de informação contida em cada harmônico.

O número máximo de harmônico que pode ser calculado é igual ao número de imagens (n) dividido por dois ($n/2$). Assim, foram utilizadas séries de 23 imagens por ano (uma imagem a cada 16 dias) sendo 11 o número máximo de harmônicos possíveis de se calcular para este conjunto de dados.

5.1.1 Caracterização do Uso e Cobertura do Solo Utilizando Análise Harmônica

A interpretação das imagens resultante da análise harmônica permitiu caracterizar os diferentes tipos de uso e cobertura do solo.

5.1.1.1 Imagens Termo Aditivo

Ao comparar o resultado das imagens termo aditivo para os dois índices de vegetação, constatou-se que as imagens do *NDVI* apresentam sempre valores mais elevados quando comparadas com as imagens do *EVI*, principalmente nas áreas de tipologia florestal (FIGURA 5.1 e FIGURA 5.2). Esta diferença se deve às limitações do índice *NDVI* que apresenta saturação em regiões com altos valores de biomassa e pela influência da atmosfera.

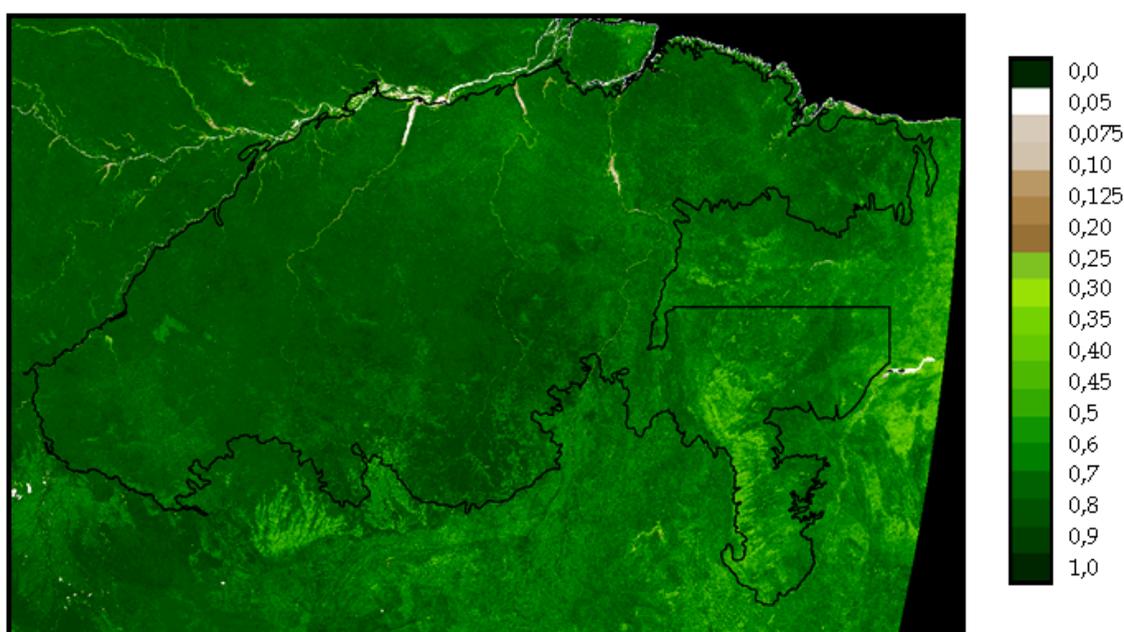


FIGURA 5.1 - Imagem termo aditivo ou termo zero do índice de vegetação *NDVI*, a linha preta indica o limite da área em estudo.

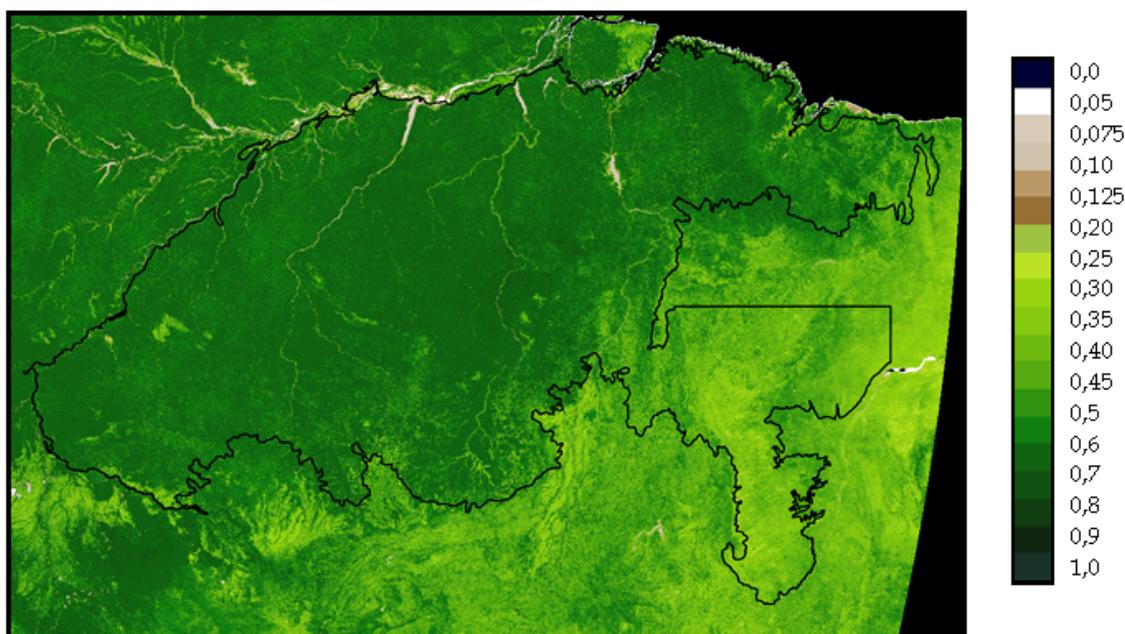


FIGURA 5.2 - Imagem termo aditivo ou termo zero do índice de vegetação *EVI*, a linha preta indica o limite da área em estudo.

A partir das imagens termo aditivo do *EVI* é possível discriminar os diferentes biomas presentes na área em estudo. Os maiores valores das imagens termo aditivo correspondem ao bioma Amazônia, com níveis de cinza superiores a 0,50. O Cerrado e a Caatinga apresentam valores médios de 0,25 e 0,40, respectivamente.

No que se refere a áreas antropizadas, as áreas de vegetação secundária da Amazônia apresentam valores entre 0,4 e 0,5, dependendo do estágio de desenvolvimento. Já, as áreas agrícolas apresentam valores de *EVI* entre 0,15 e 0,3. A FIGURA 5.3 apresenta um perfil de noroeste para sudeste de um setor da imagem termo aditivo do *EVI* no qual está representado: cerrado, contato floresta - cerrado, floresta primária e vegetação secundária.

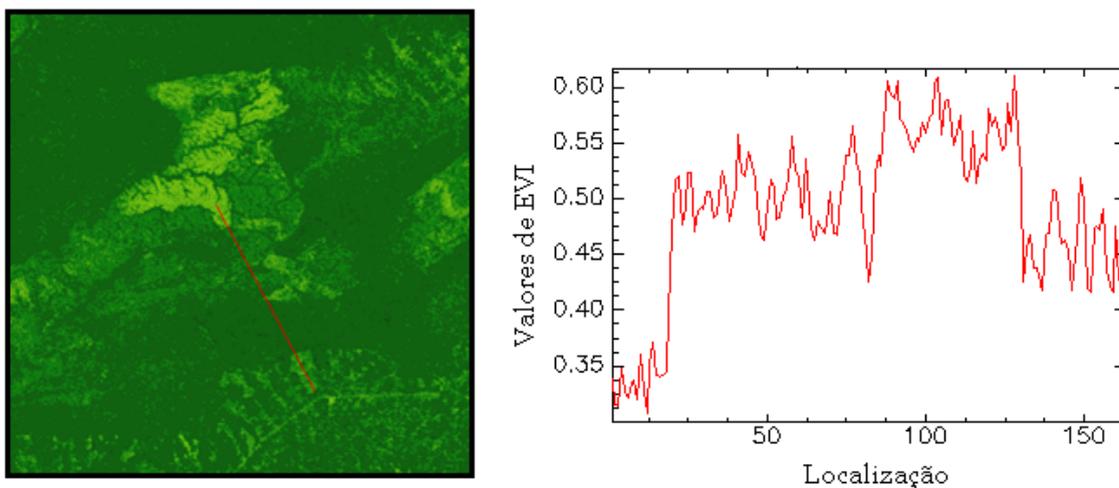


FIGURA 5.3 - Perfil na imagem termo aditivo do índice *EVI* representando cerrado, contato floresta - cerrado, floresta primária e vegetação secundária.

As imagens termo aditivo do índice *NDVI* não permitem realizar uma boa discriminação dos biomas Amazônia, Cerrado e Caatinga. Nestas imagens, a Amazônia apresenta níveis de cinza superiores a 0,60; o Cerrado entre 0,5 e 0,7 e a Caatinga, valores entre 0,45 e 0,6. Nestas imagens, a vegetação secundária e as áreas agrícolas apresentam intervalos e valores maiores do que aqueles derivados do índice *EVI*: 0,3 a 0,7 para as áreas de vegetação secundária e 0,15 a 0,45 para as áreas agrícolas (FIGURA 5.4).

Nas imagens *NDVI* não é possível estabelecer uma boa separação para algumas das fisionomias da vegetação presentes na área, como é o caso do contato floresta - cerrado e a floresta primária (FIGURA 5.4).

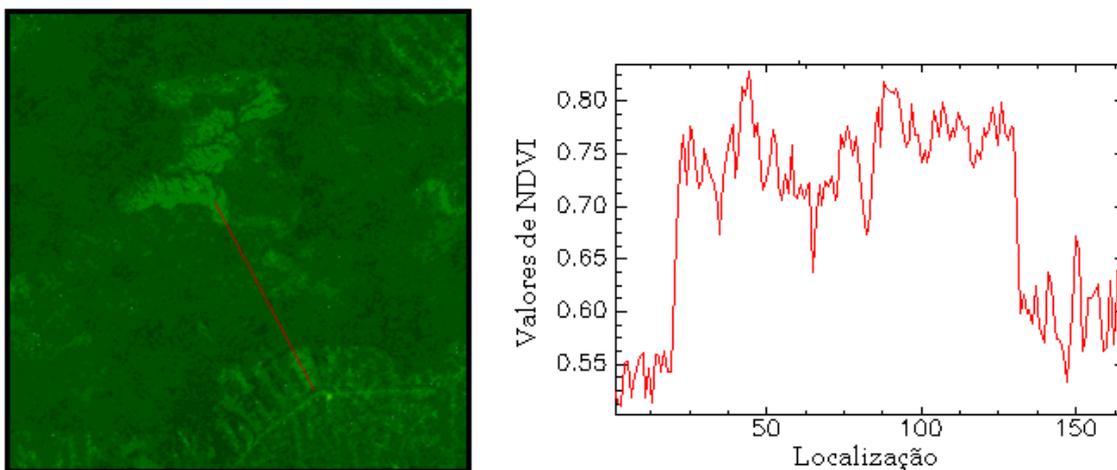


FIGURA 5.4 - Perfil na imagem termo aditivo do índice *NDVI* representando cerrado, contato floresta - cerrado, floresta primária e vegetação secundária.

5.1.2 Imagens Amplitude

A diferença na resposta dos índices *EVI* e *NDVI* fica ainda mais evidente nas imagens amplitude. No primeiro harmônico pode-se notar que áreas de floresta primária, que não apresentam grandes variações durante todo o ano, nas imagens amplitude do *NDVI* aparecem com valores elevados, similares aos encontrados em culturas. A FIGURA 5.5 apresenta a imagem amplitude do primeiro termo do *EVI* e a FIGURA 5.6, a imagem amplitude do *NDVI*.

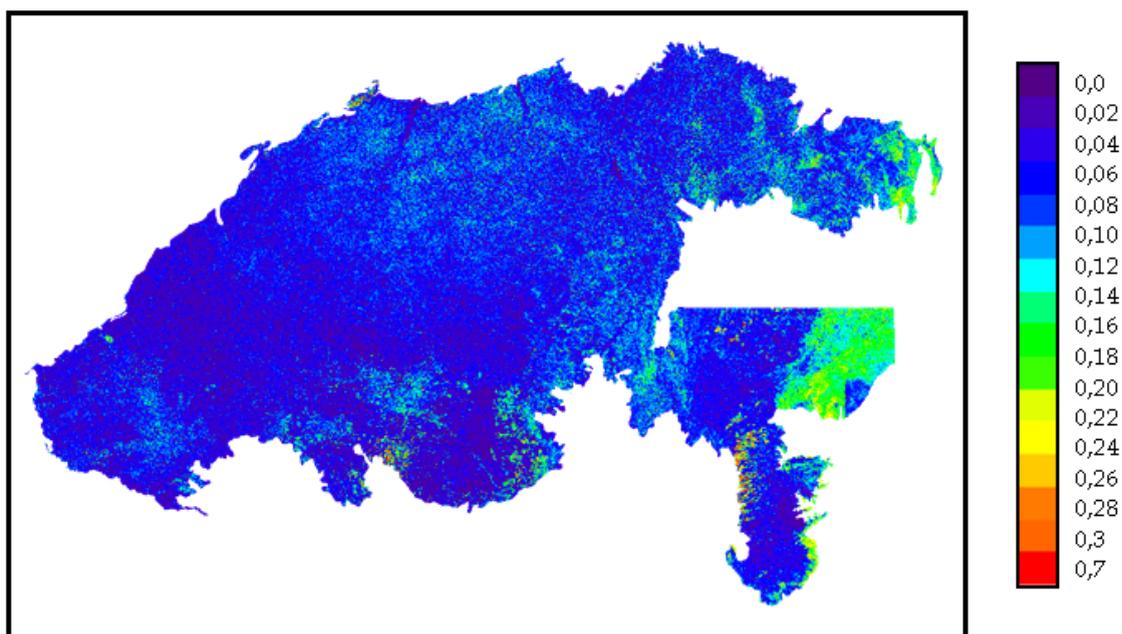


FIGURA 5.5 - Imagem amplitude do primeiro harmônico do índice *EVI*.

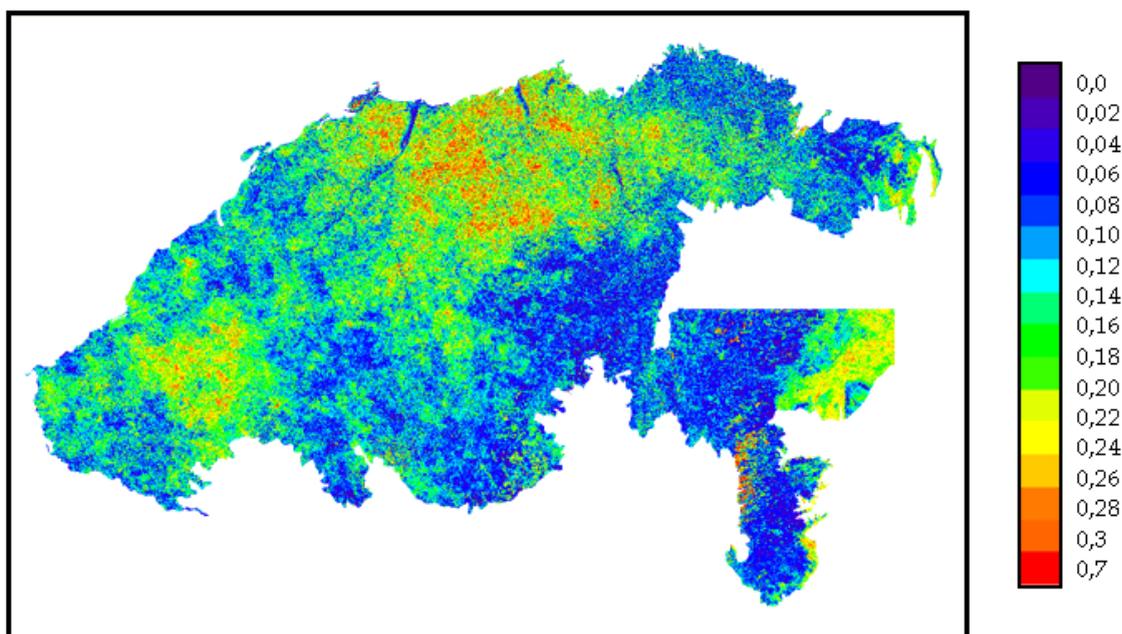


FIGURA 5.6 - Imagem amplitude do primeiro harmônico do índice *NDVI*.

Nas imagens amplitude do primeiro harmônico de ambos os índices, o bioma caatinga fica bem discriminado pelos elevados valores que apresenta resultado da marcante estacionalidade da vegetação, caracterizada por um estrato arbóreo e gramino-lenhoso

periódico (IBGE, 2004). No segundo harmônico e nos subsequentes a resposta desta tipologia vegetal é baixa, resultando assim em um padrão unimodal.

A floresta primária e o cerrado apresentam baixos valores (menores do que 0,140), em todos os termos harmônicos do *EVI*. Esta baixa resposta da floresta é esperada, em função da pouca variabilidade que apresenta este bioma durante todo o ano; no entanto, no cerrado, onde há duas estações climáticas muito bem definidas, os baixos valores de amplitude são atribuídos ao curto intervalo de valores que existe entre uma estação e outra.

As áreas agrícolas apresentam elevados valores de amplitude, os quais dependendo das características das culturas, se manifestam até no quarto harmônico: por exemplo, aquelas culturas com padrão unimodal, têm uma resposta elevada no primeiro harmônico e baixa nos termos restantes; culturas com padrão bimodal, têm uma resposta alta no segundo harmônico, e baixa nos restantes. A FIGURA 5.7 apresenta as imagens amplitude do primeiro e segundo harmônico de uma área agrícola no cerrado.

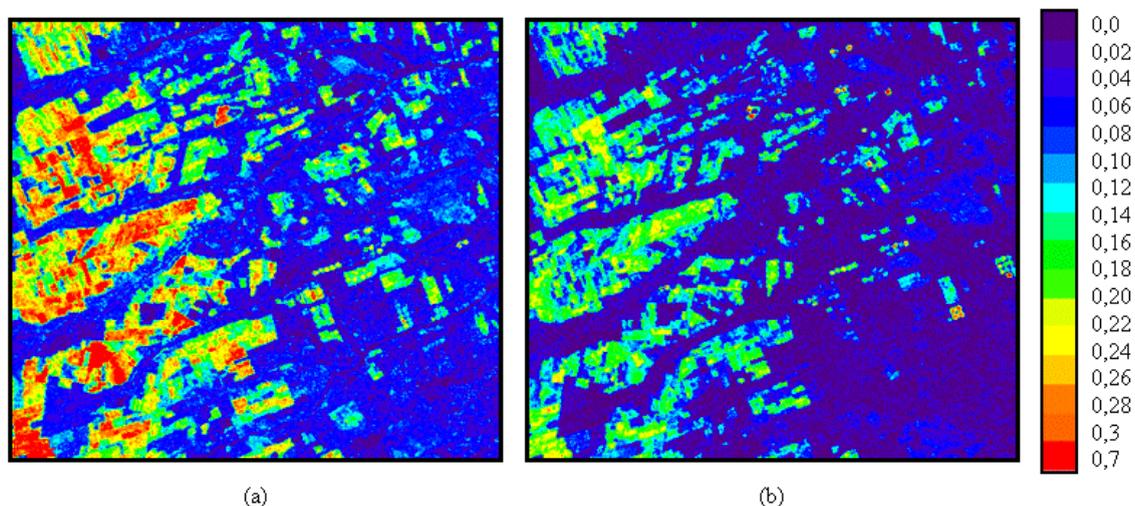


FIGURA 5.7 - Primeiro (a) e segundo termo (b) da imagem amplitude do *EVI* para o ano de 2004 de uma área agrícola localizada no cerrado; os tons de amarelo e vermelho indicam as áreas de maior variação durante o ano.

5.1.3 Imagens Fase

As imagens fase do *NDVI* e do *EVI* apresentam o mesmo padrão, no entanto há uma defasagem de 1 a 2 meses nas respostas de ambos os índices de vegetação. Assim, por exemplo, nas imagens *EVI* as maiores mudanças da floresta primária ocorrem no período de agosto a novembro, já no *NDVI* estas mudanças ocorrem de junho a setembro. No cerrado, os ângulos de fase das imagens *EVI* correspondem aos meses de dezembro a março, entretanto nas imagens *NDVI* ocorrem de fevereiro a abril. Já na caatinga, as maiores mudanças ocorrem nos meses de fevereiro - março e março - abril, segundo os dados do *EVI* e *NDVI*, respectivamente (FIGURA 5.8 e FIGURA 5.9).

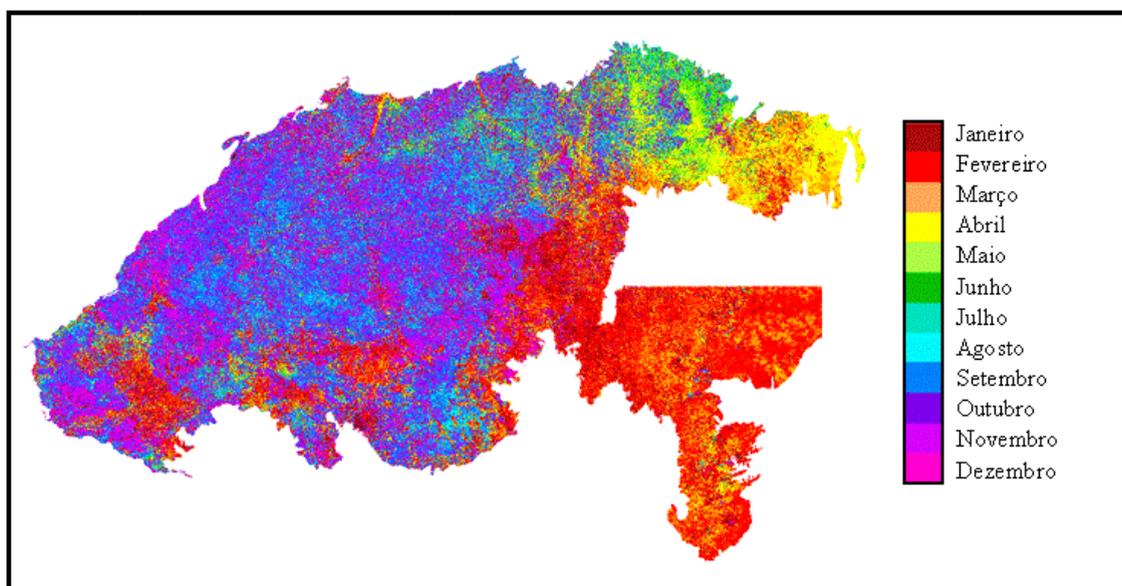


FIGURA 5.8 - Imagem ângulo de fase do índice de vegetação *EVI*.

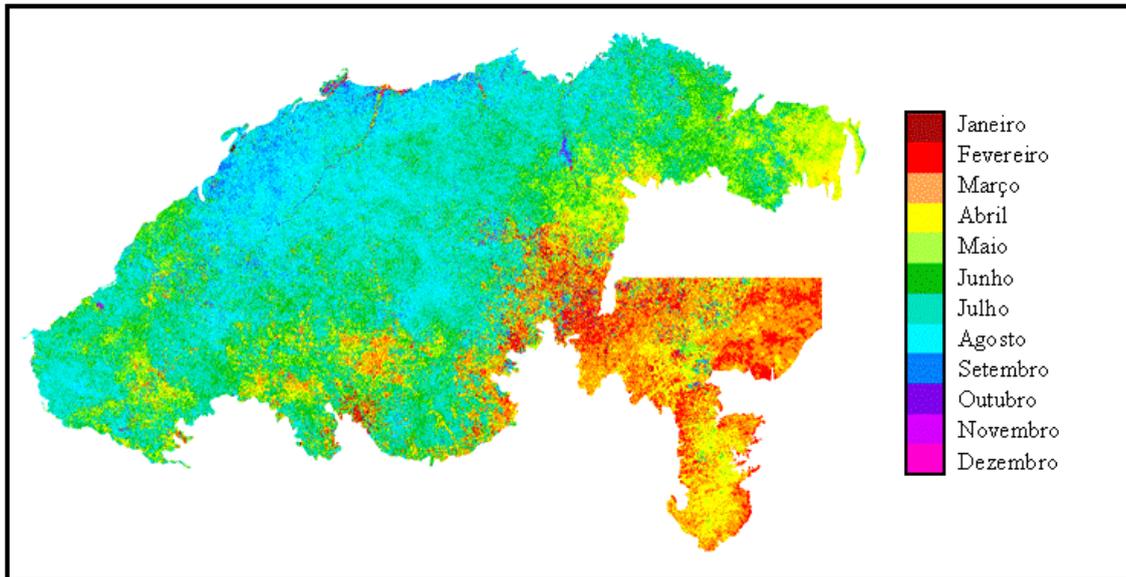


FIGURA 5.9 - Imagem ângulo de fase do índice de vegetação *NDVI*.

Em geral, as áreas desmatadas da floresta amazônica apresentam uma diferença de ângulo de fase em função do tipo de uso predominante: as áreas antropizadas localizadas ao norte da área em estudo correspondem principalmente a vegetação secundária em diferentes fâcies de regeneração e apresentam as maiores mudanças no período de abril e junho; as áreas localizadas ao sul correspondem a áreas de uso agrícola, apresentam as maiores amplitudes entre os meses de janeiro a maio (FIGURA 5.10).

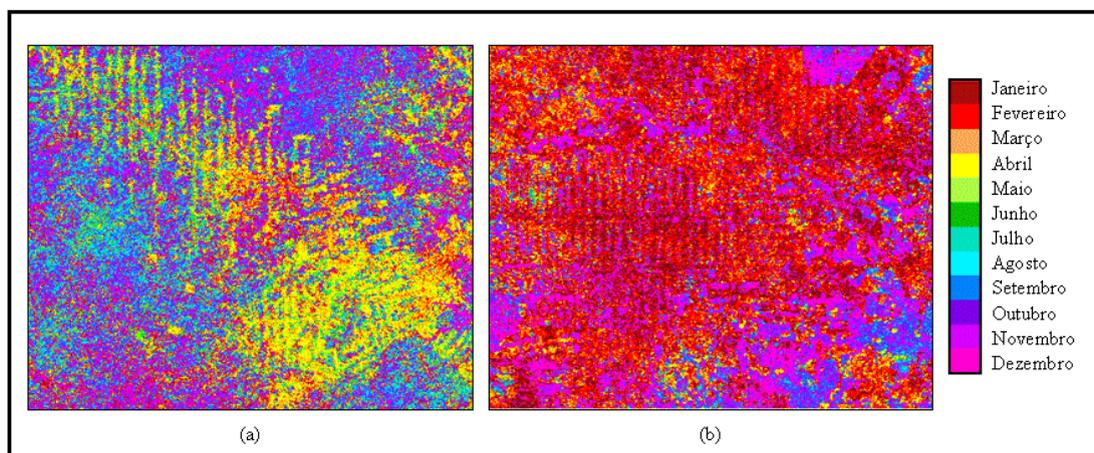


FIGURA 5.10 - Diferença de ângulo de fase em áreas de desflorestamento localizadas ao norte (a) e ao sul (b) da área em estudo.

5.1.4 Imagens Variância

A partir da análise do primeiro harmônico das imagens variância pode-se observar uma diferenciação dentre a floresta primária, o cerrado e áreas antropizadas, e a caatinga. A floresta primária apresenta em geral, valores abaixo de 25%.

Os resultados da análise das imagens variância indicam que os menores valores no primeiro termo correspondem à floresta primária, com valores em geral, abaixo de 20%; as áreas de vegetação natural do cerrado assim como as áreas de desflorestamento valores que oscilam entre 20% e 50%; as áreas agrícolas com valores superiores a 40% e por último, a caatinga, com a maioria dos valores superiores a 60%. No segundo termo, os valores de variância são em geral inferiores a 40%, nos termos seguintes há apenas *pixels* isolados com valores superiores a 10%.

As imagens variância *NDVI* do primeiro harmônico apresentam a mesma característica de saturação e efeitos atmosféricos que as imagens amplitude com valores de variância, por exemplo, superiores a 60% correspondentes a floresta primária. A FIGURA 5.11 e a FIGURA 5.12 apresentam as imagens variância *EVI* e *NDVI* respectivamente, correspondentes ao primeiro termo.

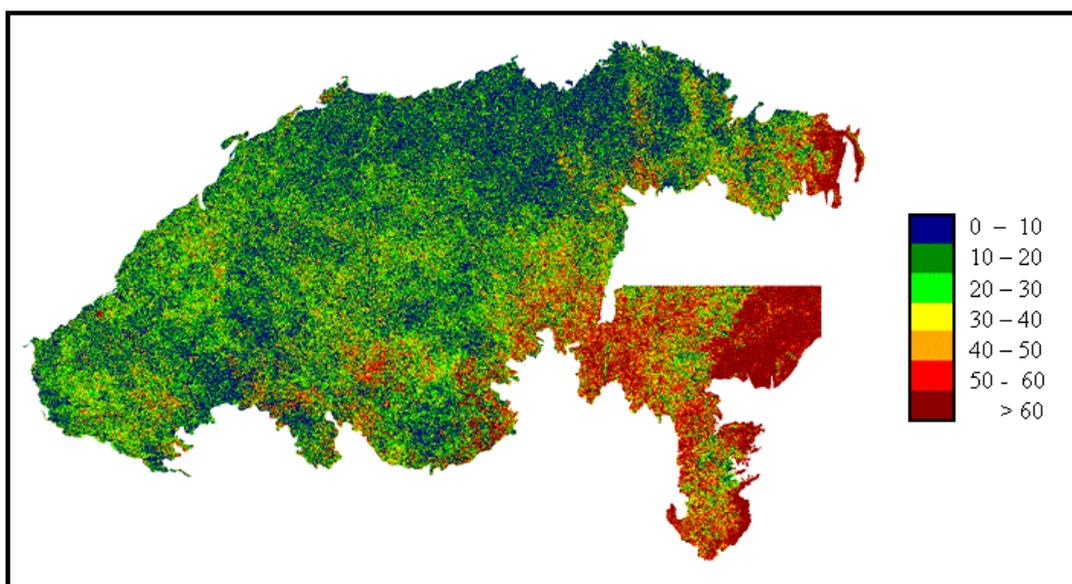


FIGURA 5.11 - Imagem variância do *EVI* correspondente ao primeiro harmônico.

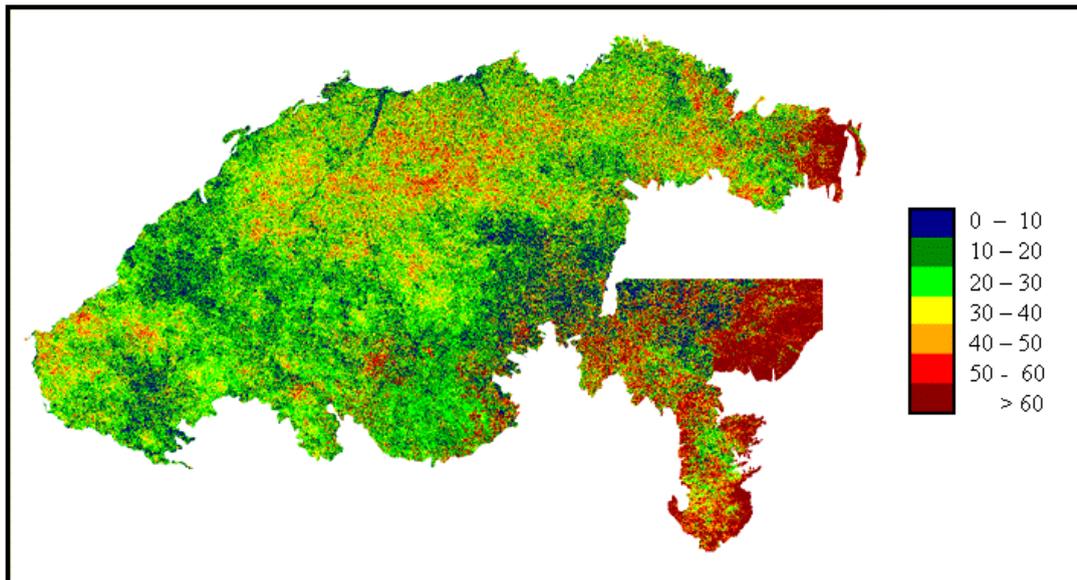


FIGURA 5.12 - Imagem variância do *NDVI* correspondente ao primeiro harmônico.

5.1.5 Comportamento de Algumas Feições através de Análise Harmônica

A área em estudo apresenta uma grande diversidade de feições o que requer uma análise por tipos de feições, tendo-se assim a dimensão e grandeza das informações geradas por esta técnica. Foram selecionadas as feições que tem maior representatividade dentro da área de estudo, para isto foram analisadas amostras de 3×3 *pixels* correspondentes a diferentes usos e coberturas do solo. A seguir é apresentada uma descrição dos resultados obtidos para: floresta primária, vegetação secundária, cerrado e agricultura.

5.1.5.1 Floresta Primária

A floresta primária apresenta uma dinâmica difícil de ser modelada com análise harmônica, visto que para atingir 85% da variância da informação deste tipo de vegetação é necessário trabalhar com os 10 primeiros harmônicos, de um total de 11. A FIGURA 5.13 apresenta uma curva de ajuste para uma amostra de floresta com os seis primeiros harmônios, que correspondem a 64,89% da variância total apresentada nesta amostra.

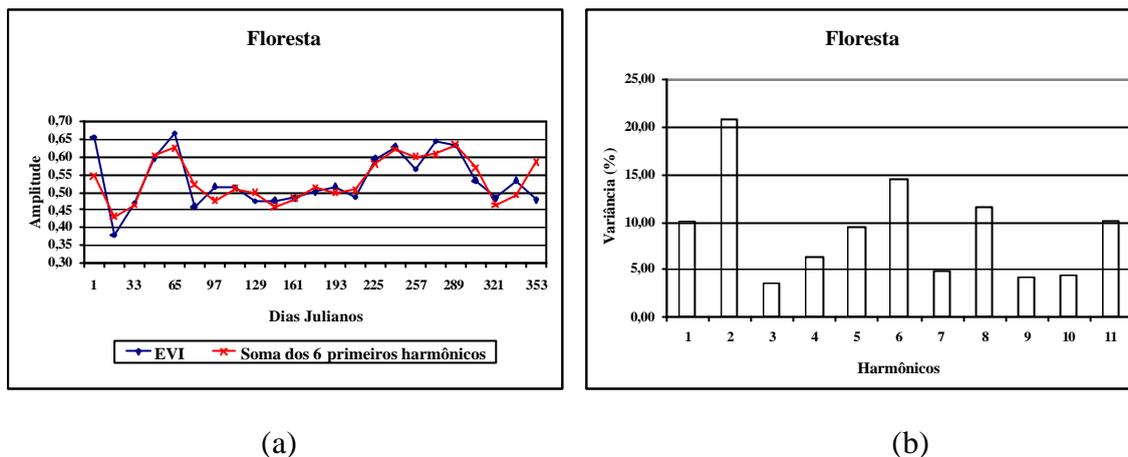


FIGURA 5.13 - Curva de ajuste de amostra de floresta primária (a) e distribuição da variância (b).

A contribuição de cada um dos 11 harmônicos está representada na FIGURA 5.13 b, onde se pode perceber que o ciclo de resposta da floresta é bem distribuído durante todo o ano, dificultando assim a criação de um modelo e mostrando a complexidade desta formação vegetal.

5.1.5.2 Vegetação Secundária

A vegetação secundária intermediária se apresenta também difícil de ser modelada devido à contribuição de todos os termos, atingindo o 84,65% da variância total da imagem no décimo harmônico. A FIGURA 5.14 apresenta os dados originais e a curva de ajuste com os seis primeiros harmônicos que corresponde a 47,25% da variância total. O gráfico de distribuição da variância para a amostra de vegetação secundária mostra que os termos 7 e 11 são os que apresentam a maior variância (17,38% e 15,75% respectivamente).

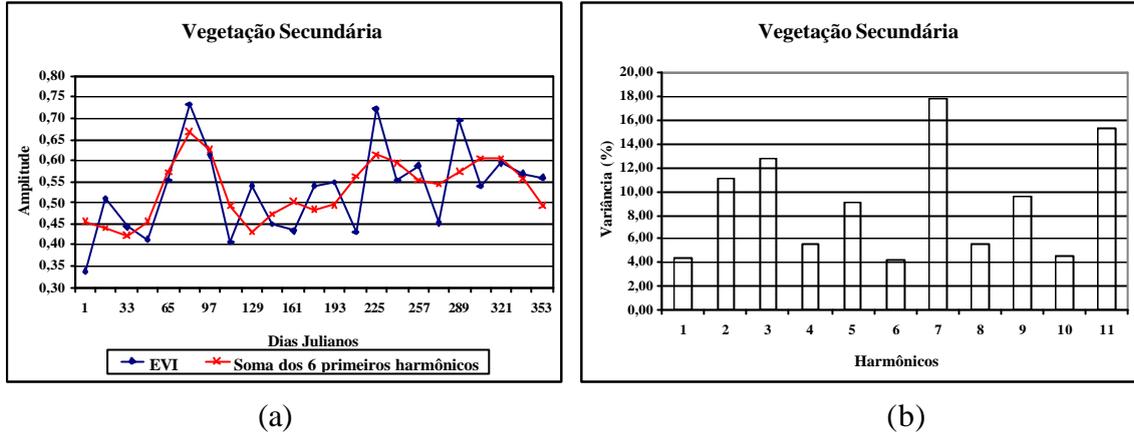


FIGURA 5.14 – Curva de ajuste de amostra de vegetação secundária (a) e distribuição da variância (b).

5.1.5.3 Cerrado

O primeiro harmônico da amostra de cerrado apresenta 56,70% da variância da série, no entanto para obter mais do que 85% da variância, é necessário trabalhar com os 7 primeiros harmônicos. A soma dos 6 primeiros harmônicos (FIGURA 5.15) mostra um bom ajuste com os dados originais.

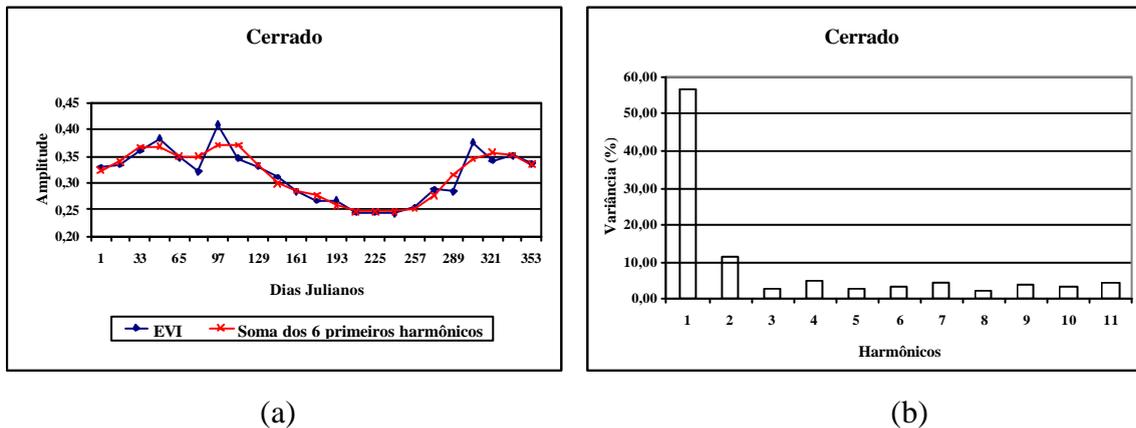


FIGURA 5.15 - Curva de ajuste de uma amostra de cerrado (a) e distribuição da variância (b).

5.1.5.4 Agricultura

As culturas agrícolas são alvos mais fáceis de serem modelados a partir da análise harmônica, devido a que as áreas agrícolas apresentam uma estacionalidade marcante face ao desenvolvimento vegetativo e os dois ou três primeiros harmônicos contêm praticamente a variância total da série de dados. A FIGURA 5.16 mostra os dados originais e a curva de ajuste com seis harmônicos para uma cultura de ciclo anual que representa 96,79% da variância total da série de dados. Nas culturas anuais, o primeiro harmônico apresenta maiores valores de amplitude e de variância, na amostra da FIGURA 5.16 os três primeiros termos contêm 65,46%, 21,37% e 5,59% da variância total.

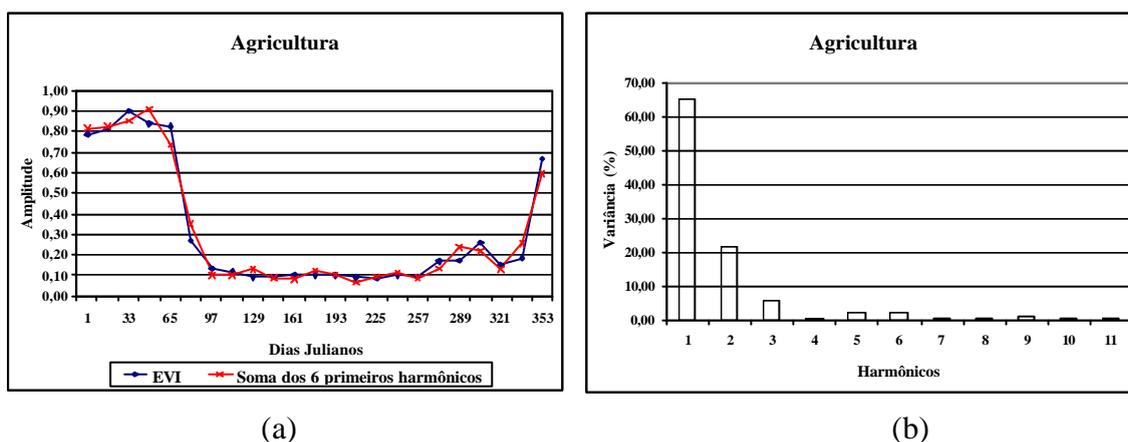


FIGURA 5.16 - Curva de ajuste de amostra de agricultura com ciclo anual (a) e distribuição da variância (b).

As culturas de ciclo semi-anual apresentam os maiores valores de amplitude no segundo harmônico e este termo contém a maior variância. A FIGURA 5.17 corresponde a uma cultura semi-anual onde os três primeiros harmônicos representam respectivamente 13,48%, 64,51% e 11,59% da variância total da série.

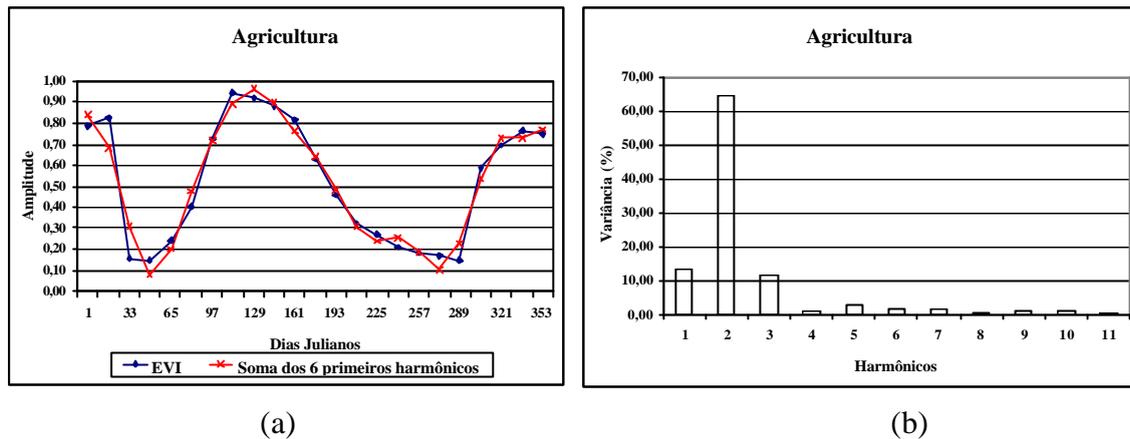


FIGURA 5.17 - Curva de ajuste de amostra de agricultura com ciclo semianual (a) e distribuição da variância (b).

5.1.6 Classificação das Imagens Termo Aditivo, Amplitude e Fase

As imagens termo aditivo, amplitude e fase do ano 2004 do índice de vegetação *EVI* foram segmentadas e classificadas com o intuito de obter um mapa de uso e cobertura atual para ser utilizado na caracterização dos corredores ecológicos e das ecorregiões que compõem a área em estudo.

A classificação foi realizada para cada uma das ecorregiões isoladamente devido ao tamanho das imagens de toda (11.575 colunas x 7.570 linhas) a área e a capacidade de processamento, utilizando os mesmos parâmetros de segmentação e classificação. O classificador utilizado foi Battacharya e foram adquiridas mais de 900 amostras de treinamento e teste, a partir do conhecimento da área e de pontos de *GPS* obtidos em trabalhos de campo.

No caso do bioma Amazônia, foram discriminadas oito classes: floresta primária, vegetação secundária inicial, vegetação secundária intermediária, cerrado, vegetação aluvial, agricultura, áreas queimadas e drenagem. A floresta primária se apresenta como uma classe homogênea não sendo possível a diferenciação de tipologias dentro desta classe. A FIGURA 5.18 corresponde à composição colorida das imagens amplitude, termo aditivo e fase e a FIGURA 5.19 apresenta a classificação das imagens amplitude,

termo aditivo e fase das ecorregiões Florestas Secas do Mato Grosso e interflúvio do Xingu - Tocantins - Araguaia.

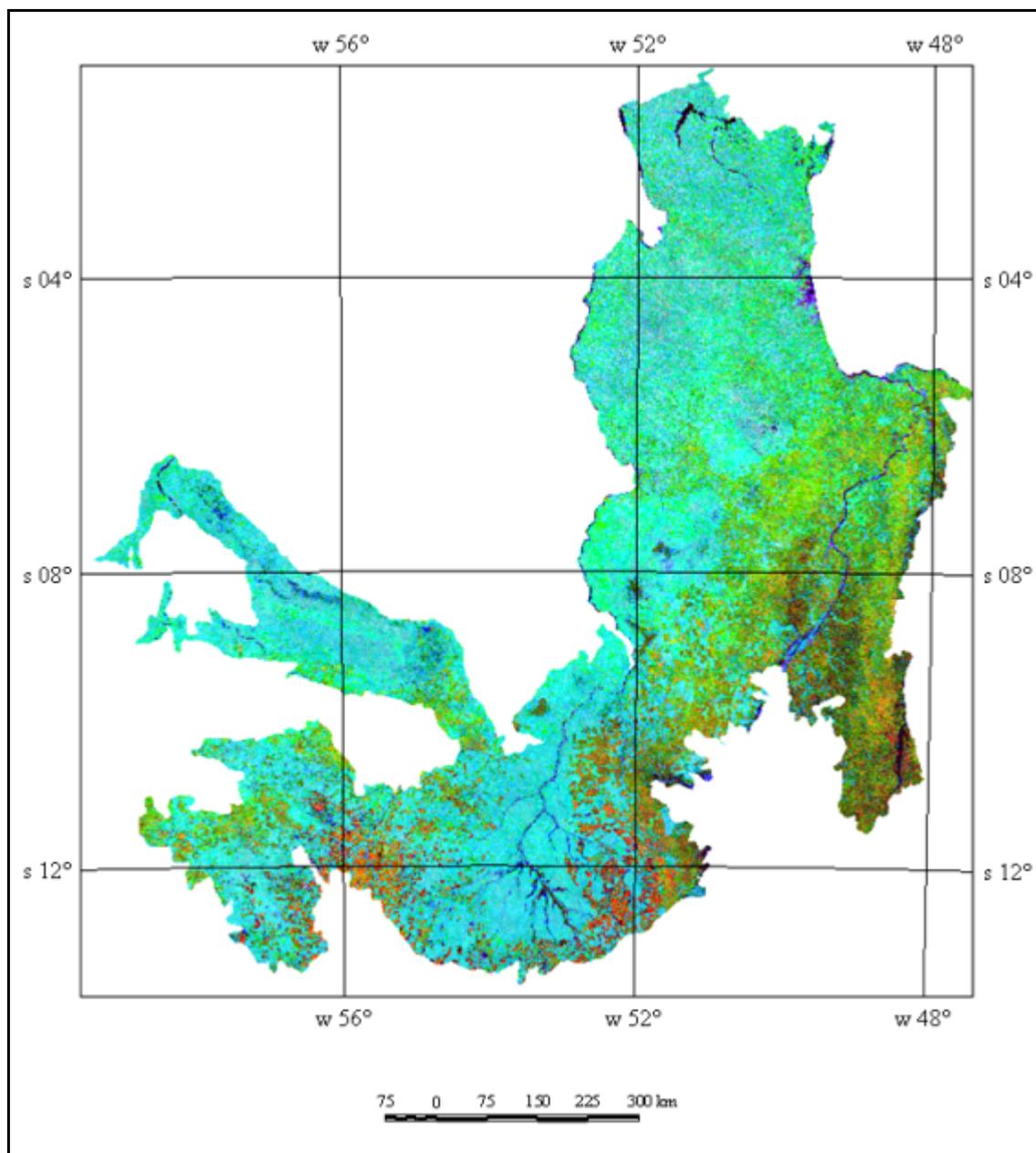


FIGURA 5.18 - Composição colorida das imagens amplitude (R), termo aditivo (G) e ângulo de fase das ecorregiões Florestas Secas do Mato Grosso e interflúvio do Xingu - Tocantins - Araguaia.

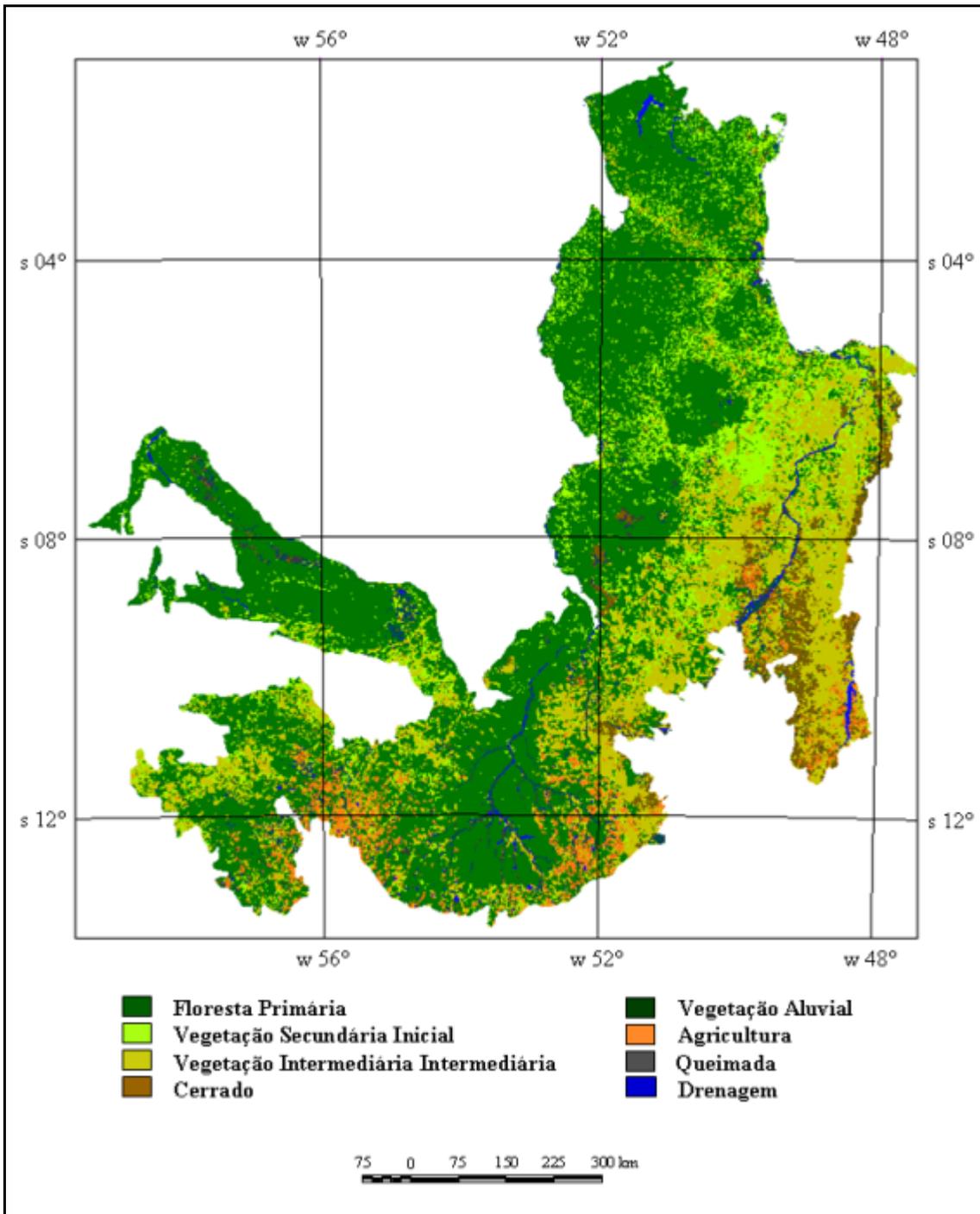


FIGURA 5.19 - Classificação das imagens termo aditivo, amplitude e fase das ecorregiões Florestas Secas do Mato Grosso e interflúvio do Xingu - Tocantins - Araguaia.

Com o intuito de verificar o potencial da técnica de análise harmônica no mapeamento do uso e cobertura do solo, foram feitas algumas comparações com o mapa do Projeto PRODES (www.inpe.br/prodes/) gerado para o ano de 2004, a partir de imagens *TM/Landsat* com *pixel* degradado para 120 metros.

Levando em consideração a diferença na resolução das imagens utilizadas no PRODES e neste estudo, assim como o fato que as classificações resultantes não sofreram nenhum tipo de edição de maneira de corrigir erros nem auditoria, os resultados obtidos se consideram satisfatórios. A FIGURA 5.20 mostra alguns detalhes das imagens resultantes do Projeto PRODES e as resultantes da análise harmônica.

Na região do cerrado estudada neste trabalho, as classes campo limpo, campo sujo, campo cerrado e cerrado apresentaram confusão na classificação. Uma forma de conhecer o espaço de atributos de cada uma destas classes nas imagens amplitude e ângulo de fase é através de um diagrama polar. Neste tipo de diagrama, a amplitude está representada pela distância do centro do círculo à borda, e a fase é dada por cada um dos raios do círculo, que neste estudo, correspondem aos meses do ano.

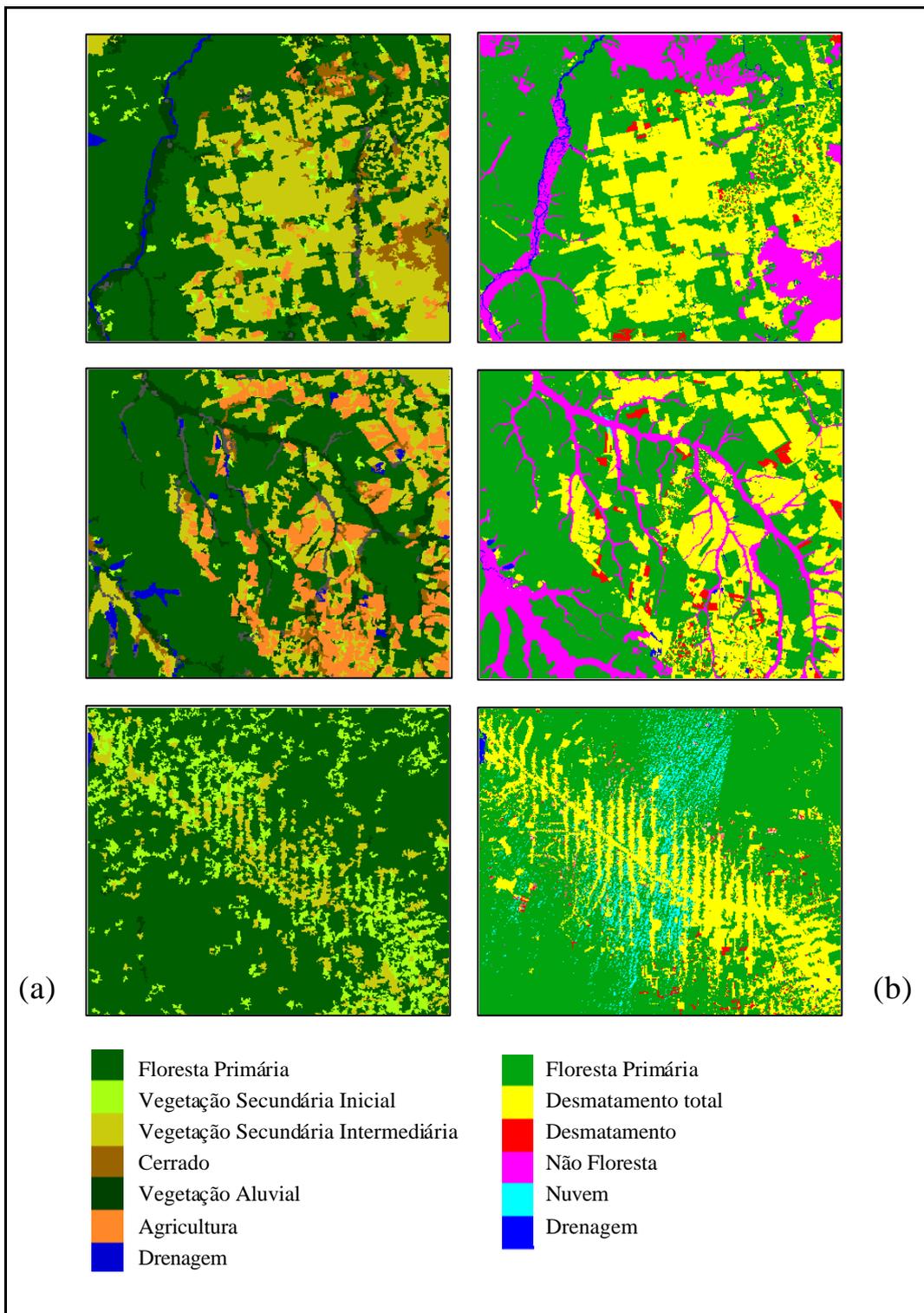


FIGURA 5.20 - Comparação dos resultados da classificação das imagens termo aditivo, amplitude e fase (a) e o resultado do Projeto PRODES (b).

A FIGURA 5.21 apresenta a distribuição de amostras de campo limpo (em laranja) e campo sujo (em verde) obtidas nas imagens amplitude e ângulo de fase, a partir de pontos amostrais definidos em trabalho de campo. A maioria destas amostras apresenta valores de amplitude entre 0,01 e 0,08 e a fase ocorre entre os meses de fevereiro e março. No caso das amostras campo cerrado (em azul) e cerrado (em vermelho) também apresentam confusão (FIGURA 5.22), porém foi possível definir uma classe campo limpo - campo sujo e outra de campo – cerrado.

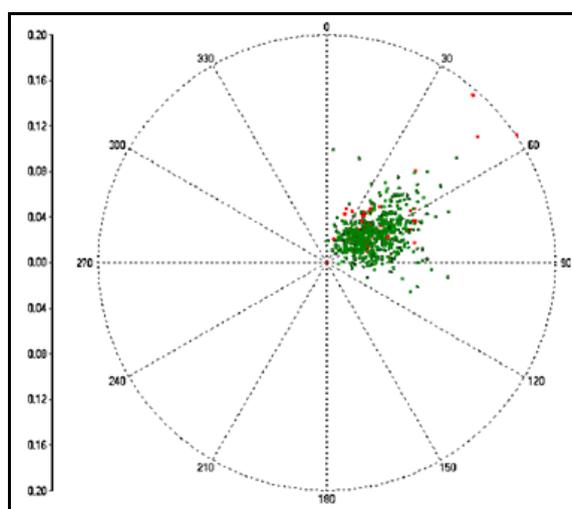


FIGURA 5.21 - Diagrama polar com a distribuição de amostras de campo limpo (em laranja) e campo sujo (em verde).

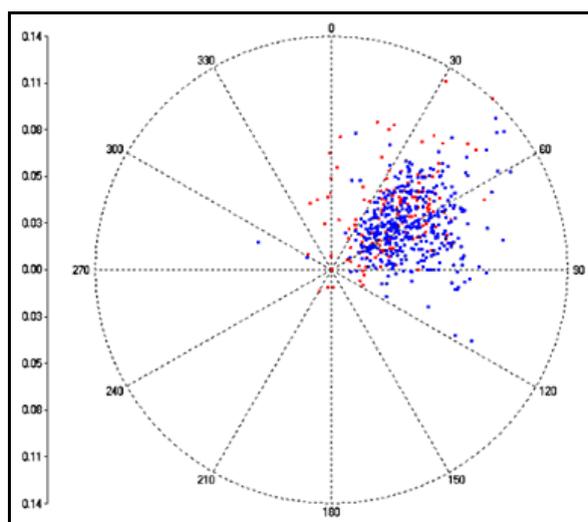


FIGURA 5.22 - Diagrama polar com a distribuição de amostras de campo cerrado (em azul) e cerrado (em vermelho).

Para a classificação da ecorregião do cerrado foram definidas as seguintes classes: cerrado – campo cerrado, campo limpo - campo sujo, floresta estacional, floresta estacional antropizada, caatinga, contato cerrado - caatinga e agricultura. A FIGURA 5.23 apresenta a composição das imagens amplitude, termo aditivo e fase e a FIGURA 5.24 a classificação desta composição.

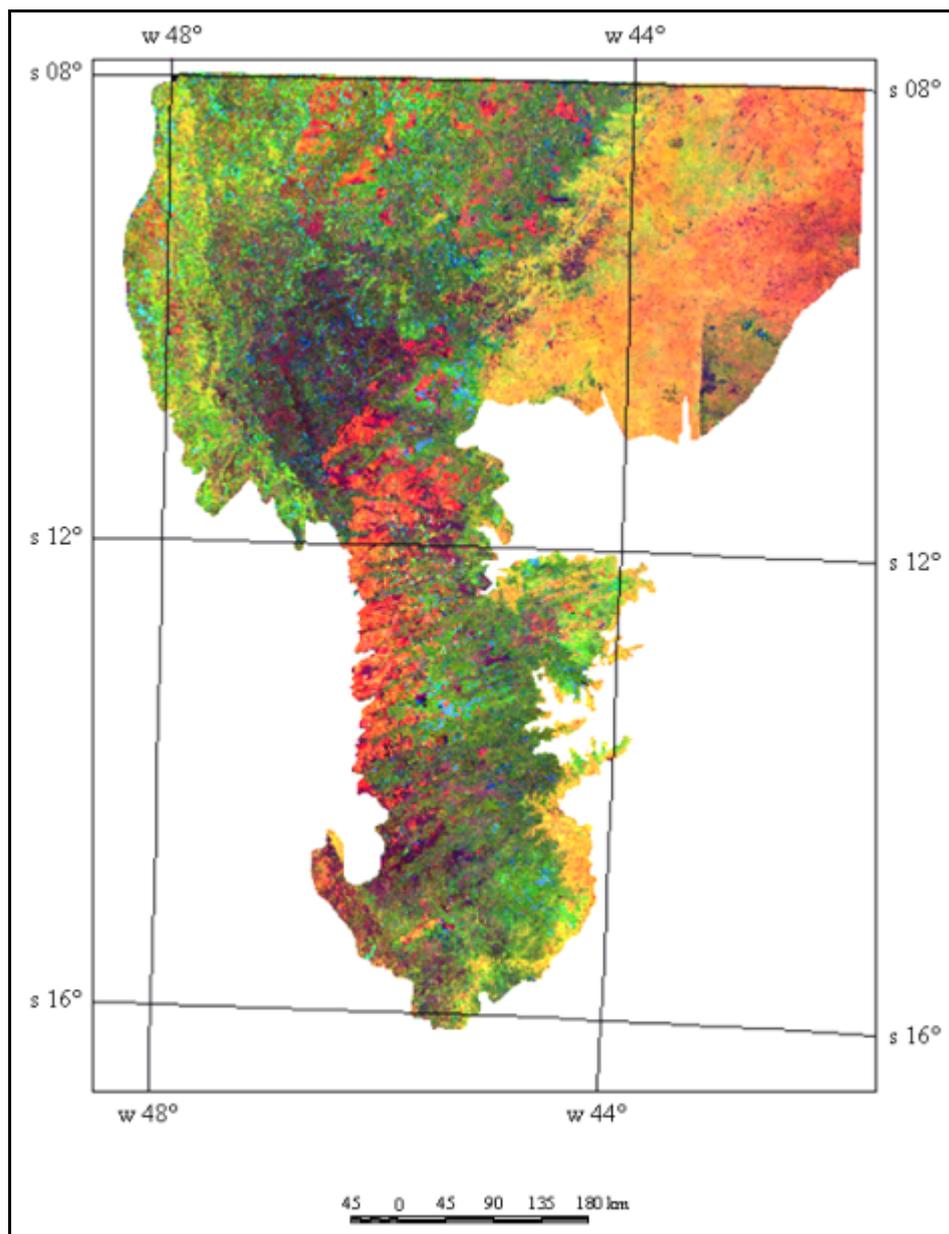


FIGURA 5.23 - Composição colorida das imagens amplitude (R), termo aditivo (G) e ângulo de fase das unidades ecológicas do cerrado consideradas neste estudo.

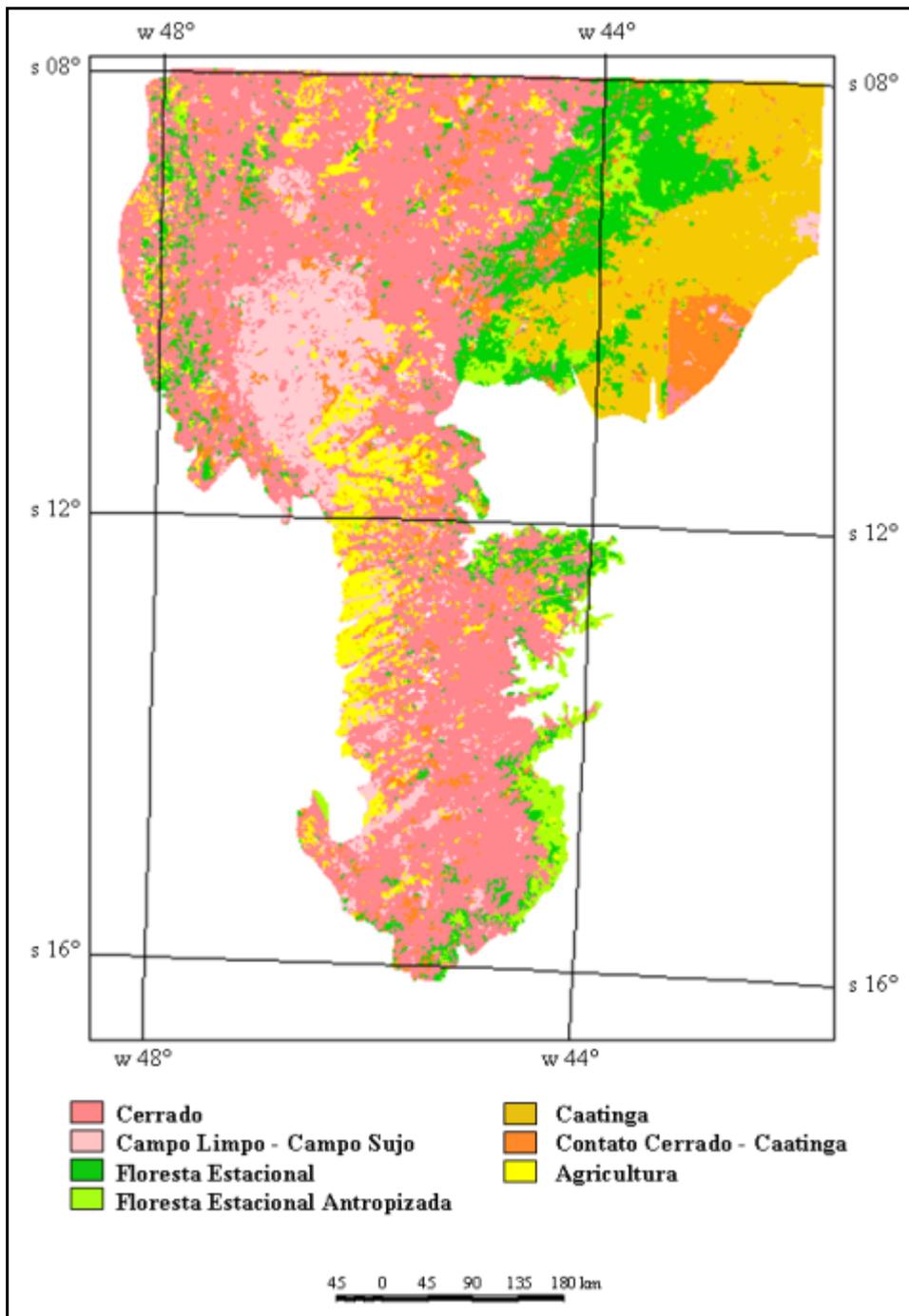


FIGURA 5.24 - Classificação a partir das imagens termo aditivo, amplitude e fase das unidades ecológicas do cerrado consideradas neste estudo.

5.2 Análise de Lacunas de Conservação

5.2.1 Representatividade Ecológica dos Tipos de Vegetação nas Unidades de Conservação de Proteção Integral na Área de Estudo

A área em estudo está composta por 31 tipos de vegetação natural cuja extensão varia de 36.340.314,75 ha. a 920,25 ha., correspondentes a floresta ombrófila aberta submontana e a floresta estacional semidecidual de terras baixas, respectivamente. Destes 31 tipos de vegetação natural, 19 estão representados em alguma proporção dentro das unidades de conservação de proteção integral. A FIGURA 5.25 apresenta o mapa de vegetação utilizado como base para este estudo.

Dentro da área em estudo existem 21 unidades de conservação federais, sendo 13 parques nacionais, 3 estações ecológicas, 4 reservas biológicas e um refúgio de vida silvestre. Em conjunto estas unidades ocupam 11.060.601,75 ha. (6,44%) da área. O número de tipos de vegetação por unidade de conservação de proteção integral federal varia de 7 no Parque Nacional Serra das Confusões, a 1 nas Reservas Biológicas de Tapirapé e do Jaru e na Estação Ecológica Uruçui - Una.

Os tipos de vegetação floresta ombrófila aberta submontana, floresta ombrófila densa submontana e a savana arborizada são os que apresentam maior extensão dentro de unidades de conservação integral federal com 4.179.416,25 ha., 2.296.757,25 ha. e 1.352.045,25 ha., respectivamente. Em termos percentuais, as unidades que estão melhor representadas são: a floresta estacional decidual montana com 31,75% e a floresta ombrófila aberta de terras baixas com 17,20%. (Ver Apêndice A).

Dentro da área em estudo existem 13 tipos de vegetação que não estão representados em nenhuma das unidades de conservação de proteção integral e ocupam uma extensão de 5.739.927,75 ha. (3,34%).

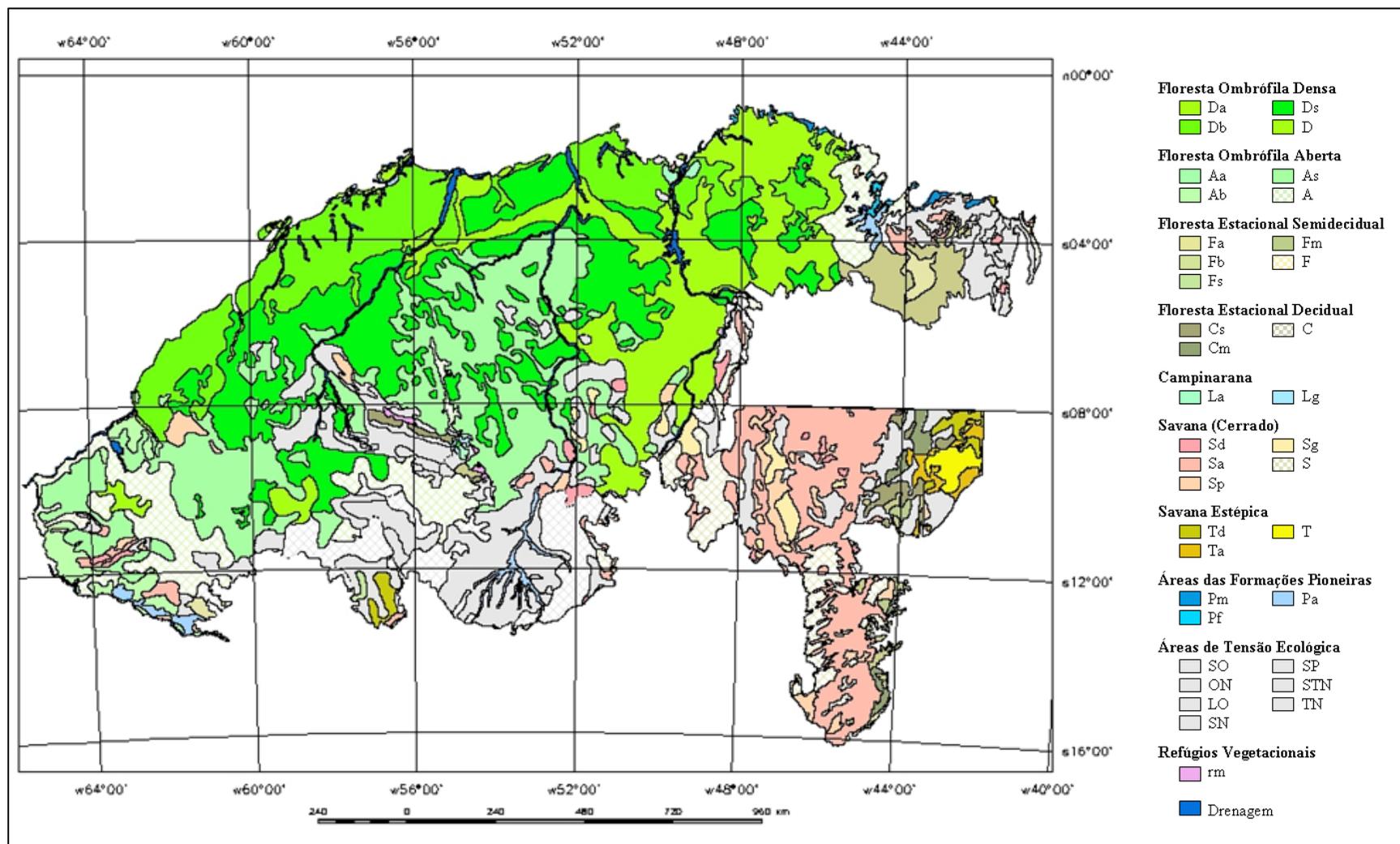


FIGURA 5.25 - Mapa de unidades de vegetação do IBGE utilizado na análise de lacunas de conservação (escala original 1:5.000.000)

Legenda**Floresta Ombrófila Densa**

Da - Floresta Ombrófila Densa Aluvial
 Db - Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas
 Ds - Floresta Ombrófila Densa Submontana
 D - Floresta Ombrófila Densa Vegetação Secundária e Atividades Agrárias

Floresta Ombrófila Aberta

Aa - Floresta Ombrófila Aberta Aluvial
 Ab - Floresta Ombrófila Aberta Terras Baixas
 As - Floresta Ombrófila Aberta Submontana
 A - Floresta Ombrófila Aberta Vegetação Secundária e Atividades Agrárias

Floresta Estacional Semidecidual

Fa - Floresta Estacional Semidecidual Aluvial
 Fb - Floresta Estacional Semidecidual Terras Baixas
 Fs - Floresta Estacional Semidecidual Submontana
 Fm - Floresta Estacional Semidecidual Montana
 F - Floresta Estacional Semidecidual Vegetação Secundária e Atividades Agrárias

Floresta Estacional Decidual

Cs - Floresta Estacional Decidual Submontana
 Cm - Floresta Estacional Decidual Montana
 C - Floresta Estacional Decidual Vegetação Secundária e Atividades Agrárias

Campinarana

La - Campinarana Arborizada
 Lg - Campinarana Gramineo-Lenhosa

Savana (Cerrado)

Sd - Savana Florestada
 Sa - Savana Arborizada
 Sp - Savana Parque
 Sg - Savana Gramineo-Lenhosa
 S - Savana Atividades Agrárias

Savana Estépica

Td - Savana-Estépica Florestada
 Ta - Savana-Estépica Arborizada
 T - Savana-Estépica Atividades Agrárias

Áreas das Formações Pioneiras

Pm - Áreas das Formações Pioneiras Vegetação com Influência Marinha
 Pf - Áreas das Formações Pioneiras Vegetação com Influência Fluvio-marinha
 Pa - Áreas das Formações Pioneiras Vegetação com Influência Fluvial e/ou Lacustre

Áreas de Tensão Ecológica

SO - Savana/Floresta Ombrófila
 ON - Floresta Ombrófila/Floresta Estacional
 LO - Campinarana/Floresta Ombrófila
 SN - Savana/Floresta Estacional
 SP - Savana/Formações Pioneiras (Restinga)
 STN - Savana/Savana Estépica/Floresta Estacional
 TN - Savana Estépica/Floresta Estacional

Refúgios Vegetacionais

rm - Refúgios Vegetacionais Montano

É importante mencionar que dentre as classes de cobertura vegetal contidas no mapa base utilizado neste trabalho, existem classes naturais e classes antrópicas, estas últimas conformadas por vegetação secundária, reflorestamentos, pastagens e áreas agrícolas diferenciadas de acordo com o tipo de vegetação original. Para efeitos da análise da representatividade dos tipos de vegetação utilizaram-se somente as tipologias naturais e todas as tipologias com antropização foram agrupadas em uma única classe denominada antropismo.

Assim, foi gerado o mapa síntese de representatividade, o qual indica em azul aqueles tipos de vegetação natural que estão presente dentro de alguma unidade de conservação de proteção integral federal (68,37%), em vermelho os tipos de vegetação que não estão representados em unidades de conservação (2,47%) e em cinza, as áreas antropizadas (29,16%) (FIGURA 5.26).

Analisando a FIGURA 5.26 o cenário é bastante conservador, no entanto ao verificar em detalhe a savana florestada, por exemplo, se observa que esta tipologia vegetal está distribuída em 21 polígonos dentro da área em estudo e presente em alguma figura de proteção, tendo-se somente 6.113 ha. (0,38% da tipologia) correspondente a dois setores de um mesmo polígono. Tipos de vegetação como este, distribuído em muitos polígonos de pequena extensão, apresentam uma grande proporção borda - área e são de difícil preservação.

Foi realizado um outro mapa síntese de representatividade levando em conta somente aqueles tipos de vegetação que têm mais do que 10% da sua extensão dentro de unidades de conservação (FIGURA 5.27). Este mapa apresenta 50,36% da área que correspondem a tipos de vegetação mal representados dentro das unidades de conservação integral, como é a floresta ombrófila densa com todas as suas formações que ocupam 24,95% da área e têm somente 4 unidades de conservação.

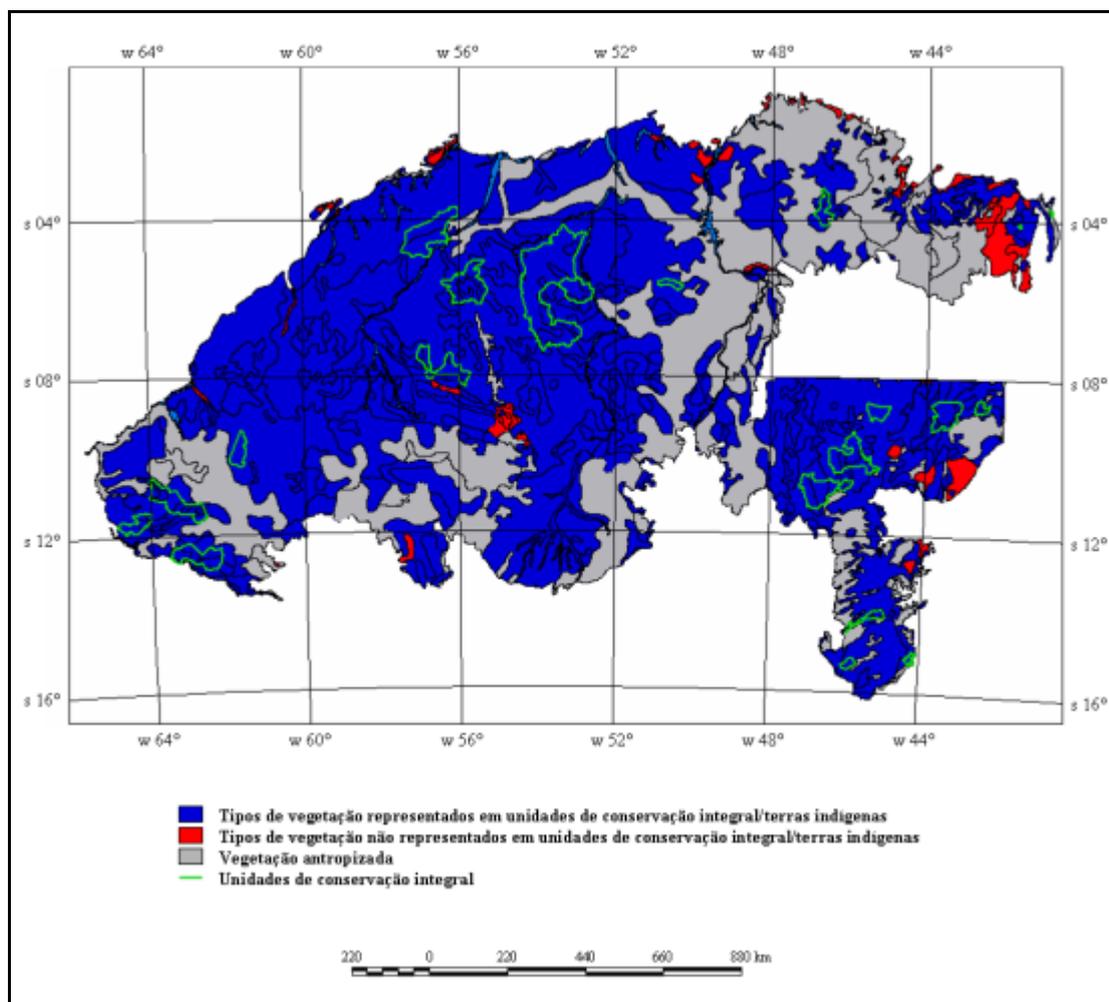


FIGURA 5.26 - Mapa de representatividade dos tipos de vegetação na área em estudo.

Na Amazônia, as terras indígenas muitas vezes preservam muito mais a vegetação do que as unidades de conservação, inclusive aquelas de proteção integral. No entanto, as terras indígenas não estão consideradas como parte do Sistema Nacional de Unidades de Conservação. Com o intuito de conhecer a contribuição destas terras indígenas na área em estudo, os mapas de representatividade e representatividade 10% foram realizados considerando as unidades de conservação integral federal e as terras indígenas. Devido a que existe sobreposição entre alguns polígonos de unidades de conservação e as terras indígenas, para efeitos de cálculo de área as áreas de interseção foram consideradas apenas uma vez nas unidades de conservação integral.

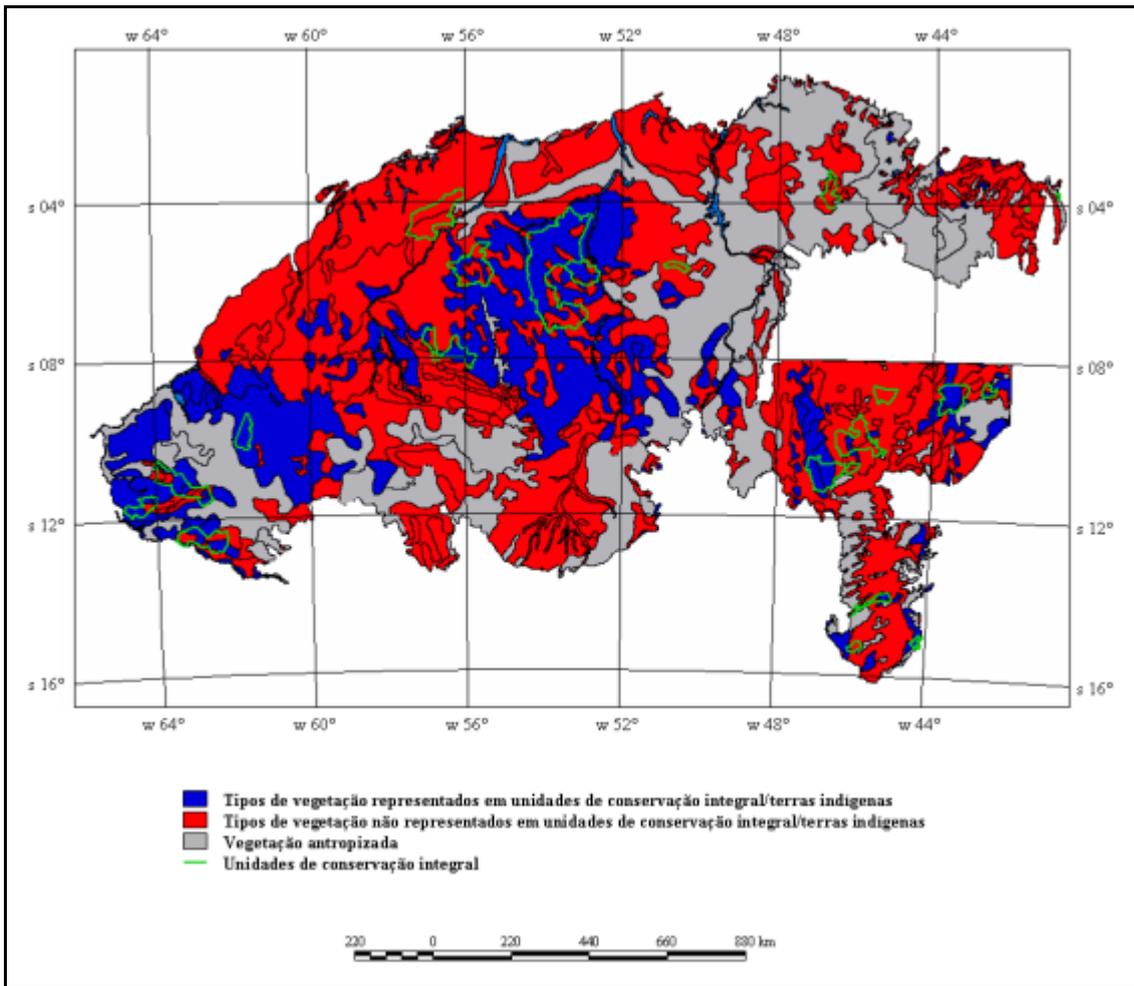


FIGURA 5.27 - Mapa de representatividade dos tipos de vegetação com pelo menos 10% da sua área em unidades de conservação.

Os mapas de representatividade dos tipos de vegetação presente em alguma proporção dentro das unidades de conservação integral e dentro das unidades de conservação integral/terras indígenas diferem em duas classes: floresta ombrófila densa aluvial e refúgios vegetacionais montano, com extensão igual a 609.923,25 hectares e 219.098,25 hectares, respectivamente (FIGURA 5.28).

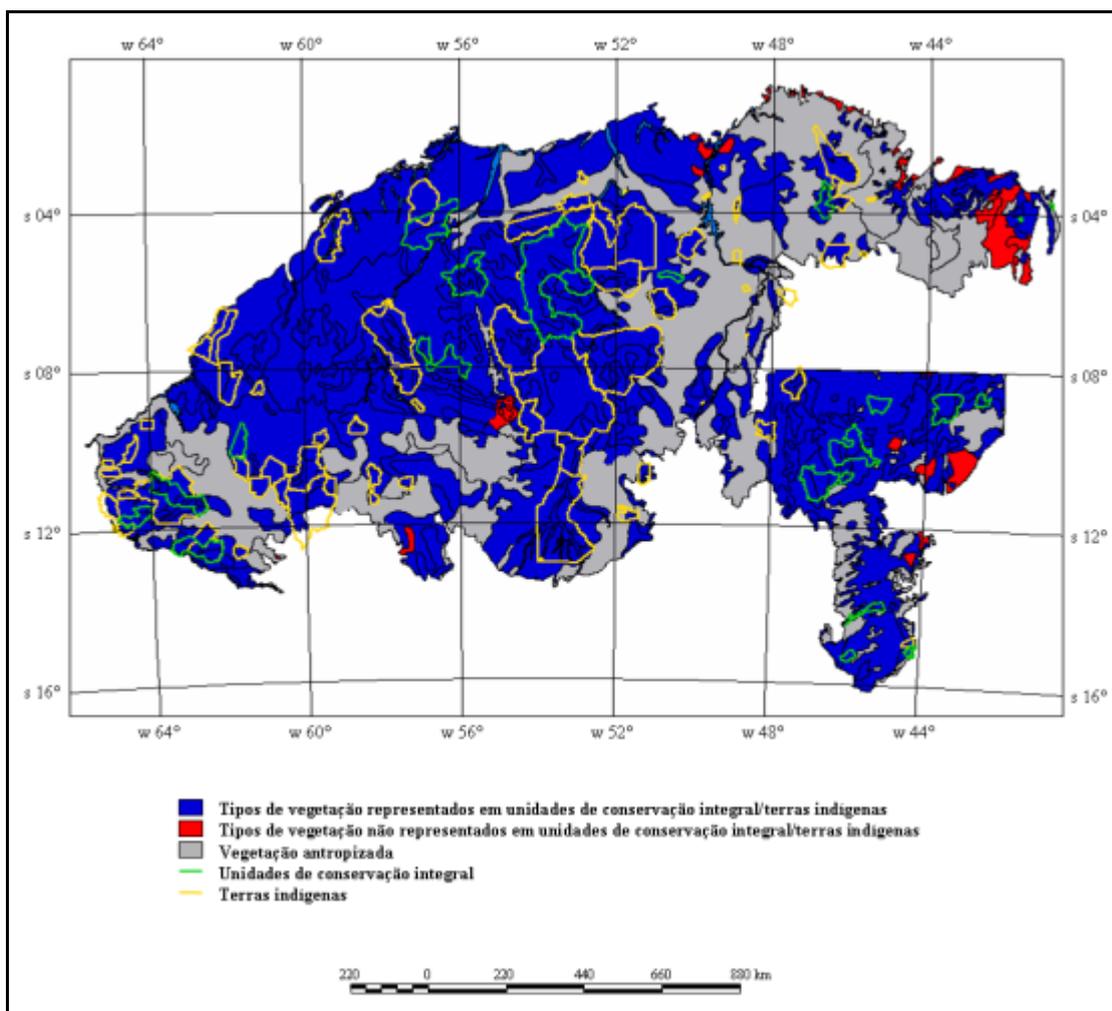


FIGURA 5.28 - Mapa de representatividade dos tipos de vegetação em unidades de conservação e terras indígenas.

Comparando os mapas de representatividade dos tipos de vegetação que têm pelo menos 10% da sua extensão presentes em unidades de conservação integral federal e em unidades de conservação integral federal/terras indígenas, se observa uma grande diferença dada por sete tipologias de vegetação que têm menos de 10% da sua extensão em unidades de conservação integral (FIGURA 5.27). Estes tipos de vegetação são: floresta ombrófila densa submontana, floresta ombrófila densa de terras baixas, savana florestada, savana arborizada, vegetação com influencia fluvial e/ou lacustre, contato savana/floresta ombrófila e contato floresta ombrófila/floresta estacional, e ocupam uma extensão de 97.394.217,75 ha.

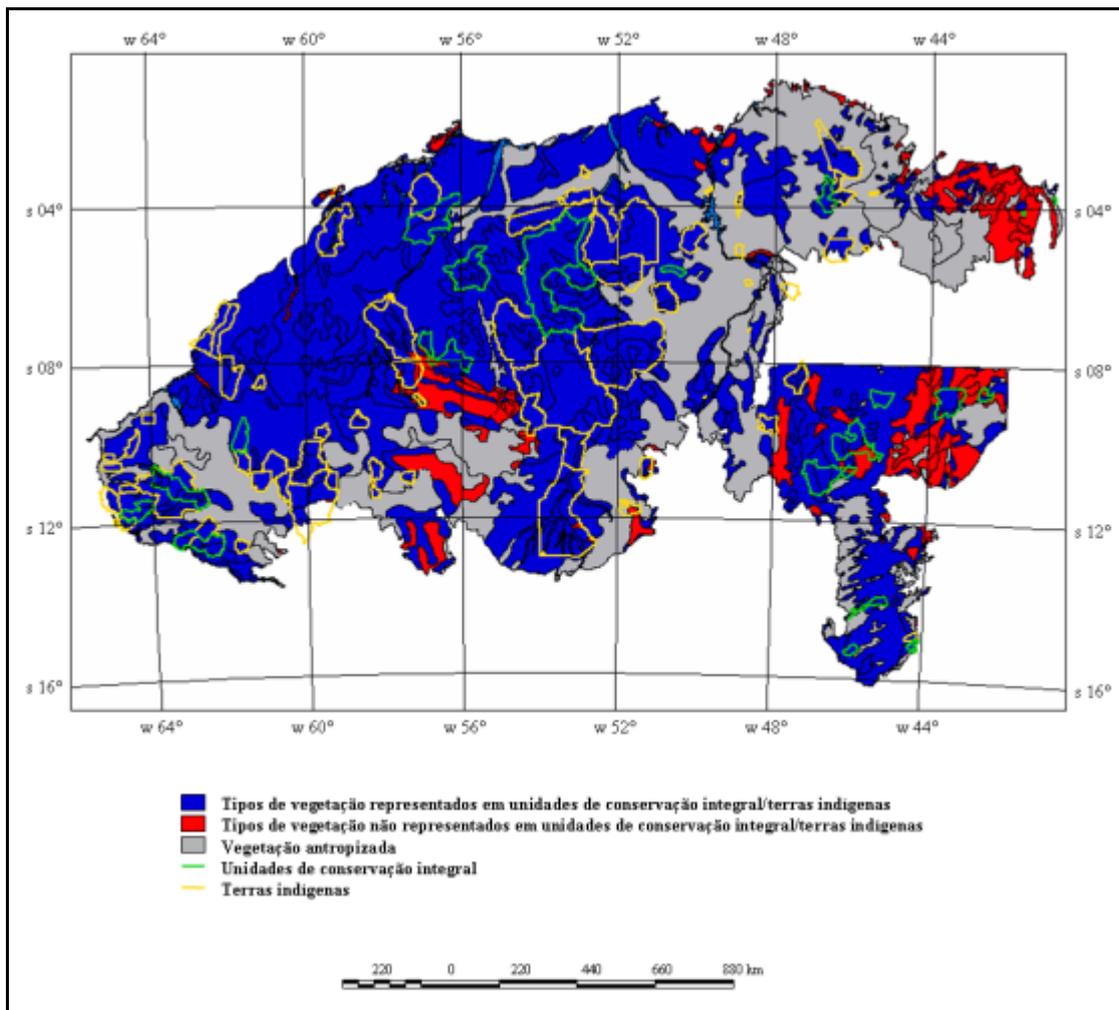


FIGURA 5.29 - Mapa de representatividade dos tipos de vegetação com pelo menos 10% da sua área em unidades de conservação e em terras indígenas.

Para finalizar, pode-se concluir que as unidades de conservação de proteção integral federal existentes na área em estudo não são suficientes para garantir a conservação da área. Devem ser criadas novas unidades de conservação seguindo critérios de representatividade e conectividade, com um cuidado especial nos remanescentes localizados em áreas com grande pressão por atividades antrópicas e evitando a sobreposição de polígonos com outras figuras de proteção. Devido à ação de conservação que realizam as terras indígenas, deve-se estudar a sua inclusão formal dentro do sistema de unidades de conservação.

5.2.2 Representatividade Ecológica dos Tipos de Vegetação nas Unidades de Conservação de Proteção Integral nas Diferentes Ecorregiões.

As ecorregiões que compõem a área são: interflúvio do Madeira - Tapajós (28,37%), interflúvio do Tapajós - Xingu (14,39%), interflúvio do Xingu - Tocantins - Araguaia (11,37%) e interflúvio do Tocantins - Araguaia - Maranhão (8,33%), no bioma Amazônia; a ecorregião Florestas Secas do Mato Grosso (17,18%) no Ecótono Cerrado - Amazônia; Florestas de Babaçu de Maranhão (6,28%) no Ecótono Caatinga - Amazônia e a denominada neste trabalho, Planícies de Tocantins - Piauí - Bahia (14,09%), no Cerrado. A TABELA 5.1 apresenta a percentagem de área em unidades de conservação integral, a área desflorestada e o número de focos de queimadas para cada uma das ecorregiões em estudo.

TABELA 5.1 - Percentagem de Área Protegida em Unidades de Conservação Integral, Área Desflorestada e Número de Focos de Queimadas para o Ano 2004 de cada Ecorregião.

| Ecorregião | Área Protegida (%) | Área Desflorestada (%) | Focos de Queimadas 2004 |
|--|--------------------|------------------------|-------------------------|
| Interflúvio do Madeira - Tapajós | 4,47 | 19,30 | 126.522 |
| Interflúvio do Tapajós - Xingu | 15,44 | 9,36 | 53.859 |
| Interflúvio do Xingu - Tocantins - Araguaia | 0,38 | 30,42 | 74.504 |
| Interflúvio do Tocantins - Araguaia - Maranhão | 1,41 | 64,97 | 66.302 |
| Florestas Secas do Mato Grosso | 0,16 | 31,21 | 224.206 |
| Florestas de Babaçu de Maranhão | 0,05 | 44,78 | 46.934 |
| Planícies de Tocantins - Piauí - Bahia | 7,77 | 17,64 | 78.698 |

5.2.2.1 Interflúvio do Madeira - Tapajós

Esta ecorregião é a de maior extensão do Brasil e junto com as Florestas Secas de Mato Grosso constituem duas das três ecorregiões que ocupam mais do que 10% do bioma Amazônia cada (Ferreira, 2001). O Interflúvio Madeira - Tapajós apresenta 19,30% da sua área desmatada, a qual se concentra principalmente ao sul da área em torno de Ariquemes e Ji-Paraná e no sul - leste em Alta Floresta e Peixoto de Azevedo onde se localizam algumas áreas críticas de desmatamento.

No que se refere à vegetação, dentro da área em estudo existem 4 tipos que somente ocorrem nesta ecorregião: floresta ombrófila aberta aluvial, floresta ombrófila aberta de terras baixas, floresta estacional semidecidual aluvial e floresta estacional semidecidual de terras baixas. Destes tipos de vegetação, os dois primeiros têm mais do que 10% em unidades de conservação e os dois restantes, carecem de qualquer proteção (FIGURA 5.30). O Apêndice 1 contém as tabelas com a extensão dos tipos de vegetação dentro de cada ecorregião, assim como a extensão protegida em unidades de conservação e terras indígenas.

Analisando a ocorrência de focos de queimadas dentro das unidades de conservação desta ecorregião para os anos de 2001 a 2004, verificou-se que no Parque Nacional Serra da Cutia foi registrado apenas um foco durante o período. A incidência de focos de queimadas é considerado, em certas condições, indicativo de abertura de novas frentes de desflorestamento. A TABELA 5.2 apresenta o número de focos de queimadas por ano, registrados nas unidades de conservação.

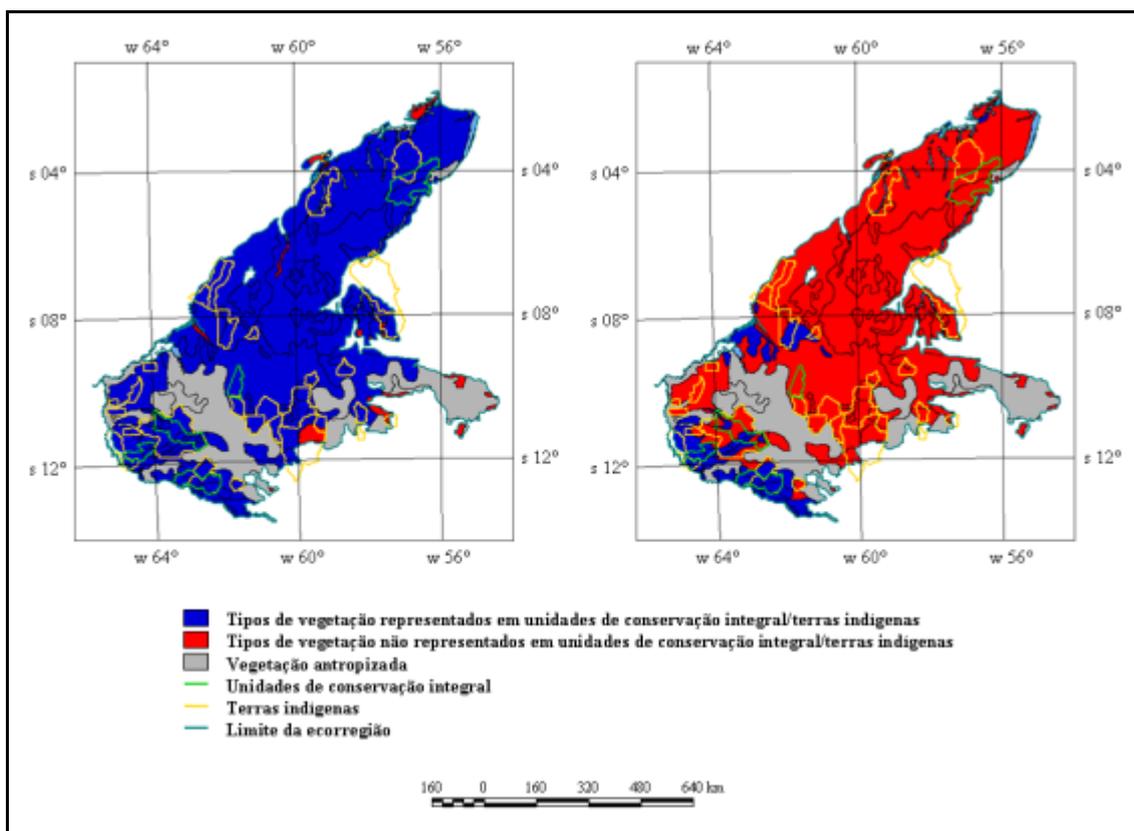


FIGURA 5.30 - Mapas de representatividade dos tipos de vegetação considerando a presença/não presença (a) e pelo menos 10% da área (b) na ecorregião Interflúvio do Madeira – Tapajós.

TABELA 5.2 - Número de Focos de Queimadas nas Unidades Conservação de Proteção Integral da Ecorregião Interflúvio do Madeira - Tapajós para o Período 2001 - 2004.

| | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
|----------------------|------|------|------|------|
| P.N. da Amazônia | 5 | 42 | 78 | 64 |
| P.N. de Pacaás Novos | 9 | 5 | 40 | 50 |
| P.N. Serra da Cutia | - | - | - | 1 |
| R.B. do Guaporé | 6 | 40 | 39 | 150 |
| R.B. do Jarú | - | 35 | 42 | 49 |

5.2.2.2 Interflúvio do Tapajós – Xingu

A ecorregião Interflúvio do Tapajós - Xingu é a única que apresenta mais de 10% de sua área em unidades de proteção integral federal e adicionalmente a que apresenta a menor percentagem de desflorestamento das ecorregiões deste estudo (FIGURA 5.31). Considerando as unidades de conservação/terras indígenas os tipos de vegetação savana parque, savana florestada e refúgios vegetacionais montano, que não estavam presentes em nenhuma unidade de conservação, passam a ter protegido 100%, 99,89% e 90,21% respectivamente da sua área na ecorregião. Nesta ecorregião, assim como na Interflúvio do Xingu - Tocantins - Araguaia as terras indígenas têm a maior contribuição na representatividade em tipos de vegetação.

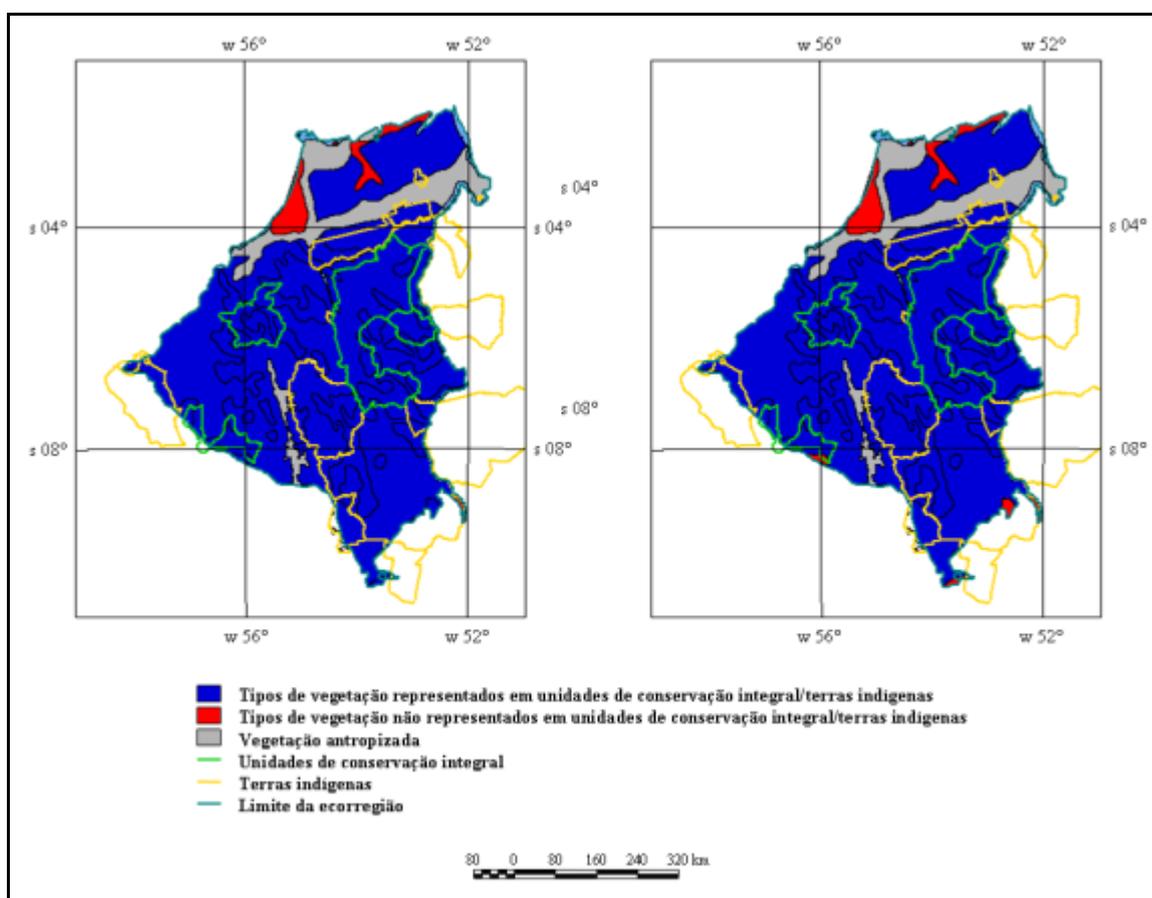


FIGURA 5.31 - Mapas de representatividade dos tipos de vegetação considerando a presença/não presença (a) e pelo menos 10% da área (b) na ecorregião Interflúvio do Tapajós – Xingu.

A área desmatada (9,36%) está concentrada ao longo das estradas Transamazônica e na BR 163 Cuiabá - Santarém, apresentando na primeira o padrão de espinha de peixe.

As unidades de conservação integral federais existentes dentro desta ecorregião são: o Parque Nacional do Jamanxim, Parque Nacional do Rio Novo, Parque Nacional Serra do Pardo e a Estação Ecológica Terra do Meio. Estas figuras de proteção foram criadas todas entre 2005 e 2006, como uma ação do Governo para proteger as zonas próximas à BR 163.

5.2.2.3 Interflúvio do Xingu - Tocantins - Araguaia

A ecorregião Xingu - Tocantins - Araguaia contém 14 tipos de vegetação e somente a Floresta Ombrófila Densa Submontana encontra-se representada dentro da única unidade de conservação integral da ecorregião, a Reserva Biológica de Tapirapé com 1,62% da área total da tipologia. Considerando as terras indígenas, 5 tipologias de vegetação passam a estar representadas com no mínimo 18,76% da área total de cada tipologia (FIGURA 5.32).

A ecorregião apresenta 30,42% da área desmatada para 2004, o qual se localiza principalmente no arco do desflorestamento, ao sudeste da área.

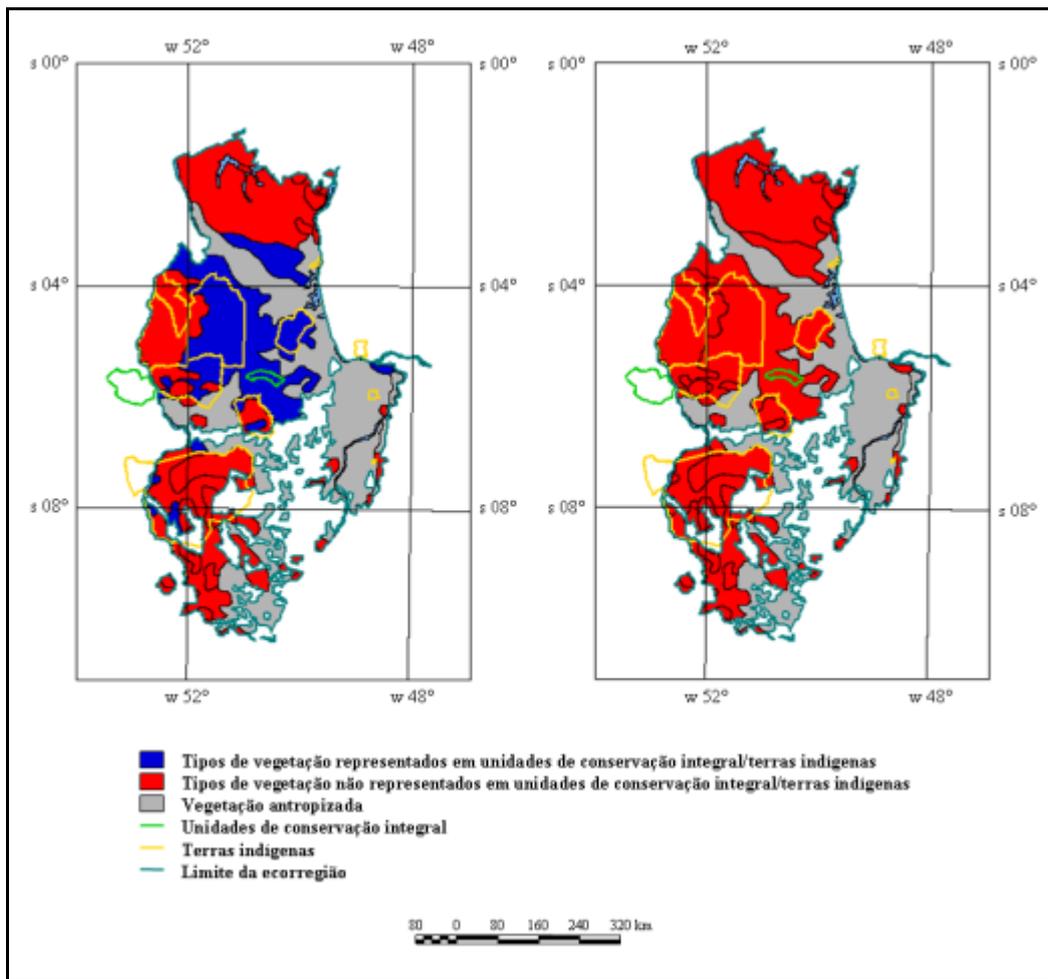


FIGURA 5.32 - Mapas de representatividade dos tipos de vegetação considerando a presença/não presença (a) e pelo menos 10% da área (b) na ecorregião Xingu - Tocantins – Araguaia.

5.2.2.4 Interflúvio do Tocantins - Araguaia - Maranhão

O interflúvio do Tocantins - Araguaia - Maranhão apresenta a maior percentagem de área desmatada (64,97%) das ecorregiões analisadas. A Reserva Biológica do Gurupi é a única unidade de conservação dentro da ecorregião e apresenta uma grande pressão tanto no seu interior como nas áreas vizinhas, a exceção do limite leste que existem duas reservas indígenas. Um indício da pressão existente sobre esta unidade de conservação o constitui os 162, 215, 469 e 707 focos de queimadas registrados no seu interior para os anos 2001 a 2004 respectivamente.

Dentro da ecorregião existem 8 tipos de vegetação e destes apenas 2, a floresta ombrófila densa de terras baixas e a floresta ombrófila densa submontana estão dentro da Reserva Biológica do Gurupi, perfazendo 1,82% e 8,17% da área total destas tipologias. Este percentagem de proteção aumenta para 23,74% e 18,70% ao considerar as terras em unidades de conservação/terras indígenas (FIGURA 5.33).

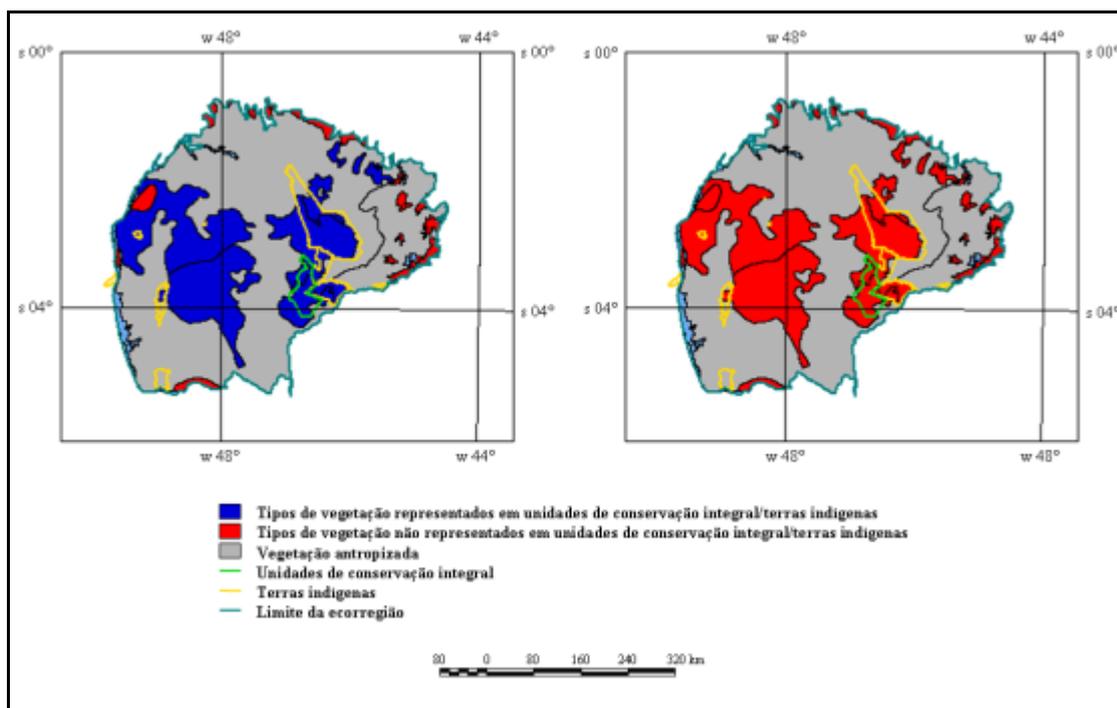


FIGURA 5.33 - Mapas de representatividade dos tipos de vegetação considerando a presença/não presença (a) e pelo menos 10% da área (b) na ecorregião interflúvio do Tocantins - Araguaia – Maranhão.

5.2.2.5 Florestas Secas do Mato Grosso

A ecorregião Florestas Secas de Mato Grosso é a que tem o maior número de tipologias de vegetação (18) e somente 4 delas está representada em baixíssima proporção (0,16%) dentro do Parque Nacional do Rio Novo, unidades de conservação integral federal criada em fevereiro de 2006 (FIGURA 5.34). Considerando as unidades de conservação integral e as terras indígenas, a área em unidades de conservação aumenta para 16,69%. Esta ecorregião está inserida dentro do arco do desflorestamento e apresenta 31,21% de antropização.

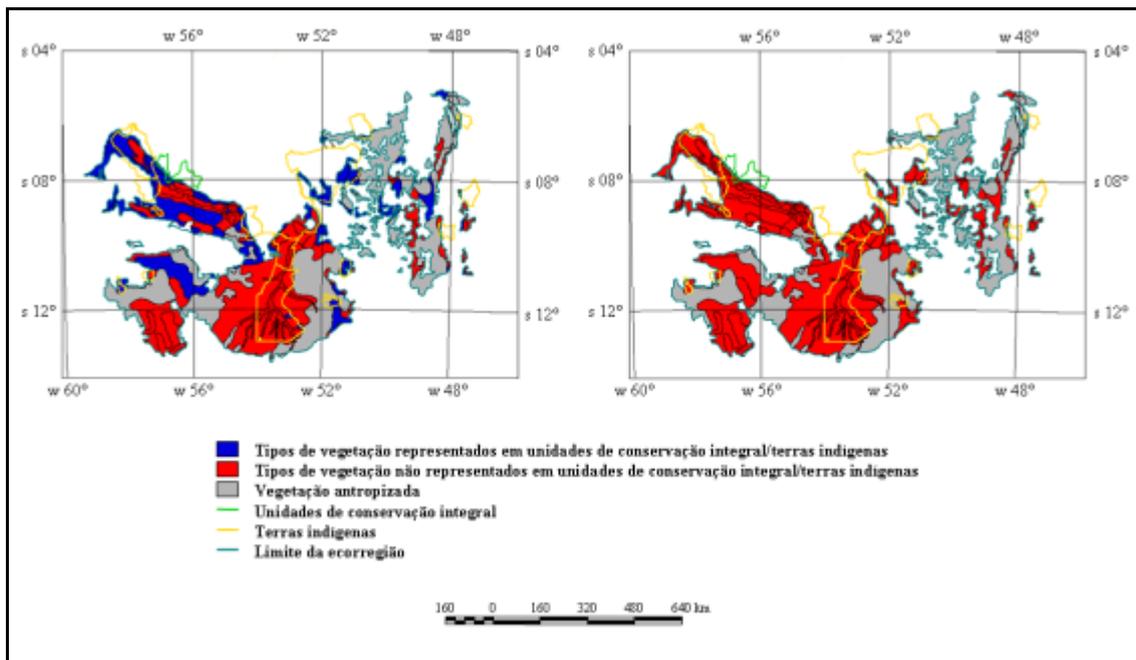


FIGURA 5.34 - Mapas de representatividade dos tipos de vegetação considerando a presença/não presença (a) e pelo menos 10% da área (b) na ecorregião Floresta Secas de Mato Grosso.

5.2.2.6 Florestas de Babaçu do Maranhão

Esta ecorregião tem a menor proporção de área conservada (0,05%), que corresponde ao Parque Nacional Sete Cidades e parte do Parque Nacional de Ubajara. Estas unidades de conservação contêm o tipo de vegetação Savana-Estépica Arborizada e as áreas de tensão ecológica Savana/Floresta Estacional e Savana Estépica/Floresta Estacional, sendo esta última tipologia a que apresenta a maior extensão protegida, 5.127,75 ha. (FIGURA 5.35).

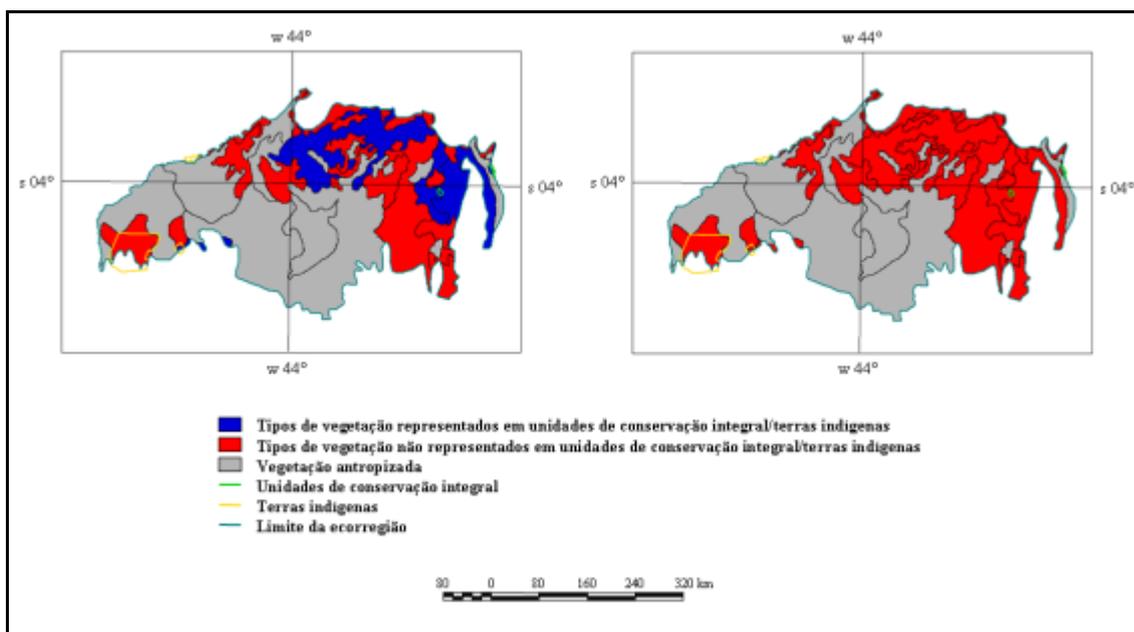


FIGURA 5.35 - Mapas de representatividade dos tipos de vegetação considerando a presença/não presença (a) e pelo menos 10% da área (b) na ecorregião Florestas de Babaçu de Maranhão.

5.2.2.7 Planícies de Tocantins - Piauí - Bahia

De acordo com a classificação em unidades ecológicas de Silva et. al. (2006), esta unidade é a que apresenta a maior proporção de área protegido no bioma cerrado. Dos tipos de vegetação presentes no mapa de vegetação do IBGE (2004), a Savana Arborizada ocupa um 43,73% da área e tem apenas 7,07% em unidades de conservação (FIGURA 5.36).

O mapa de representatividade dos tipos de vegetação da ecorregião Planícies de Tocantins - Piauí - Bahia apresenta 7,52% da área não representado em unidades de conservação e 24,72% antropizado. Considerando como bem representados somente aqueles tipos de vegetação com mais de 10% em unidades de conservação, a situação praticamente se inverte e 61,26% da área corresponde a vegetação não presente ou mal representada dentro das unidades de conservação. Ambos os cenários permanecem iguais se são levadas em consideração as terras indígenas existentes dentro da ecorregião.

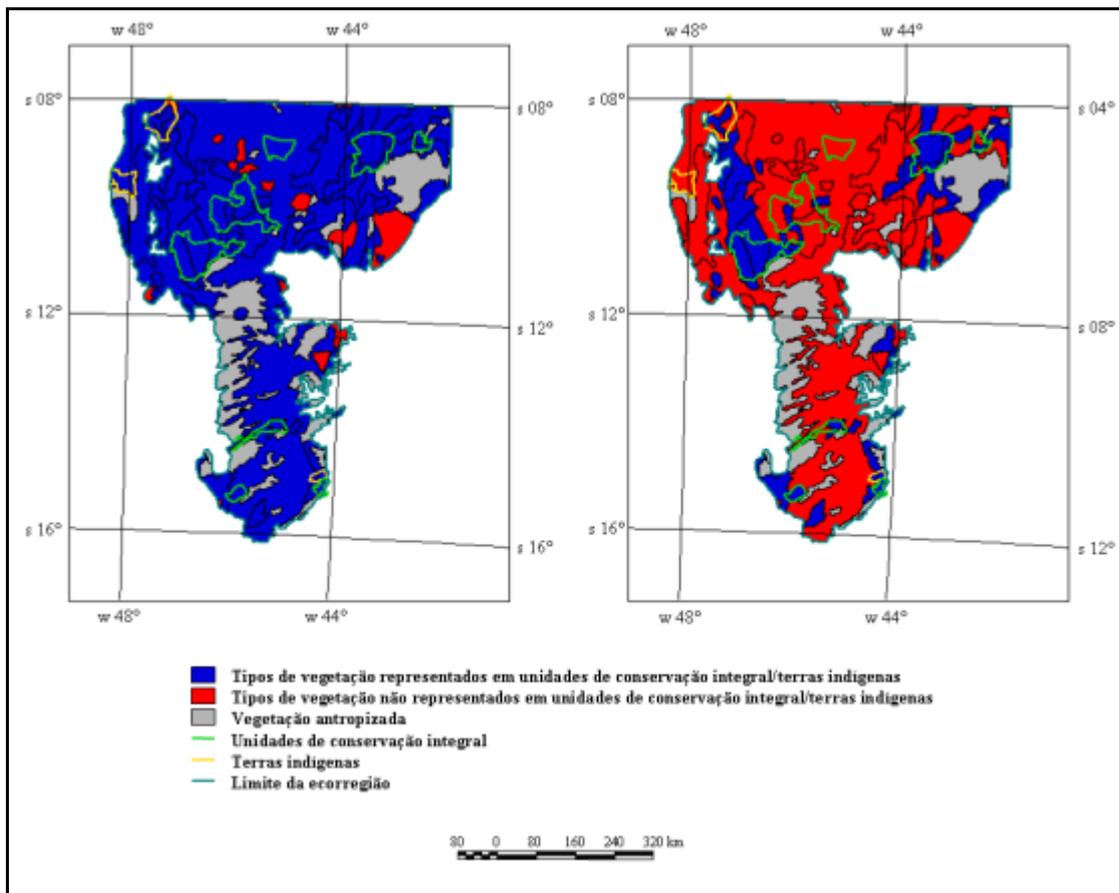


FIGURA 5.36 - Mapas de representatividade dos tipos de vegetação considerando a presença/não presença (a) e pelo menos 10% da área (b) na ecorregião Planícies de Tocantins - Piauí – Bahia.

O fogo é utilizado como parte das práticas de manejo do cerrado, isto se vê refletido na grande quantidade de focos de queimadas registrados nas unidades de conservação (TABELA 5.3) e em geral na ecorregião como um todo.

TABELA 5.3 - Número de Focos de Queimadas nas Unidades de Conservação de Proteção Integral da Ecorregião Planícies Tocantins - Piauí - Bahia para o Período 2001-2004.

| | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
|------------------------------------|------|------|-------|-------|
| P.N. Cavernas do Peruaçu | 4 | 7 | 17 | 9 |
| P.N. Grande Sertão Veredas | 4 | 11 | 56 | 26 |
| P.N. das Nascentes do Rio Parnaíba | 143 | 398 | 729 | 1094 |
| P.N. da Serra da Capivara | 4 | 4 | 3 | 2 |
| P.N. da Serra das Confusões | 26 | 15 | 24 | 30 |
| E.E. Serra Geral do Tocantins | 180 | 350 | 1.113 | 1.489 |
| E.E. de Uruçui - Una | 41 | 196 | 142 | 1.120 |
| R.V.S. das Veredas do Oeste Baiano | - | - | - | - |

No caso das ecorregiões com pouca extensão de desflorestamento, devem ser estudadas opções de conservação que levem em consideração os diferentes cenários possíveis para a definição de novas unidades de conservação.

5.2.3 Representatividade Ecológica dos Tipos de Vegetação nas Unidades de Conservação de Proteção Integral nos Corredores Ecológicos

5.2.3.1 Corredor Sul da Amazônia

As unidades de conservação de proteção integral dentro do Corredor Sul da Amazônia são: a totalidade do Parque Nacional da Amazônia, as reservas biológicas Tapirapé e Gurupi assim como parte da Estação Ecológica Terra do Meio. Estas unidades de conservação representam 8,81% da área do corredor. Adicionalmente, existem dentro do corredor 14 terras indígenas que representam 23,38% do corredor, algumas destas terras atuam como barreira para o avanço do desflorestamento (FIGURA 5.37) e contribuem para elevar a 31,23% a proporção de área protegida dentro do corredor.



FIGURA 5.37 - Reserva Biológica do Gurupi (em primeiro plano) e a Terra Indígena Baú (floresta em segundo plano).

O setor leste do corredor está inserido dentro do arco do desflorestamento e apresenta um alto grau de antropização e fragmentação da paisagem. Há também outra área de desflorestamento menor que corresponde à área de influência da Transamazônica. A extensão de desflorestamento dentro do corredor para 2004 foi de 8.302.086,72 ha. (26,28%).

A Reserva Biológica de Gurupi está inserida numa matriz de áreas antropizadas e usos de grande impacto para a conservação. A própria reserva, desde a época da sua criação em 1988 continha 7% de sua área desmatada; para 1996 este valor aumentou significativamente para 18,70% (MMA/IBAMA/ELETRONORTE/PROAVES, 1999).

Dentre os usos conflitantes encontrados na área, podem ser citados a extração de madeira (corte raso e corte seletivo), brocagem, incêndios florestais, abertura de estradas, caça, criação de gado e agricultura de subsistência. A FIGURA 5.38 apresenta algumas atividades não permitidas dentro de unidades de conservação de proteção integral, registradas durante trabalho de campo realizado em outubro de 2003.

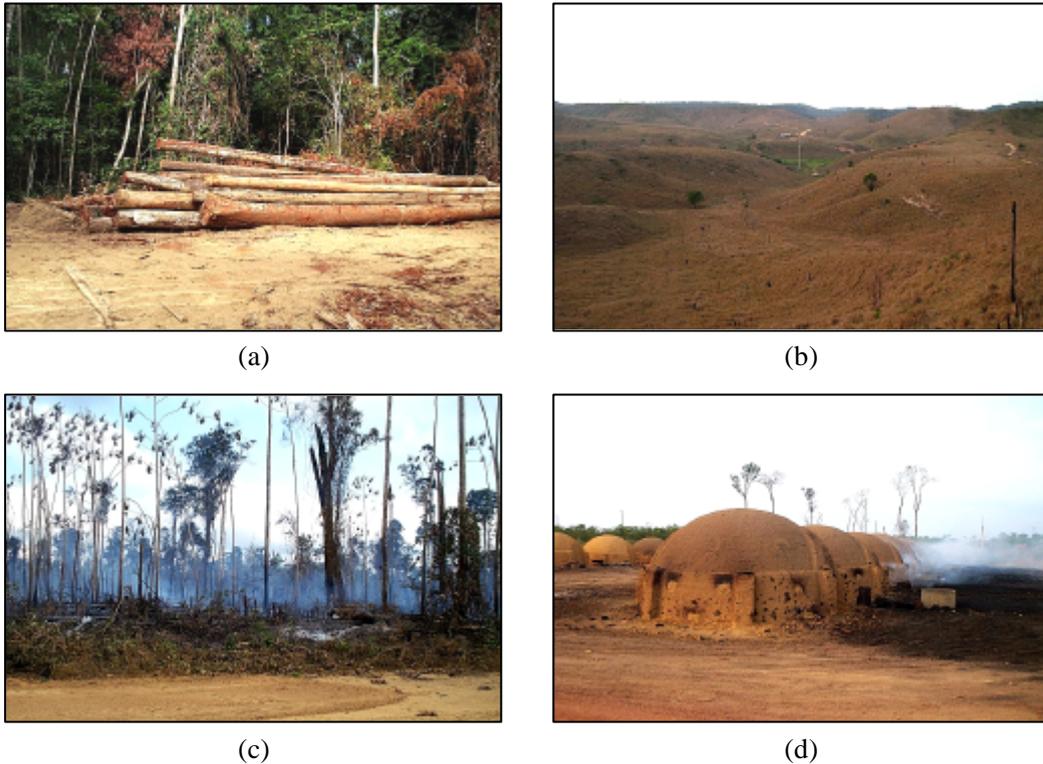


FIGURA 5.38 - Usos conflitantes verificados dentro da reserva Biológica do Gurupi: exploração madeireira (a); áreas de pastagem (b); queimadas após desflorestamento (c); fornos de carvão (d).

Adicionalmente, a localização da reserva no extremo do corredor sem uma área tampão, a distância da mesma com o resto das unidades de conservação dentro do corredor assim como o isolamento da área em função da antropização, são aspectos que devem ser considerados numa possível reestruturação do corredor.

Os principais tipos de vegetação dentro do corredor são: floresta ombrófila densa submontana, floresta ombrófila densa de terras baixas e floresta ombrófila aberta submontana. Analisando a representatividade destes tipos de vegetação dentro do corredor verificou-se que das 8 tipologias presentes no corredor, apenas três estão representadas dentro do sistema de unidades de conservação (FIGURA 5.39).

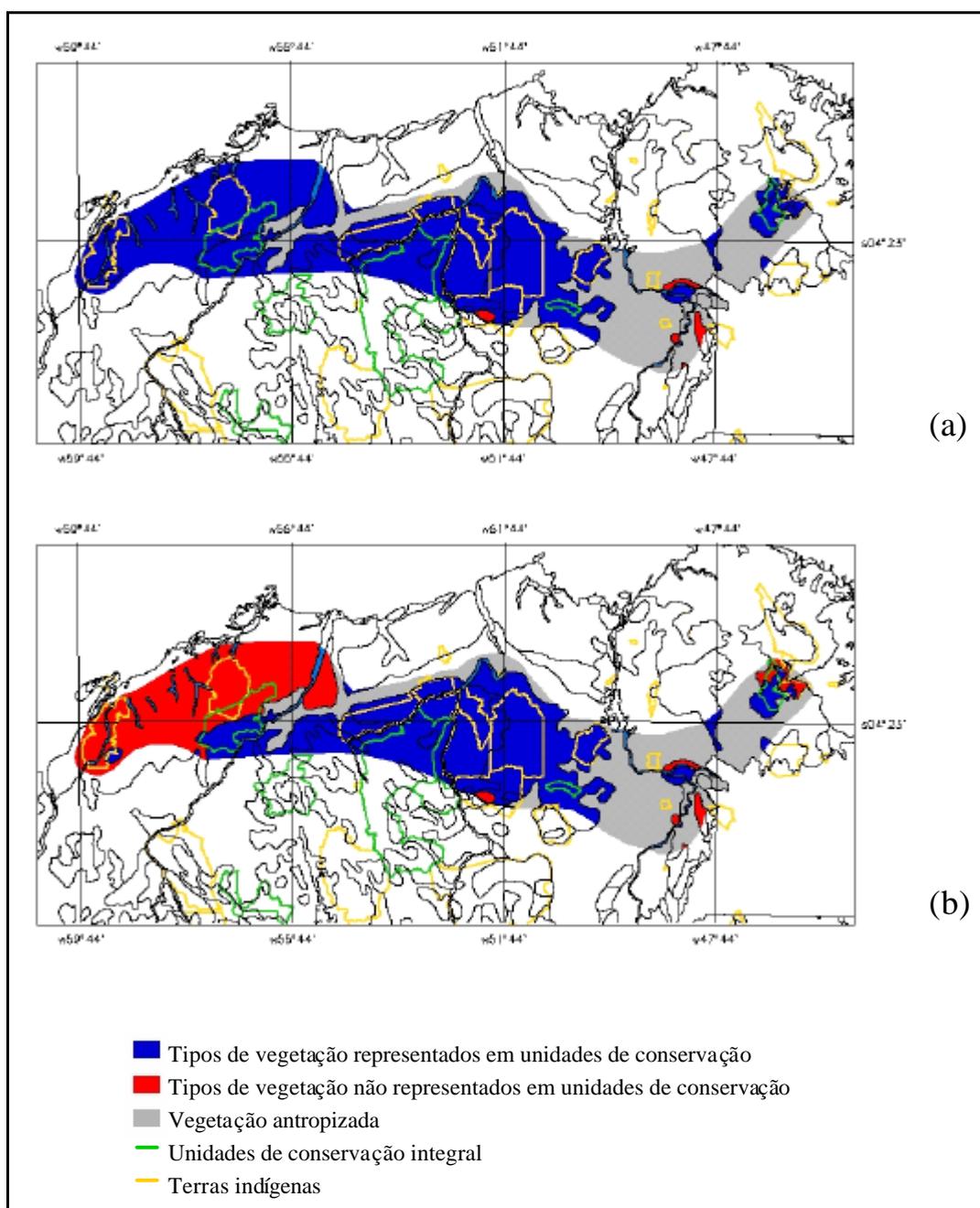


FIGURA 5.39 - Mapas de representatividade dos tipos de vegetação considerando a presença/não presença (a) e pelo menos 10% da área (b) no Corredor Ecológico Sul da Amazônia.

A TABELA 5.4 apresenta os tipos de vegetação presentes dentro do corredor e a extensão de cada tipo dentro das unidades de conservação de proteção integral e as terras indígenas.

TABELA 5.4 - Tipos de Vegetação Presentes no Corredor Ecológico Sul da Amazônia e Representatividade dentro das Unidades de Conservação e Terras Indígenas.

| Tipo de Vegetação | Área dentro do Corredor (ha.) | U.C. Proteção Integral (%) | Terras Indígenas (%) | U.C. Proteção Integral + Terras Indígenas (%) |
|-------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------|---|
| DA | 79.814,25 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Db | 7.414.128,00 | 6,58 | 19,88 | 25,24 |
| Ds | 8.356.315,50 | 11,15 | 36,97 | 48,12 |
| D* | 8.555.647,50 | 0,33 | 1,99 | 2,32 |
| As | 4.547.396,25 | 24,22 | 51,35 | 75,57 |
| A* | 36.713,25 | 0,00 | 9,18 | 9,18 |
| Sd | 6.554,25 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Sa | 136.964,25 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| S* | 120.336,75 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SO | 72.128,25 | 0,00 | 100,00 | 100,00 |
| SO* | 570.143,25 | 0,00 | 1,79 | 1,79 |
| SN | 519,75 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SN* | 83.110,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Legenda:

Da - Floresta Ombrófila Densa Aluvial

Db - Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas

Ds - Floresta Ombrófila Densa Submontana

D - Floresta Ombrófila Densa Vegetação Secundária e Atividades Agrárias

As - Floresta Ombrófila Aberta Submontana

A - Floresta Ombrófila Aberta Vegetação Secundária e Atividades Agrárias

Sd - Savana Florestada

Sa - Savana Arborizada

S - Savana Atividades Agrárias

SO - Contato Savana/Floresta Ombrófila

SN - Contato Savana/Floresta Estacional

Os tipos de vegetação sombreados correspondem a vegetação antropizada

5.2.3.2 Corredor Jalapão - Mangabeiras

O corredor Jalapão - Mangabeiras apresenta 46,39% da área em duas unidades de conservação integral federal, o Parque Nacional Nascentes do Parnaíba e a Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins. Esta percentagem torna-se elevada ao considerar o se eleva ainda mais se são levados em conta o Parque Estadual do Jalapão e as Áreas de Proteção Ambiental do Jalapão e Serra da Tabatinga (FIGURA 5.40).

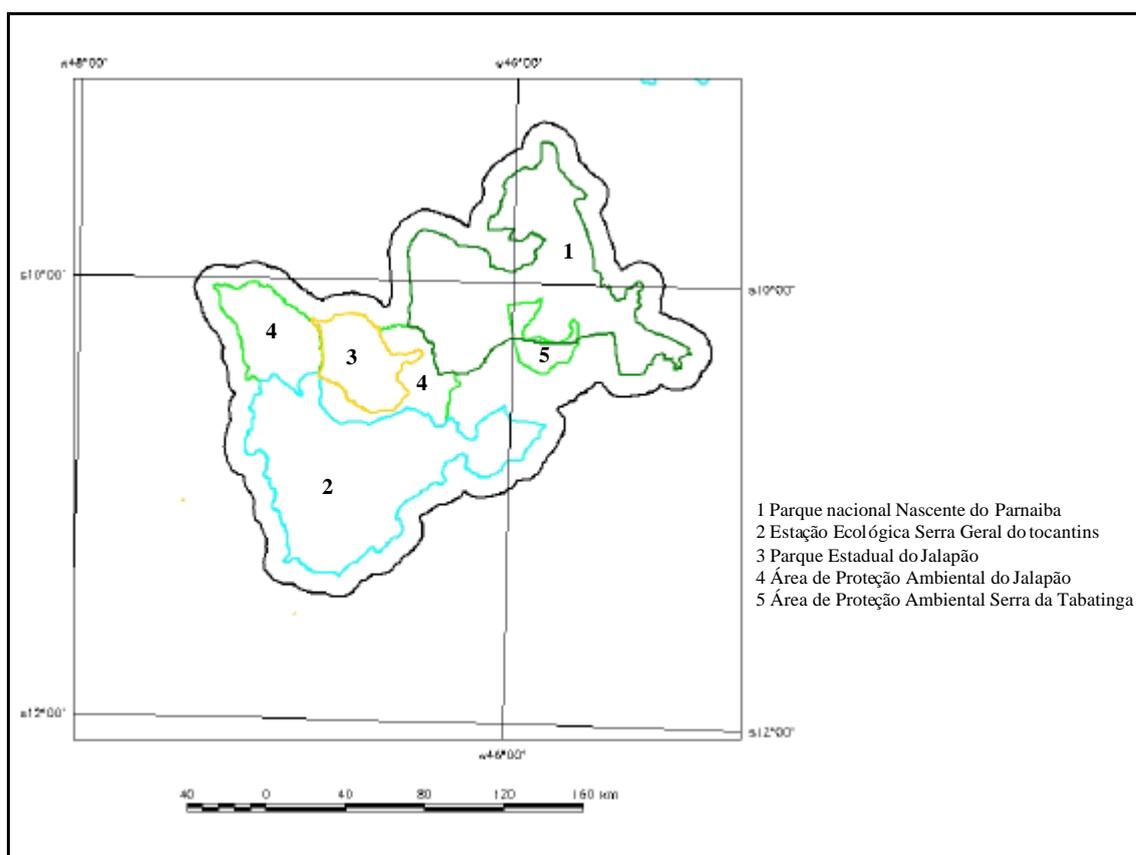


FIGURA 5.40 - Unidades de conservação federais e estaduais do Corredor Ecológico Jalapão - Mangabeiras.

O Corredor Jalapão - Mangabeiras é considerado a maior área contínua de conservação do cerrado, com uma extensão de 3.136.243,08 ha. e 3,07% de área antropizada a qual corresponde principalmente a áreas agrícolas, localizadas na porção central e sul do corredor.

Os tipos de vegetação presentes no corredor Jalapão - Mangabeiras são: savana arborizada, savana gramíneo-lenhosa e contato savana/floresta estacional. Estas tipologias de vegetação apresentam uma grande extensão dentro das unidades de conservação de proteção integral (FIGURA 5.41). Dentro do corredor há apenas uma tipologia natural, a savana florestada, que não está dentro de nenhuma figura de conservação.

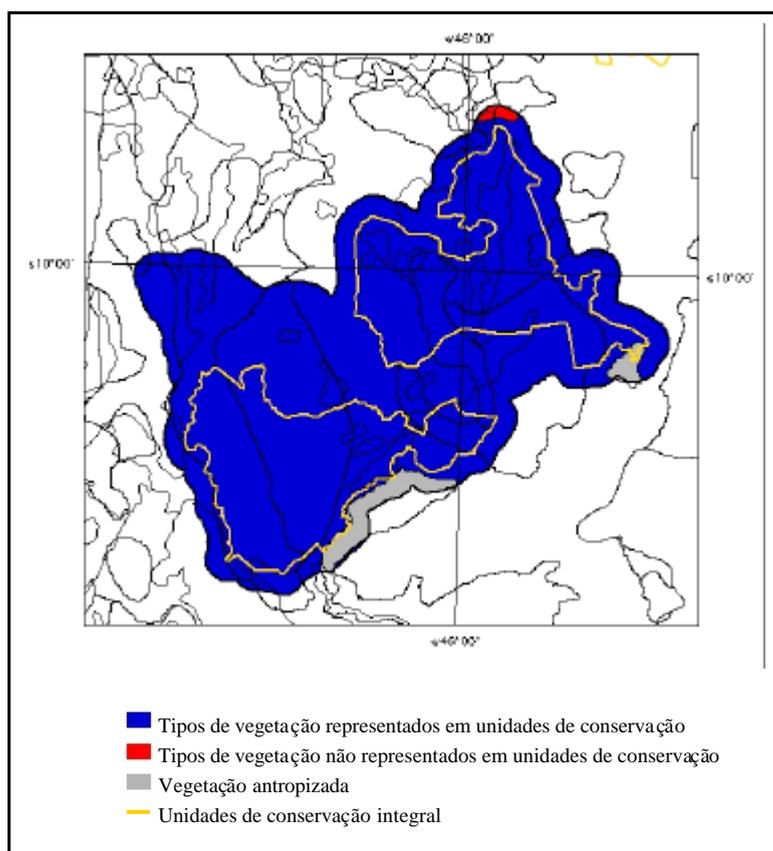


FIGURA 5.41 - Mapa de representatividade dos tipos de vegetação no Corredor Ecológico Jalapão - Mangabeiras.

A TABELA 5.5 apresenta os tipos de vegetação presentes dentro do corredor e a extensão de cada tipo dentro das unidades de conservação de proteção integral.

TABELA 5.5 - Tipos de Vegetação Presentes no Corredor Ecológico Sul da Amazônia e Representatividade dentro das Unidades de Conservação e Terras Indígenas.

| Tipo de Vegetação | Área dentro do Corredor | | Unidades de Conservação de Proteção Integral | |
|-------------------|-------------------------|-------|--|-------|
| | (ha.) | (%) | (ha.) | (%) |
| Sd | 10.734,75 | 0,34 | 0,00 | 0,00 |
| Sa | 1.473.104,25 | 46,97 | 676.984,50 | 45,96 |
| Sp | 615.231,00 | 19,62 | 323.201,25 | 52,53 |
| Sg | 556.634,25 | 17,75 | 282.386,25 | 50,73 |
| S | 96.354,00 | 3,07 | 4191,75 | 4,35 |

Legenda:

Sd - Savana Florestada

Sa - Savana Arborizada

Sp - Savana Parque

Sg - Savana Gramineo-Lenhosa

S - Savana Atividades Agrárias

SP - Contato Savana/Floresta Estacional

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Através dos resultados obtidos nesta pesquisa, pode-se concluir que foram alcançados os objetivos estabelecidos, mostrando-se adequada a metodologia de trabalho utilizada. No entanto, existe uma série de conclusões específicas, assim como algumas recomendações que servirão para o desenvolvimento de trabalhos futuros relativos à utilização da análise harmônica e séries temporais imagens *MODIS* para o estudo e monitoramento da paisagem, assim como a análise de lacunas de conservação para conhecer o estado de conservação das diferentes tipologias de vegetação.

6.1 Conclusões

Dentre as principais conclusões destacam-se:

- A análise harmônica de séries temporais de índices de vegetação de imagens *MODIS* permitiu a obtenção de informação sobre a dinâmica de uso e cobertura do solo de paisagens naturais e antrópicas, validando uma das hipóteses deste trabalho.
- A floresta primária é difícil de ser modelada através da análise harmônica devido à contribuição de todos os harmônicos.
- Em geral, o cerrado apresentou um estreito intervalo nos valores de amplitude que não permitiu caracterizar a resposta desta formação vegetal no primeiro harmônico. Ao analisar a resposta de uma amostra da área, verificou-se que a sazonalidade desta formação vegetal pode ser modelada com os três primeiros harmônicos.
- A caatinga apresentou uma boa diferenciação dos outros biomas, principalmente nas imagens amplitude e variância do primeiro harmônico.

- As áreas agrícolas foram bem modeladas através da análise harmônica, permitindo a diferenciação entre culturas, em função dos respectivos ciclos vegetativos.
- A soma dos seis primeiros harmônicos para amostras de floresta primária, cerrado e agricultura apresentaram um bom ajuste com respeito aos dados originais, enquanto os resultados das amostras de vegetação secundária não foram satisfatórios.
- A partir da segmentação e classificação das imagens amplitude e fase do primeiro harmônico e do termo aditivo foi gerado o mapa de uso e cobertura do solo, o qual foi considerado satisfatório. Neste mapa, a classe desflorestamento foi comparada com os resultados do Projeto PRODES/INPE, verificando-se a proximidade dos resultados, levando em consideração a diferença de resolução das imagens e o pós-processamento das imagens classificadas do PRODES.
- A análise harmônica reduz a dimensionalidade das séries temporais de maneira que, dependendo do tipo de cobertura, apenas os primeiros harmônicos são suficientes para representar toda a série.
- Uma vantagem da análise harmônica é que trabalha *pixel a pixel*, de maneira que a informação de um determinado *pixel* não tem influência dos *pixels* vizinhos.
- A utilização das imagens termo aditivo no cálculo dos harmônicos, faz com que as imagens resultantes não tenham a influência da cobertura de nuvens.
- As imagens *MODIS* correspondentes ao índice de vegetação *EVI* mostraram um melhor desempenho do que o *NDVI*, visto que este último satura em regiões com altos valores de biomassa e com a influência da atmosfera.
- A análise harmônica atua como um filtro para eliminar pequenas variações dos dados *MODIS*, produto do processo de formação das composições.

No que se refere à análise de lacunas de conservação, pode-se concluir:

- Das três tipologias com maior extensão dentro do Corredor Ecológico Sul da Amazônia, duas têm mais do que 10% da sua área em unidades de conservação de proteção integral; no Corredor Ecológico Jalapão - Mangabeiras apenas um tipo de vegetação não está presente em nenhuma das unidades de conservação e as tipologias restantes têm mais do que 10% da sua extensão protegida. Estes resultados não permitem validar a segunda hipótese do trabalho, que relata que os tipos de vegetação presentes dentro dos corredores estão bem representados e em condições adequadas nas unidades de conservação.
- A análise da representatividade dos tipos de vegetação na área em estudo demonstrou que em geral, a maioria das tipologias está presente em unidades de conservação; no entanto ao considerar somente aquelas unidades com pelo menos 10% protegido, verificou-se que há grandes vazios de conservação.
- A situação das ecorregiões estudadas difere bastante entre elas, no entanto a ecorregião interflúvio do Tapajós - Xingu é a que apresenta a maior proporção de área em unidades de conservação. Esta boa representatividade se deve à recente criação dos Parques Nacionais do Jamanxim, do Rio Novo, Serra do Pardo e a Estação Ecológica Terra do Meio.

6.2 Recomendações

- Aplicar a técnica de análise harmônica utilizando outros sensores ou inclusive, outros produtos *MODIS* com o intuito de conhecer o desempenho destas imagens e estabelecer uma comparação dos dados obtidos.
- Aplicar a técnica de análise harmônica em áreas menores, de maneira de poder explorar mais os resultados obtidos.
- Aplicar o algoritmo de análise harmônica em séries longas de dados, como por exemplo *NDVI/NOAA*, com o intuito de estudar as variações interanuais dos dados e a sua relação com os fenômenos de El Niño e La Niña.

- Avaliar o desempenho de outros algoritmos de segmentação e classificação das imagens resultantes da análise harmônica.
- Aplicar a técnica de análise harmônica para o estudo da vegetação dos enclaves abertos da Amazônia.
- Visto os bons resultados obtidos no mapeamento do desflorestamento tanto da Amazônia como do Cerrado, realizar uma avaliação do erro da estratificação e mapeamento de áreas desmatadas a partir das imagens termo aditivo, amplitude e fase.
- Utilizar a metodologia seguida neste trabalho para a geração um mapa de uso e ocupação do bioma cerrado.
- Devido à existência do Corredor Ecológico Ecótonos Sul-Amazônicos, abrangendo as mesmas ecorregiões do Corredor Sul da Amazônia, realizar análise de representatividade do primeiro corredor assim como estudos que permitam avaliar e justificar a existência de ambos os corredores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arenas Cabello, J. M. Situación actual y propuestas para la mejora de la funcionalidad del corredor fluvial del Guadiamar. In: García Mora, M. R. (Ed.). **Conectividad ambiental: las áreas protegidas en la cuenca Mediterránea**. Andalucía: Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, 2003. 139 - 155.

Arruda, M. B.; Nogueira de Sá, L. F. S. **Corredores ecológicos: uma abordagem integradora de ecossistemas no Brasil**. Brasília: IBAMA, 2004. 203 p.

Ayres, J. M.; Best, R. Estratégias para a conservação da fauna amazônica. **Acta Amazônica**, v. 9 (supl.), p. 81-102, 1979.

Ayres, J. M.; Fonseca, G. A. B.; Rylands, A. B.; Queiroz, H. L.; Pinto, L. P. S.; Masterson, D.; Cavalcanti, R. **Os corredores ecológicos das florestas tropicais do Brasil**. Belém, PA: Sociedade Civil Mamirauá, 2005. 256 p.

Azzali, S.; Menenti, M. Mapping vegetation-soil-climate complexes in southern África using temporal Fourier analysis of NOAA - AVHRR NDVI data. **International Journal of Remote sensing**, v. 21, n. 5, p. 973 - 996, 2000. Disponível em: <<http://www.tandf.co.uk/journals/tf/01431161.html>> Acesso em: 28 outubro 2004.

Bier, P.; Noss, R. Do habitat corridors provide connectivity? **Conservation Biology**, v. 12, n. 6, p. 1241 -1252, Dec. 1998.

Bins, L; Erthal, G. J.; Fonseca, L. M. G. Três abordagens para segmentação de imagens de sensoriamento remoto. In: Simpósio Latinoamericano de Percepção Remota, 6., Cartagena, 3-8 out 1993. **Anais...** Cartagena: SELPER, 1993.

Burley, F. W. Monitoramento da diversidade biológica no estabelecimento de prioridades em conservação. In: **Biodiversidade**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1988. Cap. 26, p. 287 - 291.

Bustamante, R. O.; Grez, A. A. Consecuencias ecológicas de la fragmentación de los bosques nativos. **Ambiente y Desarrollo**, v. 11, p. 58 - 63. 1995.

Chiarello, A. G. Density and population size of mammals in remnants of Brazilian Atlantic Forest. **Conservation Biology**, v. 14, p. 1649 - 1657. 2000.

Conservation International (CI). **Mexico's living endowment: an overview of biological diversity (A executive summary)**. Washington, D.C.: Conservation International, 1989. 51 p.

Cracco, M.; Guerrero, E. (Ed.) **Aplicación del enfoque ecosistémico a la gestión de corredores en América del Sur**. Quito, Ecuador: UICN, 2004. Disponível em: <<http://www.sur.iucn.org/corredores/pdfs/tallerregional.pdf>>. 17 mar. 2005.

Davis, J. C. **Statistics and data analysis in geology**. New York: J. Wiley and Sons, 1986. 646 p.

Dinerstein, E.; Olson, D. M.; Graham, D. J.; Webster, A. L.; Primm, S. A.; Bookbinder, M. P.; Ledec, G. **A conservation assessment of the terrestrial ecoregions of Latin America and the Caribbean**. The World Bank, Washington, DC, USA. (Basis for ecoregions of Latin America and the Caribbean). 1995.

Erthal, G. J.; Fonseca, L. M.; Bins, L. S.; Velasco, F. R. D.; Monteiro, A. M. V. Um Sistema de Segmentação e Classificação de Imagens de Satélite. In: Simpósio Brasileiro de Computação e Processamento de Imagens (SIBIGRAPI'91), 4., São Paulo, 1993. **Anais...** São Paulo: SIBIGRAPI, p. 237-240. 1993.

Fearnside, P. M.; Ferraz, J. A conservation gap analysis of Brazil's Amazonian vegetation. **Conservation Biology**, v. 9, n. 5, p. 1134 - 1147. 1995.

Felton, M. Natura 2000 - The ecological network of the European Union: using buffer areas and corridors to reinforce core areas designated by member states. In: Nowicki, P.; Bennett, G.; Middleton, D.; Rientjes, S.; Wolters, R. (Ed.). **Perspectives on ecological networks**. Tilburg: European Centre for Nature Conservation. p. 133-141. 1996.

Ferreira, L. G.; Huete, A. R. Assessing the seasonal dynamics of the Brazilian Cerrado vegetation through the use of spectral vegetation indices. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 10, p. 1837 - 1860. 2004.

Ferreira, L. G.; Yoshioka, H.; Huete, A. R.; Sano, E. E. On the use of the EOS - MODIS vegetation indices for monitoring the Cerrado region, Brazil: insights and Perspectives. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10, 2001, Foz de Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001. p. 1601 - 1607. 1 CD-ROM.

Ferreira, L. G.; Yoshioka, H.; Huete, A.; Sano, E. Optical characterization of the Brazilian savanna physiognomies for improved land cover monitoring of the cerrado biome: preliminary assessments from an airborne campaign over an LBA core site. **Journal of Arid Environment**, v. 56, n.3, p. 425 - 447. 2004.

Ferreira, L. V. **A distribuição das unidades de conservação no Brasil e a identificação de áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade nas ecorregiões do bioma Amazônico**. Manaus, Amazonas. 206 p. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas, área de concentração em Ecologia) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, 2001.

Ferreira, L. V.; Sá R. L.; Buschbacher, R.; Batmanian, G.; Silva, J. M. C.; Arruda, M. B.; Moretti, E.; Sá, L. F. S. N.; Falcomer, J.; Bampi, M. I. Identificação de áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade através da representatividade das unidades de conservação e tipos de vegetação nas ecorregiões da Amazônia Brasileira. In: Seminário de Consulta Macapá. Avaliação e identificação de ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade da

Amazônia Brasileira, 1999, Macapá. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <http://www.socioambiental.org/inst/sem/amazonia/macapa/index_html>. Acesso em: 28 out. 2004.

Frankel, O.; Soulé, H. **Conservation and evolution**. Cambridge: Cambridge University Press, 1981. 327 p.

Gao, X.; Huete, A. R.; Ni, W.; Miura, T. Optical-biophysical relationships of vegetation spectra without background contamination. **Remote Sensing of Environment**, v. 74, p. 609 - 620, 2000.

Gascon, C.; Fonseca, G. A. B.; Sechrest, W.; Billmark, K. A.; Sanderson, J. Biodiversity conservation in deforested and fragmented landscapes: an overview. In: Schroth, G.; Fonseca, G. A. B.; Harvey, C. A.; Gascon, C.; Vasconcelos, H. L.; Isac, A. M. N. (Ed.). **Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes**. Island Press, Washington, D.C. 2004. p. 15-32.

Hess, G. R.; Fischer, R. A. Communicating clearly about conservation corridors. **Landscape and Urban Planning**, v. 55, p. 195 – 208, 2001.

Holben, B. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 7, p. 1417 - 1434, 1986.

Huete, A.; Didan, K.; Miura, T.; Rodriguez, E. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. (Special Issue) **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 195 - 213, 2002.

Huete, A., Justice, C., Liu, H. Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS. **Remote Sensing of Environment**, v. 49, p. 224 - 234, 1994.

Huete, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, p. 295 - 309, 1988.

Huete, A. R. Soil influence in remote sensed vegetation-canopy spectra. In: **Introduction to the physics and techniques of remote sensing**. New York: Wiley-Interscience, 1987. p. 107 - 141.

Huete, A. R.; Didan, K.; Shimabukuro, Y. E.; Ferreira, L. G. Regional Amazon basin and global analysis of MODIS vegetation indices: early results and comparisons with AVHRR. In: IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2000, Honolulu, Hawaii. **Proceedings...** New York: IEEE, 2000. 1 CD-ROM.

Huete, A. R.; Liu, H. Q.; Batchily, K.; van Leeuwen, W. J. D. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, p. 440 - 451, 1997.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Mapa de vegetação de Brasil**, 2004. 1 Mapa de Vegetação. Brasília (DF). Escala 1:5.000.000.

Jakubauskas, M. E.; Legates, D. R.; Kastens, J. H. Crop identification using harmonic analysis of time-series AVHRR NDVI data. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 37, p. 127 - 139, 2002b.

Jakubauskas, M. E.; Legates, D. R.; Kastens, J. H. Harmonic analysis of time-series AVHRR NDVI data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 67, n. 4, p. 461 - 470, 2001.

Jakubauskas, M. E.; Peterson, D. L.; Kastens, J. H.; Legates, D. R. Time series remote sensing of landscape-vegetation interactions in the Southern Great Plains. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 68, n. 10, p. 1021 - 1030, 2002a.

Justice, D. H.; Salomonson, V.; Privette, J.; Riggs, G.; Strahler, A.; Lucht, R.; Myneni, R.; Knjazihhin, Y.; Running, S.; Nemani, R.; Vermote, E.; Townshend, J.; Defries, R.; Roy, D.; Wan, Z.; Huete, A.; van Leeuwen, R.; Wolfe, R.; Giglio, L.; Muller, J. P.; Lewis, P.; Barnsley, M. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 36, p. 1228 - 1249, 1998.

Kaufman, Y. J. Tanré, D. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 30, p. 261 - 270, 1992.

Karnieli, A.; Kaufman, Y. J.; Remer, L.; Wald, A. AFRI – aerosol free vegetation index. **Remote Sensing of Environment**, v. 77, p. 10 – 21, 2001.

Keals, N.; Majer, J. D. The conservation status of ant communities along the Wubin-Perenjori Corridor. In: Saunders, D. A.; Hobbs, R. J. (Ed.). **Nature conservation 2: the role of corridors**. New South Wales, Australia: Surrey Beatty & Sons, 1991. p. 387 - 393.

Klink, C. A.; Machado, R. B. A conservação do cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, jul. 2005.

Krug, T. O quadro de desflorestamento da Amazônia. In: Ministério do Meio Ambiente. **Causas e dinâmicas do desmatamento na Amazônia**. Brasília: MMA, 2001.

Labaree, J. M. **Com funcionen les vies verdes?** Un manual d'ecologia del paisatge. Barcelona: Fundació Territori i Paisatge, 2000.

Laurance, W. F.; Bierregaard Jr., R. O. (Ed.). **Tropical forest remnants: ecology, management and conservation of fragmented communities**. Chicago: The University of Chicago Press, 1997.

- Ledec, G.; Goodland, R. **Wildlands: their protection and management in economic development**. Washington, D.C.: The World Bank, 1988. 278 p.
- Lillesaeter, O. Spectral reflectance of partly transmitting leaves: laboratory measurements and mathematical modeling. **Remote Sensing of the Environment**, v. 12, p. 247 - 254, 1982.
- Machado, R. B.; Ramos Neto, M. B.; Pereira, P. G. P.; Caldas, E. F.; Gonçalves, D. A.; Santos, N. S.; Tabor, T.; Steininger, M. **Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro**. Brasília, DF: Conservação Internacional, 2004. Relatório técnico não publicado.
- Maldonado, T.; Dobbin, J. (Ed.). **Costa Rica: evaluación de la conservación de los recursos biológicos. (Una síntesis general)**. Washington, DC: Programa de Patrimonio Natural, Fundación Geotrópica - Conservation International. 13 p.
- Margules, C. R.; Usher, M. B. Criteria used in assessing wildlife conservation potential: a review. **Biological Conservation**, v. 21, p. 79 - 109, 1981.
- Mather, P. M. **Computer processing of remotely-sensed images: an introduction**. West Succex, John Wiley and Sons, 1999. 292p.
- Ministério do Meio Ambiente. **Projeto corredores ecológicos**. Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil – PPG7. Brasília, DF, p. 137, 2002.
- Ministério de Meio Ambiente (MMA)/Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA)/Centrais Eletricas do Norte do Brasil (ELETRONORTE)/Associação Brasileira para Conservação das Aves (PROAVES), **Plano de manejo fase I – Reserva Biológica do Gurupi**. Brasília, p. 253, 1999.
- Monmonier, M. Gap analysis, biodiversity and GIS. **Statistical computing & graphics**. v. 5, n. 2. 1994. Disponível em: <<http://lib.stat.cmu.edu/scgh/v52/v52.html>>. Acesso em: 28 de out. 2002.
- Moody, A.; Johnson, D. M. Land-surface phenologies from AVHRR using the discrete fourier transform. **Remote Sensing of Environment**, v. 75, n.3, p. 305 – 323, 2001.
- Myers, N. Threatened biotas: "hotspots" in Tropical forest. **The Environmentalist**, v. 8, n. 3, p. 1 - 20, 1988.
- Myers, N. The biodiversity challenge: expanded hotspots analysis. **The Environmentalist**, v. 10, p. 243 - 256, 1990.
- Natural Resource Conservation Service (NRCS). **Conservation Corridor Planning at the Landscape Level: Managing for Wildlife Habitat**. 1999. Disponível em: <<http://www.wcc.nrcs.usda.gov/watershed/products.html>>. Acesso em: 29 de set. 2004.

Nelson, B. W.; Oliveira, A. A. Avaliação e ações prioritárias para a conservação do bioma floresta Amazônia. Área Botânica. In: Seminário de Consulta Macapá. Avaliação e identificação de ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade da Amazônia Brasileira, 1999, Macapá.

Anais eletrônicos... Disponível em:

<http://www.socioambiental.org/inst/sem/amazonia/macapa/index_html>. Acesso em: 28 out. 2004.

Oliveira, A. A.; Ferreira, L. V.; Lleras Perez, E.; Nelson, B. W.; Almeida, S. S. A flora fanerogâmica amazônica: composição, diversidade, endemismo e conservação. In: Araújo, E. L.; Moura, A. N.; Sampaio, E. V. B.; Gestinari, L. M. S.; Carneiro, J. M. T. (Org.). **Biodiversidade, conservação e uso sustentável da flora do Brasil**. Recife: Imprensa Universitária /UFRPE, 2002, p. 15 - 18.

Panofsky, H. A.; Brier, G. W. **Some applications of statistics to meteorology**. Pennsylvania: University Park, 1968. 224 p.

Paolillo O., A. Pardi Lacruz, M. S.; Wright, B.; Backus, E. **Evaluación de los parques nacionales y los refugios de fauna silvestre de Venezuela como áreas de protección de las unidades de vegetación**. Caracas: Fundación BIOMA, 1993. 83 p.

Primack, R.; Ros, J. **Introducción a la biología de la conservación**. Barcelona, Espanha: Ariel Ciencias. 2002. 375 p.

Roerink, G. J.; Menenti, M.; Verhoef, W. Reconstructing cloudfree NDVI composites using Fourier analysis of time series. **International Journal of Remote Sensing**, v. 21, n. 9, p. 1911–1917. 2000.

Rosenberg, D. K.; Noon, B. R.; Meslow, E. C. Biological corridors: form, function, and efficacy. **BioScience**, v. 47, 677 - 687. 1997.

Scott, J. M.; Csuti, B.; Jacobi, J. D.; Estes, J. E. Species richness. **BioScience**, v. 37, n. 11, p. 782 - 787, 1987.

Scott, J. M.; Davis, F.; Csuti, B.; Noss, R.; Butterfield, B.; Groves, C.; Anderson, H.; Caicco, S.; D'Erchia, F.; Edwards, T. C.; Ulliman, J.; Wright, R. G. **GAP Analysis: protecting biodiversity using geographic information systems**. 1993. Disponível em: <<http://149.170.199/new-gis/GapAnal/wm.htm>>. Acesso em: 24 de maio 2004.

Shafer, C. L. **Nature Reserves: island theory and conservation practice**. Washington, D.C.: Smithsonian Institution Press, 1990.

Shelhas, J.; Greenberg, R. (Ed.). **Forest patches in tropical landscapes**. Washington, D. C.: Island Press, 1996.

Silva, J. F.; Fariñas, M. R.; Felfili, J. M.; Klink, C. A. Spatial heterogeneity, land use and conservation in the Cerrado region of Brazil. **Journal of Biogeography** v. 33, n. 3, 536-548, Mar. 2006.

Silva, J. M. C. **Um método para o estabelecimento de áreas prioritárias para a conservação na Amazônia legal**. [S.l]: WWF, 1998. 18 p.

Silva, M. O programa brasileiro de unidades de conservação. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, 22 – 26, jul. 2005.

Simberloff, D.; Farr, J. A.; Cox, J.; Mehlman, D. W. Movement corridors: conservation bargains or poor investments?. **Conservation Biology**, v. 6, n. 4, 493 - 504, Dec. 1992.

Skole, D.; Tucker, C. Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon - Satellite data from 1978 to 1988. **Science**, v. 260, n. 5116, p. 1905 - 1910, 1993.

Teillet, P. M.; Staenz, K.; Willams, D. J. Effects of spectral, spatial, and radiometric characteristics on remote sensing vegetation indices of forested regions. **Remote Sensing of Environment**, v. 61, p. 139 - 149, 1997.

Uhl, C.; Barreto, P.; Veríssimo, A.; Barros, A. C.; Amaral, P.; Gerwing, J.; Johns, J.; Vidal, E. An integrated research approach to address natural resource problems in the Brazilian Amazon. **Bioscience**, v. 47, n. 3, p. 160 - 168, 1997.

van Leeuwen, W. J. D.; Huete, A. R.; Laing, T. W. MODIS vegetation index compositing approach: a prototype with AVHRR data. **Remote Sensing of Environment**, v. 69, p. 264 - 280, 1999.

Wada, Y.; Ohira, W. Reconstructing Cloud-Free SPOT/Vegetation Using Harmonic Analysis with Local Maximum Fitting. Asian Conference, 25/Asian Space Conference on Remote Sensing, 1. **Proceedings...** Chiang Mai, Thailand: 2004. Disponível em: <<http://www.microimages.com/papers/ACRS25.pdf>>. Acesso em: 3 ago. 2005.

Wilcox, B. A. Insular ecology and conservation. In: Soulé M. E.; Wilcox B. A. (Ed.). **Conservation biology: an evolutionary-ecological perspective**. Massachusetts: Sinauer Associates, 1980. p. 95 - 117.

Wilks, D. S. **Statistical methods in the atmospheric sciences: an introduction**. San Diego, California: Academic Press, 1995. 467 p.

Zhang, X.; Friedl, M. A.; Schaaf, C. B.; Strahler, A. H.; Hodges, J. C. F.; Gao, F.; Reed, B. C.; Huete, A. Monitoring vegetation phenology using MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 84, p. 471 - 475, 2003.

APÊNDICE A

TABELA A.1 - Tipos de Vegetação Presentes na Área em Estudo e Extensão em Unidades de Conservação de Proteção Integral, em Terras Indígenas e em Ambas.

| Tipo | Extensão total | U. C. | | T. I. | | T. I. + U. C. | |
|------|----------------|--------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|
| | Hectares | Hectares | (%) | Hectares | (%) | Hectares | (%) |
| Da | 609.923,25 | 0,00 | 0,00 | 1.773,00 | 0,29 | 1.773,00 | 0,29 |
| Db | 22.105.910,25 | 578.922,75 | 2,62 | 3.060.328,50 | 13,84 | 3.548.846,25 | 16,05 |
| Ds | 35.331.180,75 | 2.296.757,25 | 6,50 | 6.661.811,25 | 18,86 | 8.957.529,00 | 25,35 |
| D* | 28.607.204,25 | 28.179,00 | 0,10 | 539.862,75 | 1,89 | 568.041,75 | 1,99 |
| Aa | 144.553,50 | 19.167,75 | 13,26 | 20.171,25 | 13,95 | 39.339,00 | 27,21 |
| Ab | 2.916.238,50 | 501.473,25 | 17,20 | 720.319,50 | 24,70 | 981.310,50 | 33,65 |
| As | 36.340.314,75 | 4.179.746,25 | 11,50 | 13.467.258,00 | 37,06 | 17.321.505,75 | 47,66 |
| A* | 14.186.385,00 | 4.835,25 | 0,03 | 139.817,25 | 0,99 | 141.090,75 | 0,99 |
| Fa | 8.833,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fb | 920,25 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fs | 205.947,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fm | 385.357,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| F* | 1.113.140,25 | 10.674,00 | 0,96 | 2.322,00 | 0,21 | 12.996,00 | 1,17 |
| Cs | 1.584.022,50 | 20.286,00 | 1,28 | 41.559,75 | 2,62 | 61.845,75 | 3,90 |
| Cm | 1.077.660,00 | 340.024,50 | 31,55 | 28.856,25 | 2,68 | 368.865,00 | 34,23 |
| C* | 5.129.930,25 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| La | 370.248,75 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Lg | 94.790,25 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Sd | 1.622.148,75 | 6.113,25 | 0,38 | 485.219,25 | 29,91 | 487.851,75 | 30,07 |
| Sa | 17.462.724,75 | 1.352.045,25 | 7,74 | 977.856,75 | 5,60 | 2.053.017,00 | 11,76 |
| Sg | 2.028.685,50 | 282.386,25 | 13,92 | 172.694,25 | 8,51 | 455.080,50 | 22,43 |
| S* | 6.963.844,50 | 21.424,50 | 0,31 | 72.582,75 | 1,04 | 94.007,25 | 1,35 |
| Td | 1.361.371,50 | 55.395,00 | 4,07 | 0,00 | 0,00 | 55.395,00 | 4,07 |
| Ta | 1.180.703,25 | 156.890,25 | 13,29 | 0,00 | 0,00 | 156.890,25 | 13,29 |
| T* | 1.178.421,75 | 11.832,75 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 11.832,75 | 1,00 |
| Pm | 313.197,75 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Pf | 425.297,25 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Pa | 2.260.595,25 | 165.309,75 | 7,31 | 765.758,25 | 33,87 | 887.832,00 | 39,27 |
| SO | 7.125.849,00 | 247.785,75 | 3,48 | 2.395.930,50 | 33,62 | 2.510.300,25 | 35,23 |
| SO | 1.351.410,75 | 0,00 | 0,00 | 24.882,75 | 1,84 | 24.882,75 | 1,84 |
| ON | 11.485.809,00 | 16.314,75 | 0,14 | 3.349.188,00 | 29,16 | 3.365.502,75 | 29,30 |
| ON* | 8.028.229,50 | 0,00 | 0,00 | 64.038,50 | 0,80 | 164.038,50 | 2,04 |
| LO | 360.126,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SN | 9.720.621,00 | 244.669,50 | 2,52 | 336.435,75 | 3,46 | 581.105,25 | 5,98 |
| SN* | 1.172.988,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SP | 3.927.093,75 | 504.951,75 | 12,86 | 821.108,25 | 20,91 | 1.209.300,75 | 30,79 |
| TN | 1.342.318,50 | 70.938,00 | 5,28 | 0,00 | 0,00 | 70.938,00 | 5,28 |
| STN | 554.793,75 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

| Tipo | Extensão total | U. C. | | T. I. | | T. I. + U. C. | |
|------|----------------|----------|------|-----------|-------|---------------|-------|
| | Hectares | Hectares | (%) | Hectares | (%) | Hectares | (%) |
| STN* | 90.033,75 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| rm | 219.098,25 | 0,00 | 0,00 | 30.730,50 | 14,03 | 30.730,50 | 14,03 |
| ST | 2.191.394,25 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Observação:

U. C. - Unidades de Conservação de Proteção Integral

T. I. - Terras Indígenas

(*) – vegetação antropizada

Legenda:

Floresta Ombrófila Densa

Da - Floresta Ombrófila Densa Aluvial
 Db - Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas
 Ds - Floresta Ombrófila Densa Submontana
 D - Floresta Ombrófila Densa Vegetação Secundária e Atividades Agrárias

Floresta Ombrófila Aberta

Aa - Floresta Ombrófila Aberta Aluvial
 Ab - Floresta Ombrófila Aberta Terras Baixas
 As - Floresta Ombrófila Aberta Submontana
 A - Floresta Ombrófila Aberta Vegetação Secundária e Atividades Agrárias

Floresta Estacional Semidecidual

Fa - Floresta Estacional Semidecidual Aluvial
 Fb - Floresta Estacional Semidecidual Terras Baixas
 Fs - Floresta Estacional Semidecidual Submontana
 Fm - Floresta Estacional Semidecidual Montana
 F - Floresta Estacional Semidecidual Vegetação Secundária e Atividades Agrárias

Floresta Estacional Decidual

Cs - Floresta Estacional Decidual Submontana
 Cm - Floresta Estacional Decidual Montana
 C - Floresta Estacional Decidual Vegetação Secundária e Atividades Agrárias

Campinarana

La - Campinarana Arborizada
 Lg - Campinarana Gramíneo-Lenhosa

Savana (Cerrado)

Sd - Savana Florestada
 Sa - Savana Arborizada
 Sp - Savana Parque
 Sg - Savana Gramíneo-Lenhosa
 S - Savana Atividades Agrárias

Savana Estépica

Td - Savana-Estépica Florestada
 Ta - Savana-Estépica Arborizada
 T - Savana-Estépica Atividades Agrárias

Áreas das Formações Pioneiras

Pm - Áreas das Formações Pioneiras Vegetação com Influência Marinha
 Pf - Áreas das Formações Pioneiras Vegetação com Influência Fluvio-marinha
 Pa - Áreas das Formações Pioneiras Vegetação com Influência Fluvial e/ou Lacustre

Áreas de Tensão Ecológica

SO - Savana/Floresta Ombrófila
 ON - Floresta Ombrófila/Floresta Estacional
 LO - Campinarana/Floresta Ombrófila
 SN - Savana/Floresta Estacional
 SP – Savana/Formações Pioneiras (Restinga)
 STN – Savana/Savana Estépica/Floresta Estacional
 TN - Savana Estépica/Floresta Estacional

Refúgios Vegetacionais

rm - Refúgios Vegetacionais Montano

TABELA A.2 - Tipos de Vegetação Presentes na Ecorregião Interflúvio do Madeira - Tapajós e Extensão em Unidades de Conservação de Proteção Integral, em Terras Indígenas e em Ambas.

| Tipo | Madeira - Tapajós | | U. C. | | T. I. | | T.I. + U. C. | |
|------|-------------------|-------|-----------|-------|-----------|-------|--------------|-------|
| | Hectare | (%) | Hectare | (%) | Hectare | (%) | Hectare | (%) |
| Da | 426555,00 | 0,66 | 0,00 | 0,00 | 1748,25 | 0,41 | 1773,00 | 0,42 |
| Db | 14355479,25 | 22,17 | 520078,50 | 3,62 | 2352132 | 16,38 | 2782647,00 | 19,38 |
| Ds | 12929339,25 | 19,97 | 511166,25 | 3,95 | 703143 | 5,44 | 1212806,25 | 9,38 |
| D* | 1840137,75 | 2,84 | 324,00 | 0,02 | 6144,75 | 0,33 | 6468,75 | 0,35 |
| Aa | 143745,75 | 0,22 | 19167,75 | 13,33 | 20047,5 | 13,95 | 39339,00 | 27,37 |
| Ab | 2907315,00 | 4,49 | 501473,25 | 17,25 | 719628,75 | 24,75 | 981310,50 | 33,75 |
| As | 14629529,25 | 22,60 | 636246,00 | 4,35 | 4335367,5 | 29,63 | 4647170,25 | 31,77 |
| A* | 9687237,75 | 14,96 | 4257,00 | 0,04 | 102919,5 | 1,06 | 103675,5 | 1,07 |
| Fa | 8712,00 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fb | 918,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fs | 13194,00 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| F* | 271257,75 | 0,42 | 0,00 | 0,00 | 2322 | 0,86 | 2322,00 | 0,86 |
| Sd | 209351,25 | 0,32 | 6113,25 | 2,92 | 193844,25 | 92,59 | 196476,75 | 93,85 |
| Sa | 744291,00 | 1,15 | 337596,75 | 45,36 | 406491,75 | 54,61 | 467203,50 | 62,77 |
| S* | 284787,00 | 0,44 | 0,00 | 0,00 | 37280,25 | 13,09 | 37280,25 | 13,09 |
| Pa | 730989,00 | 1,13 | 165309,75 | 22,61 | 43380 | 5,93 | 165453,75 | 22,63 |
| SO | 2583866,25 | 3,99 | 133627,50 | 5,17 | 452837,25 | 17,53 | 453552,75 | 17,55 |
| SO* | 229691,25 | 0,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| ON | 689886,00 | 1,07 | 0,00 | 0,00 | 418322,25 | 60,64 | 418637,25 | 60,68 |
| ON* | 828342,00 | 1,28 | 0,00 | 0,00 | 6774,75 | 0,82 | 6774,75 | 0,82 |
| SN | 355756,50 | 0,55 | 0,00 | 0,00 | 34791,75 | 9,78 | 35001,00 | 9,84 |
| SN* | 36517,50 | 0,06 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SP | 831822,75 | 1,28 | 116759,25 | 14,04 | 401537,25 | 48,27 | 401537,25 | 48,27 |

Observação:

U. C. - Unidades de Conservação de Proteção Integral

T. I. - Terras Indígenas

(*) – vegetação antropizada

Legenda:

Floresta Ombrófila Densa

Da - Floresta Ombrófila Densa Aluvial
 Db - Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas
 Ds - Floresta Ombrófila Densa Submontana
 D - Floresta Ombrófila Densa Vegetação Secundária e Atividades Agrárias

Floresta Ombrófila Aberta

Aa - Floresta Ombrófila Aberta Aluvial
 Ab - Floresta Ombrófila Aberta Terras Baixas
 As - Floresta Ombrófila Aberta Submontana

A - Floresta Ombrófila Aberta Vegetação Secundária e Atividades Agrárias

Floresta Estacional Semidecidual

Fa - Floresta Estacional Semidecidual Aluvial
 Fb - Floresta Estacional Semidecidual Terras Baixas
 Fs - Floresta Estacional Semidecidual Submontana
 F - Floresta Estacional Semidecidual Vegetação Secundária e Atividades Agrárias

Savana (Cerrado)

Sd - Savana Florestada

Sa - Savana Arborizada

S - Savana Atividades Agrárias

Áreas das Formações Pioneiras

Pa - Áreas das Formações Pioneiras

Vegetação com Influência Fluvial e/ou

Lacustre

Áreas de Tensão Ecológica

SO - Savana/Floresta Ombrófila

ON - Floresta Ombrófila/Floresta Estacional

SN - Savana/Floresta Estacional

SP – Savana/Formações Pioneiras (Restinga)

TABELA A.3 - Tipos de Vegetação Presentes na Ecorregião Interflúvio do Tapajós - Xingu e Extensão em Unidades de Conservação de Proteção Integral, em Terras Indígenas e em Ambas.

| Tipo | Tapajós-Xingu | | U. C. | | T. I. | | T.I. + U. C. | |
|------|---------------|-------|------------|-------|------------|--------|--------------|--------|
| | Hectare | (%) | Hectare | (%) | Hectare | (%) | Hectare | (%) |
| Da | 3836,25 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Db | 870547,50 | 2,65 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ds | 12953268,00 | 39,45 | 1494459,00 | 11,54 | 2661592,50 | 20,55 | 4156051,50 | 32,08 |
| D* | 2762219,25 | 8,41 | 0,00 | 0,00 | 43893,00 | 1,59 | 43893,00 | 1,59 |
| As | 15234783,75 | 46,40 | 3536091,00 | 23,21 | 5188401,00 | 34,06 | 8724492,00 | 57,27 |
| A* | 408741,75 | 1,24 | 0,00 | 0,00 | 17043,75 | 4,17 | 17043,75 | 4,17 |
| Sd | 36324,00 | 0,11 | 0,00 | 0,00 | 36283,50 | 99,89 | 36283,50 | 99,89 |
| SO | 342803,25 | 1,04 | 110837,25 | 32,33 | 28143,00 | 8,21 | 138980,25 | 40,54 |
| ON | 195547,50 | 0,60 | 16314,75 | 8,34 | 92477,25 | 47,29 | 108792,00 | 55,63 |
| SN | 27452,25 | 0,08 | 9990,00 | 36,39 | 0,00 | 0,00 | 9990,00 | 36,39 |
| SP | 6,75 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 6,75 | 100,00 | 6,75 | 100,00 |
| rm | 1309,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1181,25 | 90,21 | 1181,25 | 90,21 |

Observação:

U. C. - Unidades de Conservação de Proteção Integral

T. I. - Terras Indígenas

(*) – vegetação antropizada

Legenda:

Floresta Ombrófila Densa

Da - Floresta Ombrófila Densa Aluvial

Db - Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas

Ds - Floresta Ombrófila Densa Submontana

D - Floresta Ombrófila Densa Vegetação Secundária e Atividades Agrárias

Floresta Ombrófila Aberta

As - Floresta Ombrófila Aberta Submontana

A - Floresta Ombrófila Aberta Vegetação Secundária e Atividades Agrárias

Savana (Cerrado)

Sd - Savana Florestada

Áreas de Tensão Ecológica

SO - Savana/Floresta Ombrófila

ON - Floresta Ombrófila/Floresta Estacional

SN - Savana/Floresta Estacional

SP – Savana/Formações Pioneiras (Restinga)

Refúgios Vegetacionais

rm - Refúgios Vegetacionais Montano

TABELA A.4 - Tipos de Vegetação Presentes na Ecorregião Interflúvio do Xingu - Tocantins - Araguaia e Extensão em Unidades de Conservação de Proteção Integral, em Terras Indígenas e em Ambas.

| Tipo | Xingu-Tocan.-Arag. | | U. C. | | T. I. | | T.I. + U. C. | |
|------|--------------------|-------|----------|------|------------|-------|--------------|-------|
| | Hectare | (%) | Hectare | (%) | Hectare | (%) | Hectare | (%) |
| Tipo | Hectare | (%) | Hectare | (%) | Hectare | (%) | Hectare | (%) |
| Da | 74481,75 | 0,29 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Db | 3509205,75 | 13,84 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ds | 6151083,75 | 24,25 | 99542,25 | 1,62 | 2581866,00 | 41,97 | 2681408,25 | 43,59 |
| D* | 8452820,25 | 33,33 | 0,00 | 0,00 | 147654,00 | 1,75 | 147654,00 | 1,75 |
| As | 4680146,25 | 18,45 | 0,00 | 0,00 | 3094715,25 | 66,12 | 3094715,25 | 66,12 |
| La | 127777,50 | 0,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Sd | 233772,75 | 0,92 | 0,00 | 0,00 | 107631,00 | 46,04 | 107631,00 | 46,04 |
| Sa | 44489,25 | 0,18 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Sg | 272238,75 | 1,07 | 0,00 | 0,00 | 156271,50 | 57,40 | 156271,50 | 57,40 |
| S* | 25321,50 | 0,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Pa | 13569,75 | 0,05 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SO | 1185680,25 | 4,67 | 0,00 | 0,00 | 971379,00 | 81,93 | 971379,00 | 81,93 |
| SO* | 185136,75 | 0,73 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| ON | 216580,50 | 0,85 | 0,00 | 0,00 | 40621,50 | 18,76 | 40621,50 | 18,76 |
| ON* | 8579,25 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| LO | 115357,50 | 0,45 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SN | 44887,50 | 0,18 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SP | 23069,25 | 0,09 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Observação:

U. C. - Unidades de Conservação de Proteção Integral

T. I. - Terras Indígenas

(*) – vegetação antropizada

Legenda:

Floresta Ombrófila Densa

Da - Floresta Ombrófila Densa Aluvial

Db - Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas

Ds - Floresta Ombrófila Densa Submontana

D - Floresta Ombrófila Densa Vegetação

Secundária e Atividades Agrárias

Floresta Ombrófila Aberta

As - Floresta Ombrófila Aberta Submontana

Campinarana

La - Campinarana Arborizada

Savana (Cerrado)

Sd - Savana Florestada

Sa - Savana Arborizada

Sg - Savana Gramíneo-Lenhosa

S - Savana Atividades Agrárias

Áreas das Formações Pioneiras

Pa - Áreas das Formações Pioneiras

Vegetação com Influência Fluvial e/ou

Lacustre

Áreas de Tensão Ecológica

SO - Savana/Floresta Ombrófila

ON - Floresta Ombrófila/Floresta Estacional

LO - Campinarana/Floresta Ombrófila

SN - Savana/Floresta Estacional

SP – Savana/Formações Pioneiras (Restinga)

Refúgios Vegetacionais

rm - Refúgios Vegetacionais Montano

TABELA A.5 - Tipos de Vegetação Presentes na Ecorregião Interflúvio do Tocantins - Araguaia - Maranhão e Extensão em Unidades de Conservação de Proteção Integral, em Terras Indígenas e em Ambas.

| Tipo | Tocan.-Arag.-Mara. | | U. C. | | T. I. | | T.I. + U. C. | |
|------|--------------------|-------|-----------|------|-----------|-------|--------------|-------|
| | Hectare | (%) | Hectare | (%) | Hectare | (%) | Hectare | (%) |
| Da | 79697,25 | 0,42 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Db | 3229758,00 | 16,97 | 58844,25 | 1,82 | 707784,75 | 21,91 | 766629,00 | 23,74 |
| Ds | 2286085,50 | 12,01 | 186664,50 | 8,17 | 240808,50 | 10,53 | 427473,00 | 18,70 |
| D* | 10948250,25 | 57,52 | 27855,00 | 0,25 | 308369,25 | 2,82 | 336224,25 | 3,07 |
| A* | 1746119,25 | 9,17 | 0,00 | 0,00 | 16344,00 | 0,94 | 16344,00 | 0,94 |
| La | 122566,50 | 0,64 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| S* | 546,75 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Pm | 91059,75 | 0,48 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Pf | 331035,75 | 1,74 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Pa | 151787,25 | 0,80 | 0,00 | 0,00 | 2117,25 | 1,39 | 2117,25 | 1,39 |
| SP | 46350,00 | 0,24 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Observação:

U. C. - Unidades de Conservação de Proteção Integral

T. I. - Terras Indígenas

(*) – vegetação antropizada

Legenda:

Floresta Ombrófila Densa

Da - Floresta Ombrófila Densa Aluvial

Db - Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas

Ds - Floresta Ombrófila Densa Submontana

D - Floresta Ombrófila Densa Vegetação Secundária e Atividades Agrárias

Floresta Ombrófila Aberta

A - Floresta Ombrófila Aberta Vegetação Secundária e Atividades Agrárias

Campinarana

La - Campinarana Arborizada

Savana (Cerrado)

S - Savana Atividades Agrárias

Áreas das Formações Pioneiras

Pm - Áreas das Formações Pioneiras Vegetação com Influência Marinha

Pf - Áreas das Formações Pioneiras Vegetação com Influência Fluvio-marinha

Pa - Áreas das Formações Pioneiras Vegetação com Influência Fluvial e/ou Lacustre

Áreas de Tensão Ecológica

SP – Savana/Formações Pioneiras (Restinga)

TABELA A.6 - Tipos de Vegetação Presentes na Ecorregião Florestas Secas do Mato Grosso e Extensão em Unidades de Conservação de Proteção Integral, em Terras Indígenas e em Ambas.

| Tipo | Florestas Secas | | U. C. | | T. I. | | T.I. + U. C. | |
|------|-----------------|-------|----------|------|------------|-------|--------------|-------|
| | Hectare | (%) | Hectare | (%) | Hectare | (%) | Hectare | (%) |
| Ds | 354188,25 | 0,90 | 4925,25 | 1,39 | 83209,50 | 23,49 | 88134,75 | 24,88 |
| D* | 2618653,50 | 6,64 | 0,00 | 0,00 | 16553,25 | 0,63 | 16553,25 | 0,63 |
| As | 1451621,25 | 3,68 | 7395,75 | 0,51 | 700119,00 | 48,23 | 707514,75 | 48,74 |
| A* | 645279,75 | 1,64 | 0,00 | 0,00 | 3496,50 | 0,54 | 3496,50 | 0,54 |
| Fs | 173445,75 | 0,44 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Cs | 472421,25 | 1,20 | 0,00 | 0,00 | 41559,75 | 8,80 | 41559,75 | 8,80 |
| C* | 167647,50 | 0,43 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| La | 119904,75 | 0,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Lg | 94790,25 | 0,24 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Sd | 566460,00 | 1,44 | 0,00 | 0,00 | 123306,75 | 21,77 | 123306,75 | 21,77 |
| Sa | 1421487,00 | 3,61 | 0,00 | 0,00 | 263268,00 | 18,52 | 263268,00 | 18,52 |
| Sg | 341959,50 | 0,87 | 0,00 | 0,00 | 12402,00 | 3,63 | 12402,00 | 3,63 |
| S* | 2595262,50 | 6,58 | 0,00 | 0,00 | 23721,75 | 0,91 | 23721,75 | 0,91 |
| Td | 605929,50 | 1,54 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Pa | 996682,50 | 2,53 | 0,00 | 0,00 | 719694,00 | 72,21 | 719694,00 | 72,21 |
| SO | 2511567,00 | 6,37 | 3321,00 | 0,13 | 943049,25 | 37,55 | 946370,25 | 37,68 |
| SO* | 928638,00 | 2,36 | 0,00 | 0,00 | 24761,25 | 2,67 | 24761,25 | 2,67 |
| ON | 10323454,50 | 26,19 | 0,00 | 0,00 | 2797670,25 | 27,10 | 2797670,25 | 27,10 |
| ON* | 7119648,00 | 18,06 | 0,00 | 0,00 | 157263,75 | 2,21 | 157263,75 | 2,21 |
| LO | 244606,50 | 0,62 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SN | 3840900,75 | 9,74 | 48892,50 | 1,27 | 0,00 | 0,00 | 48892,50 | 1,27 |
| SN* | 845257,50 | 2,14 | 0,00 | 0,00 | 288499,50 | 34,13 | 288499,50 | 34,13 |
| SP | 764982,00 | 1,94 | 0,00 | 0,00 | 285957,00 | 37,38 | 285957,00 | 37,38 |
| TN | 234,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| rm | 217788,75 | 0,55 | 0,00 | 0,00 | 29549,25 | 13,57 | 29549,25 | 13,57 |

Observação:

U. C. - Unidades de Conservação de Proteção Integral

T. I. - Terras Indígenas

(*) – vegetação antropizada

Legenda:

Floresta Ombrófila Densa

Ds - Floresta Ombrófila Densa Submontana

D - Floresta Ombrófila Densa Vegetação Secundária e Atividades Agrárias

Floresta Ombrófila Aberta

As - Floresta Ombrófila Aberta Submontana

A - Floresta Ombrófila Aberta Vegetação Secundária e Atividades Agrárias

Floresta Estacional Semidecidual

Fs - Floresta Estacional Semidecidual Submontana

Floresta Estacional Decidual

Cs - Floresta Estacional Decidual Submontana

C - Floresta Estacional Decidual Vegetação Secundária e Atividades Agrárias

Campinarana

La - Campinarana Arborizada

Lg - Campinarana Gramíneo-Lenhosa

Savana (Cerrado)

Sd - Savana Florestada

Sa - Savana Arborizada

Sg - Savana Gramíneo-Lenhosa

S - Savana Atividades Agrárias

Savana Estépica

Td - Savana-Estépica Florestada

Áreas das Formações Pioneiras

Pa - Áreas das Formações Pioneiras

Vegetação com Influência Fluvial e/ou
Lacustre

Áreas de Tensão Ecológica

SO - Savana/Floresta Ombrófila

ON - Floresta Ombrófila/Floresta Estacional

LO - Campinarana/Floresta Ombrófila

SN - Savana/Floresta Estacional

SP - Savana/Formações Pioneiras (Restinga)

TN - Savana Estépica/Floresta Estacional

Refúgios Vegetacionais

rm - Refúgios Vegetacionais Montano

TABELA A.7 - Tipos de Vegetação Presentes na Ecorregião Florestas de Babaçu do Maranhão e Extensão em Unidades de Conservação de Proteção Integral, em Terras Indígenas e em Ambas.

| Tipo | Florestas de Babaçu | | U. C. | | T. I. | | T.I. + U. C. | |
|------|---------------------|-------|---------|------|-----------|-------|--------------|-------|
| | Hectare | (%) | Hectare | (%) | Hectare | (%) | Hectare | (%) |
| Ds | 568471,50 | 3,90 | 0,00 | 0,00 | 275028,75 | 48,38 | 275028,75 | 48,38 |
| D* | 1155451,50 | 7,92 | 0,00 | 0,00 | 17248,50 | 1,49 | 17248,50 | 1,49 |
| A* | 1432818,00 | 9,82 | 535,50 | 0,04 | 13,50 | 0,00 | 549,00 | 0,04 |
| F* | 727614,00 | 4,99 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| C* | 4122666,00 | 28,25 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Sd | 216452,25 | 1,48 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Sa | 567366,75 | 3,89 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| S* | 51608,25 | 0,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Td | 44190,00 | 0,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ta | 29508,75 | 0,20 | 841,50 | 2,85 | 0,00 | 0,00 | 841,50 | 2,85 |
| T* | 3019,50 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Pm | 220844,25 | 1,51 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Pf | 91559,25 | 0,63 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Pa | 366151,50 | 2,51 | 0,00 | 0,00 | 562,50 | 0,15 | 562,50 | 0,15 |
| SN | 1808158,50 | 12,39 | 1336,50 | 0,07 | 5013,00 | 0,28 | 6349,50 | 0,35 |
| SN* | 290117,25 | 1,99 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| SP | 123572,25 | 0,85 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TN | 666000,00 | 4,56 | 5127,75 | 0,77 | 0,00 | 0,00 | 5127,75 | 0,77 |
| STN | 554352,75 | 3,80 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| STN* | 90033,75 | 0,62 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| ST | 1463865,75 | 10,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Observação:

U. C. - Unidades de Conservação de Proteção Integral

T. I. - Terras Indígenas

(*) – vegetação antropizada

Legenda:

Floresta Ombrófila Densa

Ds - Floresta Ombrófila Densa Submontana

D - Floresta Ombrófila Densa Vegetação

Secundária e Atividades Agrárias

Floresta Ombrófila Aberta

A - Floresta Ombrófila Aberta Vegetação

Secundária e Atividades Agrárias

Floresta Estacional Semidecidual

F - Floresta Estacional Semidecidual

Vegetação Secundária e Atividades Agrárias

Floresta Estacional Decidual

C - Floresta Estacional Decidual Vegetação

Secundária e Atividades Agrárias

Savana (Cerrado)

Sd - Savana Florestada

Sa - Savana Arborizada

S - Savana Atividades Agrárias

Savana Estépica

Td - Savana-Estépica Florestada

Ta - Savana-Estépica Arborizada

T - Savana-Estépica Atividades Agrárias

Áreas das Formações Pioneiras

Pm - Áreas das Formações Pioneiras
Vegetação com Influência Marinha
Pf - Áreas das Formações Pioneiras
Vegetação com Influência Fluvio-marinha
Pa - Áreas das Formações Pioneiras
Vegetação com Influência Fluvial e/ou
Lacustre

Áreas de Tensão Ecológica

SN - Savana/Floresta Estacional
ST – Savana/Savana Estépica
STN – Savana/Savana Estépica/Floresta
Estacional
TN - Savana Estépica/Floresta Estacional

TABELA A.8 - Tipos de Vegetação Presentes Na Unidade Ecológica Planícies de Tocantins - Piauí - Bahia e Extensão em Unidades de Conservação de Proteção Integral, Terras Indígenas e em Ambas.

| Tipo | Unidade Ecológica | | U. C. | | T. I. | | T. I. + U. C. | |
|------|-------------------|-------|------------|-------|----------|------|---------------|-------|
| | Hectares | (%) | Hectares | (%) | Hectares | (%) | Hectares | (%) |
| Fs | 19057,50 | 0,06 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Fm | 385197,75 | 1,17 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| F* | 110513,25 | 0,34 | 10674,00 | 9,66 | 0,00 | 0,00 | 10674,00 | 9,66 |
| Cs | 1110665,25 | 3,38 | 20286,00 | 1,83 | 0,00 | 0,00 | 20286,00 | 1,83 |
| Cm | 1076784,75 | 3,28 | 340024,50 | 31,58 | 28856,25 | 2,68 | 368880,75 | 34,26 |
| C* | 832619,25 | 2,54 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Sd | 351353,25 | 1,07 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Sa | 14352480,00 | 43,73 | 1014448,50 | 7,07 | 19881,00 | 0,14 | 1034329,50 | 7,21 |
| Sg | 1094663,25 | 3,34 | 282386,25 | 25,80 | 0,00 | 0,00 | 282386,25 | 25,80 |
| S* | 3407175,00 | 10,38 | 21424,50 | 0,63 | 0,00 | 0,00 | 21424,50 | 0,63 |
| Td | 710451,00 | 2,16 | 55395,00 | 7,80 | 0,00 | 0,00 | 55395,00 | 7,80 |
| Ta | 1149459,75 | 3,50 | 156048,75 | 13,58 | 0,00 | 0,00 | 156048,75 | 13,58 |
| T* | 1174916,25 | 3,58 | 11832,75 | 1,01 | 0,00 | 0,00 | 11832,75 | 1,01 |
| SN | 3637552,50 | 11,08 | 184450,50 | 5,07 | 0,00 | 0,00 | 184450,50 | 5,07 |
| SP | 2009162,25 | 6,12 | 388192,50 | 19,32 | 0,00 | 0,00 | 388192,50 | 19,32 |
| TN | 674030,25 | 2,05 | 65810,25 | 9,76 | 0,00 | 0,00 | 65810,25 | 9,76 |
| ST | 725463,00 | 2,21 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Observação:

U. C. - Unidades de Conservação de Proteção Integral

T. I. - Terras Indígenas

(*) – vegetação antropizada

Legenda:

Floresta Estacional Semidecidual

Fs - Floresta Estacional Semidecidual Submontana

Fm - Floresta Estacional Semidecidual Montana

F - Floresta Estacional Semidecidual Vegetação Secundária e Atividades Agrárias

Floresta Estacional Decidual

Cs - Floresta Estacional Decidual Submontana

Cm - Floresta Estacional Decidual Montana

C - Floresta Estacional Decidual Vegetação Secundária e Atividades Agrárias

Campinarana

La - Campinarana Arborizada

Lg - Campinarana Gramíneo-Lenhosa

Savana (Cerrado)

Sd - Savana Florestada

Sa - Savana Arborizada

Sg - Savana Gramíneo-Lenhosa

Savana Estépica

Td - Savana-Estépica Florestada

Ta - Savana-Estépica Arborizada

T - Savana-Estépica Atividades Agrárias

Áreas de Tensão Ecológica

SN - Savana/Floresta Estacional

SP - Savana/Formações Pioneiras (Restinga)

TN - Savana Estépica/Floresta Estacional

