

**UFRRJ  
INSTITUTO DE FLORESTAS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS  
AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

**TESE**

**Dinâmica da Vegetação de uma Ilha Fluvial do Bioma Cerrado**

**Daniel Costa de Carvalho**

**2015**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

**DINÂMICA DA VEGETAÇÃO DE UMA ILHA FLUVIAL DO BIOMA  
CERRADO**

**DANIEL COSTA DE CARVALHO**

*Sob a orientação do Professor*  
**Marcos Gervasio Pereira**

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Conservação da Natureza.

**Seropédica, RJ  
Novembro de 2015**

## FICHA CATALOGRÁFICA

577.3

C331d

T

Carvalho, Daniel Costa de, 1984-

Dinâmica da vegetação de uma ilha fluvial do bioma cerrado / Daniel Costa de Carvalho - 2015. 69 f.: il.

Orientador: Marcos Gervasio Pereira.

Tese (doutorado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais.

Bibliografia: f. 66-69.

1. Ecologia florestal - Teses. 2. Solos florestais - Teses. 3. Cobertura dos solos - Teses. 4. Solos - Classificação - Teses. 5. Física do solo - Teses. 6. Química do solo - Teses. 7. Sensoriamento remoto - Teses. 8. Cerrados - Teses. 9. Madeira - Anatomia - Teses. I. Pereira, Marcos Gervasio, 1965-. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais. III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

**DANIEL COSTA DE CARVALHO**

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciências** no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Conservação da Natureza.

**TESE APROVADA EM: 26/11/2015**

---

Marcos Gervasio Pereira. Prof. Dr. UFRRJ  
(Orientador)

---

Bruno Araújo Furtado de Mendonça. Prof. Dr. UFRRJ

---

Fabiano de Carvalho Balieiro. Dr. Embrapa Solos

---

João Vicente de Figueiredo Latorraca. Prof. Dr. UFRRJ

---

Luiz Fernando Duarte de Moraes. Dr. Embrapa Agrobiologia

*A minha família e  
Amigos.  
**Dedico***

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a quem ou o que deu origem a vida, pelo surgimento da natureza, por ter me proporcionado estudá-la e viver perto dela.

Aos meus pais Gloria Maria da Silva Costa e José Carlos Carneiro de Carvalho, pelo apoio aos estudos, exemplo de vida e amor aos filhos. Também agradeço ao meu irmão Leonardo Costa de Carvalho, que continuará junto a mim nesta vida por muito tempo.

À toda minha família - que é a parte mais importante da minha vida – que moldaram meu jeito de ser, dando exemplos de dignidade, responsabilidade e bondade com o próximo.

À Tatiana Dias Gaudi pelo seu amor e compreensão por todos esses anos juntos. Também meus agradecimentos a Maria de Fátima Dias Gaudi, Eduardo Nagib Gaudi e Luís Eduardo Dias Gaudi pelos momentos prazerosos nestes últimos anos.

Agradeço novamente meus pais, Daniela Fontes (madrinha) e Sérgio Costa (padrinho), meu tio Betinho e meus primos, Lia Wright e Rodrigo Rodrigues que aproximaram da natureza e, sem intenções, me influenciaram na escolha da minha profissão.

Ao meu orientador e amigo Marcos Gervasio Pereira pela confiança e exemplo de dedicação ao trabalho. Aos amigos “co-orientadores” Rafael Coll Delgado, João Vicente Latorraca, Roni Guareshi, Leonardo Davi S. A. B. Silva, Leif A. P. Cahuana, Jair Figueiredo do Carmo, pela ajuda nos artigos-capítulos.

Também agradeço aos meus coordenador e ex-coordenador do PPGCAF Rafael Coll Delgado, João Vicente Latorraca pela dedicação e responsabilidade ao curso.

Agradeço imensamente aos amigos que me ajudaram no campo Alexandre Medeiros, Vanessa Freo, Zé Henrique e Leonardo Silva, sem eles a tese sairia bem mais difícil.

Durante todo o período de doutorado agradeço todos os bons – e maus – momentos passados com os amigos Rodrigo, Guilherme, Alexandre, Mayara, Iris, Corina, Willberg, Leonardo, Ana Carolina, Zé Henrique.

Nestes últimos meses de doutorado agradeço imensamente a companhia das amigas Celeste Queiroz e Paula Fernandes, Solene Mattos e Jorge Boloña no QG-LGCS.

Ao INPE pelo fornecimento das imagens, ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade e Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis pela autorização e logística da pesquisa, ao Instituto de Florestas da UFRRJ pelo apoio e a CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

## **BIOGRAFIA**

Daniel Costa de Carvalho nasceu no dia 13 de Junho de 1984 na cidade de Niterói, Estado do Rio de Janeiro, filho de José Carlos Carneiro de Carvalho e Glória Maria da Silva Costa. Em 2003 ingressou no curso de graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, concluindo em dezembro de 2008. Em março de 2010 ingressou no curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, concluindo em fevereiro de 2012. Em março de 2012 ingressou no curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

## RESUMO GERAL

Carvalho, Daniel Costa de. **Dinâmica da vegetação de uma ilha fluvial no bioma Cerrado**. 2015. 84p. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2015.

O diagnóstico periódico da paisagem regional torna-se um aspecto fundamental para a compreensão dos padrões de organização do espaço em função da elevada dinâmica das atividades antrópicas em áreas naturais. Com esta perspectiva os estudos da paisagem são considerados como um importante recurso para as questões ambientais, uma vez que revelam a forma como o espaço geográfico se encontra em função de sua utilização. Neste contexto, as informações derivadas dos sensores orbitais, aliadas às técnicas de geoprocessamento, análises isotópicas do solo e avaliações dendrocronológicas podem auxiliar na caracterização de elementos da paisagem no presente e no passado. A partir do exposto, a Estação Ecológica de Pirapitinga (EEP) possui perfil potencial para estudos das modificações na paisagem ocasionadas por ações antrópicas. Localizada no reservatório de Três Marias (MG), esta Unidade de conservação foi inundada, ganhando aspecto de ilha fluvial há cerca de 55 anos e recebendo ainda proteção contra incêndios. A partir desta época suspeita-se que ocorreram mudanças significativas da paisagem, como surgimento de novas fitofisionomias e decréscimo de outras. Desta forma, esta pesquisa foi baseada na hipótese que após o enchimento da barragem de Três Marias ocorreram mudanças significativas na vegetação da EEP. Portanto, este estudo teve como objetivo geral classificar as classes de cobertura do solo e avaliar a dinâmica espaço-temporal das mesmas na EEP com o emprego do sensoriamento remoto, marcadores isotópicos do solo e análises dendrocronológicas de *Copaifera langsdorffii*. Todas as três ferramentas utilizadas neste estudo corroboraram com a hipótese de evolução da vegetação ao longo do tempo. A análise da paisagem atual e temporal pelo sensoriamento remoto mostrou a expansão e retração das fitofisionomias presentes na EEP. As análises isotópicas do solo revelaram que todas as fitofisionomias atuais possuíam um padrão fitofisionômico semelhante no passado. As análises dendrocronológicas de *C. langsdorffii* revelaram que indivíduos desta espécie já estavam presentes antes do enchimento da barragem e que provavelmente a consolidação da fitofisionomia Mata Seca Sempre-Verde foi a partir da década de 70.

**Palavras-chave:** sensoriamento remoto, marcadores isotópicos e dendrocronologia.



## GENERAL ABSTRACT

Carvalho, Daniel Costa de. **Vegetation dynamic in a river island of Cerrado biome**. 2015. 84p. Teses (Doctor's in Environmental and Forest Sciences). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015.

The periodic diagnosis of the landscape becomes a fundamental aspect for understanding the patterns of organization of space due to the high dynamics of human activities in natural areas. Therefore, the landscape studies are considered an important resource for environmental issues, since they reveal how the geographical area is due to its use. In this context, the information from satellite sensors, combined with geoprocessing techniques, isotopic analyzes of the soil and dendrocronology assessments can help the characterization of landscape elements in the present and in the past. From the foregoing, the Ecological Station of Pirapitinga (ESP) has potential for studies of landscape changes caused by human actions. Located in the Três Marias reservoir (MG), this Conservation Unit was flooded, winning aspect of river island for about 55 years ago and still getting fire protection since this season. From this season it is suspected that was significant changes of the landscape as appearance of new vegetation type and decrease of others. Thus, this research was based on the hypothesis that after the filling of the Três Marias dam occurred significant changes in the landscape of EEP. Therefore, this study aimed to classify land cover classes and assess the spatio-temporal dynamics of the same in the EEP with the remote sensing, isotopic markers soil and dendrocronology analysis. All three tools used in this study corroborate the hypothesis that occurred a vegetation evolution over time. Analysis of the current and temporal landscape by remote sensing showed the expansion and retraction of vegetation types present in the EEP. The isotopic soil analysis revealed that all current vegetation types had a similar vegetational pattern in the past. The dendrocronology of *Copaifera langsdorffii* analysis revealed that individuals of this species were already present before filling the dam and probably the consolidation of vegetation type Mata Seca Sempre-Verde was from the 70s.

**Keywords:** remote sensing, isotopic markers soil and dendrocronology analysis.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Parâmetros estruturais resumidos das fitofisionomias da Estação Ecológica de Pirapitinga, MG. ....	8
Tabela 2. Imagens utilizadas para a classificação não supervisionada das unidades de paisagem na Estação Ecológica de Pirapitinga, MG. ....	25
Tabela 3. Escala de separabilidade das classes da área de estudo pelo método da divergência transformada. ....	26
Tabela 4. Intervalos de classificação da acurácia conforme o valor do Índice Kappa. ....	27
Tabela 5. Matriz de separabilidade da divergência transformada das Unidades de paisagem da Estação Ecológica de Pirapitinga, MG. ....	27
Tabela 6. Amplitude do NDVI e Índice Kappa para as Unidades de paisagem da Estação Ecológica de Pirapitinga, MG. ....	28
Tabela 7. Correlação de Spearman da média do NDVI dos anos avaliados com as áreas absolutas das Unidades de paisagem da Estação Ecológica de Pirapitinga, MG. ....	29
Tabela 8. Área absoluta das Unidades de paisagem observados na Estação Ecológica de Pirapitinga, MG. ....	30
Tabela 9. Atributos químicos e análise granulométrica das áreas de estudo. ....	43
Tabela 10. Qualidade da sincronização das séries de largura dos anéis com a série mestre. ....	61

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da Estação Ecológica de Pirapitinga, MG. ....	7
Figura 2. Localização das fitofisionomias e do solo exposto da Estação Ecológica de Pirapitinga, MG. Adaptado de GIÁCOMO (2009). ....	8
Figura 3. Classes de solo e curvas de nível da Estação Ecológica de Pirapitinga, MG. ....	9
Figura 4. Vista externa da área de solo exposto da Estação Ecológica de Pirapitinga. ....	11
Figura 5. Vista externa da fitofisionomia de Campo Sujo Seco da Estação Ecológica de Pirapitinga. ....	11
Figura 6. Vista panorâmica da fitofisionomia de Campo Sujo Seco da Estação Ecológica de Pirapitinga. ....	11
Figura 7. Vista interna da fitofisionomia de Campo Sujo Seco da Estação Ecológica de Pirapitinga. ....	11
Figura 8. Perfil da vegetação da fitofisionomia de Campo Sujo Seco. Adaptado da Agência de informações da Embrapa, Bioma Cerrado ( <a href="http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/">http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/</a> ). ....	11
Figura 9. Limites entre as fitofisionomias Cerrado Típico e Campo Sujo Seco da Estação Ecológica de Pirapitinga. ....	12
Figura 10. Vista interna da fitofisionomia de Cerrado Típico da Estação Ecológica de Pirapitinga. ....	12
Figura 11. Perfil da vegetação da fitofisionomia de Cerrado Típico. Adaptado da Agência de informações da Embrapa, Bioma Cerrado ( <a href="http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/">http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/</a> ). ....	12
Figura 12. Vista externa da fitofisionomia de Cerradão da Estação Ecológica de Pirapitinga. ....	12
Figura 13. Vista interna da fitofisionomia de Cerradão da Estação Ecológica de Pirapitinga. ....	13
Figura 14. Perfil da vegetação da fitofisionomia de Cerradão. Adaptado da Agência de informações da Embrapa, Bioma Cerrado ( <a href="http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/">http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/</a> ). ....	13
Figura 15. Vista externa da formação florestal de Mata Seca Sempre-Verde da Estação Ecológica de Pirapitinga. ....	13
Figura 16. Vista interna da formação florestal de Mata Seca Sempre-Verde da Estação Ecológica de Pirapitinga. ....	13
Figura 17. Perfil da vegetação da fitofisionomia de Mata Seca Sempre-Verde. Adaptado da Agência de informações da Embrapa, Bioma Cerrado ( <a href="http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/">http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/</a> ). ....	13
Figura 18. Fluxograma do sistema de processamento das imagens do sensor TM. ....	25
Figura 19. Evolução da média do NDVI ao longo do tempo na Estação Ecológica de Pirapitinga, MG. ....	29
Figura 20. Evolução das Unidades de paisagem ao longo dos anos na Estação Ecológica de Pirapitinga, MG. ....	30
Figura 21. Evolução das Unidades de paisagem ao longo dos anos na Estação Ecológica de Pirapitinga, MG. ....	31
Figura 22. Áreas relativas das Unidades de paisagem nos respectivos anos na Estação Ecológica de Pirapitinga, MG. ....	31
Figura 23. Taxa de conversão das áreas das Unidades de paisagem da Estação Ecológica de Pirapitinga, MG. ....	32
Figura 24. Fluxograma de regeneração do Bioma Cerrado. Adaptado de Pereira (2009) de acordo com a classificação proposta por Ribeiro; Walter, (2008). * fitofisionomias com influência de água. ....	33
Figura 25. Pontos de coleta de solo nas respectivas fitofisionomias da Estação Ecológica de Pirapitinga. ....	40

Figura 26. Ponto de coleta de solo na fitofisionomia de Cerrado Típico da Estação Ecológica de Pirapitinga.....	41
Figura 27. Amostras de solo das fitofisionomias da Estação Ecológica de Pirapitinga. ....	41
Figura 28. Densidade do solo do solo em diferentes camadas das áreas de Campo Sujo Seco, Cerrado Típico, Cerradão e Mata Seca Sempre-Verde. *Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste t de Student a 5 %. Letras minúsculas referem-se à comparação das áreas numa mesma camada e maiúsculas comparam médias de camadas de um mesmo tratamento. ....	42
Figura 29. Teor de carbono (C) do solo em diferentes camadas das áreas de Campo Sujo Seco, Cerrado Típico, Cerradão e Mata Seca Sempre-Verde. *Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste t de Student a 5 %. Letras minúsculas referem-se à comparação das áreas numa mesma camada e maiúsculas comparam médias de camadas de um mesmo tratamento. ....	45
Figura 30. Estoque de carbono (EstC) do solo em diferentes camadas das áreas de Campo Sujo Seco, Cerrado Típico, Cerradão e Mata Seca Sempre-Verde. * Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste t de Student a 5 %. Letras minúsculas referem-se à comparação das áreas numa mesma camada e maiúsculas comparam médias de camadas de um mesmo tratamento. ....	45
Figura 31. Abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) do solo em diferentes camadas das áreas de Campo Sujo Seco, Cerrado Típico, Cerradão e Mata Seca Sempre-Verde.....	46
Figura 32. Teor de Nitrogênio (N) do solo em diferentes camadas das áreas de Campo Sujo Seco, Cerrado Típico, Cerradão e Mata Seca Sempre-Verde. *Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste t de Student a 5 %. Letras minúsculas referem-se à comparação das áreas numa mesma camada e maiúsculas comparam médias de camadas de um mesmo tratamento. ....	48
Figura 33. Estoque de Nitrogênio (EstN) do solo em diferentes camadas das áreas de Campo Sujo Seco, Cerrado Típico, Cerradão e Mata Seca Sempre-Verde. *Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste t de Student a 5 %. Letras minúsculas referem-se à comparação das áreas numa mesma camada e maiúsculas comparam médias de camadas de um mesmo tratamento. ....	48
Figura 34. Localização dos indivíduos coletados de <i>Copaifera langsdorffii</i> da Estação Ecológica de Pirapitinga, MG. ....	56
Figura 35. Técnica de tradagem de anel de crescimento indivíduo de <i>C. langsdorffii</i> presente na Estação Ecológica de Pirapitinga. ....	57
Figura 36. Processamento e polimento das amostras de anel de crescimento no laboratório. ....	57
Figura 37. Identificação e delimitação dos anéis de crescimento com o auxílio do microscópio estereoscópico. ....	57
Figura 38. Digitalização das amostras de anel de crescimento no laboratório.....	57
Figura 39. Série climática histórica (1948-2014) para a região da Estação ecológica de Pirapitinga, Mg. ....	58
Figura 40. Seção transversal do lenho de <i>Copaifera langsdorffii</i> , com destaque para o limite dos anéis de crescimento (A) e anéis falsos (B).....	58
Figura 41. Incremento em diâmetro acumulado do tronco das árvores de <i>Copaifera langsdorffii</i>	60
Figura 42. Série cronológica do Índice da largura dos anéis de crescimento do lenho de <i>Copaifera langsdorffii</i> e profundidade de série para o conjunto de árvores. ....	62

Figura 43. Correlação de Pearson ( $p < 0,05$ ) da série mestra do índice dos anéis de crescimento com precipitação e temperatura da Estação Ecológica de Pirapitinga, MG. .... 63

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
2.1 Histórico da área de estudo .....	3
2.2 Sensoriamento remoto .....	4
2.3 Atributos físicos, químicos e isotópicas do solo .....	4
2.4 Anéis de crescimento e a dendrocronologia.....	5
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	6
2.1 Localização área de estudo.....	6
2.2 Descrição da área de estudo .....	7
2.3 Definição das Unidades da paisagem .....	9
4. Referências bibliográficas .....	14
CAPITULO I: Dinâmica da vegetação de uma ilha fluvial do bioma cerrado a partir de imagens orbitais.....	21
RESUMO.....	22
ABSTRACT .....	23
1. INTRODUÇÃO .....	24
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	24
2.4 Escolha e caracterização das Unidades de paisagem.....	24
2.5 Aquisição, processamento e análises dos dados .....	25
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	27
4. CONCLUSÕES .....	33
5. Referências bibliográficas .....	34
CAPITULO II: Carbono, nitrogênio e abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ no solo de uma ilha fluvial no bioma Cerrado .....	36
RESUMO.....	37
ABSTRACT .....	38
1. INTRODUÇÃO .....	39
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	40
2.1 Delineamento amostral e coleta de dados .....	40
2.2 Análise dos resultados .....	41
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	41
4. CONCLUSÃO .....	49
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	49
CAPITULO III: Dendrocronologia de <i>Copaifera Langsdorffii</i> de uma ilha fluvial no Bioma Cerrado.....	52
RESUMO.....	53
ABSTRACT .....	53
1. INTRODUÇÃO .....	54
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	55
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	58
2.1 Anatomia da madeira .....	58
2.2 Crescimento diamétrico do tronco das árvores .....	59
2.3 Dendrocronologia .....	61
2.4 Relação dos anéis de crescimento com o clima .....	63

4.	CONCLUSÃO .....	64
5.	CONCLUSÕES GERAIS .....	64
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	65
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	66

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O Cerrado é um bioma que ocupa a maior parte do Brasil central, cerca de 30% do território nacional (RIBEIRO; WALTER, 1998). Fisionomicamente complexo, este bioma abrange uma vegetação com diversas alturas e densidades, variando desde florestas a campos gramíneos, além de diferentes formas intermediárias (EITEN, 2001; RIBEIRO; WALTER, 1998). Estas variações fitofisionômicas são causadas pela diversidade de ambientes como, planaltos, chapadas e vales profundos, cada um deste apresentando características peculiares. As características fisionômicas do Cerrado proporcionaram um surgimento um elevado grau de endemismo e de uma flora com cerca de 6.671 espécies, sendo uma das mais ricas savanas do mundo (MENDONÇA et al., 2008). No entanto, diante das pressões econômicas, este bioma atualmente apresenta sua cobertura original reduzida em mais de 37%, sendo submetido a um comprometimento de sua biodiversidade (FELFILI et al., 2002). Diante do exposto, o Cerrado ganhou destaque entre as áreas consideradas críticas para conservação no planeta (MYERS, 2000).

Com a crescente demanda dos recursos naturais o diagnóstico periódico do uso da terra torna-se um aspecto fundamental para a compreensão dos padrões de organização do espaço, os quais raramente são permanentes, em função da elevada dinâmica das atividades antrópicas. Com esta perspectiva, os estudos da paisagem são considerados como um importante recurso para as questões ambientais, uma vez que revelam a forma como o espaço geográfico se encontra em função de sua utilização (METZGER, 2001).

A paisagem ao longo da dinâmica espaço-temporal tem seus elementos modificados e transformados. A qualidade da paisagem refere-se ao grau de excelência ambiental e visual que está apresenta, podendo ser estudada sobre a dinâmica espaço-temporal. Segundo TURNER (1990) considerando que a percepção da evolução da paisagem se manifesta com a passagem do tempo, qualquer alteração no seu desenvolvimento é associada à ocorrência de um desequilíbrio, sendo de origem antropogênica ou não. Assim estas perturbações e modificações contribuem para produzir uma estrutura específica de paisagem, sua própria heterogeneidade pode restringir a dispersão espacial de um distúrbio.

Os dados já disponibilizados na literatura permitiram atribuir a diversidade fisionômica e a da flora do bioma Cerrado às alterações naturais como, climática, tipos de solo, frequência de queimadas, profundidade do lençol freático (RUGGIERO et al., 2006; FELFILI et al. 2000; RIBEIRO; WALTER 1998;). No entanto, as variações fisionômicas podem ser influenciadas por impedimento dos processos naturais onde estas se desenvolvem. DURIGAN; RATTER (2006) constataram que, uma formação vegetal mais aberta foi substituída gradativamente por outra mais fechada, por estarem protegidas de degradações naturais e antrópicas como, incêndios e criação de gado respectivamente.

Neste contexto de mudanças da paisagem, é urgente a investida de métodos capazes de revelar e diagnosticar estas alterações. SOUTHWORTH et al. (2013) conseguiram de forma satisfatória inferir sobre as mudanças na paisagem de uma savana africana com a integração de sensoriamento remoto, dendrocronologia e dados históricos de clima. Neste sentido, integração de informações derivadas dos sensores orbitais, aliadas às técnicas de geoprocessamento, análises isotópicas do solo e avaliações dendrocronológicas podem se mostrar como ferramentas no auxílio a caracterização de elementos da paisagem no presente e no passado (FRANCISQUINI et al. 2014; SOUTHWORTH et al., 2013; SILVA et al., 2008; PONZONI; SHIMABUKURO,



2009; TOMAZELLO FILHO et al., 2009; GONÇALVES, 2007; LIESENBERG et al., 2007b; DURIGAN; RATTER, 2006; RUGGIERO et al., 2006; RUBINO; MCCARTHY, 2004).

Com o surgimento de sistemas computacionais surgiram várias ferramentas no auxílio a mudanças da paisagem e planejamento territorial, como o sensoriamento remoto e geoprocessamento (MIRANDA, 2010). Estas são disciplinas que utilizam técnicas matemáticas e digitais para o tratamento de informações geográficas. Tem influenciado de maneira crescente as áreas de análise de recursos naturais, transportes, energia e planejamento urbano e regional (MIRANDA, 2010). As técnicas de geoprocessamento são de custo relativamente baixo, resultados rápidos, tornando-se atrativos em condições de carência de informações adequadas para a tomada de decisão em grandes ou pequenas áreas geográficas (ASSAD; SANO, 1998). Portanto, diversos trabalhos foram realizados utilizando-se o sensoriamento remoto e geoprocessamento na análise da paisagem no presente e no passado (SOUTHWORTH et al., 2013; PONZONI; SHIMABUKURO, 2009; DURIGAN; RATTER, 2006; FERREIRA et al., 2006; FERREIRA; HUETE, 2004; FERREIRA et al., 2004; SANO et al., 2005).

Outra técnica muito utilizada na detecção de mudanças na paisagem são as análises isotópicas de  $\delta^{13}\text{C}$  dos compartimentos de carbono (C) e de nitrogênio (N) do solo da matéria orgânica do solo (MOS). Os estudos de CERRI et al. (1985) mostraram que é possível a quantificação destas duas fontes de matéria orgânica nos solos cultivados com o emprego de técnicas isotópicas baseadas na abundância natural em  $^{13}\text{C}$ . Com base na análise da variação na abundância de  $\delta^{13}\text{C}$  é possível identificar a origem da MOS (ALVES et al., 2008; GUARESCHI et al., 2014) e das modificações a que uma área foi submetida no passado (FRANCISQUINI et al. 2014; LOSS et al., 2014; GUARESCHI et al., 2012; SIQUEIRA NETO et al., 2009; ZINN et al., 2009; SILVA et al., 2008; BUSTAMANTE et al., 2004, SAMIOTTI et al. 1999; VICTÓRIA et al., 1995).

As avaliações dendrocronológicas do lenho de algumas espécies vegetais também se mostraram útil como ferramenta de análise da paisagem (SOUTHWORTH et al., 2013; WORBES et al., 2003). Estas avaliações estudam a relação entre a influência de eventos climáticos, físicos ou antrópicos como, precipitação, temperatura, incêndios, manejo florestal e a formação dos anéis de crescimento das espécies vegetais (TOMAZELLO FILHO et al., 2009). Sendo assim, podem fornecer informações a respeito do crescimento radial de espécies vegetais, do comportamento temporal e/ou sazonal e suas relações com presente e passado regional (THERRELL et al., 2006). Portanto, os anéis de crescimento podem prover informações sobre condições ambientais no presente e no passado como secas prolongadas, períodos de inundação, avalanches, incêndios entre outras (BUTLER; SAWYER, 2008; SASS-KLAASSEN et al., 2008; THERRELL et al., 2006; CALLADO et al., 2001; WORBES et al., 2003).

Diante desta perspectiva, os estudos da paisagem são considerados como importante recurso para as questões ambientais. Estes estudos revelam como as unidades fisiográficas se encontram em função de sua utilização. Portanto, gerar novas informações estruturais é de suma importância para avaliar os impactos antrópicos, planejar ações das Unidades de Conservação e desenvolver técnicas de manejo eficientes que nos permitam auxiliar na conservação do bioma.

Inserida neste contexto está a Estação Ecológica de Pirapitinga (EEP), localizada no arquipélago de ilhas inseridas no Reservatório da Usina Hidroelétrica (UHE) de Três Marias, MG. Com a construção do reservatório (1962) houve um aumento da disponibilidade local de água, e com a criação da Estação Ecológica, não há ocorrência de incêndios florestais - típicos em áreas de Cerrado - na área por pelo menos 25 anos, fatores estes, podem influenciar a dinâmica da vegetação local (AZEVEDO et al., 1987; GIÁCOMO, 2009). De acordo com os

agentes do Instituto Chico Mendes, desde 1987 – ano da criação da EEP - houve mudanças significativas no aspecto da vegetação. Em áreas onde hoje a vegetação é de porte florestal, há 25 anos avistavam-se fitofisionomias savânicas como o Cerrado Típico e Campo Sujo Seco. A partir do exposto, a EEP possui perfil potencial para estudos das modificações na paisagem ocasionadas por ações antrópicas.

Desta forma, esta pesquisa foi baseada na hipótese que após o enchimento da barragem de Três Marias ocorreram diversas mudanças na paisagem da EEP. Portanto, este estudo teve como objetivo geral determinar o estado atual e diagnosticar as mudanças ocorridas na paisagem da EEP com o emprego do sensoriamento remoto, elementos isotópicos do solo e análises dendrocronológicas. Para isso, este estudo tem como objetivos específicos: a) Avaliar a dinâmica espaço-temporal das fitofisionomias da EEP, analisando cinco momentos pretéritos nas décadas de 1970, 1980, 1990, 2000 e 2010) (Capítulo I); b) Correlacionar a dinâmica das fitofisionomias da EEP com uso de análises isotópicas - do  $^{13}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}$  - (Capítulo II); Determinar a dendrocronologia de *Copaifera langsdorffii* Mart. (Fabaceae) e discorrer sobre as possíveis causas das mudanças ocorridas na paisagem da EEP (Capítulo III). Este trabalho busca ainda, fornecer informações relevantes para a construção de uma base teórica, que possa ser utilizada na orientação do manejo sustentável das unidades de conservação, conservação de ambientes naturais e parâmetros que auxiliem na recuperação de áreas descaracterizadas.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Histórico da área de estudo

No dia 15 de dezembro de 1948, pela Lei nº 548 do Congresso Nacional, criou-se a Comissão do Vale do São Francisco (CVSF), para dar execução ao plano, cabendo as Centrais Elétricas de Minas Gerais (CEMIG) a construção e operação da Usina Hidrelétrica de Três Marias. As obras se iniciaram em maio de 1957, sendo concluídas em janeiro de 1961 (MELO, 2006).

Em 1962, o reservatório estava completamente cheio, ocasião em que a atual área da Estação Ecológica de Pirapitinga adquiriu feição de ilha, situação esta que ocorre quando é atingida a cota máxima do reservatório (AZEVEDO et al., 1987). Na cota mínima do reservatório, a área onde hoje pertence à Estação Ecológica, assume características de península e essa situação possibilitava a utilização da área, como pastagem nativa, por criadores – de bovinos - da região até 1982. Nesta ocasião foi construída uma cerca para evitar o acesso dos animais à área, sendo que a integridade do local atingiu o máximo de proteção após a conscientização dos fazendeiros (AZEVEDO et al., 1987). Em 20 de julho de 1987, criou-se a Estação Ecológica de Pirapitinga pelo Decreto nº 94.656, que deliberava sobre a criação das Estações Ecológicas de Carijós, Pirapitinga e Tupinambás.

Segundo os agentes do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, em informação pessoal, a área da atual Estação Ecológica pertencia a uma antiga fazenda que foi desapropriada para a criação do reservatório pela Companhia do Vale do São Francisco (CODEVASF). De acordo com as informações obtidas, desde sua criação não há ocorrência de incêndios florestais. Estudando a EEP, AZEVEDO et al. (1987), verificaram indícios que antes da criação desta Unidade Conservação, em áreas de cerrado “*sensu stricto*”, houve corte seletivo de indivíduos arbóreos e ação de fogo.

Com a construção do reservatório houve um aumento da disponibilidade local de água e com a criação da Estação Ecológica, não há ocorrência de incêndios florestais - típicos em áreas

de Cerrado - na área por pelo menos 25 anos. Estes fatores provavelmente influenciam a dinâmica da vegetação local. De acordo com os agentes do Instituto Chico Mendes, desde 1987 houve mudanças significativas no aspecto da vegetação, pois em diversas áreas onde hoje existe um tipo de vegetação há 25 anos avistavam-se outro tipo de formação vegetal.

## **2.2 Sensoriamento remoto**

A partir de meados do século passado, houve um crescente avanço tecnológico, impulsionado principalmente pelo planejamento do uso do solo e táticas militares. Um destes avanços se deu principalmente na área espacial, culminando no lançamento de inúmeros satélites orbitais com o objetivo de monitoramento remoto (MOREIRA, 2005). Uma das principais plataformas de satélites lançadas em órbita foi a série Landsat a partir de 1972. Os modelos 1, 2 e 3 do Landsat eram equipados com um sensor MSS (Multispectral Scanner), com quatro câmeras espectrais (duas no visível e duas no infravermelho próximo) e uma resolução também de 80 metros. Em 1984, a NASA lançou o Landsat-5, agora constituído com o novo sensor TM (Thematic Mapper), que passou a registrar dados em sete bandas espectrais - três no visível, um no infravermelho próximo, dois no médio e um no termal -, e com resolução espacial de 30 metros (CHANDER; MARKHAM, 2003; MOREIRA, 2005; FLORENZANO, 2002).

Com o advento dos sistemas de informação geográficas (SIG), foi possível combinar os dados obtidos pelos sensores remotos e converter em novas informações para o monitoramento da vegetação, como os Índices de vegetação (CHANDER; MARKHAM, 2003; BASTIAANSEN, 1995; ROUSE et al., 1973). Um dos mais eficientes é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), por apresentar mais sensibilidade à clorofila e outros pigmentos da vegetação responsáveis pela absorção da radiação solar na banda do vermelho (BITENCOURT et al., 1997; ROUSE et al., 1973). Este índice permite uma separação espectral satisfatória entre as classes de cobertura vegetal, ou seja, consegue distinguir virtualmente diferentes tipos de fitofisionomias (FERREIRA et al., 2004; BITENCOURT et al.; 1997)

As informações geradas a partir da integração do sensoriamento remoto com os SIG permitiram reconhecer, distinguir e mapear extensas áreas, identificar os agentes modificadores do espaço, além de estimativas sobre a extensão e a intensidade das alterações provocadas pelo homem ao longo do tempo em determinada região, contribuindo assim, para o monitoramento da paisagem (SOUTHWORTH et al., 2013; PONZONI; SHIMABUKURO, 2009; MYEONG et al., 2006; RUGGIERO et al., 2006). No Brasil o processamento por sensoriamento remoto vem sendo muito utilizado na avaliação da condição de integridade de seus ecossistemas, sendo possível constatar que grande parte de sua cobertura natural já foi alterada (SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2008). Sendo assim, o sensoriamento remoto facilita a observação das mudanças no meio ambiente, permitindo o diagnóstico com maior rapidez das ações humanas no passado e presente (VIBRANS et al., 2009; CARVALHO JÚNIOR et al., 2008; SÁ et al., 2008; SILVA et al., 2008; COUTO JUNIOR, 2007; LIESENBERG et al., 2007a, 2007b; SANO et al., 2005; FERREIRA et al., 2006; SANO et al., 2005; FERREIRA et al., 2004a, 2004b; SMALL; MCCARTHY, 2002).

## **2.3 Atributos físicos, químicos e isotópicas do solo**

Os atributos do solo como, fertilidade e densidade, são influenciados pelas diferentes coberturas vegetais do bioma Cerrado, sendo elas nativas ou não. Diversos autores discorrem que

estes atributos são influenciados por ações antropogênicas e/ou naturais, sofrendo alterações ao longo dos perfis de solo avaliados (FREITAS et al. 2014; GUARESCHI et al. 2012; RESENDE et al., 2012; SKORUPA et al., 2012; CREMON et al., 2009; RUGGIERO et al., 2002). Portanto, avaliando as alterações destes atributos em determinada área de estudo, é possível esclarecer um padrão de uso da cobertura do solo num passado recente (FREITAS et al. 2014; GUARESCHI et al. 2012).

Outro atributo do solo largamente estudado nas diferentes fitofisionomias do bioma Cerrado é a quantidade e a qualidade da matéria orgânica (MOS). Estes atributos estão na qualidade de teor de carbono (C%), estoques carbono (EstC) e de nitrogênio (EstN) do solo. Trabalhos na literatura têm demonstrado que tais variações na quantidade e qualidade da MOS nos solos em profundidade, ocorrem devido aos diferentes aportes de resíduos vegetais ao longo do tempo (GUARESCHI et al. 2012, 2014; LOSS et al., 2014; SIQUEIRA NETO et al., 2009; CREMON et al., 2009; SKORUPA et al., 2012; BERNOUX et al., 1999). Sendo assim, verifica-se que a análise destes atributos do solo, pode auxiliar na verificação de possíveis alterações da cobertura vegetal num passado recente (GUARESCHI et al., 2014).

Outra técnica muito utilizada na detecção de mudanças da cobertura vegetal são as análises isotópicas de  $\delta^{13}\text{C}$  presentes no solo. BERNOUX et al. (1999) explicaram que a maioria dos vegetais das florestas tropicais possui um ciclo fotossintético do tipo  $\text{C}_3$  e como a matéria orgânica do solo é derivada da cobertura vegetal, o seu delta  $^{13}\text{C}$  é aproximadamente igual ao da vegetação que a originou. Já as gramíneas de regiões tropicais possuem um ciclo fotossintético do tipo  $\text{C}_4$ , e assim, quando a floresta é desmatada e a terra utilizada como pastagem, os resíduos da cultura são incorporados ao solo e modificam a relação isotópica inicial. Esta diferença é utilizada para quantificar as perdas de matéria orgânica nativa e os ganhos devido à implantação da nova cultura. Considerando que a matéria orgânica do solo pode ser separada em dois compartimentos, um biodegradável e outro estável, torna-se possível estimar a quantidade destas formas de carbono biodegradável, em diferentes situações de uso, possibilitando inferências para fins agrícolas e ecológicas da área estudada (GUARESCHI et al. 2014; LOSS et al., 2014; SKORUPA et al., 2012; BAI et al., 2009; SIQUEIRA NETO et al., 2009; CREMON et al., 2009; SALIMON et al., 2007; BERNOUX et al., 1999; PESSENDA et al., 1998; VICTÓRIA et al. 1995; CERRI et al., 1985).

## **2.4 Anéis de crescimento e a dendrocronologia**

Anéis de crescimento são estruturas anatômicas do xilema secundário dos vegetais que, observadas em corte transversal, configuram círculos mais ou menos concêntricos e contínuos, ao redor da medula. Dentre os grupos taxonômicos que podem formar anéis de crescimento, destacam-se as gimnospermas e angiospermas dicotiledôneas (TOMAZELLO FILHO et al., 2001). Estas estruturas podem variar o seu tamanho de acordo com as condições ambientais e climáticas onde determinada espécie se desenvolve (FRITTS, 1976)

Existem diversas técnicas para avaliações dendrocronológicas, dentre elas, a coleta de amostras do lenho de indivíduos vivos. Estas amostras são coletadas com auxílio de um trado ou sonda de incremento, inserida na seção transversal do tronco das árvores. Posteriormente, as amostras passam por um polimento para a melhor demarcação dos anéis de crescimento. A mensuração da largura destes anéis, geralmente é feita com ajuda de uma lente objetiva e de uma mesa de medição. Porém, o padrão da largura do anel difere individualmente mesmo em árvores da mesma região e espécie, devido à influência de fatores climáticos. Com a comparação do

padrão da largura do anel entre árvores é possível descobrir o ano em que cada um foi formado, pelo processo de *crossdating* ou datação cruzada (PALERMO et al., 2002; STOKES; SMILEY, 1996). A comparação de uma série dessas diferentes curvas, possibilita traçar um *crossdating* médio - curva média da largura dos anéis -, capaz de identificar um padrão único dos anéis de crescimento para a espécie estabelecida em determinada região. Essas curvas médias dos anéis *crossdated* podem ser utilizadas para uma comparação dessas com eventos climáticos e ambientais (PALERMO et al., 2002; TOMAZELLO FILHO et al., 2001).

Os primeiros registros relatando que as condições ambientais interferem no desenvolvimento das árvores e na largura dos anéis de crescimento são atribuídos a Leonardo da Vinci, que no século XVI, definiu algumas bases teóricas para esta ciência. A dendrocronologia como ciência da datação dos anéis de crescimento de árvores, foram iniciadas por DOUGLASS (1909) no início do século XX, ao estudar as correlações entre a largura dos anéis de crescimento de *Pinus* sp. e a intensidade de estiagem em diferentes altitudes de regiões do Arizona, Estados Unidos da América. A palavra dendrocronologia provem do grego “dendros” que significa “árvore”, “cronos” denota tempo e “logos” é ciência (ANHOLETTO JÚNIOR, 2013).

Existem muitos trabalhos a respeito do tema, contudo, três publicações, podem ser destacadas como propulsores e compiladores de pesquisas com camadas de crescimento em regiões tropicais. Um importante livro a respeito dos anéis de crescimento que merece destaque intitula-se “*An introduction to tree-ring dating*” e foi escrito por STOKES; SMILEY (1996). As outras duas publicações foram IAWA COMMITTEE (1989), IAWA COMMITTEE (1999) que aclararam sobre a periodicidade de crescimento dos anéis, discutem os métodos utilizados e destacam os problemas para o desenvolvimento de pesquisas dessa natureza. Além disso, os autores reforçam a necessidade de mais estudos e relatam aplicações dos resultados.

Além de trazer informações valiosas sobre a vida do vegetal, a aplicação das informações contidas nos anéis de crescimento tem sido de grande relevância na análise da ocorrência de fenômenos ecológicos e ambientais (LATORRACA et al., 2015; CALLADO et al., 2014; LISI, et al., 2008; THERRELL et al., 2006; RUBINO; MCCARTHY, 2004; SAVVA et al. 2003; CALLADO et al., 2001; TOMAZELLO FILHO et al., 2001; WORBES, 1999). Os anéis de crescimento permitem a identificação e reconstrução das condições climáticas do passado, assim como das alterações ambientais naturais, da dinâmica das populações florestais e dos recursos hídricos e dos processos geomorfológicos. Também, possibilitam avaliar o efeito dos ventos, a ocorrência de ataque de insetos e micro-organismos, os processos tectônicos, as atividades vulcânicas, incêndios, operações silviculturais, a presença de metais pesados no ambiente, de ações antropogênicas entre outras (LATORRACA et al., 2015; ROZENDAAL; ZUIDEMA, 2011; TOMAZELLO FILHO et al., 2009; BUCHWAL, 2008; BUTLER; SAWYER, 2008; LISI, et al., 2008; SASS-KLAASSEN et al., 2008; PEREZ-RODRIQUES et al, 2007; RUBINO; MCCARTHY, 2004; RASPOPOV et al., 2004; SAVVA et al. 2003; CALLADO et al., 2001; TOMAZELLO FILHO et al., 2001; WORBES, 1999; STOKES; SMILEY, 1996; FRITTS, 1976).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 2.1 Localização área de estudo

O estudo será realizado na Estação Ecológica de Pirapitinga (Figura 1), Ilha das Marias, localizada no Reservatório da Usina Hidroelétrica de Três Marias entre as coordenadas 18°20'S -

18°23'S e 45°17'W - 45°20'W no município de Morada Nova de Minas - MG. A Estação possui uma área aproximada de 1.090 ha e perímetro de 20 km, com uma altitude compreendida entre 570 e 630 metros acima do nível do mar (AZEVEDO et al., 1987).

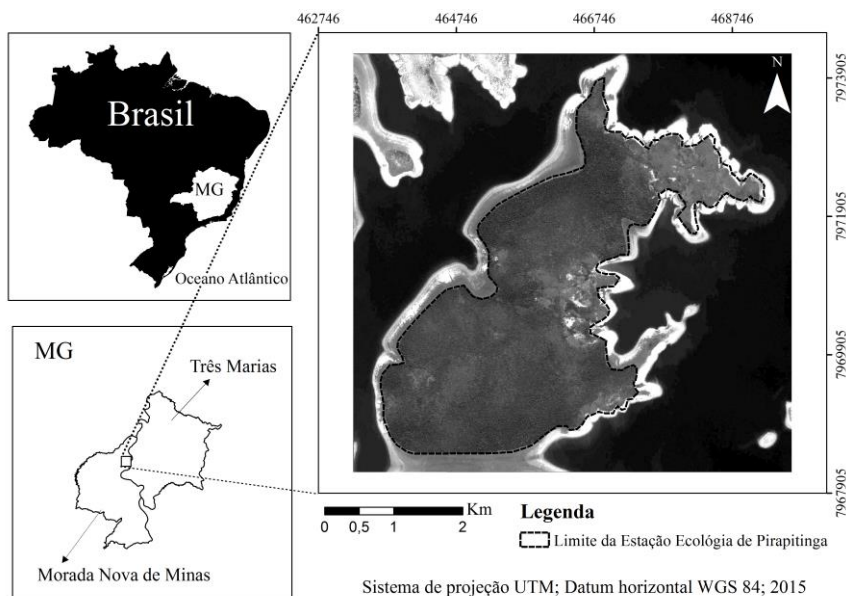


Figura 1. Localização da Estação Ecológica de Pirapitinga, MG.

## 2.2 Descrição da área de estudo

Devido ao enchimento do reservatório da Usina de Três Marias, em 1962, a Estação adquiriu a feição de ilha, situação que ocorre quando a cota máxima é atingida (Figura 2). O nível da barragem oscila entre a cota máxima de 568 m até a mínima de 559 m acima do nível do mar. O relevo da área é predominantemente suave ondulado, com amplitude da ordem de 50 m. A borda centro-oriental da “ilha” tem declividade mais acentuada e o perfil longitudinal da rede de drenagem é nitidamente menor do que o da borda centro-oriental, indicando uma dissimetria de relevo.

A formação vegetal constituída por elementos arbóreos com até 20 metros de altura e densidade variável, apresenta-se sob quatro feições: Mata Mesofítica, Cerradão, Cerrado “*sensu stricto*” e Campo Sujo com cobertura densa de gramíneas (AZEVEDO et al., 1987). No entanto, para este trabalho foi adotado a classificação das fitofisionomias de acordo com RIBEIRO; WALTER, (1998). Portanto, a Mata Mesofítica foi considerada como Mata Seca Sempre-Verde, Cerrado “*sensu stricto*” agora é Cerrado Típico e Campo Sujo como Campo Sujo Seco (Figura 2). Já o Cerradão manteve a sua classificação (Figura 2). Uma descrição completa das fitofisionomias pode ser conferida em GIÁCOMO (2009), GIÁCOMO et al. (2013; 2015). Os parâmetros estruturais resumidos das fitofisionomias da EEP encontram-se na Tabela 1 (GIÁCOMO et al., 2013; 2015).

Tabela 1. Parâmetros estruturais resumidos das fitofisionomias da Estação Ecológica de Pirapitinga, MG.

Parâmetros estruturais	Fitofisionomias			
	Campo Sujo Seco	Cerrado Típico	Cerradão	Mata Seca Sempre-Verde
Área basal total (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )	6,73	21,11	22,1057	39,3177
Área basal média por indivíduo (m <sup>2</sup> h <sup>-1</sup> )	0,0072	0,0093	0,0161	0,0203
Densidade absoluta (ind. ha <sup>-1</sup> )	926	2.257	1.371	1.930
Diâmetro médio (cm)	9,57 <sup>(DAS)</sup>	10,90 <sup>(DAS)</sup>	14,89 <sup>(DAP)</sup>	16,10 <sup>(DAP)</sup>
Altura média (m)	2,55	3,95	7,44	9,34

DAS= diâmetro ao nível do solo; DAP= diâmetro à 1,30 metros em relação ao nível solo

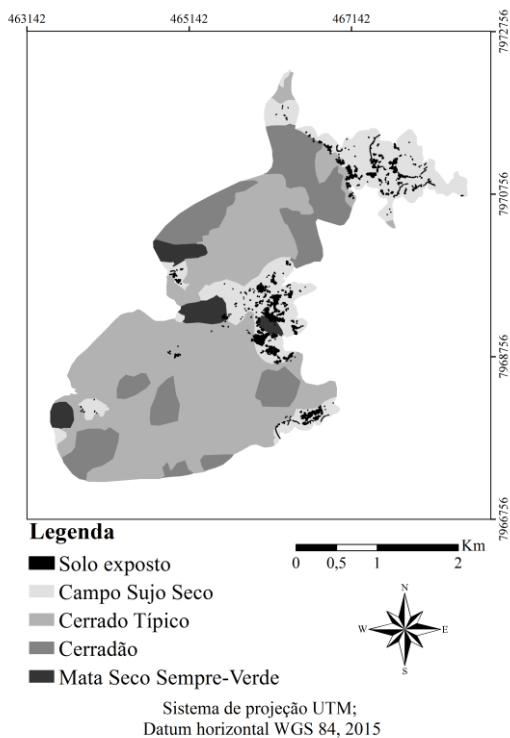


Figura 2. Localização das fitofisionomias e do solo exposto da Estação Ecológica de Pirapitinga, MG. Adaptado de GIÁCOMO (2009).

Os solos predominantes na EEP são os Latossolos Vermelho-Escuros e os Cambissolos distróficos (AZEVEDO et al., 1987). No entanto, para este trabalho foi adotado a classificação das classes de solos de acordo com EMBRAPA (2006). Portanto, os Latossolos Vermelho-Escuros foram classificados como Latossolos Vermelhos e os Cambissolos distróficos como Cambissolos Háplicos (Figura 3).

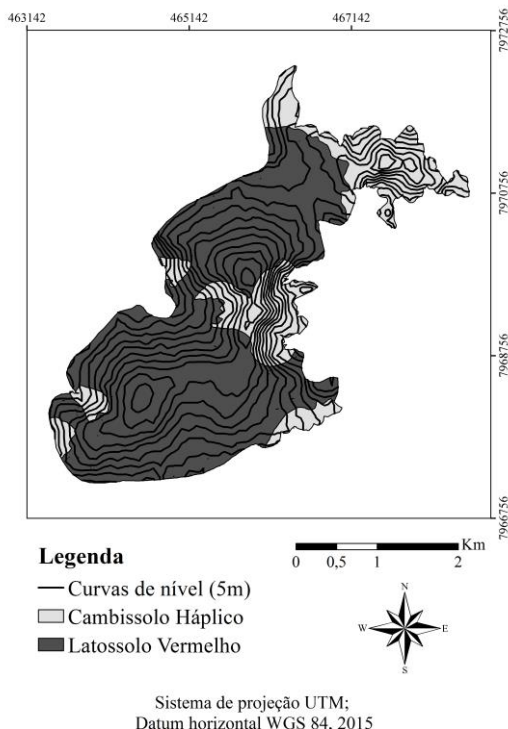


Figura 3. Classes de solo e curvas de nível da Estação Ecológica de Pirapitinga, MG.

### 2.3 Definição das Unidades da paisagem

Foram abordadas cinco Unidades de Paisagem (UP) já identificadas em (GIÁCOMO, 2009): Mata Seca Sempre-Verde, Cerradão, Cerrado Típico, Campo Sujo Seco e solo exposto descritos a seguir: Solo exposto: parte da paisagem que não apresenta desenvolvimento vegetal. Na EEP essa UP está concentrada nas áreas de distribuição dos Cambissolos Háplicos inseridos na fitofisionomia de Campo Sujo Seco (Figuras 2 e 4).

O Campo Sujo Seco é uma fitofisionomia campestre do bioma Cerrado densamente formada por vegetação de porte herbáceo com frequentes arbustos e subarbustos espaçados entre si (Figura 5, 6, 7 e 8). Os arbustos apresentam-se frequentemente tortuosos, com ramificações irregulares e retorcidas (Figura 7), geralmente com evidências de queimada. As espécies arbustivas mais representativas desta fitofisionomia são *Qualea parviflora* Mart. (Vochysiaceae), *Salvertia convallariaeodora* St. Hil. (Vochysiaceae), *Miconia burchellii* Triana



(Melastomataceae), *Heteropterys byrsonimifolia* A. Juss. (Malpighiaceae) e *Byrsonima coccolobifolia* Kunth. (Malpighiaceae) (GIÁCOMO et al., 2013). Esta fitofisionomia é predominantemente sobre solos mais rasos e distróficos que podem apresentar pequenos trechos de rochas ou solos mais profundos. Na EEP esta fitofisionomia localiza-se especificamente sobre os Cambissolos Háplicos (Figura 3).

A fitofisionomia do Cerrado Típico também é caracterizada pelo porte savânico da vegetação. É caracterizada pela presença de árvores baixas, inclinadas e tortuosas, de troncos grossos, com ramificações irregulares e retorcidas, geralmente com evidências de queimadas, e presença de grande quantidade de gramíneas no sub-bosque (Figura 9, 10 e 11). Floristicamente se assemelham com as espécies do Campo Sujo Seco, porém com indivíduos mais altos (Figura 11). As espécies arbóreas que mais se destacam são: *Qualea grandiflora* Mart. (Vochysiaceae), *Xylopia aromatica* (Lam.) Mart. (Annonaceae), *Qualea parviflora* Mart. (Vochysiaceae), *Miconia burchellii* Triana (Melastomataceae) e *Eugenia dysenterica* DC. (Myrtaceae) (GIÁCOMO et al., 2013). Esta fitofisionomia está predominantemente sobre solos mais profundos e eutróficos que podem apresentar pequenos trechos em solos mais rasos e distróficos. Portanto, esta fitofisionomia localiza-se predominantemente sobre os da EEP (Figura 3).

O Cerradão faz parte das fitofisionomias de porte florestal do bioma Cerrado. Apresenta árvores alcançando até 15 metros de altura (Figuras 12, 13 e 14). Apresenta espécies vegetais com características esclerófilas e xeromórficas. Caracteriza-se pela presença preferencial de espécies que ocorrem no Cerrado Típico e também por espécies de florestas, particularmente as da Mata Seca e da Mata de Galeria não-inundável. O estrato herbáceo desta fitofisionomia é constituído por indivíduos arbóreos jovens, composto ainda por gramíneas e bromeliáceas menos frequentes (Figura 13). Floristicamente, as espécies que se destacam no Cerradão da EEP são: *Xylopia aromatica* (Lam.) Mart. (Annonaceae), *Pterodon pubescens* Vogel (Fabaceae), *Diospyros sericea* A. DC. (Ebenaceae), *Vatairea macrocarpa* (Benth.) Ducke (Fabaceae) e *Sclerolobium paniculatum* var. *subvelutinum* Benth. (Fabaceae) (Giácomo et al., 2015). Os Cerradões estão predominantemente sobre solos mais profundos e eutróficos. Esta fitofisionomia localiza-se especificamente sobre os Latossolos Vermelhos da EEP (Figura 3).

Outra fitofisionomia de porte florestal do bioma Cerrado é a Mata Seca Sempre-Verde. Nela são encontradas espécies de porte arbóreo formando um dossel contínuo (Figura 15 e 17), apresentando alguns indivíduos emergentes, que pode atingir até 25m de altura (Figuras 16 e 17). Apresenta espécies vegetais com características esclerófilas e xeromórficas. Caracteriza-se pela presença preferencial de espécies de florestas que ocorrem na Mata de Galeria e também por espécies de matas Estacionais Semidecíduais. O estrato herbáceo desta fitofisionomia é constituído por indivíduos arbóreos jovens, composto ainda por bromeliáceas menos frequentes (Figura 16). As espécies que se destacam no Cerradão da EEP são: *Xylopia aromatica* (Lam.) Mart. (Annonaceae), *Siparuna quianensis* L. (Siparunaceae), *Sclerolobium paniculatum* var. *subvelutinum* Benth. (Fabaceae), *Diospiros sericea* (Icacinaceae), *Virola sebifera* Mart. (Myristicaceae) (GIÁCOMO et al., 2015). Esta fitofisionomia ocupa uma faixa estreita no entorno da EEP (Figura 2 e 15), distribuindo-se em manchas esparsas variando de acordo com a topografia (Figura 2 e 3). Na EEP, esta fitofisionomia localiza-se especificamente sobre solos mais profundos e eutróficos como os Latossolos Vermelhos (Figura 3).



Figura 4. Vista externa da área de solo exposto da Estação Ecológica de Pirapitinga.



Figura 5. Vista externa da fitofisionomia de Campo Sujo Seco da Estação Ecológica de Pirapitinga.



Figura 6. Vista panorâmica da fitofisionomia de Campo Sujo Seco da Estação Ecológica de Pirapitinga.



Figura 7. Vista interna da fitofisionomia de Campo Sujo Seco da Estação Ecológica de Pirapitinga.

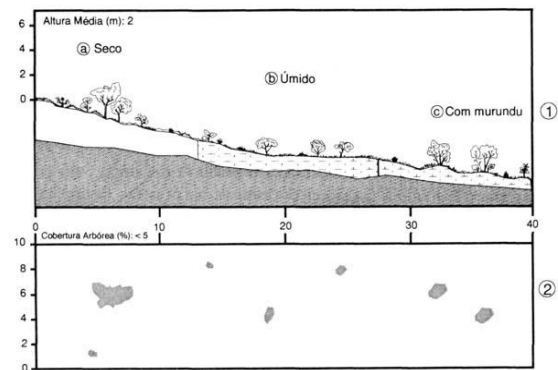


Figura 8. Perfil da vegetação da fitofisionomia de Campo Sujo Seco. Adaptado da Agência de informações da Embrapa, Bioma Cerrado (<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/>).



Figura 9. Limites entre as fitofisionomias Cerrado Típico e Campo Sujo Seco da Estação Ecológica de Pirapitinga.



Figura 10. Vista interna da fitofisionomia de Cerrado Típico da Estação Ecológica de Pirapitinga.

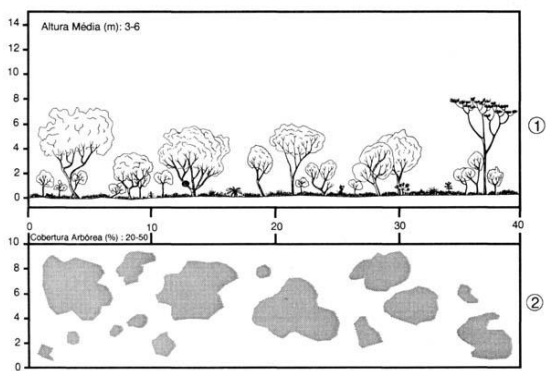


Figura 11. Perfil da vegetação da fitofisionomia de Cerrado Típico. Adaptado da Agência de informações da Embrapa, Bioma Cerrado (<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/>).



Figura 12. Vista externa da fitofisionomia de Cerradão da Estação Ecológica de Pirapitinga.



Figura 13. Vista interna da fitofisionomia de Cerradão da Estação Ecológica de Pirapitinga.

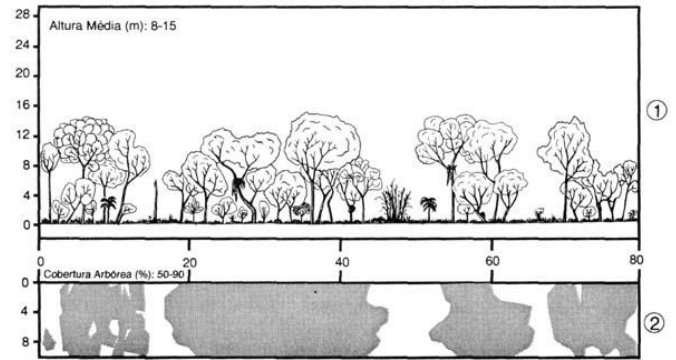


Figura 14. Perfil da vegetação da fitofisionomia de Cerradão. Adaptado da Agência de informações da Embrapa, Bioma Cerrado (<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/>).



Figura 15. Vista externa da formação florestal de Mata Seca Sempre-Verde da Estação Ecológica de Pirapitinga.



Figura 16. Vista interna da formação florestal de Mata Seca Sempre-Verde da Estação Ecológica de Pirapitinga.

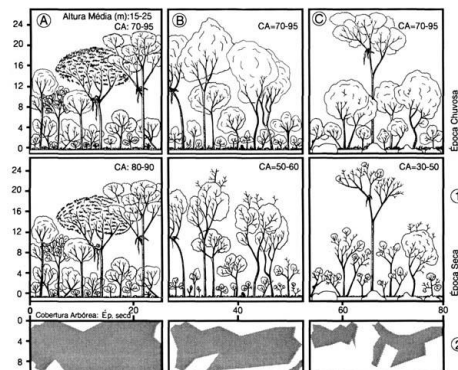


Figura 17. Perfil da vegetação da fitofisionomia de Mata Seca Sempre-Verde. Adaptado da Agência de informações da Embrapa, Bioma Cerrado (<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/>).

#### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, B. J. R.; OLIVEIRA, O. C.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. Métodos isotópicos. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais & subtropicais**. Porto Alegre: Ed. Metrópole, 2008, 654 p.

ANHOLETTO JÚNIOR, C. R. **Dendrocronologia e composição isotópica ( $\delta^{13}\text{C}$ ) dos anéis de crescimento de árvores de *Cedrela odorata*, Meliaceae, na Caatinga e na Mata Atlântica do Estado de Sergipe, Brasil**. 90f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de produtos florestais) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas - Aplicadas na agricultura**. Brasília: Embrapa SPI/Embrapa, 2 ed., 1998, 434 p.

AZEVEDO, L.G.; BABOSA, A. A. A.; BEDRETSCHUK, A. C.; OLIVEIRA, A. L. C.; GORGONIO, A. S.; SIQUEIRA, F. B.; RIZZO, H. G.; SILVA, I. S.; L. C. MOURA, ARAUJO FILHO, M.; SANTOS, R. V. **Ensaio Metodológico de Identificação e Avaliação de Unidades Ambientais: a Estação Ecológica de Pirapitinga, MG**. Belo Horizonte: Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, Embrapa, 1987, 58 p.

BAI, E.; BOUTTON, T. W.; WU, X. B.; LIU F.; ARCHER, S. R. Landscape-scale vegetation dynamics inferred from spatial pattern of soil  $\delta^{13}\text{C}$  in a subtropical savanna parkland. **Journal of geophysical research**, v. 114, p. 1-10, 2009.

BASTIAANSEN, W. G. M. **Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain**. 273f. Tese (Doutorado) - Wageningen Agricultural University, Wageningen, 1995.

BERNOUX, M.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; GERALDES, A. P. A.; FERNANDES, S. A. P. Soil carbon and nitrogen of a pasture-forest chronosequence in Paragominas, Pará, Brazil. *Scientia Agrícola*, v. 56, n. 1-11, 1999.

BITENCOURT, M. D.; MESQUITA Jr. H. N.; MANTOVANI, W.; BATALHA, M. A.; PIVELLO, V. R. Identificação de fisionomias de Cerrado com imagem índice de vegetação. In: LEITE, L. L.; SAITO, C. H. **Contribuição ao conhecimento ecológico do Cerrado**. Brasília: Ed. Universidade de Brasília, 1997, 316-320 p.

BUCHWAL, A. Dendrogeomorphological records of trail erosion. **Tree Ring in Archaeology, Climatology and Ecology**, v. 7, p. 166-170, 2008.

BUSTAMANTE, M. M. C.; MARTINELLI, L. A.; SILVA, D. A.; CAMARGO, P. B.; KLINK, C. A. DOMINGUES, T. F.; SANTOS, R. V.  $^{15}\text{N}$  natural abundance in woody plants and soils of central Brazilian savannas (Cerrado). **Ecological Applications**, v. 14, p. 200-213, 2004.

BUTLER, D. R.; SAWYER, C. F. Dendrogeomorphology and high-magnitude snow avalanches: a review and case study. **Natural Hazards Earth System Sciences**, v. 8, 303-309, 2008.

CALLADO, C. H.; VASCONCELLOS, T. J.; COSTA, M. S.; BARROS, C. F.; ROIG, F. A.; TOMAZELLO FILHO, M. Studies on cambial activity: advances and challenges in the knowledge of growth dynamics of Brazilian woody species. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 86, n. 1, p. 277-283, 2014.

CALLADO, C. H.; NETO, S. J. S.; SCARANO, F. R.; COSTA, C. G. Periodicity of growth rings in some flood-prone trees of the Atlantic Rain Forest in Rio de Janeiro, Brazil. **Trees**, v. 15, p. 492-497, 2001.

CARVALHO JÚNIOR O. A.; SAMPAIO C. S.; SILVA N. C.; JÚNIOR A. F. C.; GOMES R. A. T.; CARVALHO A. P. F.; SHIMABUKURO Y. E. Classificação de padrões de savana usando assinaturas temporais NDVI do sensor MODIS no Parque Nacional Chapada dos Veadeiros. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 26, p. 505-517, 2008.

CERRI, C. C.; FELLER, C.; BALESSENT, J.; VITÓRIA, R. L.; PLENECASSAGNE, A. Application du traçage isotopique naturel en  $^{13}\text{C}$ , à l'étude de la dynamique de la matière organique dans les sols. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris**, Paris, v. 9, p. 423-428, 1985.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 41, p. 2674-2677, 2003.

CREMON, C.; MAPELI, N. C.; FRANCO, P. P.; SILVA, W. M. Atributos do solo em diferentes fitofisionomias do Cerrado Mato-grossense. **Agrarian**, v. 2, n. 6, p. 47-59, 2009

DOUGLASS, A. E. Weather cycles in the growth of big trees. **Monthly Weather Review**, v. 37, n. 5, p. 225-237, 1909.

DURIGAN, G.; RATTER, J. A. Successional changes in Cerrado and Cerrado/Forest ecotonal vegetation in western Sao Paulo State, Brazil, 1962–2000. **Edinburgh Journal of Botany**, v. 63, p. 119-130, 2006.

DANTAS, H. G. R.; LIMA, H. C.; BOHRER, C. B. A. Mapeamento da vegetação e da paisagem do município de armação dos Búzios, Rio de Janeiro, Brasil. **Rodriguésia**, v. 60, n. 1, p. 025-038, 2009.

EITEN, G. **Vegetação natural do Distrito Federal**. Brasília: Universidade de Brasília/SEBRAE, 2001, 162 p.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2 ed. 2006, 306 p.

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, p. 1837-1860, 2004.

FERREIRA L. G.; YOSHIOKA H.; HUETE A.; SANO E. E. Optical characterization of the Brazilian Savanna physiognomies for improved land cover monitoring of the Cerrado biome: preliminary assessments for an airborne campaign over an LBA core site. **Journal of Arid Environments**, v. 56, p. 425-447, 2004.

FERREIRA, M. E.; FERREIRA, L. G.; HUETE A. R.; PECCININI A. A. Análise comparativa dos produtos MODIS Ecologia para o monitoramento biofísico ambiental do Bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 24, p. 251-260, 2006.

FELFILI, J. M.; REZENDE, A. V.; SILVA-JUNIOR, M. C.; SILVA, M. A. Changes in floristic composition of cerrado sensu stricto in Brazil over a nine year period. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 16, n. 4, p. 579-590, 2000.

FELFILI, J. M.; NOGUEIRA, P. E.; SILVA JÚNIOR, M. C.; MARIMON, B. S.; DELITTI, W. B. C. Composição florística e fitossociologia do cerrado sentido restrito no município de Água Boa, MT. **Acta Botanica Brasilica**, v. 16, n. 1, p. 103-112. 2002.

FLORENZANO. T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de textos, 2002, 97 p.

FRANCISQUINI, M. I.; LIMA, C. M.; PESSENDA, L. C. R.; ROSSETTI, D. F.; FRANÇA, M. C.; COHEN, M. C. L. Relation between carbon isotopes of plants and soils on Marajó Island, a large tropical island: Implications for interpretation of modern and past vegetation dynamics in the Amazon region. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 415c, p. 91-104, 2014.

FREITAS L.; CASAGRANDE J. C.; OLIVEIRA V. M. R.; OLIVEIRA I. A.; MORETI T. C. F. Avaliação de atributos químicos e físicos de solos com diferentes texturas sob vegetação nativa. **Enciclopédia biosfera**, v. 10, n. 19, p. 523-534, 2014.

FRITTS, H. C. **Tree rings and climate**. New York: Academic Press, 1976, 567 p.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica / Período 2000 - 2005**. São Paulo, 2008.

GIÁCOMO R.G. **Fitossociologia, aporte de serapilheira, estoques de carbono e nitrogênio em diferentes formações vegetais na Estação Ecológica de Pirapitinga – MG**. 144 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2009.

GIÁCOMO, R. G.; CARVALHO, D. C.; PEREIRA, M. G.; SOUZA, A. B.; GAUI, T. D. Florística e fitossociologia em áreas de Campo Sujo e Cerrado Sensu Stricto na Estação Ecológica de Pirapitinga – MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 1, p. 29-43, 2013.

GIÁCOMO, R. G.; PEREIRA, M. G.; CARVALHO, D. C.; MEDEIROS, V. S.; GAUI, T. D. Florística e fitossociologia em áreas de Cerradão e Mata Mesofítica na Estação Ecológica de Pirapitinga, MG. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 22, n. 3, p. 287-298, 2015.

GONÇALVES, G. V. **Dendrocronologia**: princípios teóricos, problemas práticos e aplicabilidade. Évora: CIDEHUS - Universidade de Évora, 2007, 16 p.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n.2, p. 909-920. 2012.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Carbono, nitrogênio e abundância natural de  $^{13}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}$  em uma cronossequência de agricultura sob plantio direto no Cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, p. 1135-1142, 2014.

IAWA COMMITTEE. List of microscopic features for hardwood identification. **IAWA bulletin**, v. 10, n. 3, p. 219-332, 1989.

IAWA COMMITTEE. **Dendrochronology in Monsoon Asia**. **IAWA Journal**, v. 20, n. 3, p. 223-350, 1999.

LIESENBERG, V.; GALVÃO, L. S.; PONZONI, F. J. Variations in reflectance with seasonality and viewing geometry: implications for classification of Brazilian savanna physiognomies with MISR/ Terra data. **Remote Sensing of Environment**, v. 107, p.276-286, 2007a.

LIESENBERG, V.; PONZONI, F. J.; GALVÃO, L. S. Análise da dinâmica sazonal e separabilidade espectral de algumas fitofisionomias do Cerrado com Índices de Vegetação dos sensores Modis/Terra e Aqua. **Revista Árvore**, v. 31, p. 295-305, 2007b.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Abundância natural de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  em sistemas de manejo conservacionista no cerrado. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 3, p. 604-615, 2014.

MARCATI, C. R.; OLIVEIRA, J. S.; MACHADO, S. R. Growth rings in cerrado woody species: occurrence and anatomical markers. **Biota Neotropica**, v. 6, n. 3, 2006.

MENDONÇA, R. C.; FELFILI, J. M.; WALTER, B. M. T.; SILVA JÚNIOR, M. C.; REZENDE, A. V.; FILGUEIRAS, T. S.; NOGUEIRA, P. E. Flora Vascular do Cerrado. In: S. M. SANO & S. P. ALMEIDA. **Cerrado: ambiente e flora**. Brasília: EMBRAPA-CPAC, 2008, 1279 p.



- METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagens?. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 1, n.1/2, p. 1-9, 2001.
- MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. Brasília: EMBRAPA, 2010, 425 p.
- MYEONG, S.; NOWAK, D. J.; DUGGIN, M. J. A temporal analysis of urban forest carbon storage using remote sensing. **Remote Sensing of Environment**, v. 101, p. 277-282, 2006.
- MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A; MITTERMEIER, C.G.; FONSECA, G.A.B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-858, 2000.
- PALERMO, G. P. M.; LATORRACA, J. V. F.; ABREU, H. S. Métodos e técnicas de diagnose de identificação dos anéis de crescimento de árvores tropicais. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 9, n. 1, p. 165-175, 2002.
- PEREZ-RODRIGUES. R.; MARQUES M. J.; BIENES R. Use of dendrochronological method in *Pinus halepensis* to estimate the soil erosion in the south east of Madrid (Spain). **Science of the Total Environment**, v. 378, p. 156-160, 2007.
- PESSENDA, L. C. R.; GOMES, B. M.; ARAVENA, R.; RIBEIRO, A. S.; BOULET, R.; GOUVEIA, S. E. M. The carbon isotope record in soils along a forest-cerrado ecosystems transect: implications for vegetation changes in the Rondônia state, Southwestern Brazilian Amazon region. **The Holocene**, v. 8, p. 599-603, 1998.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2010.
- RASPOPOV, O. M.; DERGACHEV, V. A.; KOLSTRÖM, T. Hale cyclicity of solar activity and its relation to climate variability. **Journal Solar Physics**. v. 224, n. 1-2, p. 455-463, 2004.
- RESENDE, T. M.; MORAES, R. M.; FRANCO, F. O.; ARRUDA, E. M.; ARAÚJO, J. R.; SANTOS, D. S.; BORGES E. M.; RIBEIRO B. T. Avaliação física do solo em áreas sob diferentes usos com adição de dejetos animais no bioma Cerrado. **Bioscience Journal**, v. 28 (suplemento 1), p. 179-184, 2012.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M; ALMEIDA, S. P; RIBEIRO, J. F. **Cerrado - Ecologia e flora**. Brasília: Ed. Embrapa, 2008, 406 p.
- ROUSE, J. W.; HAAS R. H.; SCHELL J. A.; DEERING D. W. 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. 1973. **Third ERTS Symposium**, NASA, pp. 309-317.
- ROZENDAAL, D. M. A.; ZUIDEMA, P. A. Dendroecology in the tropics: a review. **Trees**, v. 25, p. 3-16, 2011.

RUBINO, D.L.; MCCARTHY, B.C. Comparative analysis of dendroecological methods used to assess disturbance events. **Dendrochronologia**, v. 21, p. 97-115, 2004.

RUGGIERO, P. G. C.; BATALHA, M. A.; PIVELLO, V. R.; MEIRELLES, S. T. Soil vegetation relationships in cerrado (Brazilian Savanna) and semideciduous forest, Southeastern Brazil. **Plant Ecology**, n.160, p. 1-16, 2002.

RUGGIERO, P. G. C.; PIVELLO, V. R.; SPAROVEK, G.; TERAMOTO, E.; PIRES NETO, A. G. Relação entre solo, vegetação e topografia em área de cerrado (Parque Estadual de Vassununga-SP): como se expressa em mapeamentos? **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, n. 2, p. 383- 394, 2006.

SASS-KLAASSEN, U.; COURALET, C.; SAHLE, Y.; STERCK, F.J. Juniper from Ethiopia contains a large-scale precipitation signal. **International Journal of Plant Sciences**, v. 169, p. 1057-1065, 2008.

SASS-KLAASSEN, U.; COURALET, C.; SAHLE, Y.; STERCK, F.J. Juniper from Ethiopia contains a large-scale precipitation signal. **International Journal of Plant Sciences**, v. 169, p. 1057-1065, 2008.

SALIMON, C. I.; WADT, P. G. S.; MELO, A. W. F. Dinâmica do carbono na conversão de florestas para pastagens em Argissolos da Formação Geológica Solimões, no Sudoeste da Amazônia. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 7, p. 29-38, 2007.

SANO, E. E.; FERREIRA, L. G.; HUETE, A. R. Synthetic Aperture Radar (L-band) and optical vegetation indices for discriminating the Brazilian savanna physiognomies: a comparative analysis. **Earth Interactions**, v. 9, p. 1-15, 2005.

SMALL, C. J.; MCCARTHY, B. C. Spatial and temporal variability of herbaceous vegetation in an eastern deciduous forest. **Plant Ecology**, p. 37-48, 2002.

SILVA, L. C. R.; STERNBERG L.; MUNDAYATAN, H.; HOFFMANN, W. A.; MIRALLES-WILHELM, F.; FRANCO, A. C. Expansion of gallery forests into central Brazilian savanas. **Global Change Biology**, v. 14, p. 2108-2118, 2008.

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. C.; SCOPEL, E.; COSTA JUNIOR, C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, n. 4, p. 709-717, 2009.

SKORUPA, A. L. A.; GUILHERME, L. R. G.; CURI, N.; SILVA, C. P. C.; SCOLFORO, J. R. S.; SÁ, J. J. G. M. M. Propriedades de solos sob vegetação nativa em Minas Gerais: distribuição por fitofisionomia, hidrografia e variabilidade espacial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 1, p. 11-22, 2012.

SOUTHWORT, J.; RIG, L.; GIBBE, C.; WAYLE, P.; ZH, L.; MCCARRAGHE, S.; LIN C. Integrating dendrochronology, climate and satellite remote sensing to better understand savanna landscape dynamics in the Okavango Delta, Botswana. **Land**, v. 2, p. 637-655, 2013.

STOKES, M. A.; SMILEY, T. C. **An Introduction to Tree-Ring Dating**. Tucson: The University of Arizona Press, 1996, 73 p.

THERRELL, M. D.; STAHLER, D. W.; RIES, L. P.; SHUGART, H. H. Tree-ring reconstructed rainfall variability in Zimbabwe. **Climate Dynamics**, v. 26, p. 677-685, 2006.

TOMAZELLO FILHO, M.; BOTOSSO, P. C.; LISI, C. S. Análise e aplicação dos anéis de crescimento das árvores como indicadores ambientais: dendrocronologia e dendroclimatologia. In: MAIA, N. B.; MARTINHOS, H. L.; BARBARELLA, W. **Indicadores ambientais: conceitos e aplicações**. São Paulo: EDUC, COMPED, INEP, 2001, p. 117-143.

TOMAZELLO FILHO, M.; ROIG, F.; ZEVALLOS, P. Dendrocronologia y dendroecología tropical: Marco histórico y experiencias exitosas em los países de América Latina. *Ecología em Bolivia*. **La Paz**, v. 44, n. 2, p. 73-82, 2009.

TURNER, M. G. Spatial and temporal analysis of landscape patterns. **Landscape Ecology**, v. 4, n. 1, p. 21-30, 1990.

VIBRANS A. C, SCHRAMM V. F. Perfil temporal de EVI/NDVI na bacia hidrográfica do rio Itajaí em Santa Catarina. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 1999, Natal; **Anais**. Natal: INPE, 2009.

VICTORIA, R. L.; FERNANDES, F.; MARTINELLI, L. A.; PICCOLO, M. C.; CAMARGO, P. B.; TRUMBORE, S. Past vegetation changes in the Brazilian Pantanal arboreal-grassy savanna ecotone by using carbon isotopes in the soil organic matter. **Global Change Biology**, v. 1, n. 3, p. 165-171, 1995.

WORBES, M.; STASCHEL, R.; ROLOFF, A.; JUNK, W. M. Tree rings analysis reveals age structure, dynamics and wood production of a natural forest stand in Cameroon. **Forest Ecology and Management**, v. 173, p. 105-123, 2003.

ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESECK, D. V. S. Texture and organic carbon relations described by a profile pedotransfer function for Brazilian Cerrado soils. **Geoderma**, v. 127, n. 4, p. 168-173. 2005

**CAPITULO I: Dinâmica da vegetação de uma ilha fluvial do bioma cerrado a partir de imagens orbitais**

## RESUMO

O uso das ferramentas da geotecnologia é indispensável para a detecção, avaliação e monitoramento espacial e temporal dos problemas relacionados ao meio ambiente. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar a dinâmica da paisagem de uma ilha fluvial na Estação Ecológica de Pirapitinga (EEP). Para isso foram gerados valores de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) para as imagens Landsat 1 (1973) e Landsat 5 (1984, 1990, 2000 e 2011). Posteriormente, o NDVI de 2011 foi classificado pelo método supervisionado da Máxima Verossimilhança, enquanto as outras imagens foram classificadas pelo ISODATA. Foram abordadas cinco Unidades de paisagem (Up) identificadas em campo na EEP: Solo exposto, Campo Sujo Seco, Cerrado Típico, Cerradão e Mata Seca Sempre-Verde. As áreas das Up e valores de NDVI apresentam diferenças significativas durante o período analisado. Somente as Up Cerradão e Mata Seca Sempre-Verde não apresentaram boa matriz de separabilidade espectral (1524), sendo denominada então de Complexo florestal. As modificações ao longo do tempo ocorreram para todas as Up, com a diminuição das áreas de Solo exposto ( $-2,56 \text{ ha ano}^{-1}$ ), Campo Sujo Seco ( $-0,66 \text{ ha ano}^{-1}$ ) e Cerrado Típico ( $-0,94 \text{ ha ano}^{-1}$ ) e o aumento Complexo florestal ( $5,97 \text{ ha ano}^{-1}$ ). Com esses resultados é possível assumir que, no decorrer do tempo, houve evolução de determinadas Up para outras de maior volume de biomassa vegetal na EEP obedecendo a seguinte sequência: Solo exposto < Campo Sujo Seco < Cerrado Típico < Complexo florestal. Portanto, o método empregado neste estudo é eficaz na classificação e avaliação da dinâmica das Up ao longo do tempo.

**Palavras chave:** Sensoriamento Remoto, monitoramento ambiental, índice de vegetação.

## ABSTRACT

The geographic information systems are essential tools for the monitoring and evaluate spatial-temporal problems related to the environment. Therefore, the aim of this study was to evaluate the dynamics of the landscape at a river island of Pirapitinga Ecological Station (EEP). For this, were generated values of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) for Landsat images (1973, 1984, 1990 2000 and 2011). Later the NDVI images of 2011 was classified by the Maximum Likelihood method, while the others were classified by the ISODATA. Were approached five Landscape units (Up) identified in the field of EEP: Exposed soil, Campo Sujo Seco, Cerrado Típico, Cerradão and Mata Seca Sempre-Verde. The areas of Up and NDVI values differ significantly during the period analyzed. Only Cerradão and Mata Seca Sempre-Verde did not obtain good spectral separation (1524), being called Forest complex. Overall, the modifications over time occurred for all Up, with the decline of areas Exposed soil ( $-2.56 \text{ ha ano}^{-1}$ ), Campo Sujo Seco ( $-0.66 \text{ ha ano}^{-1}$ ) and Cerrado Típico ( $-0.94 \text{ ha ano}^{-1}$ ) and increasing Forest complex ( $5.97 \text{ ha ano}^{-1}$ ). With these results it is possible to assume that, over time, there was an increase of certain Up to others with higher volume of vegetation biomass in the EEP: Exposed soil < Campo Sujo Seco < Cerrado Típico < Forest complex. Therefore, the method used in this study is effective in classifying and assessing the dynamics of the landscape units over time.

**Keywords:** Remote sensing, environmental monitoring, vegetation index.

## 1. INTRODUÇÃO

As ações antrópicas geralmente provocam alterações ao meio ambiente, e têm ocasionado formas distintas de impacto aos ecossistemas, em especial às florestas, influenciando as variações do clima, as trocas energéticas e de massas entre o solo e a atmosfera (LAMBIN et al., 2001). A conscientização dessas mudanças vem crescendo e uma série de estudos desenvolvidos com objetivo de detectar, bem como quantificar o grau destas alterações (FERREIRA; HUETE, 2004; FERREIRA et al., 2004; SANO et al., 2005; FERREIRA et al., 2006; LIESENBERG et al., 2007a, 2007b; CARVALHO JÚNIOR et al., 2008). Na atualidade os sistemas e produtos geotecnológicos constituem ferramentas indispensáveis para a detecção, avaliação e monitoramento espacial e temporal dos problemas relacionados ao meio ambiente (PONZONI; SHIMABUKURO, 2009). Tal fato se deve à integração e sobreposição de diferentes dados e escalas, pelos SIG, facilitando a tomada de decisões e reorientações, quando necessárias, de políticas de uso e ocupação do solo (DURIGAN; RATTER, 2006; SÁ et al., 2008).

Dentre as geotecnologias empregadas para identificação e avaliação de mudanças na estrutura, fisionomia e dinâmica da cobertura vegetal entre diferentes datas destaca-se a detecção de mudança espectral a partir do emprego de Índices de Vegetação (IV). O Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) é um dos IV mais utilizado nos estudos relacionados à cobertura vegetal, visto que o mesmo permite avaliar as condições da vegetação e sua respectiva mudança espaço-temporal (SÁ et al., 2008). A partir dos valores do NDVI é possível ainda obter a classificação das classes de vegetação e da paisagem de uma determinada região, inclusive as do Bioma Cerrado (CARVALHO JÚNIOR et al., 2008).

Neste contexto de mudanças espaciais e distribuição da vegetação se apresenta a Estação Ecológica de Pirapitinga (EEP). Esta Unidade de Conservação foi criada (1975) como medida compensatória pelo enchimento do reservatório da Usina Hidroelétrica de Três Marias (UHT), em 1962. De acordo com relatos históricos da região, poucos anos após o enchimento do reservatório da UHT ocorreram mudanças significativas da paisagem local, especialmente onde se localiza a EEP. Um dos primeiros relatos sobre as mudanças ocorridas na EEP foi o aparecimento de uma nova fitofisionomia de porte florestal que, no decorrer dos anos, vem se estabelecendo em locais onde está não era observada.

Desta forma, esta pesquisa foi baseada na hipótese que após o enchimento da barragem de Três Marias ocorreram diversas mudanças na paisagem da EEP. Portanto, este estudo teve como objetivo classificar as classes de cobertura do solo e avaliar a dinâmica espaço-temporal (1973 a 2011) das mesmas na EEP com o emprego do NDVI.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.4 Escolha e caracterização das Unidades de paisagem

Foram selecionadas cinco Unidades de paisagem (Up) identificadas em campo na EEP (GIÁCOMO, 2009). A Up “Solo exposto” não apresenta sem cobertura vegetal, enquanto as outras são fisionomias vegetais específicas do Cerrado *sentido amplo* como o “Campo Sujo Seco”, “Cerradão”, “Cerrado Típico” e “Mata Seca Sempre-Verde”.

Devido à oscilação do nível da água do reservatório da UHT, a ilha onde a EEP foi estabelecida adquire áreas e feições diferentes no decorrer do ano e entre estes. Por este motivo,

para as avaliações espaço-temporais, foi estabelecido o limite da EEP quando a cota máxima da UHT é atingida (Figura 1).

O “Solo exposto” faz parte da paisagem que não apresenta desenvolvimento vegetal. Na EEP essa UP está inserida numa matriz de “Campo Sujo Seco” e concentrada em áreas de Cambissolo Háplico. Entretanto o “Solo exposto” também aparece nas margens da EEP quando o Reservatório da UHT está mais vazio. No entanto, para este estudo, foi considerado somente o “Solo exposto” inserido nos limites da EEP.

## 2.5 Aquisição, processamento e análises dos dados

Foram utilizadas imagens dos satélites Landsat 1 (MSS) e Landsat 5 (TM) adquiridas gratuitamente no catálogo eletrônico de imagens do Instituto Nacional de Meteorologia de Pesquisas Espaciais (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>) (Tabela 2). Após a aquisição das imagens com sensor Thematic Mapper (TM) foram realizadas etapas de calibração radiométrica e refletividade pelo método proposto por CHANDER; MARKHAM (2003) utilizando os algoritmos do SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land), proposto por BASTIAANSEN (1995) (Figura 18). Não foram feitas estas etapas para a imagem de 1973 devido às limitações do sensor Multispectral Scanner Subsystem (MSS). Todas as etapas de processamento das imagens, foram desenvolvidas nos softwares Erdas Imagine 2014 e ArcGis 10.2.

Tabela 2. Imagens utilizadas para a classificação não supervisionada das unidades de paisagem na Estação Ecológica de Pirapitinga, MG.

Data	Satélite/Sensor	Ponto	Órbita	Resolução espacial (m)
30/07/1973	Landsat 1/ MSS	73	235	80
15/07/1984	Landsat 5/ TM	73	219	30
18/09/1990	Landsat 5/ TM	73	219	30
15/10/2000	Landsat 5/ TM	73	219	30
28/09/2011	Landsat 5/ TM	73	219	30

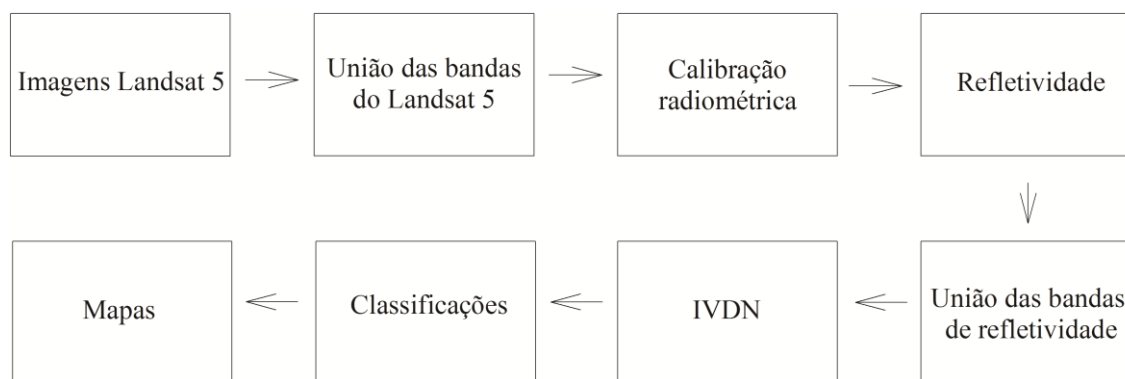


Figura 18. Fluxograma do sistema de processamento das imagens do sensor TM.



Após as etapas de correções das imagens, estas foram processadas novamente para o cálculo do Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) proposto por ROUSE *et al.* (1973). Este índice é obtido a partir das informações espectrais contidas nas bandas TM-3 (vermelho) e TM-4 (infravermelho próximo) do TM-Landsat 5 (Equação 1). 
$$NDVI = \frac{TM-4 - TM-3}{TM-4 + TM-3} \quad (1)$$

Após o cálculo dos NDVI das imagens, estas foram submetidas aos classificadores. Para a imagem mais atual (2011) foi utilizado o método de classificação supervisionada por Máxima Verossimilhança, pois este ano foi considerado como o controle, além das coletas de pontos referenciais das fitofisionomias no campo. Por não apresentarem pontos de referência no campo, as imagens mais antigas foram classificadas pelo método ISODATA. Os pontos foram obtidos pelo aparelho de Global Position System da marca Garmim modelo 76csx.

O método de classificação supervisionada por Máxima Verossimilhança segue alguns procedimentos para a sua eficácia, sendo um deles a separabilidade de classes (Tabela 3). Para avaliação da separabilidade foi empregado o método da Divergência Transformada, originando uma matriz de separabilidade entre pontos de referência. Além disso, também foi realizado índice Kappa (K) pela equação desenvolvida por LANDIS; KOCH (1977) descrita abaixo:

$$k = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r (X_{i+} * X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (X_{i+} * X_{+i})} \quad (2)$$

em que, K= índice de exatidão Kappa; r = número de linhas da

matriz;  $X_{ii}$  = número de observações na linha i e coluna i;  $X_{i+}$  e  $X_{+i}$  = totais marginais da linha i e coluna i, respectivamente; N = número total de observações. Esse procedimento foi realizado para avaliar a eficácia e a acurácia da classificação supervisionada (Tabela 4). Para avaliação da acurácia da classificação foram criados 47 pontos aleatórios sobre a imagem previamente classificada, permitindo a verificação entre a assinatura espectral dos pixels e as classes correspondentes (ERDAS IMAGINE 2014). A verificação da verdade de campo em relação aos pontos criados foi detectada *in loco* pelos autores na base World Geodetic System 84 na projeção Universal Transversa de Mercator.

Tabela 3. Escala de separabilidade das classes da área de estudo pelo método da divergência transformada.

Escala de separabilidade	Qualidade
2000	Excelente
1700 a 1900	Razoável
≤ 1700	Ruim

Tabela 4. Intervalos de classificação da acurácia conforme o valor do Índice Kappa.

Índice Kappa	Qualidade
K= 0,2	Ruim
0,2 < K = 0,4	Razoável
0,4 < K = 0,6	Bom
0,6 < K = 0,8	Muito bom
K = 0,8	Excelente

Para a determinação das áreas ocupadas por cada Up nos anos 1973, 1984, 1990 e 2000, foi utilizado o método de classificação não supervisionada por ISODATA. Este procedimento distribui classes espectrais de maneira uniforme no espaço para, em seguida, aglomerar classe por classe, em um processo iterativo (repetitivo). Para este trabalho foram definidas cinco classes e a semelhança de pixels com 10 interações.

Os dados de NDVI e Up não apresentaram repetições, por este motivo foi utilizado o teste não paramétrico de qui-quadrado (ZAR, 1999) a 5 % de probabilidade para a avaliação das diferenças entre as Up e NDVI da EEP nos anos. Para verificar a relação entre os NDVI e a dinâmica das áreas absolutas das Up foi utilizado a correlação de Spearman a 1 % e 5 % de probabilidade.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da identificação da assinatura espectral de cada Up para o ano de 2011 foi possível calcular a separabilidade entre elas (Tabela 5). Quanto mais bem definidas as Up, do ponto de vista de sua diferenciação espectral, melhor será a classificação supervisionada (SCHRAMM; VIBRANS, 2007).

Tabela 5. Matriz de separabilidade da divergência transformada das Unidades de paisagem da

Unidades de paisagem	1	2	3	4	5
1- Solo exposto	0				
2- Campo Sujo Seco	1516,54	0			
3- Cerrado Típico	1854,13	1854,13	0		
4- Cerradão	1987,37	1988,11	1987,34	0	
5- Mata Seca Sempre-Verde	1997,11	1991,98	1997,55	1523,87	0

No geral, a Up que apresentou uma melhor separação em relação as demais foi a de Solo exposto. No entanto, observa-se que o Campo Sujo Seco e Solo exposto apresentaram baixos valores de separabilidade (Tabela 5), não indicando uma boa classificação. Provavelmente, esses valores ocorreram devido à baixa densidade de dossel vegetativo da fitofisionomia de Campo Sujo Seco, expondo assim, o solo, propiciando uma classificação errada.

Em geral quando ocorrem baixos valores de separabilidade é conveniente agrupar as amostras que pertencem à mesma classe (BITENCOURT et al. 1997; LIESENBERG et al.,

2007a, b). Entretanto, a baixa separabilidade encontrada no presente trabalho entre essas duas Up não impediu uma boa separação visual mostrada pelo mapa de cobertura do solo e confirmada em campo.

O Cerradão e a Mata Seca Sempre-Verde também não apresentaram uma boa separação espectral pelo método de divergência transformada (Tabela 5). A pouca separabilidade destas Up (Cerradão e Mata Seca Sempre-Verde) provavelmente ocorreu devido à similaridade florística e estrutural entre estas duas formações vegetais (Tabela 1), aumentando assim, a semelhança das respectivas assinaturas espectrais. Por este motivo estas duas Up foram agrupadas numa classe denominada de Complexo florestal e utilizada nas classificações não supervisionadas para os anos 1973, 1984, 1990 e 2000.

Estudando os valores de NDVI de fitofisionomias do Cerrado *Sentido Amplo* Bitencourt et al. (1997) também não observaram uma boa separação entre as classes de Cerradão e Mata Mesófila. Estes autores relatam que estas duas fitofisionomias possuem características bem semelhantes e, em função disso, não é possível a separação por classes de NDVI (NDVI= 0,45 a 0,56). Todavia os valores de NDVI para as outras Up da EEP encontram-se dentro da faixa determinada por Bitencourt et al. (1997) (Tabela 6).

Tabela 6. Amplitude do NDVI e Índice Kappa para as Unidades de paisagem da Estação

Unidades de paisagem	Amplitude do NDVI		Índice Kappa
	Mínimo	Máximo	
Solo Exposto	-0,0556	0,0250	0,7845
Campo Sujo Seco	0,0251	0,2055	0,6989
Cerrado Típico	0,2056	0,4243	0,8978
Cerradão	0,4244	0,6523	0,8089*
Mata Seca Sempre-Verde	0,4244	0,6523	

\*Valor do índice Kappa considerando as classes Cerrado Típico e Mata Seca Sempre-Verde

No geral, a acurácia das classes seguiu o mesmo padrão da separabilidade das mesmas: as classes que apresentaram separabilidade ruim também tiveram um Índice Kappa menor (Tabela 6). A separabilidade das Up Solo exposto e Campo Sujo Seco foram consideradas muito bom e, Cerrado Típico e Complexo florestal como excelente (Tabela 4). Esse padrão indicou que os pontos de controle gerados pelo software validaram a classificação elaborada pelo método da Máxima Verossimilhança.

O teste de qui-quadrado apresentou diferenças significativas para os valores de NDVI para todos os anos avaliados ( $\chi^2=17,68$ ; gl=5 e  $p < 0,005$ ). Esse padrão indica uma diferença da atividade fotossintética da vegetação entre os anos avaliados. Esses resultados são confirmados pela relação entre os valores de NDVI médio com os anos avaliados, que é positiva (Figura 19), ou seja, no decorrer do tempo estes valores aumentam. Isto sugere uma dinâmica das fitofisionomias da EEP onde, no decorrer do tempo, houve um incremento de biomassa das Up, passando de uma condição de dossel aberto para um mais fechado.

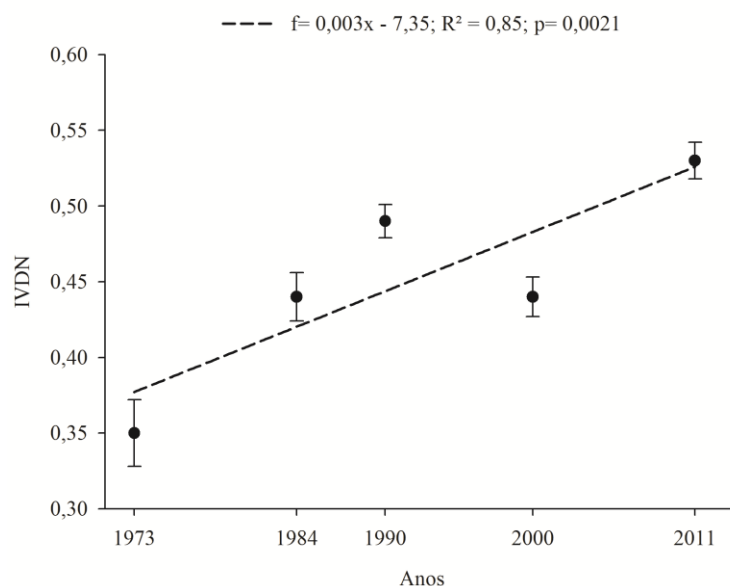


Figura 19. Evolução da média do NDVI ao longo do tempo na Estação Ecológica de Pirapitinga, MG.

As correlações entre o NDVI médio com a área das Up dos anos avaliados, no geral, se mostraram significativas (Tabela 7). O NDVI foi correlacionado negativamente com as Up Solo exposto e Campo Sujo Seco, enquanto para o Complexo florestal essa relação foi positiva (Tabela 7). Essa relação expressa que, com o passar dos anos, as Up Solo exposto e Campo Sujo Seco diminuíram enquanto o Complexo florestal aumentou juntamente com o NDVI médio para os respectivos anos.

Tabela 7. Correlação de Spearman da média do NDVI dos anos avaliados com as áreas absolutas

	1	2	3	4
1- Solo exposto	1			
2- Campo Sujo Seco	0,923*	1		
3- Cerrado Típico	0,652	0,564	1	
4- Complexo florestal	-0,823*	-0,782*	-0,587	1
NDVI	-0,747**	-0,680**	-0,596	0,827*

\*, \*\* Correlação de Spearman significativa a 1%, e 5% respectivamente.

No geral, as correlações entre as áreas absolutas das Up nos respectivos anos também se mostraram significativas (Tabela 7). O Complexo florestal se correlacionou significativamente negativo com as áreas de Solo exposto e Campo Sujo Seco (Tabela 7), ou seja, enquanto a primeira classe aumenta, as demais diminuem ao longo do tempo. A correlação entre o Solo exposto e Campo Sujo Seco se mostrou positiva e altamente significativa (Tabela 7), mostrando que estas Up têm sua área reduzida no transcorrer do tempo em função, provavelmente, pelo aumento da classe Complexo florestal.

Os resultados do mapeamento demonstram que durante o período analisado de 38 anos, houve alterações significativas nas coberturas vegetais da EEP ( $\chi^2=16,14$ ; gl= 4 e  $p < 0,0011$ ). No geral, as modificações ao longo do tempo ocorreram para todas as classes, com a diminuição das áreas de Solo exposto, Campo Sujo Seco e Cerrado Típico e o aumento Complexo florestal

(Tabela 8, Figuras 20 e 21). Estes resultados são ratificados pelos altos coeficientes de determinação para todas as Up (Tabela 7), demonstrando uma tendência de diminuição das classes Solo exposto, Campo Sujo Seco e Cerrado Típico e aumento Complexo florestal (Figuras 20 e 21).

Tabela 8. Área absoluta das Unidades de paisagem observados na Estação Ecológica de

Unidades de paisagem	Anos (ha)					Média (ha)	Cv (%)	Desvio Padrão
	1973	1984	1990	2000	2011			
Solo exposto	110,33	39,33	37,70	16,21	13,05	43,32	90,79	39,34
Campo Sujo Seco	213,81	200,23	208,79	213,66	176,69	202,64	7,66	15,52
Cerrado Típico	721,56	766,00	719,01	668,88	660,76	707,24	6,09	43,09
Complexo Florestal	136,80	176,94	217,00	283,75	332,00	229,30	34,45	79,00
Total			1.182,5					

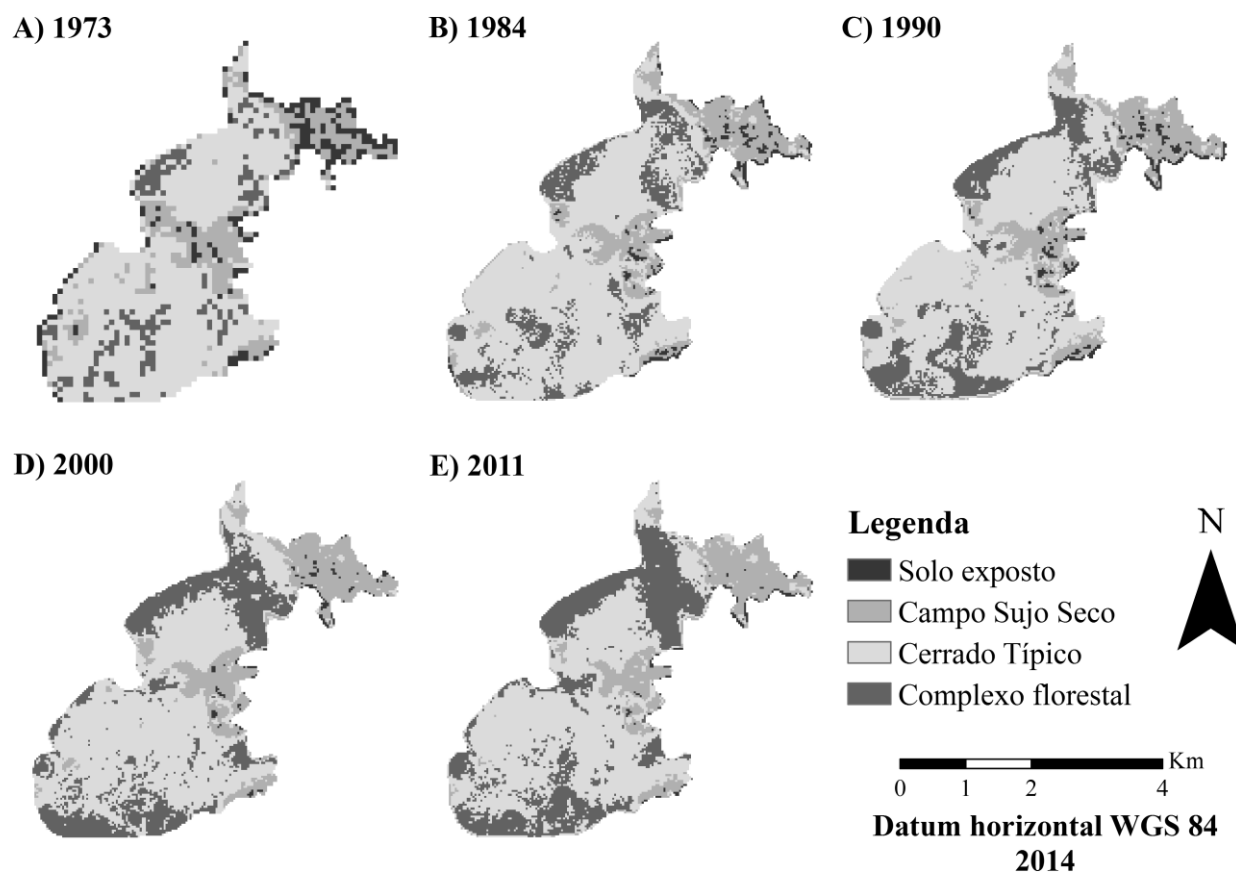


Figura 20. Evolução das Unidades de paisagem ao longo dos anos na Estação Ecológica de Pirapitinga, MG.

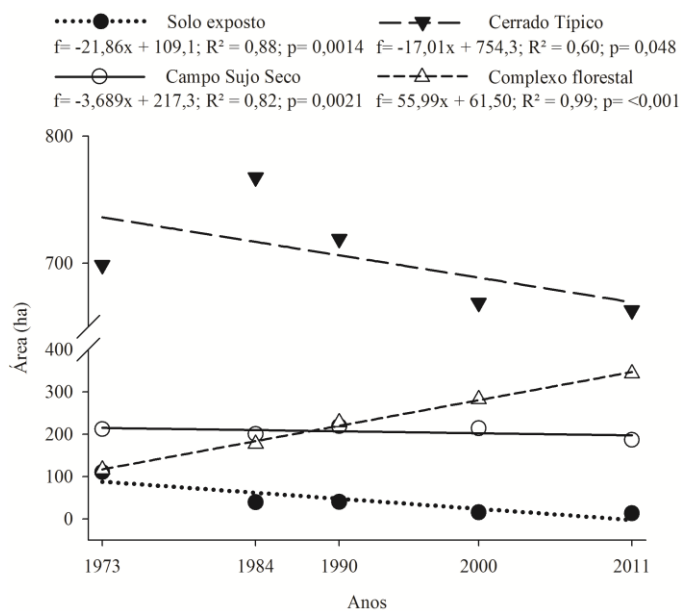


Figura 21. Evolução das Unidades de paisagem ao longo dos anos na Estação Ecológica de Pirapitinga, MG.

Proporcionalmente o Cerrado Típico é a maior Up em todos os anos avaliados da EEP. Em 1973 o Complexo florestal era a Up com menos representatividade, no entanto, foram necessários apenas 17 anos (1990) para passar para a segunda Up mais abundante. No início das avaliações (1973) o Solo exposto era a segunda Up em área absoluta, porém em apenas 11 anos, está passou para a quarta posição de representatividade (Figura 22).

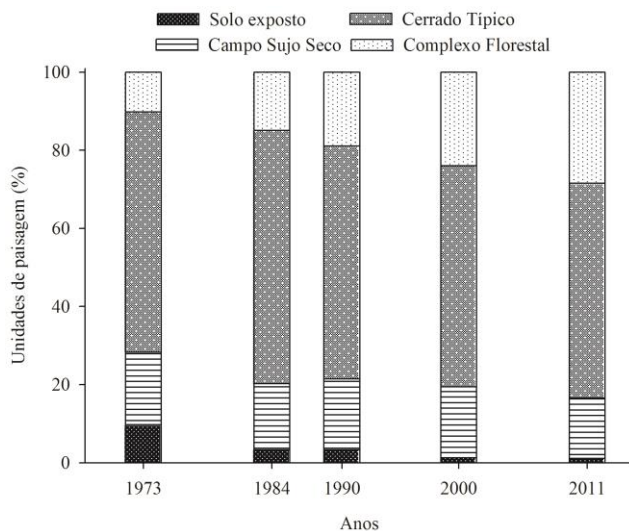


Figura 22. Áreas relativas das Unidades de paisagem nos respectivos anos na Estação Ecológica de Pirapitinga, MG.

No primeiro intervalo de ano analisado (1973-1984) foi observada a maior taxa de redução do Solo exposto (Figura 23). Este também foi o único período onde o Cerrado Típico apresentou incremento de área ( $6,1 \text{ ha ano}^{-1}$ ), apresentando decréscimo no decorrer do tempo (Figura 23). No intervalo subsequente (1984-1990) o Solo exposto e Campo Sujo Seco incrementaram suas áreas em  $0,2$  e  $3,1 \text{ ha ano}^{-1}$  respectivamente. A partir de 1990 estas Up se converteram em outras classes até o último ano analisado (Figura 23).

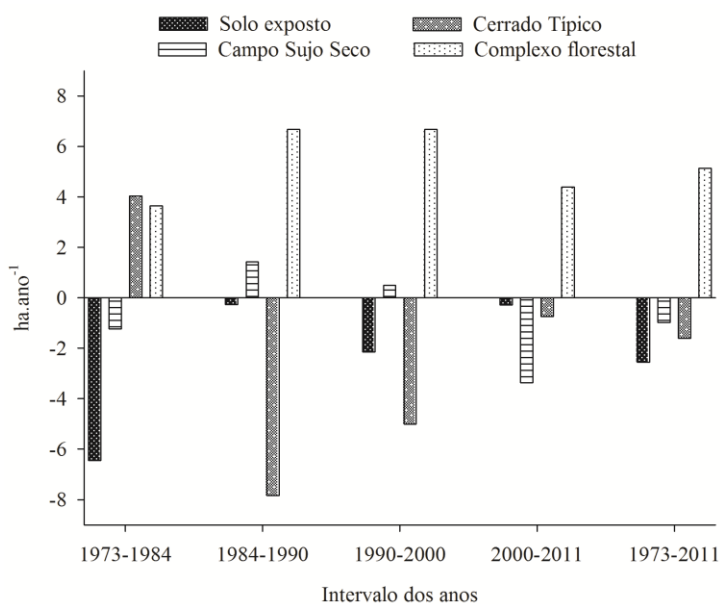


Figura 23. Taxa de conversão das áreas das Unidades de paisagem da Estação Ecológica de Pirapitinga, MG.

A Up Complexo florestal foi à única classe onde se observou um incremento em área durante o período avaliado. Durante os 38 analisados (1973-2011) foi possível perceber que o Complexo florestal apresentou uma taxa de incremento de aproximadamente  $6 \text{ ha ano}^{-1}$ , enquanto as outras Up vêm se convertendo em outras classes ao longo do tempo, porém, com menos intensidade (Figura 23). A maior taxa de conversão do Complexo florestal em relação às outras Up pode ser decorrente da melhor adaptação das fitofisionomias Mata Seca Sempre-Verde e Cerradão a ambientes mais úmidos da EEP.

O aumento do NDVI das fitofisionomias da EEP (Figura 19), no período de estudo, pode ser decorrente de uma maior proteção da área da EEP. Essas proteções consistiram na proibição da entrada de rebanhos e, principalmente, a prevenção e combate aos incêndios desde o ano de criação da Unidade de Conservação, em 1975.

Em um estudo semelhante combinando imagens satélites com fotografias aéreas no Cerrado de São Paulo, DURIGAN; RATTER (2006) mostraram uma rápida mudança sucessional ao longo de 38 anos. Áreas de Cerrado mais aberto foram substituídas por Cerrado mais fechado por estarem protegidas de degradações antrópicas como incêndios e criação de gado. Em 1962, os autores constataram que a área de estudo era constituída de 75 % de Cerrado Sentido Amplo, 16 % de Campo Cerrado e apenas 9 % de Cerradão. Em 1984, o Cerrado Sentido Amplo passou a ocupar 69% da área, o Campo Cerrado estava com 0,6 % e o Cerradão ocupava 30,4 %.

2000, o Cerradão já ocupava 68 % da área e em 2003 não havia mais Campo Cerrado. Essas transições não são necessariamente permanentes, sob novas alterações esse processo pode ser revertido. Se exposto ao fogo ou corte, as fisionomias mais fechadas podem ser revertidas às abertas e as espécies tolerantes à sombra perdem importância e podem até mesmo desaparecer.

Um estudo realizado por HENRIQUES (2005) concluiu que a variação de fitofisionomias do Cerrado independe da fertilidade do solo. A distribuição das fitofisionomias está relacionada a profundidade do solo, que determina estoque de nutrientes e o conteúdo de água do solo no fim da estação seca. Segundo o autor, quanto mais raso for o solo e menor conteúdo de água na estação seca, mais aberta é a fitofisionomia. O tempo para o Cerrado regenerar, na ausência de degradação, depende da disponibilidade hídrica, dos nutrientes do solo e da distância da fonte de propágulos.

Portanto, de acordo com os resultados apresentados neste estudo, é razoável assumir que, ao longo do tempo, houve evolução de algumas Up em outras de maior volume de biomassa vegetal na EEP. Isto sugere que, no decorrer do tempo, provavelmente ocorrerá uma evolução sucessional das Up para fitofisionomias de maior biomassa vegetal presentes na EEP obedecendo à seguinte sequência: Solo exposto < Campo Sujo Seco < Cerrado Típico < Complexo florestal (Figura 24).

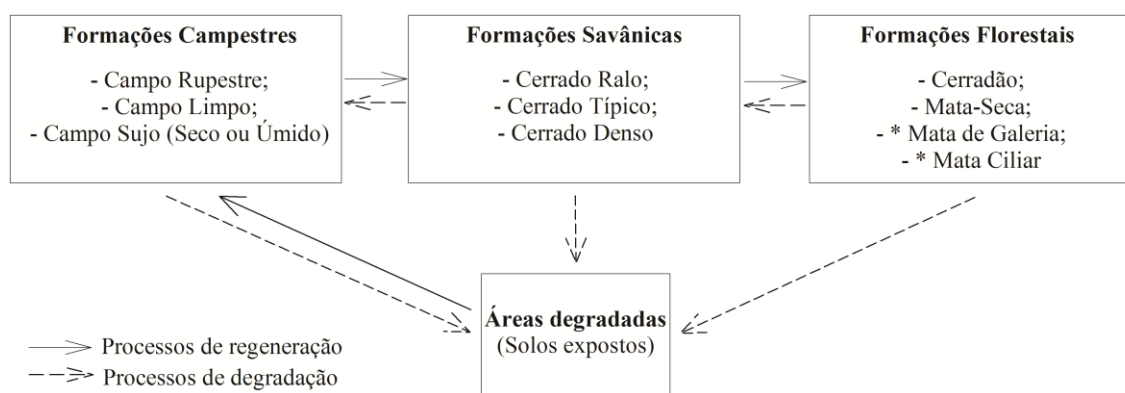


Figura 24. Fluxograma de regeneração do Bioma Cerrado. Adaptado de Pereira (2009) de acordo com a classificação proposta por Ribeiro; Walter, (2008). \* fitofisionomias com influência de água.

#### 4. CONCLUSÕES

O método empregado neste estudo proporcionou o acompanhamento das Up em diferentes épocas de forma satisfatória. Os resultados indicaram mudança e a velocidade ao longo do tempo das Up, permitindo assim, construir cenários atuais e reconstruir cenários passados.

Os valores espectrais conseguiram distinguir quase todas as Unidades de paisagem consideradas no estudo. Somente o Cerradão e Mata Seca Sempre-Verde não se diferiram espectralmente e foram agrupadas numa classe denominada de Complexo florestal.

Os valores de NDVI e as áreas absolutas das Up no período avaliado apresentaram diferenças significativas. A relação destes dois parâmetros foi positiva, demonstrando aumento da capacidade fotossintética da vegetação no decorrer do tempo.



Quanto à taxa de conversão, o Complexo florestal foi a única classe onde se observou incremento em área durante os 38 anos analisados. Enquanto isso, as outras Up vêm se convertendo em outras classes ao longo do tempo.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASTIAANSEN, W. G. M. **Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain**. 273f. Tese (Doutorado) - Wageningen Agricultural University, Wageningen, 1995.

BITENCOURT, M. D.; MESQUITA Jr. H. N.; MANTOVANI, W.; BATALHA, M. A.; PIVELLO, V. R. Identificação de fisionomias de Cerrado com imagem índice de vegetação. In: LEITE, L. L.; SAITO, C. H. **Contribuição ao conhecimento ecológico do Cerrado**. Brasília: Ed. Universidade de Brasília, 1997, 316-320 p.

CARVALHO JÚNIOR O. A.; SAMPAIO C. S.; SILVA N. C.; JÚNIOR A. F. C.; GOMES R. A. T.; CARVALHO A. P. F.; SHIMABUKURO Y. E. Classificação de padrões de savana usando assinaturas temporais NDVI do sensor MODIS no Parque Nacional Chapada dos Veadeiros. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 26, p. 505-517, 2008.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 41, p. 2674-2677, 2003.

DURIGAN, G.; RATTER, J. A. Successional changes in Cerrado and Cerrado/Forest ecotonal vegetation in western Sao Paulo State, Brazil, 1962–2000. **Edinburgh Journal of Botany**, v. 63, p. 119-130, 2006.

HENRIQUES, R.P.B. Influência da história, solo e fogo na distribuição e dinâmica das fitofisionomias no bioma dos cerrados. In: SCARIOT, A.; SOUSA-SILVA, J. C.; FELFILI, J.M. **Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005, 73-92 p.

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, p. 1837-1860, 2004.

FERREIRA L. G.; YOSHIOKA H.; HUETE A.; SANO E. E. Optical characterization of the Brazilian Savanna physiognomies for improved land cover monitoring of the Cerrado biome: preliminary assessments for an airborne campaign over an LBA core site. **Journal of Arid Environments**, v. 56, p. 425-447, 2004.

FERREIRA, M. E.; FERREIRA, L. G.; HUETE A. R.; PECCININI A. A. Análise comparativa dos produtos MODIS Ecologia para o monitoramento biofísico ambiental do Bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 24, p. 251-260, 2006.

LAMBIN, E. F.; TURNER, B. L.; GEIST, H. J.; AGBOLA, S. B.; ANGELSEN, A.; BRUCE, J. W.; COOMES, O. T.; DIRZO, R.; FISCHER, G.; FOLKE, C.; GEORGE, P. S.; HOMEWOOD,

K.; IMBERNON, J.; LEEMANS, R.; LI, X. B.; MORAN, E. F.; MORTIMORE, M. RAMAKRISHNAN, P. S.; RICHARDS, J. F.; SKANES, H.; STEFFEN, W.; STONE, G. D.; SVEDIN, U.; VELDKAMP, T.; VOGEL, C.; XU, J. C. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. **Global Environmental Change: Human and Policy Dimensions**, v. 11, n. 4, p. 261-269, 2001.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.

LIESENBERG, V.; GALVÃO, L. S.; PONZONI, F. J. Variations in reflectance with seasonality and viewing geometry: implications for classification of Brazilian savanna physiognomies with MISR/ Terra data. **Remote Sensing of Environment**, v. 107, p.276-286, 2007a.

LIESENBERG, V.; PONZONI, F. J.; GALVÃO, L. S. Análise da dinâmica sazonal e separabilidade espectral de algumas fitofisionomias do Cerrado com Índices de Vegetação dos sensores Modis/Terra e Aqua. **Revista Árvore**, v. 31, p. 295-305, 2007b.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. 1998. **Fitofisionomias do bioma Cerrado**. In: SANO S. M.; ALMEIDA S. P. **Cerrado: ambiente e flora**. Brasília: EMBRAPA-CPAC, 2008, 1279 p.

ROUSE, J. W.; HAAS R. H.; SCHELL J. A.; DEERING D. W. 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. 1973. **Third ERTS Symposium**, NASA, pp. 309-317.

PEREIRA, P. S. C. **Análise Multitemporal do Comportamento Estrutural e Espectral da Regeneração do Cerrado Sensu-Stricto**. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, 2009.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2010.

SÁ, I. I. D.; GALVÍNIO, J. D.; MOURA, M. S. B.; SÁ, I. B. Uso do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) para caracterização da cobertura vegetal da região do Araripe, Pernambucano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 1, n. 1, p. 28-38, 2008.

SANO, E. E.; FERREIRA, L. G.; HUETE, A. R. Synthetic Aperture Radar (L-band) and optical vegetation indices for discriminating the Brazilian savanna physiognomies: a comparative analysis. **Earth Interactions**, v. 9, p. 1-15, 2005.

CHRAMM, V. F.; VIBRANS, A. C. Uso de imagens hiperespectrais (EO-1 Hyperion) para detalhamento da detecção das formações florestais na bacia do Itajaí. **Dynamis revista tecnológica**, v. 13, n. 1, p. 59-69, 2007.

ZAR, J. H. **Biostatistical analysis**. New Jersey: Prentice Hall, 4 ed. 1999, 663 p.

**CAPITULO II: Carbono, nitrogênio e abundância natural de  $\delta^{13}\text{C}$  no solo de uma ilha fluvial no bioma Cerrado**

## RESUMO

A Estação Ecológica de Pirapitinga (EEP) é uma Unidade de Conservação com feição de ilha fluvial devido ao enchimento do reservatório da Usina Hidroelétrica de Três Marias (UHT). Poucos anos após o enchimento do reservatório da UHT ocorreram mudanças significativas da paisagem local, especialmente onde se localiza a EEP. Diante o exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar e comparar o EstC, EstN e a abundância natural de  $\delta^{13}\text{C}$  no perfil do solo de diferentes fitofisionomias nativas da EEP no estado de Minas Gerais, visando elucidar as mudanças ocorridas neste ambiente. As fitofisionomias de cerrado avaliadas na EEP foram: Campo Sujo Seco (CSS), Cerradão (CE), Cerrado Típico (Ct) e Mata Seca Sempre-Verde (MSSV). Foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0,0–0,10; 0,10–0,20; 0,20–0,30; 0,30–0,40; 0,40–0,50; 0,50–0,60; 0,60–0,80 e 0,80–1,0 m. O solo das áreas de estudo foi classificado como Latossolo Vermelho. Os maiores teores de argila do solo e densidade de espécies vegetais da MSSV promoveram maiores teores de EstC e EstN no solo e menores valores de Ds em relação as demais fitofisionomias estudadas. Através dos dados de  $\delta^{13}\text{C}$  pode-se inferir que a vegetação que ocupava as áreas antes da formação vegetal existente de MSSV, CE e Ct era de plantas do ciclo fotossintético  $\text{C}^4$ , provavelmente a mesma vegetação encontrada atualmente na área de Campo Sujo Seco. A metodologia empregada neste estudo foi suficiente para detecção de mudanças da paisagem da EEP ao longo do tempo.

**Palavras-chave:** Dinâmica da paisagem, Matéria orgânica do solo, composição isotópica, fitofisionomias do cerrado.

## ABSTRACT

The Ecological Station of Pirapitinga (EEP) is a conservation area with river island feature due to the filling of the Hydroelectric Plant's Reservoir of Três Marias (UHT). A few years after the reservoir filling UHT significant changes of the local landscape, especially where is the EEP. On the above, the objective of this study was to evaluate and compare the EstC, EstN and the natural abundance of  $\delta^{13}\text{C}$  in the soil profile of different native vegetation types of EEP, to elucidate the changes in this environment. The Cerrado vegetation types evaluated in EEP were: Campo Sujo Seco (CSS), Cerradão (CE), Cerrado Típico (Ct) and Mata Seca Sempre-Verde (MSSV). Soil samples were collected at depths 0.0–0.10; 0.10-0.20; 0.20-0.30; 0.30-0.40; 0.40-0.50; 0.50-0.60; 0.60-0.80 e 0.80-1.0 m. The soil of the study area was classified as Oxisol. The highest soil clay content and density of plant species of MSSV promoted higher levels and EstC and EstN ground and Ds smaller values than the other vegetation types studied. Through the  $\delta^{13}\text{C}$  data it can be inferred that the vegetation that occupied areas before existing vegetation of MSSV, CE and Ct was plants of the  $\text{C}_4$  photosynthetic cycle, probably the same vegetation currently found in the area of CSS. The methodology employed in this study was sufficient for detection landscape changes of EEP over time.

**Keywords:** Dynamics of landscape, soil organic matter, isotopic composition, cerrado vegetation types.

## 1. INTRODUÇÃO

O Cerrado, que ocupa 30% do território brasileiro, é um bioma notável por sua grande variação fitofisionômica, apresentando formações florestais, savânicas e campestres (EITEN, 2001). O cerrado pode adotar quatorze tipos de paisagens, e esses ambientes encontram-se distribuídos por todo esse bioma com as seguintes denominações: Campo Limpo de Cerrado, Campo Rupestre, Campo Sujo, Campo Cerrado, Cerrado Stricto Sensu, Cerradão, Campo de Murundus, Buritizal e Veredas, Campo úmido, Brejos permanentes, Pantanal, Mata de Baixa Galeria e Mata Mesofítica (EITEN, 2001).

A distribuição dessas fitofisionomias pode estar associada aos atributos edáficos, com destaque para a profundidade efetiva do solo e do lençol freático, bem como, a fertilidade do solo (RUGGIERO et al., 2002). Outro atributo do solo muito influenciado pela variação de formações vegetais do bioma Cerrado é a quantidade e a qualidade da matéria orgânica do solo (MOS) (CREMON et al., 2009). O estudo da variação do conteúdo e das formas da MOS nas diferentes fitofisionomias do bioma Cerrado é extremamente importante, visto que esta é responsável por 75 a 85% da capacidade de troca catiônica dos solos dessa região (CREMON et al., 2009; SKORUPA et al., 2012). Trabalhos na literatura têm demonstrado que tais variações na quantidade e qualidade da MOS ocorrem devido aos diferentes aportes de resíduos vegetais e/ou diferenças na textura do solo (SIQUEIRA NETO et al., 2009; CREMON et al., 2009; SKORUPA et al., 2012). Sendo assim, verifica-se que a análise do estoque de carbono (EstC) e nitrogênio (EstN) do solo pode auxiliar na verificação de possíveis alterações da paisagem.

Outra técnica muito utilizada na detecção de mudanças na paisagem são as análises isotópicas de  $\delta^{13}\text{C}$  dos compartimentos de carbono (C) e de nitrogênio (N) do solo da MOS. Durante o processo de decomposição de resíduos vegetais, observa-se que praticamente não ocorre mudança do sinal de  $\delta^{13}\text{C}$  entre o material de origem e a matéria orgânica do solo (MOS) (MELILLO et al., 1989). Assim, com base na análise da variação na abundância de  $\delta^{13}\text{C}$  é possível identificar a origem da MOS (GUARESCHI et al., 2014) e/ou das modificações a que uma área foi submetida no passado (BUSTAMANTE et al., 2004; AMARAL et al., 2011; GUARESCHI et al., 2012; LOSS et al., 2014).

Inserida neste contexto de mudanças da paisagem natural está a Estação Ecológica de Pirapitinga (EEP). Esta unidade de conservação foi criada em 1975 como medida compensatória pelo enchimento do reservatório da Usina Hidroelétrica de Três Marias (UHT), em 1962. Devido ao enchimento do reservatório, a EEP adquiriu a feição de ilha fluvial, situação que ocorre quando a cota máxima é atingida. A partir de sua criação (1975) a EEP vem recebendo proteção contra a entrada de rebanhos das áreas adjacentes e principalmente combate a incêndios. De acordo com relatos históricos da região, poucos anos após o enchimento do reservatório da UHT ocorreram mudanças significativas da paisagem local, especialmente onde se localiza a EEP. Um dos primeiros relatos sobre as mudanças ocorridas na EEP foi o surgimento de uma nova fitofisionomia de porte florestal que, no decorrer dos anos, vem se estabelecendo em locais onde não era observada.

Diante o exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar e comparar o EstC, EstN e a abundância natural de  $\delta^{13}\text{C}$  no perfil do solo de diferentes fitofisionomias nativas da EEP no estado de Minas Gerais, visando elucidar as mudanças ocorridas neste ambiente.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Delineamento amostral e coleta de dados

Foram abordadas quatro Unidades de paisagem (Up) na EEP, as quais foram identificadas em campo como: 1- Campo Sujo Seco (CSS); 2- Cerradão (CE); 3- Cerrado Típico (Ct) e 4- Mata Seca Sempre-Verde (MSSV) (RIBEIRO; WALTER, 2008).

Em cada área de estudo foi demarcada uma gleba representativa de 0,04 ha (20 x 20 m), e em cada uma delas foram abertas três trincheiras de aproximadamente 1 x 1 m de superfície e 1 m de profundidade em posição aleatória (Figura 25). Em cada uma das trincheiras, nas diferentes áreas, foi realizada a coleta de amostras indeformadas, com auxílio de um anel volumétrico (EMBRAPA, 1997), nas profundidades de 0,0–0,10; 0,10–0,20; 0,20–0,30; 0,30–0,40; 0,40–0,50; 0,50–0,60; 0,60–0,80 e 0,80–1,0 m (Figuras 26 e 27). Após a coleta, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas por peneira de 2 mm de malha, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA), na qual foi realizada as análises, inclusive a caracterização química e análise granulométrica (EMBRAPA, 1997) (Tabela 2). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema de parcelas subdivididas 4 x 8 (4 Unidades da paisagem e 8 profundidades), com três pseudo-repetições.

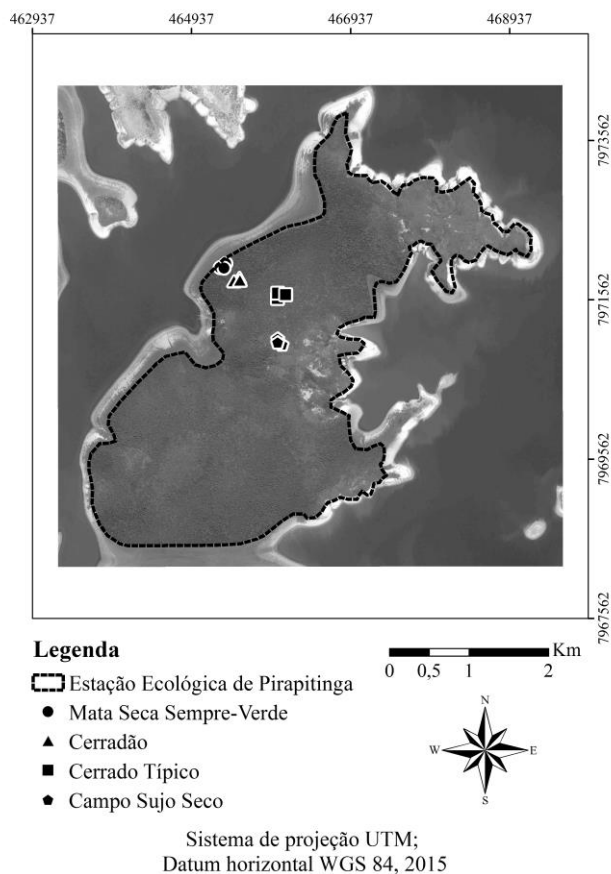


Figura 25. Pontos de coleta de solo nas respectivas fitofisionomias da Estação Ecológica de Pirapitinga.



Figura 26. Ponto de coleta de terra na fitofisionomia de Cerrado Típico da Estação Ecológica de Pirapitinga.



Figura 27. Amostras de terra das fitofisionomias da Estação Ecológica de Pirapitinga.

A densidade do solo ( $D_s$ ) foi determinada através do método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997). Já o teor de C e N foi quantificado por meio de combustão seca por analisador CHNS (Elementar analysensysteme GmbH, Hanau, Alemanha). A partir dos dados dos teores de C e N e da  $D_s$ , foram calculados os estoques de carbono (EstC) e nitrogênio (EstN) pelo método de massa equivalente. Para o presente estudo, consideraram-se como referência para os cálculos de estoque pelo método de massa equivalente, as massas de solo das camadas correspondentes da Mata Seca Sempre-Verde.

A abundância natural do  $^{13}\text{C}$  foi determinada com o auxílio do espectrômetro de massa Finnigan Delta Plus, no Laboratório de Isótopos Estáveis (John Day) da Embrapa Agrobiologia, em Seropédica. Os resultados de  $^{13}\text{C}$ , oriundos de 3 repetições, foram expressos na forma de delta  $\delta^{13}\text{C}$  (‰), em relação ao padrão internacional PDB (Belemnitella Americana da formação Pee Dee).

## 2.2 Análise dos resultados

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de normalidade da distribuição dos erros (teste de Lilliefors) e homogeneidade das variâncias dos erros (teste de Cochran). Atendendo as pressuposições de normalidade e homogeneidade os valores médios foram comparados por meio do teste t de Bonferroni a 5% de probabilidade ( $P < 0,05$ ).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A MSSV apresentou menores valores de densidade do solo ( $D_s$ ) do que as áreas de CSS (0,0-1,0 m) e Ct (0,0-0,80 m) (Figura 28). Esse resultado pode ser atribuído aos maiores valores de EstC (Figura 30) da MSSV em relação a essas áreas, que pode estar atuando em uma maior formação e estabilidade dos agregados melhorando a estrutura do solo. Semelhantemente, GUARESCHI et al. (2012) relataram que áreas de Cerrado apresentam menores valores de  $D_s$  devido a maior deposição de resíduos vegetais na superfície do solo, e conseqüentemente maior



conteúdo de matéria orgânica. Os maiores valores de Ds das áreas de CSS e Ct – solos mais arenosos - provavelmente também estão sendo influenciados pela diferença na textura do solo em relação a MSSV – solos mais argilosos -. Isso é devido os solos arenosos apresentarem densidade naturalmente superior aos argilosos, enquanto os solos siltosos apresentam densidade intermediária (LIBARDI, 2000; RESENDE et al., 2012).

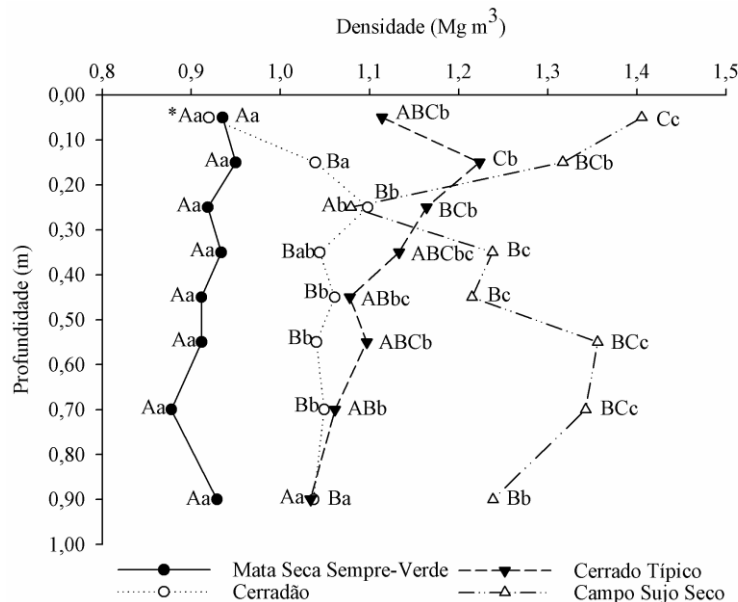


Figura 28. Densidade do solo em diferentes camadas das áreas de Campo Sujo Seco, Cerrado Típico, Cerradão e Mata Seca Sempre-Verde. \*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste t de Student a 5 %. Letras minúsculas referem-se à comparação das áreas numa mesma camada e maiúsculas comparam médias de camadas de um mesmo tratamento.

Observa-se também que a área que mais se aproximou dos valores de Ds da MSSV foi o CE, apresentando valores semelhantes a esta nas profundidades superficiais (0,0-0,20 e 0,30-0,40 m) e subsuperficiais (0,80-1,0 m) (Figura 28). Esse padrão ocorre devido à similaridade nos teores e EstC em algumas camadas, bem como, a estas áreas apresentarem mesma classe textural (argilosa) (Tabela 9). Conforme discutido anteriormente, estas duas características somadas podem acarretar em uma melhor agregação do solo e menor densidade. Resultados semelhantes são expostos por FREITAS et al. (2014) que ao avaliarem a Ds sob diferentes florestas nativas constataram que este atributo do solo foi maior nas áreas com menores teores de argila. Solos com menores teores de argila apresentam maior valor de densidade devido ao maior peso específico das partículas de quartzo que compõe a fração areia e ao menor teor de matéria orgânica, comumente verificada nestes solos (SILVA et al., 2011).

Tabela 9. Atributos químicos e análise granulométrica das áreas de estudo

*Áreas	pH H <sub>2</sub> O	P mg kg <sup>-1</sup>	Ca	Mg	K	Al	H+Al	T	V	Argila	Silte	Areia
			----- cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----						-%-	----- g kg <sup>-1</sup> -----		
0,0-0,10 m												
CSS	5,3	6	0,1	0,9	0,5	1,2	8,4	9,9	15,2	214	437,7	348,3
CE	4,9	6	0,1	0,6	0,5	1,1	10,1	11,3	10,6	300	273,3	426,7
Ct	4,3	11	0,1	0,7	0,3	1,7	13,7	14,8	7,4	431,3	199,3	369,3
MSSV	4,3	11	0,1	0,4	0,3	2,1	14,6	15,4	5,2	462,7	156	381,3
0,10-0,20 m												
CSS	5,3	6	0,1	0,6	0,4	1,2	8	9,1	12,1	244	456	300
CE	5	4	0,1	0,5	0,4	1,1	9	10	10,0	321	272,7	406,3
Ct	4,4	5	0,2	0,4	0,2	1,5	10,6	11,4	7,0	461	223,3	315,7
MSSV	4,2	10	0,1	0,3	0,3	1,8	12,7	13,4	5,2	465,7	191,7	342,7
0,20-0,30 m												
CSS	4,9	3	0,1	0,7	0,1	1,2	6,9	7,8	11,5	238	530,7	231,3
CE	4,9	3	0,1	0,8	0,2	1	8,2	9,3	11,8	306	301	393
Ct	4,5	3	0,1	0,4	0,1	1,4	9,7	10,3	5,8	476	204	320
MSSV	4,5	5	0,1	0,4	0,1	1,7	11,1	11,7	5,1	490,3	174,7	335
0,30-0,40 m												
CSS	5	3	0,1	0,6	0,1	1,3	6,7	7,5	10,7	231,3	578	190,7
CE	5,3	2	0,1	0,5	0,2	1	7,7	8,5	9,4	336	288,7	375,3
Ct	4,6	3	0,2	0,5	0,1	1,4	9,3	10,1	7,9	494	222,7	283,3
MSSV	4,5	3	0,1	0,4	0,1	1,5	10,7	11,3	5,3	496	172,3	331,7
0,40-0,50 m												
CSS	5,1	2	0,1	0,8	0,1	1,4	6,3	7,3	13,7	261,7	549,3	189
CE	4,9	12	0,1	0,7	0,2	1	7,4	8,4	11,9	338,7	295,3	366
Ct	4,5	2	0,1	0,5	0,1	1,4	8,8	9,5	7,4	472	223,3	304,7
MSSV	4,7	3	0,2	0,5	0,1	1,6	9,8	10,6	7,5	493	211,7	295,3
0,50-0,60 m												
CSS	5,2	2	0,1	1	0,1	1,7	6,5	7,7	15,6	235,7	615,3	149
CE	4,8	2	0,1	0,6	0,1	0,9	6,9	7,7	10,4	340,7	280,3	379
Ct	4,6	1	0,1	0,5	0,1	1,3	8,6	9,3	7,5	488,3	204,3	307,3
MSSV	4,6	3	0,1	0,4	0,1	1,6	9,8	10,4	5,8	505,7	157,7	336,7
0,60-0,80 m												
CSS	5	3	0,1	0,7	0,1	1,7	6,8	7,7	11,7	233	611,3	155,7
CE	4,8	2	0,1	0,6	0,1	0,8	6,7	7,5	10,7	324,7	318,7	356,7
Ct	4,6	1	0,1	0,6	0,1	1,2	8	8,8	9,1	379,3	318	302,7
MSSV	4,7	2	0,1	0,3	0,1	1,6	9,9	10,4	4,8	493,3	203	303,7
0,80-1,00 m												
CSS	5,1	3	0,1	1,1	0,1	1,8	7,2	8,5	15,3	214,3	660,3	125,3
CE	4,9	2	0,1	0,5	0,1	0,7	6,2	6,9	10,1	377,7	290	332,3
Ct	4,6	1	0,1	0,5	0,1	1,1	7,9	8,6	8,1	424,7	283,3	292
MSSV	4,7	3	0,1	0,6	0,1	1,5	9,7	10,5	7,6	485,3	171,7	343

\*\*Campo Sujo Seco (CSS); 2- Cerradão (CE); 3- Cerrado Típico (Ct) e 4- Mata Seca Sempre-Verde (MSSV).

A MSSV não apresentou variação na Ds com o aumento da profundidade no perfil. Pode-se atribuir este resultado a maior diversidade de espécies vegetais presentes nesta área (Tabela 1),

a qual contribui com uma grande diversidade de sistemas radiculares que podem aportar mais C em profundidade em relação às outras fitofisionomias, ou seja, mantendo uma Ds equilibrada entre as camadas. De acordo com BRAIDA et al. (2006) esse efeito da matéria orgânica sobre a Ds ocorre devido: efeito amortecedor, que resulta em dissipação de parte da energia aplicada; capacidade de retenção da água da matéria orgânica, que ao retê-la junto de suas partículas, impede que a água atue como lubrificante entre as partículas minerais; capacidade da matéria orgânica em estabelecer ligações entre as partículas de solo, aumentando a coesão entre as mesmas, e baixa densidade da matéria orgânica, de modo que, ao aumentar o teor de matéria orgânica, diminui a densidade da mistura solo e matéria orgânica.

Já para o CE verificou-se aumentou da Ds em relação a primeira e última camada avaliada. Pode-se considerar isso como um efeito natural, pois a densidade do solo tende a aumentar em profundidade no perfil. Essa variação deve-se, provavelmente, ao menor teor de matéria orgânica, menor agregação, pouca quantidade de raízes e compactação causada pela massa das camadas superiores desta área (REINERT; REICHERT, 2006).

Por fim, verifica-se que a área de CSS apresentou um padrão atípico em relação a seus valores de Ds com o aumento da profundidade, onde observou-se redução dos valores deste atributo da primeira para última camada avaliada. Isto pode ter ocorrido devido a sua alta porcentagem de silte e maior pressão nas camadas superficiais do solo.

A área MSSV apresentou maiores teores de C que a área de Ct (0,0-0,20 m) e CSS (0,0-0,20; 0,30-0,40; 0,50-1,0 m) (Figura 29). Também apresentou maior estoque de carbono (EstC) em relação ao Ct (0,0-0,20; 0,40-1,0 m) e CSS (0,0-1,0 m) (Figura 30). Atribui-se esse resultado a maior densidade de plantas e teor de argila da MSSV em relação a essas fitofisionomias (Tabela 1). De acordo com ALCÂNTARA NETO et al. (2011) formações florestais do bioma Cerrado com maior diversidade de plantas e densidade de espécies arbóreas resultam em maior aporte de resíduos vegetais ao solo, o que conseqüentemente aumenta o EstC. Já o menor conteúdo de argila das áreas de Ct e CSS em relação à MSSV fazem com que seus solos tenham menor capacidade em reter carbono (ZINN et al., 2005). SKORUPA et al. (2012) avaliando a textura de solos sob fragmentos de cerrado e florestas nativas em Minas Gerais, também verificaram correlação entre teor de argila e teores de carbono orgânico do solo. Os autores verificaram que as fitofisionomias sobre solos menos argilosos apresentaram menores teores de carbono em comparação as formações vegetais localizadas em solos mais argilosos.

Outro destaque foi o CE que apresentou teores de C (0,0-1,0 m) e EstC (0,0-0,40; 0,50-0,60 m) semelhantes a MSSV (Figura 29 e 30), bem como, maiores EstC em relação ao Ct (0,0-0,20; 0,60-0,80 m) e CSS (0,0-1,0 m). Também pode-se atribuir esses resultados ao maior conteúdo de argila do CE em relação à Ct e CSS, ou seja, o solo da área de CE apresenta maior capacidade de estocar carbono.

Independente da fitofisionomia de Cerrado avaliado, está ocorrendo uma redução nos teores e EstC em profundidade (Figura 29 e 30). Esse efeito é decorrente da menor exposição dessas camadas a ação dos organismos decompositores da MOS associado ao menor aporte (GAZOLLA et al., 2015).

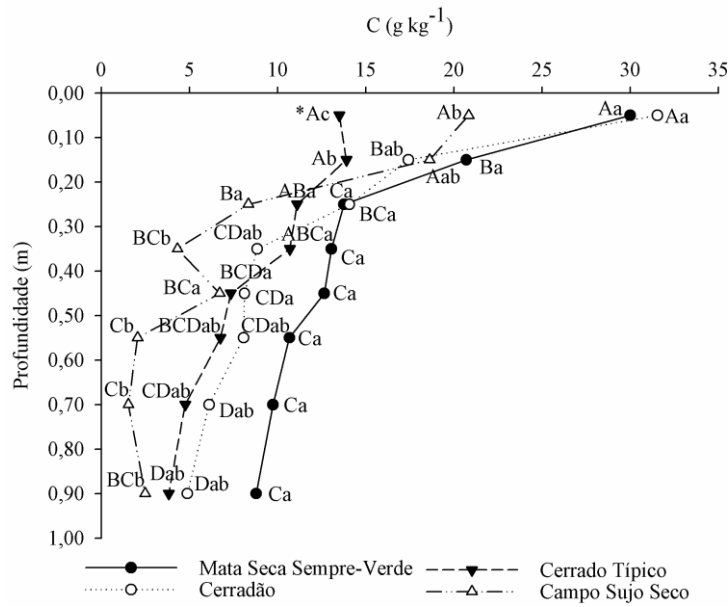


Figura 29. Teor de carbono (C) do solo em diferentes camadas das áreas de Campo Sujo Seco, Cerrado Típico, Cerradão e Mata Seca Sempre-Verde. \*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste t de Student a 5 %. Letras minúsculas referem-se à comparação das áreas numa mesma camada e maiúsculas comparam médias de camadas de um mesmo tratamento.

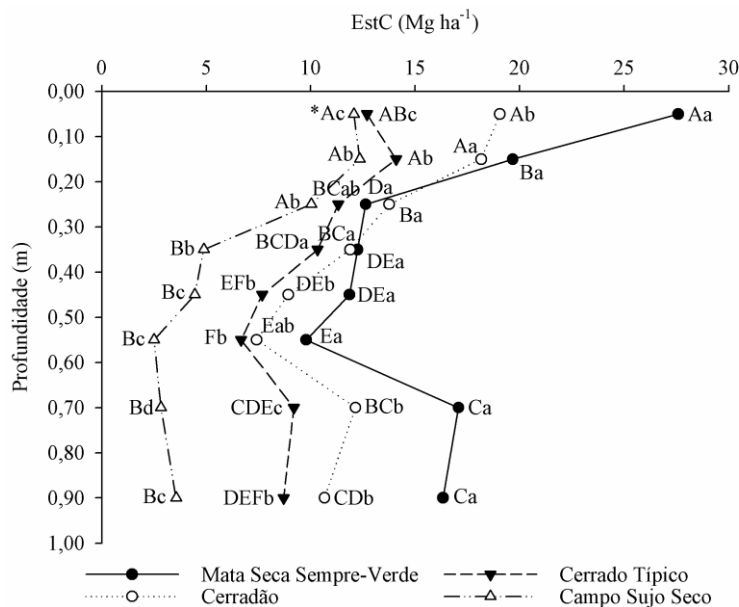


Figura 30. Estoque de carbono (EstC) do solo em diferentes camadas das áreas de Campo Sujo Seco, Cerrado Típico, Cerradão e Mata Seca Sempre-Verde. \* Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste t de Student a 5 %. Letras minúsculas referem-se à comparação das áreas numa mesma camada e maiúsculas comparam médias de camadas de um mesmo tratamento.

A abundância natural de  $\delta^{13}\text{C}$  (‰) no perfil do solo demonstrou que a área de CSS apresenta aporte de carbono principalmente de plantas  $\text{C}_4$  em todas as profundidades examinadas (Figura 31). Esse resultado é coerente, visto que o estrato herbáceo desta vegetação sempre foi composto por espécies de gramíneas desse ciclo fotossintético. Durante a fotossíntese, plantas do ciclo  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$  discriminam o isótopo  $\delta^{13}\text{C}$  com diferentes graus de intensidade. Baseando-se na literatura, tem-se que plantas  $\text{C}_3$  apresentam valores  $\delta^{13}\text{C}$  entre -33 e -22 ‰, enquanto em plantas  $\text{C}_4$  tais valores situam-se entre -16 e 9 ‰ (GUARESCHI et al., 2014).

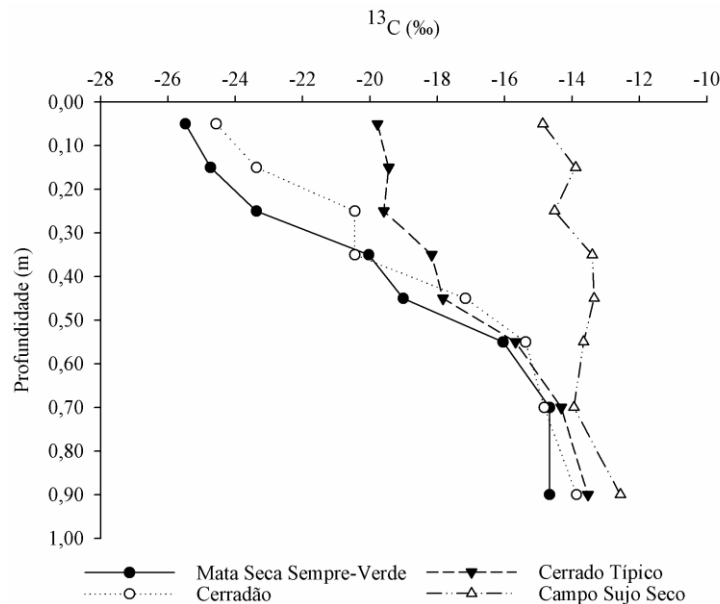


Figura 31. Abundância natural de  $\delta^{13}\text{C}$  (‰) do solo em diferentes camadas das áreas de Campo Sujo Seco, Cerrado Típico, Cerradão e Mata Seca Sempre-Verde.

Quanto às áreas de MSSV e CE, observa-se que até os 0,40 m do solo a matéria orgânica tem grande contribuição de resíduos vegetais derivados, principalmente de plantas  $\text{C}_3$  (espécie arbóreas) (Figura 31). Dos 0,40 a 1,0 m de profundidade, tais áreas foram aumentando o sinal de  $\delta^{13}\text{C}$  chegando a igualar os resultados com a área de CSS nas últimas profundidades avaliadas (Figura 31). Esse resultado indica que a vegetação que ocupava estas áreas antes da formação vegetal presente era composta de plantas do ciclo  $\text{C}_4$ , provavelmente a mesma vegetação encontrada atualmente na área de CSS. Sendo assim, verifica-se uma evolução de uma vegetação de ciclo fotossintético  $\text{C}_4$  para  $\text{C}_3$  em apenas 53 anos de enchimento da barragem da UHT Três Marias. Pode-se inferir que isso ocorreu devido a textura mais argilosa destas áreas, a qual influenciou no funcionamento do solo como reservatório e fluxo de água, e na dinâmica de carbono e nutrientes, tornando-as capazes de atender mais adequadamente a demanda hídrica e nutricional de uma vegetação de maior porte (espécies arbóreas  $\text{C}_3$ ) como a MSSV e CE. Resultados semelhantes foram verificados por MARIMON JUNIOR; HARIDASAN (2005) e SKORUPA et al. (2012) que observaram solos mais argilosos em áreas de Cerradão em comparação com áreas de Cerrado Sensu Stricto.

Já a área de Ct também apresentou na camada de 0,40-1,0 m valores de  $\delta^{13}\text{C}$  mais positivos igualando-se ao CSS, no entanto, nos primeiros 0,40 m o sinal de  $\delta^{13}\text{C}$  apresentou um caráter intermediário em relação as demais fitofisionomias (Figura 31). Desta forma, pode-se inferir que o Ct também evoluiu de uma vegetação de plantas do tipo  $\text{C}_3$  para  $\text{C}_4$ . No entanto, a vegetação arbórea atual do Ct também é dispersa e com presença de gramíneas no sub-bosque, apresentando um sinal de  $\delta^{13}\text{C}$  de caráter intermediário dentre as outras fitofisionomias, pois tem contribuição de C ao solo de plantas  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$ . Resultados semelhantes foram expostos por SILVA (2007), que relata que nos solos de cerrado, valores intermediários de  $\delta^{13}\text{C}$  são consistentes, uma vez que este ecossistema pode representar uma mistura desses dois grupos de plantas.

O padrão dos resultados de teor e estoque de nitrogênio (EstN) foram muito semelhantes aos de C e EstC do solo das áreas, onde a área MSSV apresentou maiores teores de N que a área de Ct (0,0-1,0 m) e CSS (0,0-1,0 m) (Figura 32), além de maior EstN em relação ao Ct (0,0-0,20; 0,40-1,0 m) e CSS (0,0-0,20; 0,40-1,0 m) (Figura 33). Também pode-se atribuir esse resultado a maior diversidade de plantas e densidade de espécies arbóreas desta fitofisionomia, a qual resultam em maior quantidade e qualidade de resíduos vegetais ao solo, o que consequentemente aumenta o teor e EstN do solo. Resultados semelhantes foram expostos por CARDOSO (2006) o qual ao avaliar diferentes fitofisionomias de cerrado, também constatou maiores teores de N na área de Mata Semidecídua em relação a áreas de cerrado típico e campo sujo. A autora atribuiu este comportamento a vegetação mais densa com maior conteúdo de nitrogênio nas folhas e serrapilheira da Mata Semidecídua, a qual somada as melhores condições de ação de decompositores proporcionam maior disponibilidade de N ao solo.

Mais uma vez o CE foi a fitofisionomia que mais se destacou depois da MSSV quanto ao teor e EstN, apresentando teores de N (0,0-0,10 e 0,20-0,40 m) e EstN (0,20-0,40 m) semelhantes a MSSV (Figura 32 e 33), bem como, maiores EstN em relação ao Ct (0,0-0,20; 0,30-0,40 m) e CSS (0,0-0,80 m). CARDOSO (2006) ao avaliar diferentes fitofisionomias também constatou semelhanças no teor de N do solo entre áreas de Cerradão e Mata Semidecídua, atribuindo este resultado na semelhança do porte da vegetação e aporte de N via folhas e serrapilheira.

Assim como ocorreu para os resultados de C, independentemente da fitofisionomia de cerrado avaliado, está ocorrendo uma redução nos teores e EstN em profundidade (Figura 32 e 33), devido ao menor aporte de matéria orgânica no decorrer do perfil do solo. Esse comportamento é muito comum e citado por vários trabalhos que avaliaram o nitrogênio do solo de diferentes fitofisionomias do cerrado (CARDOSO, 2006; GIÁCOMO, 2009).

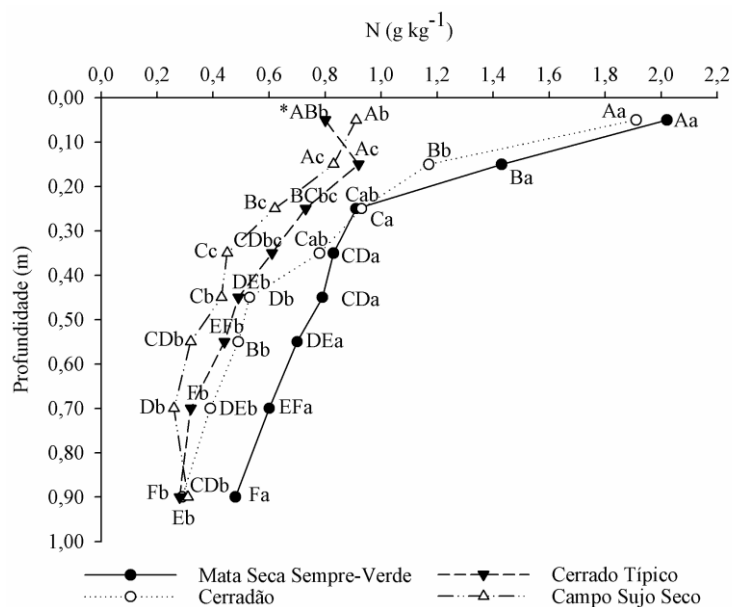


Figura 32. Teor de Nitrogênio (N) do solo em diferentes camadas das áreas de Campo Sujo Seco, Cerrado Típico, Cerradão e Mata Seca Sempre-Verde. \*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste t de Student a 5 %. Letras minúsculas referem-se à comparação das áreas numa mesma camada e maiúsculas comparam médias de camadas de um mesmo tratamento.

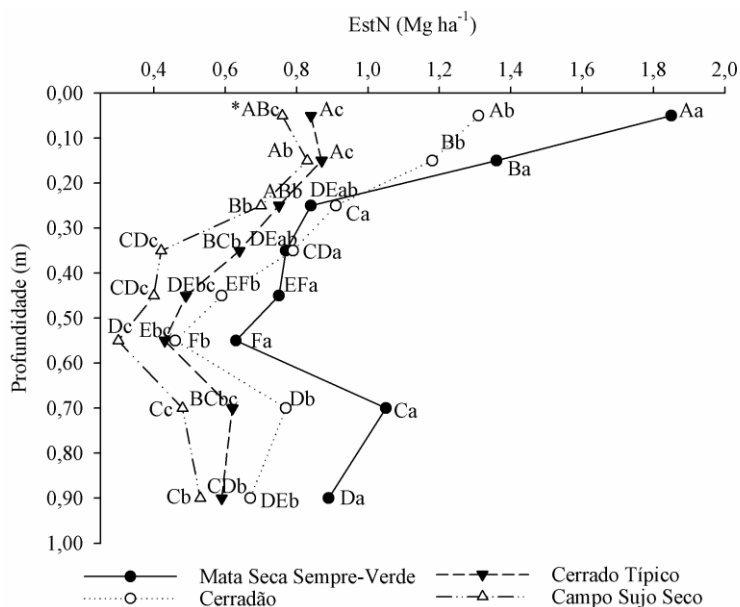


Figura 33. Estoque de Nitrogênio (EstN) do solo em diferentes camadas das áreas de Campo Sujo Seco, Cerrado Típico, Cerradão e Mata Seca Sempre-Verde. \*Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste t de Student a 5 %. Letras minúsculas referem-se à comparação das áreas numa mesma camada e maiúsculas comparam médias de camadas de um mesmo tratamento.

#### 4. CONCLUSÃO

Os maiores teores de argila do solo e densidade de espécies vegetais da Mata Seca Sempre-Verde promoveram maiores teores e estoques de carbono e nitrogênio no solo e menores valores de densidade do solo em relação às demais fitofisionomias estudadas.

Através dos dados de  $\delta^{13}\text{C}$  pode-se determinar que a vegetação que ocupava as áreas antes da formação vegetal existente de Mata Seca Sempre-Verde, Cerradão e Cerrado Típico era de plantas do ciclo fotossintético  $\text{C}_4$ , semelhante à vegetação encontrada atualmente na área de Campo Sujo Seco.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, B. J. R.; OLIVEIRA, O. C.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. Métodos isotópicos. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais & subtropicais**. Porto Alegre: Ed. Metrópole, 2008, 654 p.
- ALCÂNTARA NETO, F. A.; LEITE, L. F. C.; ARNHOLD, E.; MACIEL, G. A.; CARNEIRO, R. F. V. Compartimentos de carbono em latossolo vermelho sob cultivo de Eucalipto e fitofisionomias de Cerrado. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 35, p. 849-856, 2011.
- BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio proctor. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 30, p. 605-614, 2006.
- BUSTAMANTE, M. M. C.; MARTINELLI, L. A.; SILVA, D. A.; CAMARGO, P. B.; KLINK, C. A. DOMINGUES, T. F.; SANTOS, R. V.  $^{15}\text{N}$  natural abundance in woody plants and soils of central Brazilian savannas (Cerrado). **Ecological Applications**, v. 14, p. 200-213, 2004.
- CARDOSO, E. Dinâmica de nutrientes em fitofisionomias do domínio dos cerrados na Estação Ecológica de Panga, Região do triângulo mineiro. 144 f. Tese (Doutorado) - Universidade de Brasília, 2006.
- CREMON, C.; MAPELI, N. C.; FRANCO, P. P.; SILVA, W. M. Atributos do solo em diferentes fitofisionomias do Cerrado Mato-grossense. **Agrarian**, v. 2, n. 6, p. 47-59, 2009
- EITEN, G. **Vegetação natural do Distrito Federal**. Brasília: Universidade de Brasília/SEBRAE, 2001, 162 p.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2 ed. 1997, 212 p.
- FREITAS L.; CASAGRANDE J. C.; OLIVEIRA V. M. R.; OLIVEIRA I. A.; MORETI T. C. F. Avaliação de atributos químicos e físicos de solos com diferentes texturas sob vegetação nativa. **Enciclopédia biosfera**, v. 10, n. 19, p. 523-534, 2014.



GAZOLLA, P. R.; GUARESCHI, R. F.; PERIN, A.; PEREIRA, M. G.; ROSSI, C. Q. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, p. 693-704, 2015.

GIÁCOMO R.G. **Fitossociologia, aporte de serapilheira, estoques de carbono e nitrogênio em diferentes formações vegetais na Estação Ecológica de Pirapitinga – MG**. 144 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2009.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n.2, p. 909-920. 2012.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Carbono, nitrogênio e abundância natural de  $^{13}\text{C}$  e  $^{15}\text{N}$  em uma cronosequência de agricultura sob plantio direto no Cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, p. 1135-1142, 2014.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba: Edusp, 2000, 509 p.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Abundância natural de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{15}\text{N}$  em sistemas de manejo conservacionista no cerrado. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 3, p. 604-615, 2014.

MARIMON JUNIOR, B. H.; HARIDASAN, M. Comparação da vegetação arbórea e características edáficas de um cerradão e um cerrado sensu stricto em áreas adjacentes sobre solo distrófico no leste de Mato Grosso, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 1, p. 913-926, 2005.

MELILLO, J. M.; ABER, J. D.; LINKINS, A. E.; RICCA, A.; FRY, B.; NADELHOFFER, K. J. Carbon and nitrogen dynamics along the decay continuum: Plant litter to soil organic matter. **Plant Soil**, v. 115, p. 189-198, 1989.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades Físicas do Solo**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2006, 180 p.

RESENDE, T. M.; MORAES, R. M.; FRANCO, F. O.; ARRUDA, E. M.; ARAÚJO, J. R.; SANTOS, D. S.; BORGES E. M.; RIBEIRO B. T. Avaliação física do solo em áreas sob diferentes usos com adição de dejetos animais no bioma Cerrado. **Bioscience Journal**, v. 28 (suplemento 1), p. 179-184, 2012.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M; ALMEIDA, S. P; RIBEIRO, J. F. **Cerrado - Ecologia e flora**. Brasília: Ed. Embrapa, 2008, 406 p.

RUGGIERO, P. G. C.; BATALHA, M. A.; PIVELLO, V. R.; MEIRELLES, S. T. Soil vegetation relationships in cerrado (Brazilian Savanna) and semideciduous forest, Southeastern Brazil. **Plant Ecology**, n.160, p. 1-16, 2002.

SILVA, L. C. R. Dinâmica de transição e interações entre fitofisionomias florestais e formações vegetacionais abertas do bioma cerrado. 168 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

SILVA, G. L.; LIMA, H. V.; CAMPANHA, M. M.; GILKES, R. J.; OLIVEIRA, A. T. S. Soil physical quality of Luvisols under agroforestry, natural vegetation and conventional crop management systems in the Brazilian semi-arid region. **Geoderma**, v. 168, p. 61-70, 2011.

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. C.; SCOPEL, E.; COSTA JUNIOR, C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 31, n. 4, p. 709-717, 2009.

SKORUPA, A. L. A.; GUILHERME, L. R. G.; CURI, N.; SILVA, C. P. C.; SCOLFORO, J. R. S.; SÁ, J. J. G. M. M. Propriedades de solos sob vegetação nativa em Minas Gerais: distribuição por fitofisionomia, hidrografia e variabilidade espacial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 1, p. 11-22, 2012.

ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESECK, D. V. S. Texture and organic carbon relations described by a profile pedotransfer function for Brazilian Cerrado soils. **Geoderma**, v. 127, n. 4, p. 168-173. 2005

**CAPITULO III: Dendrocronologia de *Copaifera Langsdorffii* de uma ilha fluvial no Bioma Cerrado**

## RESUMO

O objetivo desse estudo foi construir uma cronologia dos anéis de crescimento de árvores de *Copaifera langsdorffii* (Copaíba) a fim de compreender a dinâmica das formações vegetais ocorridas em uma ilha fluvial do bioma Cerrado. Visa ainda gerar conhecimento sobre a dinâmica de crescimento de espécie, bem como sobre a sensibilidade da formação dos anéis de crescimento a fatores climáticos. Para isso, foram selecionadas 30 árvores de Copaíba identificadas na fitofisionomia da Mata Seca Sempre-Verde na Estação Ecológica de Pirapitinga (EEP), MG. Foram coletadas duas amostras radiais de cada árvore com auxílio de uma sonda Pressler. As amostras passaram por polimento mecânico para melhor visualização dos anéis de crescimento, permitindo a delimitação e mensuração dos mesmos. Posteriormente foi verificada a sincronização da largura dos anéis de crescimento para gerar uma série cronológica mestra da espécie. Os resultados evidenciaram que a população de Copaíba da EEP apresenta potencial dendrocronológico, confirmado por elevada correlação da largura dos anéis de crescimento dentre e entre árvores. As análises dendrocronológicas revelaram que os indivíduos de Copaíba já estavam presentes antes do enchimento da barragem, porém com menor densidade populacional que os dias atuais. Também foi possível inferir que o desenvolvimento da fitofisionomia Mata Seca Sempre-Verde ocorreu a partir da década de 70. A sensibilidade média foi suficiente para a espécie ser considerada sensível às variações ambientais. Já a precipitação influenciou positivamente o crescimento dos anéis somente na transição entre as estações seca e úmida. Portanto, os métodos aplicados foram suficientes para fornecer informações sobre o estado atual e as mudanças ocorridas no ambiente onde a população de Copaíba está estabelecida.

Palavras-chave: Copaíba, anéis de crescimento, correlação climática.

## ABSTRACT

This study aims to build a chronology of the growth rings of *Copaifera langsdorffii* (Copaíba) to understand the dynamics of vegetation types that occur on a river island in the Cerrado biome. For this, we selected 30 trees of Copaíba established in a vegetation of Mata Seca Sempre-Verde in Estação Ecológica de Pirapitinga (EEP), MG, MG State. Two radial samples from each tree with was collected by a Pressler auger. The samples was treated by mechanical polishing for better visualization of the growth rings for further delineation and measurement. Later, it was synchronize the width of the growth rings and generate a master time series of the specie. To check the influence of climate variables we used the Pearson correlation ( $p < 0.05$ ). The results showed that the population of the Copaíba in EEP presented dendrochronologic potential confirmed by the high correlation wide growth rings within and between trees. The dendrochronologic analysis revealed that Copaíba individuals were already present before the dam filling, but with lower population density than today. It was also possible to infer that the development of vegetation type Mata Seca Sempre-Verde occurred from the decade of 70. The average sensitivity was enough for the species to be considered sensitive to environmental variations. The monthly average temperature plays an important role in the growth layers. Already precipitation positively influenced the growth rings only in the transition from dry to wet seasons. So, the methods used were enough to clarify the current status and changes in the environment where the population of Copaíba are established.

Keywords: Copaíba, growth rings, climate correlation.

## 1. INTRODUÇÃO

Com a crescente demanda por recursos naturais, o diagnóstico periódico do uso da terra torna-se um aspecto fundamental para a compreensão dos padrões de organização do espaço, os quais raramente são permanentes, em função da elevada dinâmica das atividades naturais e antrópicas. Portanto é preciso selecionar técnicas específicas para compreender os padrões de organização do ambiente em função dessas modificações.

Uma técnica potencial para a detecção de mudanças da vegetação e da paisagem local são as análises dendrocronológicas. A dendrocronologia é uma ciência que estuda a formação dos anéis de crescimento das espécies vegetais. A formação desses anéis pode ser influenciada por eventos climáticos, físicos, genéticos e/ou antrópicos como, precipitação, temperatura, frequência de inundações, estiagem prolongada, qualidade dos solos, deciduidade das espécies e tipos de manejo florestal (LATORRACA et al., 2015; LISI, et al., 2008; RUBINO; MCCARTHY, 2004; SAVVA et al. 2003; CALLADO et al., 2001; WORBES, 1999). Portanto, os anéis de crescimento podem prover informações sobre condições ambientais do passado e do presente (THERRELL et al., 2006;). Diversos autores vêm se utilizando de sinais cronológicos no lenho de algumas espécies arbóreas (BUTLER; SAWYER, 2008; SASS-KLAASSEN et al., 2008; BUCHWAL, 2008; PEREZ-RODRIGUES et al, 2007; RASPOPOV et al., 2004), para elucidar o padrão de clima; eventos antrópicos e naturais como, avalanches, alagamentos, deslizamentos, entre outras, inferindo assim sobre as mudanças ocorridas na paisagem.

O conhecimento da idade das árvores e das informações que podem ser inferidas a partir da análise dos anéis de crescimento são de suma importância para a otimização do uso da floresta (WORBES et al., 2003). Entretanto, isto só será possível pelo maior conhecimento e envolvimento de diferentes áreas da pesquisa florestal. O estudo sobre o passado das florestas pode fornecer informações indispensáveis sobre como utilizar, manejar e preservar esse recurso para o futuro (GONÇALVES, 2007; RUBINO; MCCARTHY, 2004).

Contudo, para realizar avaliações dendrocronológicas é preciso selecionar espécies que possuam anéis de crescimento perceptíveis. Uma das espécies que apresenta anéis de crescimento perceptível utilizadas em avaliações dendrocronológicas é a Copaíba (*Copaifera langsdorffii* Desf. – Fabaceae). Essa espécie arbórea apresenta uma grande plasticidade ecológica, estando presente em diversos biomas – Cerrado *Sentido Amplo*, Mata-Atlântica, Caatinga e Amazônia - e ecossistemas associados a estes (CARVALHO, 2003). Quanto ao grupo ecológico, a copaíba é classificada como secundária tardia e clímax, exigente à luz e tolerante à sombra, considerada ainda como árvore longeva (CARVALHO, 2003). Recentemente MELO JUNIOR et al. (2011) estudaram a anatomia ecológica do lenho de *C. langsdorffii* distribuída em diferentes condições edáficas do Cerrado sul-brasileiro. No entanto, os autores não discutiram a relação entre os anéis de crescimento e as variáveis climáticas e mudanças ambientais recentes.

A Estação Ecológica de Pirapitinga (EEP) apresenta excelente potencial para estudos dendrocronológicos na análise ambiental. Tal fato deve-se a construção da Barragem de Três Marias em 1962, resultando em várias mudanças na paisagem local. Algumas dessas mudanças foram, o surgimento, a evolução e a extinção de algumas fitofisionomias do Cerrado *sentido amplo* na EEP. A mudança mais perceptível foi o surgimento de uma fitofisionomia de Mata Seca Sempre-Verde, onde antes se apresentavam formações savânicas e campestres (AZEVEDO et al., 1987). Essa fitofisionomia de porte florestal está inserida no bioma Cerrado, estabelecida em partes mais altas do relevo sendo submetida à influência do lençol freático, porém, sem períodos de inundação (AZEVEDO et al., 1987). A Mata Seca Sempre-Verde da EEP apresenta

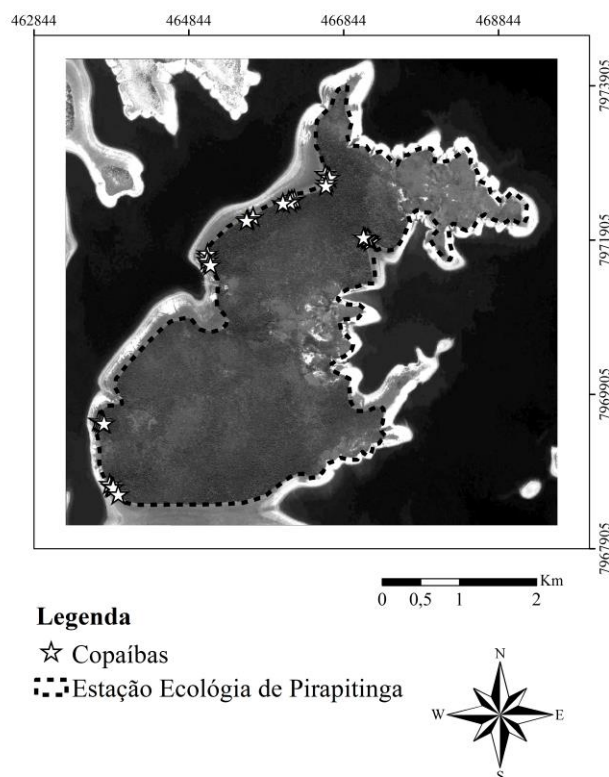
diversas espécies arbóreas representativas, sendo uma delas a *Copaifera langsdorffii* (Copaíba) (GIÁCOMO et al., 2015).

A partir do exposto, esse trabalho teve como objetivo analisar dendrocronologicamente indivíduos adultos de *C. langsdorffii* presentes na Mata Seca Sempre-Verde na EEP através da análise de anéis de crescimento, estimar a idade dessa fitofisionomia e verificar a relação entre o crescimento dos anéis e variáveis climáticas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram selecionadas 30 árvores de *C. langsdorffii* na área de Mata Seca Sempre-Verde da EEP (Figura 34). Essa espécie foi selecionada pela sua representatividade na fitofisionomia (GIÁCOMO et al., 2015) e por apresentar anéis de crescimento bem definidos para as avaliações dendrocronológicas.

As amostras do lenho foram coletadas no final do período úmido do ano (fevereiro/2015). As amostras foram retiradas com auxílio de trado de incremento (sonda Pressler) a 1,30 metros em relação ao solo (Figura 35). Sempre que possível foram retiradas duas amostras radiais no sentido casca-medula de cada árvore. As amostras foram secas em temperatura ambiente e polidas com uma sequência de lixas (entre 80-600 grana) para destacar o plano transversal do lenho (Figura 36). Todos os indivíduos amostrados foram georeferenciados (Figura 34) e registrados seus respectivos CAP – circunferência a altura do peito e altura.



Sistema de projeção UTM;  
Datum horizontal WGS 84, 2015

Figura 34. Localização dos indivíduos coletados de *Copaifera langsdorffii* da Estação Ecológica de Pirapitinga, MG.

A descrição anatômica macroscópica foi realizada com auxílio de um microscópio estereoscópico de acordo com a classificação de IAWA COMITTE (1999). A identificação e delimitação dos anéis de crescimento foram feitas com o auxílio do microscópio estereoscópico nos aumentos de 20 e 40 vezes (Figura 37) e, posteriormente, as amostras foram digitalizadas em uma resolução de 1.200 dpi (Figura 38). Para a dendrocronologia, foram analisados dois raios (série) de cada uma das 30 árvores de copaíba amostradas. No entanto, foi possível a sincronização de apenas 19 árvores e um total de 32 raios (série). Para a mensuração da largura dos anéis de crescimento de todas as séries, foi utilizado o software de análise de imagens Pro-Plus (Copyright C 1993-2001 Media Cybernetics, Inc.). Os dados de largura dos anéis obtidos foram interpretados pelo programa estatístico COFECHA (Version 6.00p). Para a construção da cronologia foi utilizado o programa ARSTAN (MRWE Application Framework Copyright C 1997-2004) (HOLMES et al., 1983).

Para a correlação (Pearson,  $p < 0,05$ ) da formação de anéis com o clima, foram compilados dados históricos de temperatura do ar e precipitação totais mensais, fornecidos pelo Earth System Research Laboratory (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/timeseries/timeseries1.pl>). A série climatológica histórica analisou um período de 66 anos (1948-2014) (Figura 39). Já para avaliar a relação entre o crescimento dos indivíduos de copaíba ao longo do tempo foi aplicada uma regressão linear simples.



Figura 35. Técnica de tradagem de anel de crescimento indivíduo de *C. langsdorffii* presente na Estação Ecológica de Pirapitinga.



Figura 36. Processamento e polimento das amostras de anel de crescimento no laboratório.

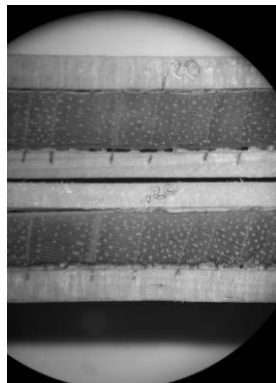


Figura 37. Identificação e delimitação dos anéis de crescimento com o auxílio do microscópio estereoscópico.

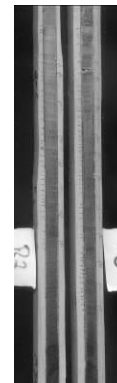


Figura 38. Digitalização das amostras de anel de crescimento no laboratório.



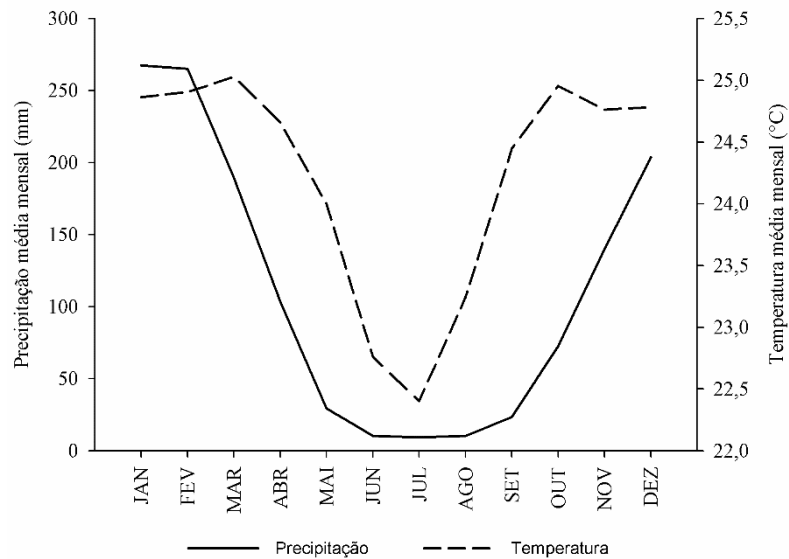


Figura 39. Série climática histórica (1948-2014) para a região da Estação ecológica de Pirapitinga, MG.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 2.1 Anatomia da madeira

Analisado macroscopicamente, o lenho da copaíba da EEP verificou-se que esse apresenta parênquima axial aliforme e vasicentrico visível, ordenado em faixas marginais; vasos visíveis, solitários e múltiplos; e raios visíveis no plano transversal. O lenho tardio apresentou visualmente maior número de vasos em relação ao lenho juvenil. As características anatômicas mais perceptíveis nos anéis de crescimento foram a presença de parênquima marginal e zonas fibrosas no lenho tardio (Figura 40A), caracterizados por espessamento das paredes das fibras, o que corrobora com outros estudos (LATORRACA et al., 2015; MELO JÚNIOR et al., 2011).

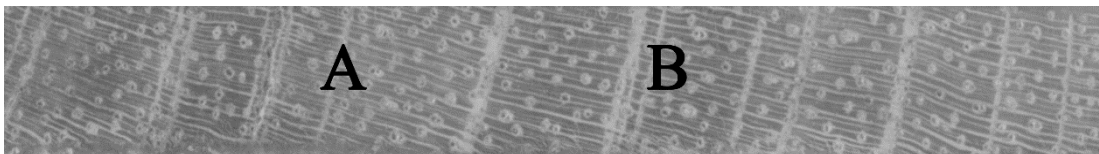


Figura 40. Seção transversal do lenho de *Copaifera langsdorffii*, com destaque para o limite dos anéis de crescimento (A) e anéis falsos (B).

Em geral, sequência de anéis de crescimento apresenta variações ao longo do desenvolvimento dos indivíduos de *C. langsdorffii* estabelecidos na EEP. Esses anéis iniciam-se estreitos no início do desenvolvimento. No decorrer do tempo os anéis se tornam mais espessos e posteriormente finalizado com o estreitamento próximo a casca. Essas características nas dimensões dos anéis podem estar relacionadas a sensibilidade da espécie às condicionantes

ambientais climáticas da área de estudo. Esse padrão de crescimento dos anéis e relação com a sensibilidade também foi verificado por LATORRACA et al. (2015) estudando *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake (Fabaceae) numa Floresta Ombrófila Densa na Reserva Biológica do Tinguá, RJ.

Entretanto, também foram observados falsos anéis entremeados com os anéis verdadeiros no lenho (Figura 40B). Diversos fatores podem interferir na formação de anéis falsos em espécies tropicais. A sazonalidade térmica durante o ano afeta a atividade cambial provocando o desenvolvimento de anéis de crescimento verdadeiros e/ou falsos, característica essa observada em 48% das espécies estudadas por ALVES; ANGYALOSSY-ALFONSO (2000).

Estudando a anatomia ecológica do lenho de *C. langsdorffii* distribuída em diferentes condições edáficas do Cerrado sul-brasileiro MELO JUNIOR et al. (2011) apontaram o fornecimento de água como o principal fator para o desenvolvimento de anéis falsos. Os falsos anéis de crescimento foram mais frequentes em indivíduos de copaíba estabelecidos sob solos classificados como Neossolo Flúvico e solos formados a partir de arenito. Os autores discorrem que esses solos possuem textura arenosa e com isso, apresentam uma baixa capacidade de retenção de água. Os mesmos autores não constaram falsas camadas em solos com textura mais argilosa (Latosolos) que apresentam uma maior retenção de água, independentemente dos valores disponíveis e do período de seca mais pontuais.

Assim como MELO JUNIOR et al. (2011), a frequente formação dos falsos anéis de crescimento notado nas copaíbas da EEP pode revelar uma importante informação ecológica do ambiente onde estão estabelecidas. A formação dos falsos anéis de crescimento nos indivíduos de copaíba da EEP indica que a região foi submetida à períodos de estiagem prolongados mesmo após o enchimento do reservatório da UHE Três Marias. GIÁCOMO et al. (2015) observaram que os indivíduos de copaíba estão entre as espécies mais representativas da fitofisionomia da Mata Seca Sempre-Verde da EEP. Esta é uma fitofisionomia de porte florestal do bioma Cerrado estabelecidas em partes mais altas do relevo que não são influenciadas pelas variações do lençol freático (AZEVEDO et al., 1987).

## **2.2 Crescimento diamétrico do tronco das árvores**

Todas as árvores amostradas, de diferentes idades, possuem um mesmo padrão de crescimento (Figura 41). Notou-se que os indivíduos de copaíba apresentaram elevado crescimento radial ao longo dos primeiros 20 anos de idade, indicando uma possível tendência de estabilização a partir desse período (Figura 41). Foi possível distinguir três grupos com idades diferentes. Apenas um indivíduo, teve o início de crescimento no ano de 1953, destacando-se dos demais; e apresentou maior incremento de diâmetro do tronco entre os anos de 1973 e 1985. O segundo grupo com maior número de indivíduos iniciou o seu crescimento entre 1974 e 1984, atingindo o maior incremento durante os anos de 1993 a 2000. O terceiro grupo, com a população mais jovem, iniciou o crescimento em 1987 a 1997, atingindo o maior incremento do tronco por volta de 2007 (Figura 41). Esses resultados são corroborados com LATORRACA et al. (2015) onde os autores também verificaram três grupos de diferentes idades e elevado crescimento radial ao longo dos primeiros 20 anos de desenvolvimento de indivíduos de *S. parahyba* na Reserva Biológica do Tinguá, RJ.

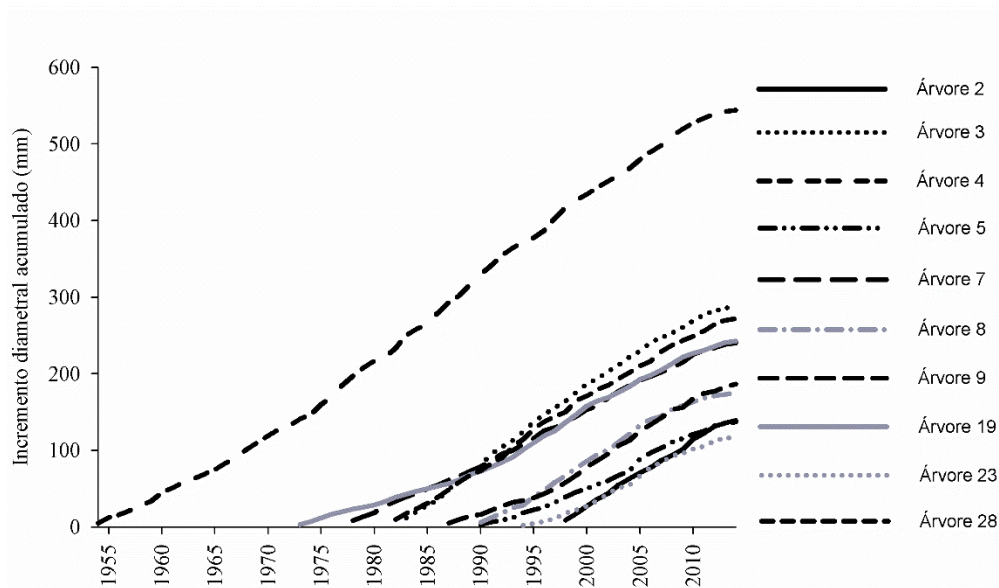


Figura 41. Incremento em diâmetro acumulado do tronco das árvores de *Copaifera langsdorffii*

A determinação da idade das árvores fornece informações sobre o estabelecimento e desenvolvimento da fitofisionomia da Mata Seca Sempre-Verde e da paisagem da EEP. A detecção de um indivíduo arbóreo com idade mais avançada remete ao período anterior ao enchimento da barragem da UHE Três Marias, antes da formação dessa fitofisionomia. GIÁCOMO et al. (2013; 2015) revelaram que além da alta frequência de indivíduos de *C. langsdorffii* presentes na Mata Seca Sempre-Verde, essa espécie se apresenta em outras formações vegetais de porte savânico como o Cerrado Típico e Campo Sujo Seco, porém em posições fitossociológicas menos representativas. Diante dessas assertivas, é razoável assumir que, indivíduos de *C. langsdorffii* presentes hoje na fitofisionomia de Mata Seca Sempre-Verde iniciaram o seu desenvolvimento na fitofisionomia de Cerrado Típico da EEP.

O incremento diâmetral superior observado no padrão do indivíduo arbóreo de copaíba mais antigo, mesmo no período inicial de desenvolvimento, pode ser um indicativo do desenvolvimento dessa árvore em uma fitofisionomia mais aberta, como o Cerrado Típico da EEP. Por sua vez, os grupos mais novos da população de copaíba da EEP possuem taxas de crescimento menores, provavelmente por estarem se desenvolvendo no sub-bosque da Mata Seca Sempre-Verde, competindo por recursos ambientais com outras árvores e espécies.

De acordo com WORBES et al. (2003), as árvores de dossel e emergentes apresentam valores mais altos de taxa de crescimento quando adultos, já que essas possuem a copa mais exposta a luz que indivíduos regenerantes do sub-bosque. Pelo o exposto, é presumível que os indivíduos mais antigos da população de copaíba da EEP já constituíam indivíduos adultos durante o período de transição de uma fitofisionomia mais esparsa (Cerrado Típico) para uma mais densa como a Mata Seca Sempre-Verde, enquanto os grupos mais novos dessa espécie foram originados em meio a uma formação florestal já estabelecida.

### 2.3 Dendrocronologia

A interpretação dos dados de largura dos anéis de crescimento revelou uma sincronização das séries cronológicas de 19 das 30 árvores amostradas (63%). Os indivíduos e séries radiais com baixa correlação com os demais foram retirados do processamento para sincronização das séries cronológicas. A exclusão dos indivíduos e séries radiais com baixa correlação é comum para as espécies tropicais, como pode ser observado nos trabalhos conduzidos por DÜNISCH et al. (2003) e LOBÃO (2011). Os indivíduos analisados apresentaram variação no número de anéis de crescimento, sendo o mais jovem com 15 anéis e o mais velho, com 61 anéis (Tabela 10).

Todos os indivíduos analisados apresentaram valores de intercorrelação satisfatórios (Tabela 10), dessa forma foi possível construir uma série cronológica geral, representativa para a região estudada. A cronologia média apresentou alta correlação (0,60 a 99% significância), valor esse acima do valor crítico (0,32), o que permitiu um bom ajuste entre as séries de anéis de crescimento. Esses números demonstraram que os indivíduos de *C. langsdorffii*, localizados na EEP, são passíveis de datação cruzada e que a maioria dos indivíduos retém um sinal comum da população.

Tabela 10. Qualidade da sincronização das séries de largura dos anéis com a série mestre.

<i>C. langsdorffii</i>	Número de séries	Extensão cronológica/anos	Intercorrelação para série mestre (%)	Sensibilidade
Árvore 1	1	2000-2014 (15)	46	35
Árvore 2	3	1998-2014 (17)	69	34
Árvore 3	3	1983-2014 (17)	63	33
Árvore 4	2	1954-2014 (61)	60	42
Árvore 5	3	1990-2014 (25)	58	42
Árvore 7	2	1978-2014 (37)	52	39
Árvore 8	2	1990-2014 (25)	72	45
Árvore 9	2	1987-2014 (28)	59	45
Árvore 11	1	1970-2014 (45)	54	32
Árvore 12	1	1990-2014 (25)	70	31
Árvore 16	1	1962-2014 (53)	64	44
Árvore 17	1	1953-2014 (62)	65	46
Árvore 19	2	1973-2014 (42)	54	36
Árvore 22	1	1989-2014 (26)	60	36
Árvore 23	2	1994-2014 (21)	56	35
Árvore 25	1	1965-2014 (50)	55	45
Árvore 27	1	1980-2014 (35)	57	37
Árvore 28	2	1982-2014 (33)	65	36
Árvore 30	1	1975-2014 (40)	55	34

Os indivíduos de copaíba analisados apresentaram uma sensibilidade média de 0,41. De acordo com FRITZ (1976), para que a espécie seja considerada sensível às variações ambientais, elas devem possuir valor igual ou superior a 0,40. Portanto, a formação dos anéis de crescimento da população de copaíba estabelecida na EEP é influenciada pelas condições ambientais.

A copaíba é uma espécie de crescimento moderado com produtividade média de  $6,60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (CARVALHO, 2003). O crescimento das árvores depende de fatores como a disponibilidade de recursos ambientais (por exemplo, luz, água e nutrientes), condições locais, (competição e distância entre árvores, proximidade de cursos d'água, tipo de solo, etc.), tamanho e constituição genética da árvore, bem como sua história de desenvolvimento, que podem afetar sozinho ou em conjunto o crescimento das árvores (CARVALHO, 2003).

A avaliação do Índice da largura dos anéis de crescimento da população de *C. langsdorffii* forneceu informações sobre o desenvolvimento da fitofisionomia da Mata Seca Sempre-Verde ao longo do tempo. A série cronológica se mostrou significativamente positiva ( $p < 0,05$ ;  $R^2 = 0,44$ ), ou seja, ao longo do tempo a população de copaíba vem apresentando uma tendência de crescimento ascendente (Figura 42). A população de copaíba, entre outras espécies, localizadas próximos as margens da EEP, podem ter sido favorecidas com um suprimento de água devido ao enchimento da barragem.

Foi encontrado um maior número de amostras com menores idades (Figura 42). Esse padrão corrobora com LATORRACA et al. (2015) e NOGUEIRA JÚNIOR (2011) que constataram um maior número de indivíduos amostrados em classes menores. Esse padrão deduz que as populações veem produzindo novos propágulos ao longo do tempo e que esses estão conseguindo se estabelecer e se desenvolver na área de estudo. Esses resultados sugerem que a população de copaíba da EEP apresenta indivíduos suficientes para garantir a perpetuação da espécie ao longo do tempo na fitofisionomia de Mata Seca Sempre-Verde da EEP.

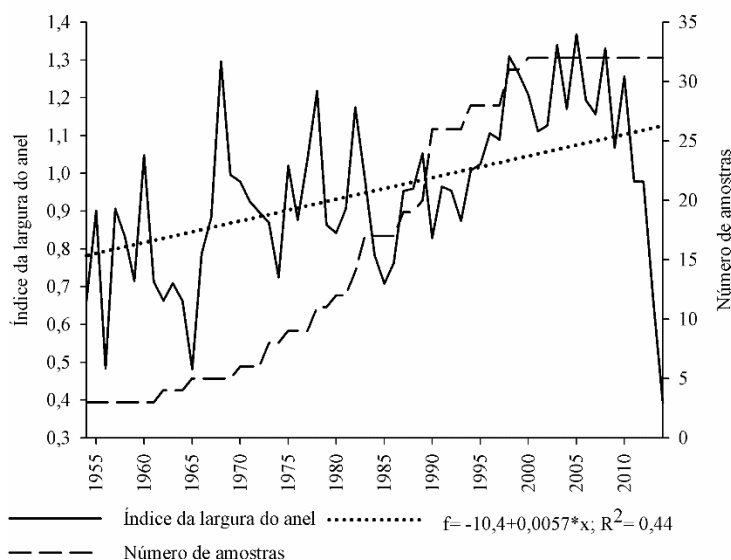


Figura 42. Série cronológica do Índice da largura dos anéis de crescimento do lenho de *Copaifera langsdorffii* e profundidade de série para o conjunto de árvores.

Também foi possível observar na série cronológica a formação de anéis de crescimento estreitos a partir do ano de 2007, coincidindo com o período de forte intensidade de ocorrência do evento El Niño (Figura 42). THERRELL et al. (2006) e GEBREKIRSTOS et al. (2008) explicam que além de serem influenciadas pelas chuvas e pela temperatura as árvores também podem

responder a eventos em maior escala, como o El Niño. De acordo com informações obtidas no Instituto Nacional de Pesquisa Espacial, a partir do ano de 2007, o fenômeno El Niño provocou na região Centro-Oeste do Brasil temperaturas mais altas e menos chuvas (ALVES et al., 2009), o que conseqüentemente pode ter diminuído o suprimento de água para a região de estudo. Por meio do monitoramento do diâmetro do tronco de espécies tropicais, THERRELL et al. (2006) e GEBREKIRSTOS et al. (2008) também demonstraram que durante períodos de estiagem, o crescimento tecidual é reduzido ou nulo, fortalecendo a relação entre estresse hídrico, atividade cambial e distensão celular.

## 2.4 Relação dos anéis de crescimento com o clima

Os indivíduos de *C. langsdorffii* da EEP apresentaram no lenho camadas de crescimento que foram influenciadas pela variação climática. A temperatura média mensal foi significativa ( $p < 0,05$ ) nos meses quentes e chuvosos, tanto do ano corrente como o prévio (Figura 43). O mesmo padrão foi constatado por ANHOLETTO JÚNIOR (2013) na formação dos anéis de crescimento de *Cedrela odorata* estabelecidos em ambientes xéricos do bioma Caatinga. Portanto, assim como ANHOLETTO JÚNIOR (2013) as análises das condições climáticas do local de estudo permitiram determinar que a temperatura exerce importante papel nessas camadas de crescimento (Figura 43).

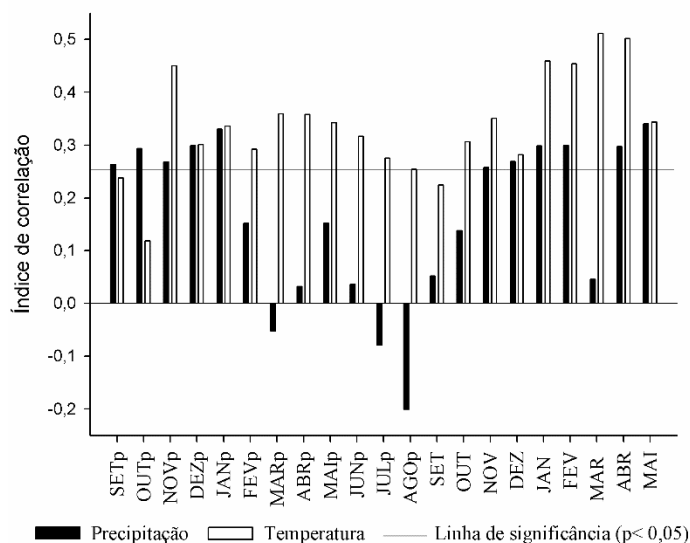


Figura 43. Correlação de Pearson ( $p < 0,05$ ) da série mestra do índice dos anéis de crescimento com precipitação e temperatura da Estação Ecológica de Pirapitinga, MG.

A precipitação também se mostrou significativa nos meses mais úmidos para os anos prévio e corrente (Figura 43). Esse resultado é corroborado por diversos autores que concluíram que a precipitação é o principal fator que influencia a formação dos anéis de crescimento das árvores (LATORRACA 2015; ANHOLETTO JÚNIOR, 2013; MELO JÚNIOR et al., 2011; NOGUEIRA JÚNIOR, 2011; BRIENEN et al., 2006; THERRELL et al., 2006; DÜNISCH et al.,

2003; WORBES, 1999; FRITTS, 1976). Também foi detectada correlação significativa entre o crescimento dos anéis com a precipitação, na transição da estação seca para a úmida no ano corrente e prévio. Essa característica é corroborada por DÜNISCH et al., (2003), BRIENEN; ZUIDEMA (2005) e ANHOLETTO JÚNIOR (2013) que também relataram influência da precipitação nos períodos transitórios das estações. Os resultados encontrados para a relação entre o crescimento e a precipitação de copaíba na EEP indicam que, nesse caso, o aumento das chuvas no período do verão e na transição de estações acelera o ritmo de crescimento dessa espécie.

Dessa forma, a copaíba está presente em diversos biomas e fitofisionomias brasileiras, o que permite que a espécie se adapte a diferentes condições de temperatura e pluviosidade (CARVALHO, 2003). Para a EEP, os meses de temperaturas e precipitações mais altas corresponderam a um aumento do crescimento da espécie. Esse aumento do crescimento da copaíba em determinados períodos do ano (Figura 43) pode estar intimamente ligado a sua adaptação tanto a ambientes úmidos quanto xéricos (MELO JÚNIOR et al., 2011; CARVALHO, 2003; LOBO; JOLY, 2000).

Diante do exposto, os resultados apresentados elucidam sobre a dinâmica de crescimento de uma população de *C. Langsdorffii* em uma ilha recentemente inundada (1962) e suas relações com a dinâmica da paisagem local. Portanto, os métodos dendrocronológicos aplicados nesse estudo foram satisfatórios para elucidar o estado atual e as mudanças ocorridas no ambiente onde a população de copaíba está estabelecida.

#### 4. CONCLUSÃO

Os indivíduos de *Copaifera langsdorffii* presentes na EEP apresentaram potencial dendrocronológico, confirmado por elevada correlação da largura dos anéis de crescimento dentre e entre árvores amostradas.

As análises dendrocronológicas revelaram que os indivíduos *C. langsdorffii* já estavam presentes antes do enchimento da barragem, porém com menor densidade populacional que nos dias atuais. Também foi possível inferir que o desenvolvimento da fitofisionomia Mata Seca Sempre-Verde ocorreu a partir da década de 70.

A sensibilidade média revelou que a formação dos anéis de crescimento da população de copaíba estabelecida na EEP é influenciada pelas condições ambientais. As variáveis climáticas, temperatura e precipitação, influenciaram positivamente o crescimento dos anéis nas estações mais úmida e quente dos anos.

#### 5. CONCLUSÕES GERAIS

As avaliações baseadas no sensoriamento remoto e geoprocessamento, no geral mostraram boa distinção espectral das fitofisionomias no intervalo de estudo. Os padrões observados permitiram discernir de forma satisfatória as fitofisionomias, determinando assim, a área absoluta de cada uma destas no intervalo analisados.

A relação entre os valores de Índice de Vegetação da Diferença Normalizada e as áreas absolutas das fitofisionomias foi positiva, demonstrando aumento da capacidade fotossintética da vegetação no decorrer do tempo. Isto implica em uma evolução das fitofisionomias para formações vegetais de maior biomassa vegetal das encontradas na EEP.

Também foi possível determinar que somente as fitofisionomias de porte florestal apresentaram incremento em área durante os 38 anos analisados. Enquanto isso, as outras fitofisionomias de porte savânico e campestre vêm se convertendo em outras formações vegetais de maior porte ao longo do tempo.

As análises dos atributos físicos e químicos do solo também mostraram uma boa distinção entre as fitofisionomias. Os maiores teores de argila do solo e densidade de espécies vegetais das fitofisionomias de porte florestal promoveram maiores teores e estoques de carbono e nitrogênio no solo dessas áreas comparados com as outras de formações vegetais de menor porte.

Os resultados de  $\delta^{13}\text{C}$  indicam que áreas hoje ocupadas por formações florestais e Cerrado Típico eram compostas predominantemente de plantas do ciclo fotossintético  $\text{C}_4$ . Esse padrão demonstrou que áreas ocupadas atualmente por formações florestais e Cerrado Típico provavelmente possuíam semelhanças fitofisionômicas encontradas atualmente na área de Campo Sujo Seco.

Os indivíduos de *Copaifera langsdorffii* presentes na EEP apresentaram bom potencial dendrocronológico, confirmado por elevada correlação da largura dos anéis de crescimento dentro e entre árvores amostradas. Essa avaliação permitiu uma boa correlação entre a série dendrocronológica e as variáveis climáticas.

As análises dendrocronológicas revelaram ainda que os indivíduos *C. langsdorffii* já estavam presentes antes do enchimento da barragem, porém com menor densidade populacional que nos dias atuais. Também foi possível concluir que a consolidação da fitofisionomia Mata Seca Sempre-Verde deu-se a partir da década de 70.

Portanto, as ferramentas de análise empregadas nesse estudo proporcionaram o acompanhamento das fitofisionomias em diferentes épocas de forma satisfatória. Os resultados indicaram que houve mudança e a velocidade desta ao longo do tempo nas fitofisionomias, permitindo assim, construir o cenário atual e reconstruir cenários passados.

Em vista do que foi mencionado, este estudo abre uma discussão a respeito da conservação de ambientes naturais. De acordo com os resultados apresentados neste estudo, é razoável assumir que, ao longo do tempo, o enchimento da barragem, a proteção contra incêndios e cercamento contra a entrada de gado na EEP acarretaram em uma evolução de algumas Up em outras de maior volume de biomassa vegetal. Isto sugere que, no decorrer do tempo, provavelmente ocorrerá uma evolução sucessional das Up para fitofisionomias de maior biomassa vegetal presentes na EEP.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa foi baseada na hipótese que após o enchimento da barragem da UHE Três Marias ocorreram diversas mudanças na paisagem da EEP. Este estudo teve como objetivo geral determinar o estado atual e diagnosticar as mudanças ocorridas na paisagem da EEP com o emprego do sensoriamento remoto, marcadores isotópicos do solo e análises dendrocronológicas.

Todos os métodos empregados nesse estudo corroboraram com hipótese de mudanças significativas da paisagem da EEP após o enchimento da barragem da UHE Três Marias. Além disso, através destes métodos pode-se elucidar, de diversas perspectivas, as mudanças ocorridas na paisagem da EEP ao longo do tempo.

O sensoriamento remoto se mostrou satisfatório a espacialização e velocidade de conversão ocorridas nas fitofisionomias da EEP. Porém, as duas fitofisionomias de porte florestal não apresentaram uma separação espectral satisfatória, devido à sua semelhança florística e



estrutural. Provavelmente, um número maior de coletas de assinaturas espectrais das fitofisionomias de porte florestal aumentaria a sua acurácia na separação das mesmas. Isto não foi possível pela pouca representatividade que essas fitofisionomias apresentaram na área de estudo, necessitando assim, realizar coletas das assinaturas espectrais em regiões adjacentes da EEP, o que aumentaria significativamente o tempo despendido para a pesquisa.

Também foi possível detectar as substituições de algumas fitofisionomias por outras no decorrer dos anos através dos atributos presentes no solo da EEP. No entanto, este método não determinou a época das mudanças ocorridas na vegetação. Somente com a compilação de dados históricos e integração com os outros capítulos seria possível estimar uma determinada época das mudanças da paisagem.

Os métodos dendrocronológicos aplicados nesse estudo também se mostraram satisfatórios para inferir sobre as mudanças ocorridas no ambiente onde a população de *Copaíba* esteve estabelecida. Entretanto, este trabalho não visou esgotar o assunto, sendo assim, um maior número de amostras de *C. langsdorffii* e de outras espécies poderiam proporcionar um aumento da acurácia analítica dos métodos dendrocronológicos. Isto seria de grande valia na formação de arcabouço teórico sólido para compreensão das mudanças da paisagem regional utilizando a dendrocronologia.

Ratificando as assertivas mencionadas, esta tese demonstrou a possibilidade do diagnóstico da paisagem, atual e prévia, com diferentes métodos, integradas e/ou independentes. Entretanto, ao decidir analisar a paisagem, é preciso compilar o máximo de informações da região de estudo como, bibliografia, histórico da área, dados climatológicos e imagens de satélite. Posteriormente, para a escolha de um determinado método é preciso observar as particularidades de cada região como, logística, facilidades de acesso, ambientes representativos, verificação de campo e espécies indicadoras. Somente respeitando os limites metodológicos para cada região, poderiam aumentar significativamente a probabilidade de uma boa avaliação da paisagem.

A respeito de uma eficiente conservação de ambientes naturais, diversos autores consideram essencial a ponderação dos processos ecológicos que essas áreas estão submetidas a milhares de anos. Sendo assim, não é simplesmente suficiente cercar e proteger áreas representativas de toda influencia degradadora, como os incêndios. Essa proteção provavelmente acarretará em desequilíbrio ambiental e o ecossistema possivelmente irá evoluir para outra condição que não era original.

Portanto, a integração das técnicas de sensoriamento remoto, isótopos do solo e dendrocronologia, oferecem uma visão útil para gestores privados e públicos a considerar como eles desenvolvem estratégias para monitorar e interagir com a mudança ambiental. Deste modo, a geração de informações estruturais ocorridas no passado é de suma importância para avaliação dos impactos antrópicos, desenvolvimento de técnicas de manejo eficientes e planejamento das ações em Unidades de Conservação que nos permitam auxiliar na conservação do bioma Cerrado.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, E. S.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. Ecological trends in the wood anatomy of some brazilian species. I: growth rings and vessels. **IAWA Journal**, v. 21, p. 3-30, 2000.

ALVES, L. M., COELHO, C. A. S., MELO, A. B. C.; PESQUER, J. F. Condições climáticas observadas no Brasil em 2009. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. < [http://clima1.cptec.inpe.br/~rclima1/pdf/Sintese\\_Climatica\\_2009.pdf](http://clima1.cptec.inpe.br/~rclima1/pdf/Sintese_Climatica_2009.pdf) >. Acessado em: 15/08/2015.

AZEVEDO, L.G.; BABOSA, A. A. A.; BEDRECHUK, A. C.; OLIVEIRA, A. L. C.; GORGONIO, A. S.; SIQUEIRA, F. B.; RIZZO, H. G.; SILVA, I. S.; L. C. MOURA, ARAUJO FILHO, M.; SANTOS, R. V. **Ensaio Metodológico de Identificação e Avaliação de Unidades Ambientais: a Estação Ecológica de Pirapitinga, MG**. Belo Horizonte: Ministerio do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, SEMA, Embrapa, 1987. 58 p.

ANHOLETTO JÚNIOR, C. R. **Dendrocronologia e composição isotópica ( $\delta^{13}\text{C}$ ) dos anéis de crescimento de árvores de *Cedrela odorata*, Meliaceae, na Caatinga e na Mata Atlântica do Estado de Sergipe, Brasil**. 90f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

BRIENEN, R. J. W.; ZUIDEMA, P. A. The use of tree rings in tropical forest management: projecting timber yields of four bolivian tree species. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 226, p. 256-26, 2006.

BUTLER, D. R; SAWYER, C. F. Dendrogeomorphology and high-magnitude snow avalanches: a review and case study. **Natural Hazards Earth System Sciences**, v. 8, 303-309, 2008

BUCHWAL, A. Dendrogeomorphological records of trail erosion. **Tree Ring in Archaeology, Climatology and Ecology**, v. 7, p. 166-170, 2008.

CALLADO, C. H.; NETO, S. J. S.; SCARANO, F. R.; COSTA, C. G. Periodicity of growth rings in some flood-prone trees of the Atlantic Rain Forest in Rio de Janeiro, Brazil. **Trees**, v. 15, p. 492-497, 2001

CARVALHO, P.E.R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Colombo: EMBRAPA, Vol. 1. 2003, 1039 p.

DÜNISCH, O.; MONTÓIA, V. R.; BAUCH, J. Dendroecological investigations on *Swietenia macrophylla* King and *Cedrela odorata* L. (Meliaceae) in the central Amazon. **Trees**, v. 17, p. 244-250, 2003.

FRITTS, H. C. **Tree rings and climate**. New York: Academic Press, 1976, 567 p.

GEBREKIRSTOS, A.; MITLO HNER R.; TEKETAY D.; WORBES M. Climate growth relationships of the dominant tree species from semi-arid savanna woodland in Ethiopia. **Trees-Struct Funct**, v. 22, p. 631-641, 2008.

GIÁCOMO, R. G.; CARVALHO, D. C.; PEREIRA, M. G.; SOUZA, A. B.; GAUI, T. D. Florística e fitossociologia em áreas de Campo Sujo e Cerrado Sensu Stricto na Estação Ecológica de Pirapitinga – MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 1, p. 29-43, 2013.

GIÁCOMO, R. G.; PEREIRA, M. G.; CARVALHO, D. C.; MEDEIROS, V. S.; GAUI, T. D. Florística e fitossociologia em áreas de Cerradão e Mata Mesofítica na Estação Ecológica de Pirapitinga, MG. **Floresta e Ambiente**, v.22, n. 3, p. 287-298, 2015.

GONÇALVES, G. V. **Dendrocronologia**: princípios teóricos, problemas práticos e aplicabilidade. Évora: CIDEHUS - Universidade de Évora, 2007, 16 p.

HOLMES, R.L. Computer assisted quality control in tree-ring dating and measurement. **Tree ring Bulletin**, v. 43, p. 69-78, 1983.

IAWA COMMITTEE. **Dendrochronology in Monsoon Asia**. **IAWA Journal**, v. 20, n. 3, p. 223-350, 1999.

KOEPPEN, W. **Climatología**. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 466 p.

LATORRACA, J. V. F.; SOUZA, M. T.; SILVA, L. D. S. A. B.; RAMOS, L. M. A. Dendrocronologia de árvores de *Schizolobium parahyba* (Vell.) S. F. Blake de ocorrência na Rebio Tinguá-RJ. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 2, p.385-394, 2015.

LISI, C. S.; TOMAZELLO-FILHO, M.; BOTOSSO, P. C.; ROIG, F. A.; MARIA, V. R. B., FERREIRA-FEDELE, L. & VOIGT, A. R. A. Tree-ring formation, radial increment periodicity and phenology of tree species from a Seasonal Semi-Deciduous Forest in Southeast Brazil. **IAWA Journal** 29:189-207, 2008.

LOBÃO, M. S. **Dendrocronologia, fenologia, atividade cambial e qualidade do lenho de árvores de *Cedrela odorata* L., *Cedrela fissilis* Vell. E *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Hub. Ex Ducke, no estado do Acre, Brasil**. 2011. 209 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2011.

LOBO, P. C.; JOLY, C. A. Aspectos ecofisiológicos da vegetação de mata ciliar do sudeste do Brasil. Pp. 143-157. In R. R. Rodrigues & H. F. Leitão-Filho (eds.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. Edusp/Fapesp, São Paulo. 2000.

MELO JÚNIOR, J. C. F.; CECCANTINI, G.; BONA, C. Anatomia ecológica do lenho de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Leguminosae) distribuída em diferentes condições edáficas do cerrado sul-brasileiro. **Iheringia**, Porto Alegre, v. 66, n.2, p. 189-200, 2011.

NOGUEIRA JÚNIOR, F. C. Estrutura e composição de uma floresta ripária, relações dendrocronológicas e climáticas na Serra dos Macacos em Tobias Barreto, Sergipe-Brasil. 173f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) – Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, 2011.

PEREZ-RODRIGUES, R.; MARQUES M. J.; BIENES R. Use of dendrochronological method in *Pinus halepensis* to estimate the soil erosion in the south east of Madrid (Spain). **Science of the Total Environment**, v. 378, p. 156-160, 2007.

RASPOPOV, O. M.; DERGACHEV, V. A.; KOLSTRÖM, T. Hale cyclicity of solar activity and its relation to climate variability. **Journal Solar Physics**, v. 224, n. 1-2, p. 455-463, 2004.

RUBINO, D.L.; MCCARTHY, B.C. Comparative analysis of dendroecological methods used to assess disturbance events. **Dendrochronologia**, v. 21, p. 97-115, 2004.

SASS-KLAASSEN, U.; COURALET, C.; SAHLE, Y.; STERCK, F.J. Juniper from Ethiopia contains a large-scale precipitation signal. **International Journal of Plant Sciences**, v. 169, p. 1057-1065, 2008.

SAVVA, Y.V.; SCHWEINGRUBER, F.H.; VAGANOV, E.A.; MILYUTIN, L.I. Influence of climate changes on tree-ring characteristics of scots pine provenances in southern Siberia (Forest-Steppe). **IAWA Journal**, v. 24, n. 4, p. 371-383, 2003.

SOUTHWORT, J.; RIG, L.; GIBBE, C.; WAYLE, P.; ZH, L.; MCCARRAGHE, S.; LIN C. Integrating dendrochronology, climate and satellite remote sensing to better understand savanna landscape dynamics in the Okavango Delta, Botswana. **Land**, v. 2, p. 637-655, 2013.

THERRELL, M.D.; STAHL D.W.; RIES L.P.; SHUGART H.H. Tree-ring reconstructed rainfall variability in Zimbabwe. **Climate Dynamics**, v. 26, p. 677-685. 2006.

WORBES, M. growth rings, rainfall-dependent growth and long- term growth patterns of tropical trees from the Caparo Forest Reserve in Venezuela. **Journal of Ecology**, v. 87, p. 391-403, 1999.

WORBES, M.; STASCHEL, R.; ROLOFF, A.; JUNK, W. M. Tree rings analysis reveals age structure, dynamics an wood production of a natural forest stand in Camerron. **Forest Ecology and Management**, v. 173, p. 105-123, 2003.