

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE FLORESTAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS**  
**AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

**Tese**

Regeneração Natural em Ambientes Antropizados e a  
Recuperação dos Serviços Ambientais em uma Bacia  
Hidrográfica no Cerrado, Uberaba-MG, Brasil

**GILSONLEY LOPES DOS SANTOS**

**2017**



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

**Regeneração natural em ambientes antropizados e a  
recuperação dos serviços ambientais em uma bacia  
hidrográfica no Cerrado, Uberaba-MG, Brasil**

**GILSONLEY LOPES DOS SANTOS**

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

*Co-orientação do Pesquisador*  
**Dr. Rafael Coll Delgado**  
**Dr. José Luiz Rodrigues Torres**

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  
Silvicultura e Manejo Florestal.

**Seropédica, RJ  
Outubro de 2017**

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S237r

Santos, Gilsonley Lopes dos, 20/06/1985-  
Regeneração Natural em Ambientes Antropizados  
e a Recuperação dos Serviços Ambientais em Bacia  
Hidrográfica no Cerrado, Uberaba-MG, Brasil /  
Gilsonley Lopes dos Santos. - 2017.  
67 f.

Orientador: Marc os Gervasio Pereira.

Coorientador: Rafael Coll Delgado; José Luiz  
Rodrigues Torres.

Tese (Doutorado). -- Universidade Federal Rural  
do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em  
Ciências Ambientais e Florestais, 2017.

1. Savana. 2. Resiliência. 3. Espécies arbóreas. 4.  
Índice de vegetação. I. Pereira, Marcos Gervasio,  
24/01/1965-, orient. II. Delgado, Rafael Coll,  
22/07/1978; Torres, José Luiz Rodrigues,  
27/06/1965-, coorient. III Universidade Federal  
Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós-  
Graduação em Ciências Ambientais e Florestais. IV.  
Título.

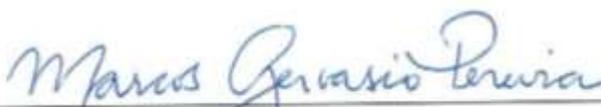
É permitida a cópia parcial ou total desta Tese, desde que seja citada a fonte.

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

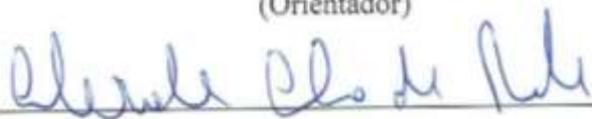
**GILSONLEY LOPES DOS SANTOS**

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 Silvicultura e Manejo Florestal.

TESE APROVADA EM: 30/10/2017



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



Alexander Silva de Resende Dr. Embrapa Agrobiologia



Bruno Araujo Furtado de Mendonça Prof. Dr. UFRRJ



Luiz Fernando Duarte de Moraes Dr. Embrapa Agrobiologia



Jerônimo Boelsums Barreto Sansevero Prof. Dr. UFRRJ

*Aos meus pais,  
A minha noiva,  
Aos meus irmãos,  
Aos meus familiares e  
Amigos.*

**Dedico**

## AGRADECIMENTOS

A Deus por estar sempre me guiando nos desafios da vida.

Aos meus pais: José Augusto e Joana, meus irmãos: Tomaza, Gilmar, José da Paixão, Gilma, Célio e Nedinária, e minha vó Enedina (*in memorian*), por todo amor, dedicação, incentivo aos estudos e confiança.

A minha noiva Iris Cristiane Magistrali pelo carinho e por estar presente nos bons e nos momentos difíceis.

A toda minha família pelo incentivo aos estudos.

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro pela oportunidade de estudo e toda a estrutura oferecida para minha formação acadêmica.

Ao Instituto Federal do Triângulo Mineiro – Campus Uberaba pela disponibilidade da área de pesquisa e todo o apoio na coleta de dados e montagem de experimento.

Aos professores e técnicos da UFRRJ, pela contribuição na minha formação pessoal e profissional.

Ao meu orientador Dr. Marcos Gervasio Pereira pela paciência, dedicação, atenção, amizade e orientação ao longo dos anos.

Aos meus co-orientadores Professores Dr. Rafael Coll Delgado e Dr. José Luiz Rodrigues Torres pela paciência, dedicação, atenção, amizade e orientação.

Ao Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais e Florestais.

A CAPES pela concessão a bolsa.

A todos os membros do LGCS e LIEA pelo convívio, nos trabalhos de campo, de laboratório, conversas e descontrações.

A todos os amigos e colegas da UFRRJ, pelos momentos de amizade e descontração;

E a todos que por falha da memória não foram citados, que contribuíram para minha formação acadêmica e realização desse trabalho.

**Obrigado**

## **BIOGRAFIA**

Gilsonley Lopes dos Santos nasceu no dia 20 de Junho de 1985 na cidade de Januária, estado de Minas Gerais, filho de José Augusto dos Santos e Joana Lopes dos Santos. Ingressou na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro em outubro de 2005, no curso de Licenciatura em Ciências Agrícolas no qual permaneceu até o ano de 2008, quando transferiu para o curso de Engenharia Florestal, sendo graduado Engenheiro Florestal em Julho de 2011. Foi monitor na Disciplina de Zoologia Geral durante os anos de 2006 e 2007. Bolsista de iniciação científica nos anos de 2008 e 2010. Trabalhou como Engenheiro Florestal residente no projeto de extensão “Recuperação da Mata Ciliar do Rio Macacu” em 2011/2012. Em Março de 2012 ingressou no curso de Mestrado no programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, área de concentração em Silvicultura e Manejo Florestal, na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, concluindo-o em fevereiro de 2014. Em Março de 2014 ingressou no curso de doutorado no programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, área de concentração em Silvicultura e Manejo Florestal, na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

## RESUMO GERAL

SANTOS, G. L. **Regeneração Natural em Ambientes Antropizados e a Recuperação dos Serviços Ambientais em Bacia Hidrográfica no Cerrado, Uberaba-MG, Brasil.** 2017. 67p. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2017.

O Cerrado possui um dos maiores valores de riqueza florística do mundo, sendo considerado um dos “*hotspots*” para a conservação da biodiversidade. Entretanto, devido as características favoráveis de solo e relevo desses ambientes, aliado a expansão da agricultura, tem contribuído para a redução da biodiversidade e dos serviços ambientais nesse bioma. Assim, o objetivo deste estudo é avaliar a dinâmica da regeneração natural em áreas antropizadas por usos agrícolas, identificar a influência dos fatores ambientais e climáticos no processo de regeneração natural e a recuperação dos serviços ambientais em bacias hidrográficas no Cerrado. O estudo foi realizado na bacia hidrográfica do Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM) Campus Uberaba-MG, a qual possui uma área antropizada que desde 2002 encontra protegida da entrada de animais domésticos e explorações agrícolas. Nesta foi avaliada a dinâmica temporal e espacial da regeneração natural, a distribuição das espécies arbóreas em função dos atributos do solo e a recuperação dos serviços ambientais da bacia hidrográfica. A dinâmica da regeneração natural apresentou um padrão crescente de cobertura florestal ao longo do tempo quando protegido da recorrência de ações antrópicas, e o NDVI foi uma ferramenta efetiva no estudo da dinâmica da vegetação em ambientes em regeneração. A distribuição das espécies arbóreas nas áreas em processo de regeneração natural no Cerrado é influenciada pelas características dos atributos do solo e pelo grau de sucessão da vegetação, em que a presença das espécies arbóreas está correlacionada com os atributos do solo. O processo de regeneração natural aumentou a cobertura do solo em ambientes antropizados no Cerrado, e recuperou os serviços ambientais da bacia hidrográfica, podendo ser adotada como uma ferramenta na recuperação de ambientes antropizados que apresentam capacidade de resiliência.

**Palavras-chave:** Savana, Resiliência, Espécies arbóreas, Índice de vegetação

## GENERAL ABSTRACT

SANTOS, G. L. **Natural Regeneration in Anthropized Environments and the Recovery of Environmental Services in Hydrographic Basin in the Cerrado, Uberaba-MG, Brazil.** 2017. 67p. Tese (Doctor in Environmental Science and Forestry). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2017.

The Cerrado has one of the highest values of floristic richness in the world, being considered one of the hotspots for the conservation of biodiversity. However, due to the favorable soil and relief characteristics of these environments, together with the expansion of agriculture, it has contributed to the reduction of biodiversity and environmental services in this biome. The objective of this study is to evaluate the dynamics of natural regeneration in anthropic areas by agricultural uses, to identify the influence of environmental and climatic factors on the natural regeneration process and the recovery of environmental services in hydrographic basins the Cerrado. The study was carried out in the catchment area of the Federal Institute of the Triângulo Mineiro (IFTM) Campus Uberaba-MG, which has an anthropic area that since 2002 has been protected from entry of domestic animals and farms. In this area the temporal and spatial dynamics of natural regeneration, the distribution of the tree species as a function of the soil attributes and the recovery of the environmental services of the hydrographic basin were evaluated. The dynamics of natural regeneration presented an increasing pattern of forest cover over time when protected from the recurrence of anthropogenic actions, and NDVI was an effective tool in the study of vegetation dynamics in regenerating environments. The distribution of tree species in areas undergoing natural regeneration in the Cerrado is influenced by the characteristics of the soil attributes and the degree of succession of the vegetation, where the presence of tree species is correlated with the characteristics of the soil attributes. The natural regeneration process increased the soil cover in anthropic environments in the Cerrado, and recovered the environmental services of the hydrographic basin, being able to be adopted as a tool in the recovery of anthropized environments that have resilience capacity.

**Key Words:** Savanna, Resilience, Tree species, Vegetation index.

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Bandas do sensor TM, apresentando os coeficientes de calibração. ....	16
<b>Tabela 2.</b> Análise de tendência pelo teste de Mann-Kendall.....	20
<b>Tabela 3.</b> Análise de regressão linear simples. ....	21
<b>Tabela 4.</b> Espécies florestais presentes nas áreas em processo de regeneração natural e os respectivos parâmetros fitossociológicos. ....	35
<b>Tabela 5.</b> Síndrome de dispersão e o grupo sucessional das espécies florestais presentes nas áreas de Cerrado e da Floresta de Galeria em regeneração natural. ....	36
<b>Tabela 6.</b> Parâmetros florísticos e fitossociológicos da vegetação arbórea nas áreas em regeneração natural.....	40
<b>Tabela 7.</b> Valores de pH e teores de nutrientes do solo nas diferentes áreas em processo de regeneração natural.....	41
<b>Tabela 8.</b> Estatística descritiva das variáveis NDVI, chuva, vazão e temperatura. ....	59
<b>Tabela 9.</b> Desvios mensais do NDVI, da chuva, da vazão e da temperatura para os dois períodos. ....	60

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Fisionomias do Cerrado. ....	3
<b>Figura 2.</b> Bacia hidrográfica do Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM) Campus Uberaba-MG. ....	7
<b>Figura 3.</b> Dinâmica temporal do valor de NDVI com a evolução da regeneração natural no IFTM. ....	19
<b>Figura 4.</b> Variação temporal do NDVI com a evolução da regeneração natural no Cerrado. .	20
<b>Figura 5.</b> Representatividade dos clusters no conjunto de dados e a variação dos valores de NDVI entre os clusters. ....	21
<b>Figura 6.</b> Análise Two Step Cluster. ....	22
<b>Figura 7.</b> Localização da unidade amostral na área de estudos e dos pontos dos transectos do levantamento florístico. ....	31
<b>Figura 8.</b> Curvas médias de acumulação de espécies e estimativa da riqueza de espécies para cada área. ....	37
<b>Figura 9.</b> Diagramas de ordenação das parcelas produzidos pelo Escalonamento Multidimensional Não Métrico (NMDS) para composição (A) e abundância (B) em dois ambientes de solos distintos. ....	38
<b>Figura 10.</b> Análise de correspondência canônica entre as espécies arbóreas e os atributos de um Latossolo Vermelho-Amarelo no Cerrado. ....	42
<b>Figura 11.</b> Análise de correspondência canônica entre as espécies florestais e os atributos de um Gleissolo Háptico no Cerrado. ....	43
<b>Figura 12.</b> Medição da vazão pelo método de vertedor trapezoidal. ....	55
<b>Figura 13.</b> Dinâmica temporal do valor de NDVI na bacia hidrográfica do IFTM em função das estações do ano. ....	57
<b>Figura 14.</b> Vazão da bacia hidrográfica do IFTM-Uberaba-MG no ano de 2002/2003. ....	58
<b>Figura 15.</b> Vazão da bacia hidrográfica do IFTM-Uberaba-MG no ano de 2015/2016. ....	58
<b>Figura 16.</b> Análise de componente principal da vegetação (NDVI), das variáveis meteorológicas e da vazão no período 2002/2003. ....	61
<b>Figura 17.</b> Análise de componente principal da vegetação (NDVI), das variáveis meteorológicas e da vazão no período 2015/2016. ....	62

## SUMÁRIO

RESUMO GERAL .....	VIII
GENERAL ABSTRACT.....	IX
ÍNDICE DE TABELAS .....	X
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
1. INTRODUÇÃO GERAL .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 ANTROPIZAÇÃO DO CERRADO .....	3
2.2 REGENERAÇÃO NATURAL E SUCESSÃO ECOLÓGICA .....	4
2.3 USO DE IMAGENS ORBITAIS NO ESTUDO DA DINÂMICA DA VEGETAÇÃO .....	5
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	7
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS .....	7
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	8
<b>CAPÍTULO I: REGENERAÇÃO NATURAL EM AMBIENTES ANTROPIZADOS POR USOS AGRÍCOLAS NO CERRADO, UBERABA-MG, BRASIL .....</b>	<b>12</b>
RESUMO.....	13
ABSTRACT .....	14
1. INTRODUÇÃO .....	15
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	16
2.1 IMAGENS .....	16
2.2 IDENTIFICAÇÃO DOS AMBIENTES EM PROCESSO DE REGENERAÇÃO NATURAL.....	17
2.3 VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS.....	17
2.4 ANÁLISE DOS DADOS .....	17
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	19
4. CONCLUSÕES.....	23
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	24
<b>CAPÍTULO II: RELAÇÃO ENTRE AS CONDIÇÕES EDAFO-AMBIENTAIS E PADRÕES FLORÍSTICOS DE DUAS FITOFISIONOMIAS DO CERRADO BRASILEIRO .....</b>	<b>26</b>
RESUMO.....	27
ABSTRACT .....	28
1. INTRODUÇÃO .....	29
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	31

2.1 UNIDADE AMOSTRAL.....	31
2.2 LEVANTAMENTO FITOSSOCIOLÓGICO.....	31
2.3 ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO.....	33
2.4 ORDENAÇÃO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E DAS ESPÉCIES VEGETAIS.....	33
2.7 ANÁLISE DOS DADOS .....	33
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>34</b>
3.1 LEVANTAMENTO FITOSSOCIOLÓGICO.....	34
3.2 ATRIBUTOS DO SOLO.....	40
3.3 RELAÇÃO DOS ATRIBUTOS DO SOLO COM A REGENERAÇÃO NATURAL .....	41
<b>4. CONCLUSÕES.....</b>	<b>45</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>46</b>
<b>CAPÍTULO III: EXPANSÃO DA COBERTURA DO SOLO E A RECUPERAÇÃO DOS SERVIÇOS AMBIENTAIS EM BACIA HIDROGRÁFICA NO CERRADO .....</b>	<b>50</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>51</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>52</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>53</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>54</b>
2.1 VEGETAÇÃO.....	54
2.2 VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS.....	54
2.3 PRODUÇÃO DE ÁGUA .....	55
2.4 ANÁLISE DOS DADOS .....	56
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>57</b>
3.1 DINÂMICA DA VEGETAÇÃO, DA VAZÃO E DOS FATORES METEOROLÓGICOS .....	57
<b>4. CONCLUSÕES.....</b>	<b>63</b>
<b>5. CONCLUSÕES GERAIS .....</b>	<b>64</b>
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>65</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>66</b>

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A vegetação do Cerrado atualmente é submetida a uma intensa pressão antrópica, sendo o maior agravante a expansão da agricultura. As condições de solo e de relevo em que o Cerrado está inserido são favoráveis a implantação da agricultura, o que tem levado à redução da biodiversidade (Nóbrega et al., 2017). Essa remoção da vegetação original tem promovido a formação de remanescentes florestais muito fragmentados e esparsos (Klink & Machado, 2005; Silva et al., 2006).

O Cerrado possui um dos maiores números de plantas vasculares superiores do mundo e 5% da flora e da fauna (Mendonça et al., 1998; Faleiro et al., 2008). Assim, as transformações ocorridas nas paisagens do Cerrado, bem como a ameaça de supressão de muitas das espécies vegetais, têm levado ao surgimento de iniciativas de conservação que buscam preservar e/ou recuperar ambientes antropizados. Dentre as práticas de recuperação de ambientes antropizados, a regeneração natural é um dos processos que podem ser adotados no Cerrado.

A capacidade de regeneração natural do Cerrado está relacionada principalmente à adaptação das espécies as condições ambientais, as quais estão inseridas. Desta forma, em alguns níveis de degradação em que ainda existe resiliência é desnecessária a intervenção técnica para a recuperação ambiental (Durigan et al., 2011).

O processo de revegetação de ambientes florestais antropizados acontece por processo de sucessão ecológica, o qual pode ser acompanhado e previsto com base na sua composição florística resiliente. Portanto, o conhecimento da sucessão ecológica é fundamental para uma melhor compreensão da regeneração natural, principalmente em ambientes dinâmicos como o Cerrado (Silva et al., 2012).

Nos últimos anos, cresce o número de estudos que utilizam imagens orbitais, a fim de avaliar a dinâmica da vegetação nos ambientes antropizados em processo de regeneração natural (Santos et al., 2017; Resende et al., 2015; Mohamed et al., 2014, 20 Pavanelli & Guimarães, 2014). A partir das imagens orbitais são calculados os índices de vegetação como o NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada), as quais revelam as condições que a vegetação se encontra no momento de obtenção das imagens, com isso é permitido avaliar as alterações na estrutura e expansão da vegetação (Pavanelli & Guimarães, 2014).

As imagens orbitais são obtidas por sensores que estão a bordo de satélites, sendo essas ferramentas fundamentais nos estudos de florestas em processo de regeneração (Resende et al., 2015), por permitir obter bons resultados de monitoramento e identificação das diferentes feições da vegetação de uma paisagem (Cândido et al., 2015).

Nos ambientes vegetais a dinâmica da vegetação e o processo de regeneração natural são influenciados pelas características ecológicas, e a composição das espécies que compõem o ecossistema. Além desses fatores, a dinâmica da vegetação expressa pelo índice de vegetação também é influenciada pelas condições climáticas, onde diversos estudos têm identificado correlações entre os valores de NDVI e chuva nos ambientes florestais em processo de regeneração, pois a chuva influencia diretamente nos processos fisiológicos das plantas (Barbosa et al., 2015; Delgado et al., 2012; Gurgel et al., 2003).

Os atributos do solo também são fatores que podem contribuir positivamente ou negativamente no processo de regeneração natural, pois, as características químicas e físicas do solo são determinantes na distribuição das espécies (Neri et al., 2012; Bueno et al., 2013; Dick & Schumacker, 2015). Por outro lado, as espécies presentes em um ambiente alteram as condições do solo pelo aporte de serapilheira, a qual quando decomposta adiciona matéria orgânica e nutrientes ao solo, esse processo determina a entrada de novas espécies no ambiente (Morandi et al., 2016; Madeira et al., 2015).

No Cerrado a dinâmica das espécies vegetais também é influenciada pelo fogo, pois, os incêndios florestais são responsáveis pela modificação da estrutura e composição destas, em que as espécies mais adaptadas permanecem no ambiente após os incêndios. Já as menos adaptadas são eliminadas do ambiente, permitindo a entrada de novas espécies (Fiedler et al., 2004). Por outro lado, estudos como Mews et al. (2011), têm apontado que a ausência de incêndios florestais favorece o estabelecimento das espécies arbóreas, favorecendo o aumento da densidade e da biomassa da vegetação.

Quando aborda-se a dinâmica da vegetação no processo de regeneração natural, um dos fatores que precisam ser considerado é a bacia hidrográfica onde esse processo está ocorrendo, pois a revegetação é uma prática que recupera e revitaliza os serviços hidrológicos em bacias hidrográficas (Bacellar, 2005). Inicialmente, as bacias hidrográficas com cobertura arbórea tendem a produzir menos água em relação aos outros tipos de cobertura. Porém, apresentam uma vazão mais estável e sustentável o que é fundamental para o balanço hidrológico (Balbinot et al., 2009).

Neste sentido, partindo da hipótese que os processos de regeneração natural ocorrem de forma diferenciada em relação ao grau de antropização, as condições edafo-ambientais e climáticas no Cerrado, este estudo tem como objetivo avaliar a dinâmica da regeneração natural em áreas antropizadas, identificar a influência dos fatores edafo-ambientais e climáticos no processo de regeneração natural e a recuperação dos serviços ambientais em bacia hidrográfica no Cerrado, Minas Gerais.

Para uma melhor compreensão dos fatores ecológicos e ambientais envolvidos no processo de regeneração natural os objetivos específicos foram:

- Avaliar a dinâmica temporal da cobertura vegetal em área antropizada e a influência das condições climáticas no processo de regeneração natural no Cerrado;
- Avaliar os padrões florísticos e fitossociológicos da regeneração natural, a qual acontece segundo o modelo de sucessão “Composição Florística Inicial” em áreas antropizadas no Cerrado, em diferentes condições edafo-ambientais;
- Avaliar a influência do processo de regeneração natural de um ambiente antropizado com a variação das condições climáticas e a recuperação dos serviços ambientais em bacia hidrográfica no Cerrado.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Antropização do Cerrado

O Cerrado ocupa aproximadamente 207 milhões de hectares, equivalentes a 25% do território nacional (Mueller & Marta Júnior, 2008), sendo o segundo maior bioma do Brasil superado em área apenas pela Amazônia. Na formação do Cerrado pode ser observado um gradiente de fisionomias ou tipos de vegetação, que vai desde o Campo Sujo ou Cerrado Ralo até o Cerradão (Figura 1), fisionomias que estão relacionadas à presença de fatores naturais e antrópicos condicionantes (Durigan et al., 2011).



**Figura 1.** Fisionomias do Cerrado.

Fonte: Durigan et al. (2011).

O Cerrado representa aproximadamente 4% da região tropical mundial, é considerado como uma importante reserva da biodiversidade e potencial produtor de alimentos do país (Bayer et al., 2004; Braz et al., 2010). No estado de Minas Gerais, o Cerrado é o bioma predominante, ocorrendo em cerca de 50% do estado, especialmente nas bacias dos rios São Francisco e Jequitinhonha (IEF, 2015). No entanto, parte de sua vegetação original já foi suprimida para implantação de culturas agrícolas e por atividades agropecuárias, o que levou a formação de remanescentes muito fragmentados e esparsos (Klink & Machado, 2005; Silva et al., 2006).

O impacto ambiental mais evidente da antropização do Cerrado é o desaparecimento gradativo da vegetação nativa e a sua substituição por uma paisagem homogênea, formada por pastagens e por grandes lavouras (Santos et al., 2010). A abertura de áreas para fins agrícolas, que envolve o processo de corte das árvores, arbustos e herbáceas e de queima da serapilheira, aceleram os processos de degradação do solo e da vegetação (Araujo et al., 2007).

O processo de degradação do Cerrado tem gerado diversos passivos ambientais, tais como: perda da biodiversidade, assoreamento dos corpos hídricos, degradação ambiental e alteração da quantidade e qualidade da água nos corpos hídricos (Torres et al., 2011). Em vista disso, as perdas podem ser tanto em extensão de área, quanto em qualidade do habitat da

vegetação, conseqüentemente contribuindo para diminuir ou comprometer o funcionamento do ecossistema e os serviços ambientais oferecidos (Aerts & Honnay, 2011).

Quando ocorre o processo de antropização em bacias hidrográficas têm-se observado que o desenvolvimento da agricultura influencia diretamente no comportamento hidrológico afetando a qualidade e quantidade da água (Calijuri et al., 2015). Dentre os passivos ambientais que são desencadeados com antropização do Cerrado, relacionados à degradação do solo, pode-se citar: erosão superficial, compactação do solo, alteração das propriedades químicas e físicas do solo e a degradação acelerada da matéria orgânica (Hunke et al., 2014). Desta maneira, é importante uma exploração mais adequada das condições de solo e da vegetação do Cerrado para garantir a conservação dos ambientes florestais e dos antropizados.

Hunke et al. (2014) ao avaliarem uma projeção futura quanto aos efeitos dos passivos ambientais resultantes do processo de antropização do Cerrado, alertaram que o uso intensivo do solo, aliado as mudanças climáticas provavelmente limitarão severamente a produtividade agrícola do Cerrado e a estabilidade do ecossistema, especialmente em bacias hidrográficas. Assim, o conhecimento sobre a dinâmica do Cerrado é fundamental para ocorrer o processo de desenvolvimento econômico e a conservação ambiental de forma adequada (Klink & Machado, 2005).

## **2.2 Regeneração Natural e Sucessão Ecológica**

No Cerrado a evidência dos impactos ambientais são as grandes áreas homogêneas com pastagens e agricultura, as quais, após um longo período de uso e manejo inadequado perdem a capacidade produtiva e são abandonadas. Assim, quando existe o potencial de regeneração natural nesses ambientes antropizados inicia-se o processo de regeneração natural, mas, se a capacidade de regeneração é perdida, se torna necessária a reintrodução de espécies vegetais (Durigan et al., 2011; Oliveira et al., 2011).

A regeneração natural se inicia com a reprodução de espécies, cujas sementes ali chegam, germinam e se estabelecem, com influência dos fatores ambientais: solo, topografia, precipitação e temperatura (Almeida et al., 2005). O Cerrado, por ter um alto potencial de regeneração devido à fisiologia e hábitos de sua vegetação, tem uma resposta positiva quando se aplica o método da regeneração natural, na recuperação de ambientes que foram submetidos a diferentes processos de antropização (Durigan et al., 2011).

No decorrer do processo de regeneração natural, há diferentes combinações e sucessões das espécies, sendo essas influenciadas pelas características ecológicas das espécies do ecossistema. Assim, os processos de sucessão seguem os seguintes modelos “Composição Florística Inicial” (as espécies pioneiras permanecendo em estágios avançados de sucessão) e/ou “Substituição Florística” (cada grupo de espécies ocupa o ambiente em um determinado estágio de desenvolvimento) (Egler, 1954). No Cerrado o processo de sucessão ecológica por regeneração natural segue o modelo “Composição Florística Inicial” proposto por Egler, (1954).

A retomada da vegetação no ambiente de Cerrado, onde antes foi antropizado e depois abandonado é de extrema importância, pois é através das etapas de sucessão que o meio ambiente irá se restabelecer. Desta forma, conhecer a sucessão ecológica no Cerrado contribui para um maior aperfeiçoamento e compreensão das técnicas de recuperação ambiental (Silva et al., 2012).

Para Odum (2004) na compreensão da sucessão ecológica deve-se considerar parâmetros como: a) é um procedimento ordenado do desenvolvimento da comunidade, sendo por esta razão direcional e previsível; b) é consequência da modificação do ambiente físico, praticada pela comunidade, portanto, a sucessão é controlada pela comunidade, ainda que o ambiente físico provoque alterações do ritmo e padrão, estabelecendo assim a possibilidade de

desenvolvimento; c) determina a máxima estabilidade no ecossistema, no qual mantêm as unidades decorrentes de energia disponível, máxima biomassa e a função simbiótica entre os organismos.

A dinâmica da vegetação no decorrer da sucessão ecológica no Cerrado é influenciada pelas condições químicas e físicas do solo que são determinantes na distribuição das espécies (Neri et al., 2012; Bueno et al., 2013; Dick & Schumacker, 2015). Por outro lado, quando os ambientes são ocupados pela vegetação, os mesmos apresentam suas características químicas e físicas do solo alteradas pela dinâmica de aporte da serapilheira, processo esse determinante na entrada e saída de espécies do ecossistema (Madeira et al., 2015; Morandi et al., 2016).

Na relação solo-planta as características dos atributos do solo são determinantes na distribuição das espécies nos diversos ambientes (Neri et al., 2012; Morandi et al., 2016). Portanto, a variação nas composições químicas e físicas das classes de solos resulta na predominância das espécies mais adaptadas as condições do ambiente, sendo esse comportamento evidente nos ambientes com solos hidromórficos (Munhoz et al., 2008 e Ávila et al., 2016).

### **2.3 Uso de Imagens Orbitais no Estudo da Dinâmica da Vegetação**

A dinâmica da vegetação é um processo natural que está relacionado com uma diversidade de fatores ambientais, os quais influenciam desde a germinação da semente, a senescência das folhas, e principalmente nas interações entre as espécies quanto à estratificação do dossel e as condições do ambiente (Silveira & Silva, 2010).

O processo de regeneração natural é possível de ser acompanhado e avaliado com o uso de índices de vegetação como o NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada), os quais são obtidos a partir de imagens orbitais, por permitir estudar e avaliar as alterações na estrutura e expansão da vegetação (Pavanelli & Guimarães, 2014). Nos cálculos e processamento dos índices de vegetação, as geotecnologias têm sido ferramentas base para estudar a vegetação em processo de regeneração, permitindo o monitoramento, e a identificação de diferentes feições florestais de uma paisagem (Resende et al., 2015; Cândido et al., 2015).

No Cerrado os índices de vegetação são influenciados também pelas condições climáticas, onde estudos têm identificado correlações positivas entre os valores de NDVI e chuva nos ambientes florestais em processo de regeneração (Gurgel et al., 2003). Pois, a chuva influencia diretamente nos processos fisiológicos das plantas (Barbosa et al., 2015; Delgado et al., 2012).

As imagens orbitais permitem acompanhar a dinâmica da vegetação no espaço e no tempo, isso é possível pela interação diferenciada dos objetos da superfície da terra com a energia eletromagnética incidente, quanto a variação da quantidade de energia refletida em cada comprimento de onda, devido as diferentes propriedades físico-químicas e biológicas (Moreira, 2001).

As imagens orbitais armazenam diversas informações da superfície da terra que são captadas por sensores remotos constantemente, assim, é possível o acompanhamento da dinâmica da vegetação, que encontra-se em constantes alterações estruturais e fisiológicas (Meneses & Almeida, 2012). Os sensores estão a bordo de satélites tais como: LANDSAT 5 (Thematic Mapper), o RAPIDEYE (Imageador Multiespectral Pushbroom) e o TERRA (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer).

Os sensores remotos apresentam variações quanto à resolução temporal, espacial, radiometria espectral e a composição das imagens, assim, os usos das informações contidas nessas imagens são diversos. Estudos têm demonstrados ótimos resultados quanto ao uso de imagens orbitais, na análise da dinâmica da vegetação em função da variação das condições

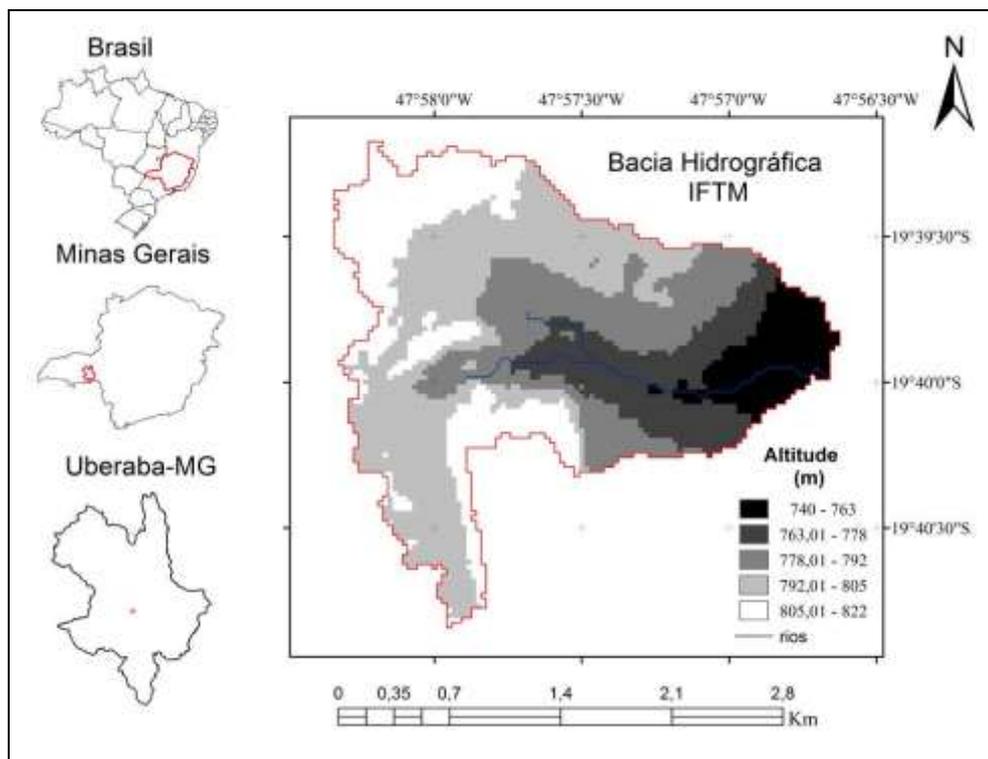
climáticas, e dos impactos ambientais (Pavanelli & Guimarães, 2014; Mohamed et al., 2014; Resende et al., 2015).

As imagens orbitais são bancos de dados importantes no estudo da dinâmica da vegetação nos ambientes mais diversos possíveis. Portanto, são ferramentas importantes para avaliar os efeitos das atividades antrópicas na supressão da vegetação nativa e também como os ambientes antropizados se estabelecem por meio da regeneração natural (Nascimento et al., 2006).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização da Área de Estudos

O estudo foi realizado na bacia hidrográfica do Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM) Campus Uberaba, no município de Uberaba-MG (Figura 2), zona 23K e entre as coordenadas  $19^{\circ}39'10,50''$  e  $19^{\circ}40'50,55''$  S e  $47^{\circ}58'20,44''$  e  $47^{\circ}56'37,23''$  W, com altitudes entre 740 e 822 m, os solos predominantes são do tipo Latossolo Vermelho; Latossolo Vermelho-Amarelo; Plintossolo Pétrico; Cambissolo Flúvico e Gleissolo (Háplico e Melânico). Fazem parte da grande unidade de relevo do Planalto Arenítico-Basáltico da bacia do Paraná (Coutinho et al., 2008).



**Figura 2.** Bacia hidrográfica do Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM) Campus Uberaba-MG.

O clima segundo a classificação de Köppen (Alvares et al., 2014) é Aw, tropical quente, apresentando inverno frio e seco. O regime de chuvas do Triângulo Mineiro caracteriza-se por uma estação chuvosa de outubro até março ou abril com chuva anual variando entre 1300 mm e 1700 mm e estação seca de abril a setembro. A umidade relativa média do ar oscila entre 70% e 75%, com valor máximo de 81% e mínimo de 52% (INMET, 2015).

A bacia hidrográfica tem área total de 136 hectares e o uso e ocupação do solo ocorreu de várias formas ao longo dos anos, sendo para produção agropecuária, produção de grãos e hortaliças, silvicultura com plantio de eucalipto e seringueira, cana-de-açúcar e principalmente pastagem até o final do ano de 2001. A partir de 2002, uma área de aproximadamente 40 hectares foi cercada e protegida da entrada de bovinos, equinos e de explorações agrícolas (Torres & Fabian, 2006). Desde então a mesma encontra-se em processo de regeneração natural.

#### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AERTS, R. & HONNAY, O. Forest restoration, biodiversity and ecosystem functioning. **BMC Ecology**, London, v. 11, n. 1, p. 29, 2011.
- ALMEIDA, R. O. P. O. & SANCHEZ, L. E. Revegetação de áreas mineração: critérios de monitoramento e avaliação do desempenho. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 47-54, 2005.
- ARAUJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. 2ª Ed. Bertrand Brasil LTDA. Rio de Janeiro-RJ. 2007.
- ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., DE MORAES, G., LEONARDO, J., SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Germany, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R.; YANAGI, S. N. M.; NETO, O. B. S. Trends of minimum and maximum air temperatures in the state of Minas Gerais, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 4, p. 247-256, 2014.
- BACELLAR, L. A. P. O papel das florestas no regime hidrológico de bacias hidrográficas. **Geo.br**, Ouro Preto, v.1, n.1, p. 1-39, 2005.
- BALBINOT, R.; DE OLIVEIRA, N. K.; VANZETTO, S. C.; PEDROSO, K.; VALERIO, Á. F. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas The forest role in the hydrological cycle at hydrological basins. **Ambiência**, Guarapuava, v. 4, n. 1, p. 131-149, 2009.
- BARBOSA, H. A.; LAKSHMI KUMAR, T. V.; SILVA, L.R.M. Recent trends in vegetation dynamics in the South America and their relationship to rainfall. **Natural Hazards**, v.77, n.2, p.883-899, 2015.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 677-683, 2004.
- BUENO, M. L.; NEVES, D. R. M.; SOUZA, A. F.; OLIVEIRA JUNIOR, E.; DAMASCENO JUNIOR, G. A.; PONTARA, V.; RATTER, J. A. Influence of edaphic factors on the floristic composition of an area of cerrado in the Brazilian central-west. **Acta Botanica Brasilica**, Feira de Santana, v. 27, n. 2, p. 445-455, 2013.
- BRAZ, A. J. B. P.; KLIEMANN, H. J.; SILVEIRA P. M. **Produtividade de palhada de plantas de cobertura**. In: SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F (1 Ed). Plantas de cobertura dos solos do Cerrado. Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antonio de Goiás, Brasil. p. 12-43, 2010.
- COUTINHO, F.; PEREIRA, M.G.; BEUTLER, S.J.; TORRES, J.L.R.; FABIAN, A.J. Avaliação das Limitações ao Uso Agrícola dos Solos da CEFET, Uberaba (MG). **Anais Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**, Rio de Janeiro, Brasil, p. 1-4, 2008.
- CÂNDIDO, A. K. A. A; SILVA, N. M.; BARBOSA D. S. Dinâmica espacial e temporal do uso do solo e índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) em setor de cabeceira do rio São Lourenço, Campo Verde, MT. **Revista Ra'e Ga** - Curitiba, v.33, n. s, p. 94-119, 2015.

- CALIJURI, M. L.; CASTRO, J. S.; COSTA, L. S.; ASSEMAN, P. P.; ALVES, J. E. M. Impact of land use/land cover changes on water quality and hydrological behavior of an agricultural subwatershed. **Environmental Earth Sciences**, v. 74, n. 6, p. 5373-5382, 2015.
- DELGADO, R. C.; SEDIYAMA, G. C.; COSTA, M. H.; SOARES, V. P.; ANDRADE, R. G. Classificação espectral de área plantada com a cultura da cana-de-açúcar por meio da árvore de decisão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 2, p. 369-380, 2012.
- DICK, G. & SCHUMACHER, M. V. Relações entre solo e fitofisionomias em florestas naturais. **Revista Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa Maria, v. 3, n. 2, p. 31-39, 2015.
- DURIGAN, G.; MELO, A. C. G.; MAX, J. C. M.; BOAS, O. V.; CONTIERI, W. A.;
- EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cerrados: Conhecimento, Tecnologia e Compromisso Ambiental**. Planaltina, DF: EMBRAPA, 2005.
- EGLER, F. E. Vegetation science concepts I. "Initial Floristic Composition", a factor in old-field vegetation development. **Plant Ecology**, Dordrecht, v. 4, n. 6, p. 412-417, 1954.
- FALEIRO, F. G. & FARIAS NETO, A. L. **Savana: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais**. Planaltina / Brasília: Embrapa Cerrados / Embrapa Informações Tecnológicas, cap. 1, p. 32-46, 2008.
- FIEDLER, N. C., AZEVEDO, I. N. C. D., REZENDE, A. V., MEDEIROS, M. B. D., & VENTUROILI, F. Effect of fire on the structure and floristic composition of a cerrado sensu stricto area in fazenda Água Limpa-DF. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 129-138, 2004.
- GURGEL, H. C.; FERREIRA, N. J.; LUIZ, A. J. B. Estudo da variabilidade do NDVI sobre o Brasil, utilizando-se a análise de agrupamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.1, p.85-90, 2003.
- HUNKE, P.; MUELLER, E. N.; SCHRÖDER, B.; ZEILHOFER, P. The Brazilian Cerrado: assessment of water and soil degradation in catchments under intensive agricultural use. **Ecohydrology**, Crawley, v. 8, n. 6, p. 1154-1180, 2015.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 15 de junho de 2015.
- IEF- Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais. Informações sobre **Parque Nacional Grande Sertão Veredas**. Disponível em <http://www.ief.mg.gov.br> . Acesso em 15/07/2015.
- KLINK, C. & MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, San Francisco, v.9, n. 3, p. 707-713, 2005.
- MADEIRA, M.; RICARDO, R. P.; NETO, A. G. As coberturas florestais e a recuperação da fertilidade de Solos Ferralíticos de Angola. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 38, n. 4, p. 598-611, 2002.
- MENDONÇA, R., J.; FELFILI, B.; WALTER, J.C.; SILVA JR. A.; REZENDE, T.; FILGUEIRAS & P. NOGUEIRA. Flora vascular do Cerrado. In: SANO, S. & ALMEIDA, S. (eds.). **Cerrado. Ambiente e flora**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa - Cerrados, Planaltina, Brasil. p. 288-556, 1998.
- MENESES, P. R. & ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Universidade de Brasília, 2012. 266p.

- MEWS, H. A., MARIMON, B. S., MARACAHIPES, L., FRAN CZAK, D. D., & MARIMON-JUNIOR, B. H. Dinâmica da comunidade lenhosa de um Cerrado Típico na região Nordeste do Estado de Mato Grosso, Brasil. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 11, n. 1, p. 1-10, 2011.
- MOHAMED, A. A. M.; BABIKER, I. S.; HIYAMA, T.; IKEDA, K.; KATO, K. Trends and variations in the activity of global vegetation in response to climate variability between 1987 and 1997. **Sudan Journal of Science**, v. 6, n. 1, p. 11-21, 2014.
- MORANDI, P. S.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; DE OLIVEIRA, E. A.; REIS, S. M.; VALADÃO, M. X.; FORSTHOFER, M.; MARIMON, B. S. Vegetation succession in the Cerrado–Amazonian forest transition zone of Mato Grosso state, Brazil. **Edinburgh Journal of Botany**, Edinburgh, v. 73, n. 01, p. 83-93, 2016.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos, 2001. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). 2001. 208p.
- MUELLER, C. C. & MARTHA JÚNIOR. A Agropecuária e o Desenvolvimento Socioeconômico Recente do Cerrado. In: FALEIRO, F. G.; FARIAS NETO, A. L. **Savana: desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. Planaltina** / Brasília: Embrapa Cerrados / Embrapa Informações Tecnológicas, cap. 1, p. 32-46, 2008.
- MUNHOZ, C. B. R.; FELFILI, J. M.; RODRIGUES, C. Species-environment relationship in the herb-subshrub layer of a moist Savanna site, Federal District, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 68, n. 1, p. 25-35, 2008.
- NASCIMENTO, M. C.; SOARES, V. P.; RIBEIRO, C. A. A. S.; SILVA, E. Mapeamento dos fragmentos de vegetação florestal nativa da bacia hidrográfica do rio Alegre, Espírito Santo, a partir de imagens do satélite Ikonos II. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.3, p.389-398, 2006.
- NERI, A. V.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SILVA, A. F.; SOUZA, A. L.; FERREIRA-JUNIOR, W. G.; MEIRA-NETO, J. A. A. The influence of soils on the floristic composition and community structure of an area of Brazilian Cerrado vegetation. **Edinburgh Journal of Botany**, Edinburgh, v. 69, n. 01, p. 1-27, 2012.
- NÓBREGA, R. L. B., GUZHA, A. C., TORRES, G. N., KOVACS, K., LAMPARTER, G., AMORIM, R. S. S., GEROLD, G. Effects of conversion of native Cerrado vegetation to pasture on soil hydro-physical properties, evapotranspiration and streamflow on the Amazonian agricultural frontier. **Plos one**, Cambridge, v.12, n.6, 2017.
- ODUM, E. P. **Fundamentos de Ecológica**. 7 ed. 2004.
- OLIVEIRA, M. C.; FELFILI, J. M.; SILVA JÚNIOR, M. C. Análise florística e fitossociológica da comunidade arbórea da Mata de Galeria do Capetinga, após vinte anos de passagem de fogo, na Fazenda Água Limpa, Brasília–DF. **Heringeriana**, Brasília, v. 5, n. 2, p. 19-31, 2011.
- PAVANELLI, J.A.P & GUIMARAES, E. Assessing the Dynamic of Structural Changes in Cerrado Vegetation of Protected and Non-Protected Areas using NDVI. **International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS**, Delhi, v. 3, n. 1, p.553-568, 2014.
- RESENDE, F. C.; SOARES, T. B. O.; SANTOS, P. R.; PEREIRA, G. Análise de Índices Espectrais para Estimativa de Áreas de Regeneração Florestal no Parque Nacional Chapada Das Mesas. **Revista Territorium Terram**, São João Del-Rei, v. 3, n. 5, p. 95-104, 2015.

- SANTOS, M. A.; BARBIERI, A. F. CARVALHO, J. A. M. MACHADO, C. J. O Cerrado brasileiro: Notas de estudos. **CEDEPLAR/FACE/UFGM**. Belo Horizonte-MG. 2010.
- SANTOS, G. L.; PEREIRA, M. G.; DELGADO, R. C.; TORRES, J. L. R. Natural regeneration in anthropogenic environments due to agricultural use in the Cerrado, Uberaba, MG, Brazil. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 33, n. 1, p. 169-176, 2017.
- SILVA, J. F.; FARINAS, M. R.; FELFILI, J. M.; KLINK, C. A. Spatial heterogeneity, land use and conservation in the Cerrado region of Brazil. **Journal of Biogeography**, Oxford, v. 33, n. 3, p. 536-548, 2006.
- SILVA, J. C.; SILVA, I. P.; SILVA, E. M.; RIBEIRO, E. S.; MOREIRA, E. L.; PASA, M. C. Sucessão Ecológica no Cerrado. **Flovet**, Cuiabá, n.4, p. 33-47, 2012.
- SILVEIRA, C. S. & SILVA, V. V. Dinâmicas de regeneração, degeneração e desmatamento da vegetação provocadas por fatores climáticos e geomorfológicos: uma análise geocológica através de SIG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 1025-1034, 2010.
- TORRES, J. L. R & FABIAN, A. J. Levantamento topográfico e caracterização da paisagem para planejamento conservacionista numa microbacia hidrográfica de Uberaba. **Caminhos de Geografia**, Uberaba, v.6, n. 19, p. 150-159, Out. 2006.
- TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; OLIVEIRA, F. A.; PAIVA, J.; CORNÉLIO, E. P.; FERNANDES, F. S. Análise das características quantitativas e qualitativas da microbacia do córrego barreiro, afluente do Rio Uberaba. **Revista Árvore**, Viçosa, v.35, n.4, p. 931-939, 2011.

## **CAPÍTULO I**

### **Regeneração Natural em Ambientes Antropizados por Usos Agrícolas no Cerrado, Uberaba-MG, Brasil**

## RESUMO

No Cerrado a evidência dos impactos ambientais são as grandes áreas homogêneas com pastagens e agricultura, com a presença de fragmentos florestais esparsos. Quando as áreas são abandonadas devido à baixa produtividade, inicia-se o processo de regeneração natural, com influência dos fatores ambientais. Assim, o objetivo desse estudo foi avaliar a dinâmica temporal da cobertura vegetal em áreas antropizadas e a influência das condições climáticas no processo de regeneração natural no Cerrado. Para tanto, foi utilizada uma área antropizada protegida contra a entrada de animais domésticos e explorações agrícolas desde 2002. A identificação dos ambientes e a dinâmica do processo de regeneração natural foram obtidas por meio de imagens orbitais com o cálculo do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI). A análise estatística não-paramétrica de Mann-Kendall foi utilizada para verificar a tendência da chuva e do NDVI, a análise multivariada para verificar as correlações e agrupamentos entre os anos de ocorrência de El Niño e La Niña e os valores do NDVI. A dinâmica do processo de regeneração natural no Cerrado apresentou um padrão crescente em função do tempo e uma correlação positiva com a incidência de chuvas. O processo de recuperação de áreas degradadas por regeneração natural mostrou-se eficiente no Cerrado, no entanto, a regeneração natural é influenciada negativamente pelo fenômeno climático El Niño.

**Palavras-Chave:** Savana, Índice de vegetação, Clima, Resiliência.

## ABSTRACT

Evidence of environmental impact on the Cerrado is characterized by the presence of large homogeneous pastures and agricultural areas, with the presence of very scattered forest fragmented areas. When these areas are abandoned due to low productivity, natural regeneration begins, which is influenced by environmental factors. The objective of the present study was to evaluate the vegetation cover temporal dynamics in anthropogenic areas and the influence of climate on natural regeneration in the Cerrado. The study site was an anthropogenic area that has been protected against the entrance of domestic animals and agriculture since 2002. Environments were identified, and natural regeneration dynamics were analysed by the use of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) calculated from satellite images. Statistical analysis Non-parametric Mann-Kendall was used to check the trend of the rain and the NDVI, multivariate analysis to verify the correlations and groups between the years of occurrence of *El Niño* and *La Niña* and the values of NDVI. Natural regeneration in the Cerrado increased over time and was positively correlated with rainfall incidence. The recovery process of degraded areas by natural regeneration proved to be efficient in the Cerrado, however, natural regeneration is negatively influenced by the El Niño climate phenomenon.

**Key Words:** Savannah, Vegetation index, Climate, Resilience.

## 1. INTRODUÇÃO

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, abrange 207 milhões de hectares, que corresponde a 25% do território nacional, que representa aproximadamente 4% da região tropical mundial, é considerado como uma importante reserva da biodiversidade e potencial produtor de alimentos do país (Bayer et al., 2004; Braz et al., 2010). No entanto, parte de sua vegetação original já foi suprimida para implantação de culturas agrícolas e por atividades agropecuárias, o que levou a formação de remanescentes muito fragmentados e esparsos (Klink & Machado, 2005; Silva et al., 2006).

Atualmente no Cerrado a evidência dos impactos ambientais são as grandes áreas homogêneas com pastagens e agricultura, as quais quando abandonada devido à baixa produtividade, podem iniciar o processo de regeneração natural (Durigan et al., 2011). A regeneração natural se inicia com a reprodução de espécies, cujas sementes ali chegam, germinam e se estabelecem, com influência dos fatores ambientais: solo, topografia, precipitação e temperatura (Almeida et al., 2005).

Quando existente o potencial de regeneração natural nos ambientes antropizados facilita-se o processo de recuperação da vegetação, porém se a capacidade de regeneração é perdida é necessária à reintrodução de espécies vegetais (Durigan et al., 2011). A dinâmica da vegetação nos ambientes antropizados em processo de regeneração natural é possível ser avaliada com o uso de índices de vegetação como o NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada), por permitir estudar e avaliar as alterações na estrutura e expansão da vegetação (Pavanelli & Guimarães, 2014).

O uso de geotecnologias para o cálculo de índices de vegetação, têm sido ferramentas fundamentais nos estudos de florestas em processo de regeneração (Resende et al., 2015), por permitir obter bons resultados de monitoramento e identificar as diferentes feições da vegetação de uma paisagem (Cândido et al., 2015). Os índices de vegetação são influenciados pelas condições climáticas, onde estudos têm identificado correlações entre os valores de NDVI e chuva nos ambientes antropizados em processo de regeneração (Gurgel et al., 2003), pois a chuva influencia diretamente nos processos fisiológicos das plantas e consequentemente na resposta espectral (Barbosa et al., 2015; Delgado et al., 2012).

As intensidades de chuva no continente são influenciadas com a ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña, que causa diminuição ou aumento da incidência de chuvas respectivamente no continente, causando o aumento ou diminuição dos valores de NDVI (Jacóbsen et al., 2004; Grimm et al., 2000), o qual representa a variação da biomassa e da fisiológica da vegetação nos ecossistemas (Mohamed et al., 2014).

Assim, o objetivo desse estudo foi avaliar a dinâmica temporal da cobertura florestal em áreas antropizadas e a influência das condições climáticas no processo de regeneração natural no Cerrado.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Imagens

As imagens utilizadas foram do Landsat 5 (TM) (2003 a 2010) e do RapidEye (Imageador multiespectral pushbroom) (2011 a 2013), somando um período de 11 anos. As imagens foram obtidas dos sites: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e Ministério do Meio Ambiente (MMA). As imagens selecionadas foram referentes ao período de inverno para evitar a presença de nuvens, o que afeta a qualidade e processamento.

As imagens do Landsat 5( TM) foram tratadas quanto à calibração radiométrica para correção de distorções geométricas e remoção de ruídos com o uso do software ERDAS IMAGINE 2014, para corrigir a influência de uma série de fatores, tais como a transparência atmosférica e as características ópticas e eletrônicas do sensor, com o uso da equação proposta por Markham & Baker (1987) e parte do algoritmo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land) (Allen et al., 2002), apresentada abaixo

$$L_{\lambda i} = L_{\min} + \frac{L_{\max} - L_{\min}}{255} \times ND$$

em que,

$L_{\lambda i}$ : radiância espectral;

ND: número digital de cada pixel;

$L_{\max}$  e  $L_{\min}$ : são as radiâncias espectrais máximas e mínimas ( $Wm^{-2} sr^{-1} m^{-1}$ ), conforme apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1.** Bandas do sensor TM, apresentando os coeficientes de calibração.

Banda TM	Comprimento de Onda $\mu m$	$L_{\min}$ $W/(m^2 sr \mu m)$	$L_{\max}$	$G_{rescale}$ $W/(m^2 sr \mu m)/DN$	$B_{rescale}$ $W/(m^2 sr \mu m)$	$ESUM_{\lambda}$ $W/(m^2 sr \mu m)$
1 (azul)	0,452 - 0,518	-1,52	169	0,671339	-2,19	1983
		-1,52	193	0,765827	-2,29	
2 (verde)	0,528 - 0,609	-2,84	333	1,322205	-4,16	1796
		-2,84	365	1,448189	-4,29	
3 (vermelho)	0,626 - 0,693	-1,17	264	1,043976	-2,21	1536
4 (IV-próximo)	0,776 - 0,904	-1,51	221	0,876024	-2,39	1031
5 (IV-médio)	1,567 - 1,784	-0,37	30,2	0,120354	-0,49	220
6 (IV-termal)	10,45 - 12,42	1,2378	15,3032	0,055376	1,18	N/A
7 (IV-distante)	2,097 - 2,349	-0,15	16,5	0,065551	-0,22	83,44

Fonte: Chandler et al. (2009).

Na sequência, foi realizado o cálculo da refletância monocromática que é definida como sendo a razão entre o fluxo de radiação solar refletido pela superfície e o fluxo de radiação global incidente, sendo obtido pela equação (Allen et al., 2002).

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda_i}}{k_{\lambda_i} \cdot \cos Z \cdot CO}$$

em que:

$\rho_{\lambda_i}$ : refletância monocromática;

$L_{\lambda_i}$ : radiância espectral de cada banda;

$K_{\lambda_i}$ : irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ( $Wm^{-2}\mu m^{-1}$ , Tabela 1);

Z: ângulo zenital solar (obtido por meio do cabeçalho das imagens adquiridas, e depende da órbita, ponto e época do ano);

dr: razão entre a distância média Terra-Sol ( $r_0$ ) e a distância Terra-Sol ( $r$ ) em dado dia Astronômico do ano (DJ).

## 2.2 Identificação dos Ambientes em Processo de Regeneração Natural

A identificação dos ambientes em processo de regeneração natural foi obtida por meio do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), que é um indicador sensível da vegetação verde presente. O valor do NDVI é obtido por meio da razão entre a diferença da refletividade do infravermelho próximo ( $\rho_{IV}$ ) e do vermelho ( $\rho_V$ ) pela soma das mesmas com o uso da equação (Rouse et al., 1973 e 1974).

$$NDVI = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V}$$

em que,

$\rho_{IV}$ ,  $\rho_V$ : correspondem, respectivamente, as bandas do infravermelho próximo (0,7 - 1,3  $\mu m$ ) e do vermelho (0,6 - 0,7  $\mu m$ ).

Com o conhecimento dos valores do NDVI para cada imagem, foram determinados os ambientes onde ocorreu e/ou está acontecendo o processo de regeneração natural com base no conhecimento da ida a campo. Os processamentos das imagens e dos fatores ambientais foram realizados por intermédio do software ArcGis 10.2.

O padrão temporal da regeneração natural observado pela variação do NDVI foi correlacionado com a chuva e com a ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña, buscando entender o efeito dos fatores ambientais na determinação da regeneração ambiental no bioma Cerrado.

As informações de ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña foram obtidas na base de dados do NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), acessado em 01/06/2015 ([www.cpc.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring](http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring)).

## 2.3 Variáveis Meteorológicas

Os dados de chuva mensal foram obtidos da Estação Meteorológica Convencional (EMC) de Uberaba-MG código OMM: 83577, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2003 – 2013). Após análise preliminar dos dados, calculou-se a chuva média anual e a sazonal (estação seca e chuvosa) dos respectivos anos.

## 2.4 Análise dos Dados

As séries temporais do NDVI e chuva foram submetidas ao teste estatístico não-paramétrico de Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975). A análise estatística Z do teste Mann-Kendall ( $\alpha = 0,05$ ) permite inferir na decisão de aceitar ou rejeitar  $H_0$  (hipótese de

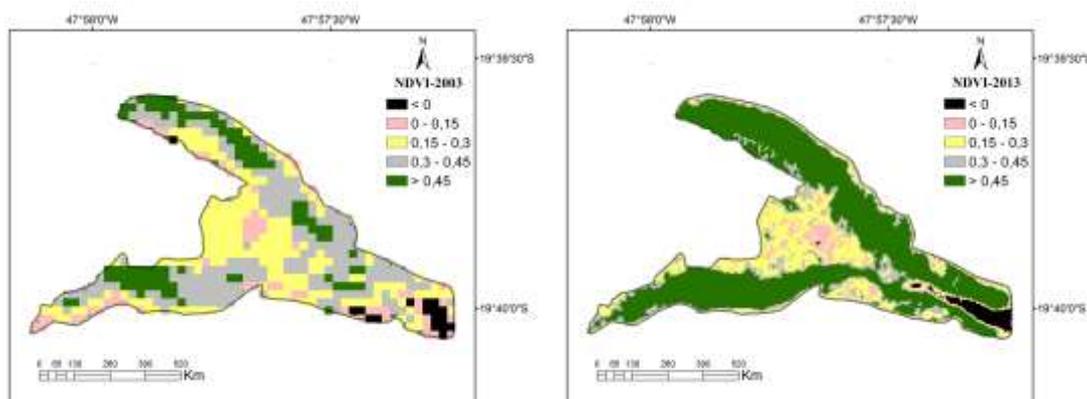
estabilidade dos dados) ou rejeitá-la a favor da  $H_1$  (hipótese de existência de tendência nos dados). O sinal da estatística  $Z$  indica se a tendência é crescente ( $Z > 0$ ) ou decrescente ( $Z < 0$ ).

Posteriormente, foi realizada uma Análise de Regressão Linear Simples para avaliar a dependência da série temporal do NDVI em função das séries anuais e sazonais de chuva e a significância dos coeficientes de correlação.

De posse das informações quanto à ocorrência dos fenômenos e o valor de NDVI nos respectivos anos foi realizada uma análise multivariada de agrupamento pelo método *Two Step Cluster*. As análises estatísticas foram realizadas nos programas *R 3.2.1* e *SPSS 15.0*.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Cerrado o processo da regeneração natural ocorreu com a expansão das áreas com cobertura vegetal e também com a mudança da estrutura da vegetação, o que pode ser visualizado através do valor do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) para os ambientes em regeneração, que aumentou de forma significativa (Figura 3). Com isso, pode-se inferir que o período de 11 anos, com a proteção dos ambientes antropizados contra a entrada de animais domésticos, incêndios e exploração agrícola, foram suficientes para que o processo de regeneração ocorresse naturalmente, com um valor médio de NDVI igual a 0,51 ao final do período de estudo, o que representa um incremento médio anual de 0,015 para o valor médio de NDVI no bioma Cerrado.

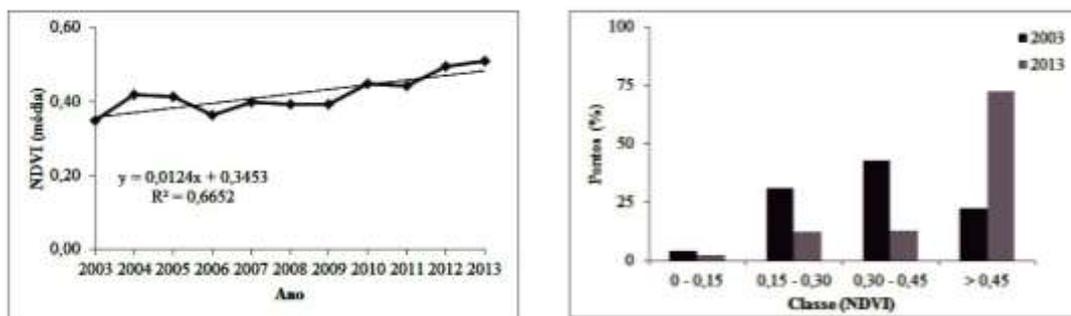


**Figura 3.** Dinâmica temporal do valor de NDVI com a evolução da regeneração natural no IFTM.

Resultados similares foram observados em algumas áreas protegidas no Cerrado, onde as fisionomias com menor biomassa e vegetação aberta têm sido substituídas por fisionomias mais densas e fechadas (maior biomassa), podendo chegar a fisionomia Cerradão (Pavanelli & Guimarães, 2014; Pinheiro & Durigan, 2009). O NDVI é um parâmetro biofísico que permite o estudo, a avaliação e a quantificação eficiente das tendências relativas da dinâmica da vegetação, por permitir a identificação das mudanças na expansão da vegetação e estrutura em ambientes protegidos (Pavanelli & Guimarães, 2014).

A dinâmica da regeneração natural teve um padrão crescente ao longo do tempo, apresentando um coeficiente de correlação positivo e superior a 60% (Figura 4). O que indica que as espécies florestais cresceram em altura, diâmetro e área de copa, quando comparado a vegetação presente no ano de 2003 período em que a área foi protegida, e pelo aparecimento de árvores e de arbustos que surgiram com o avanço da regeneração natural.

O uso de índices de vegetação na avaliação de ambientes florestais em processo de regeneração de ambientes antropizados, tem sido uma ferramenta importante para avaliar as variações da vegetação quanto a sua estrutura e expansão em áreas regeneradas (Resende et al., 2015). No entanto, os índices de vegetação podem sofrer alterações por influência dos fatores ambientais tipo de solo, relevo, chuva e resolução espacial e temporal dos sensores e plataformas, os quais podem interferir na análise e identificação da cobertura vegetal (Becerra et al., 2007). Mas, quando usado produtos (imagens) com alta resolução espacial é possível obter bons resultados de monitoramento de ambientes em processo de regeneração natural, conseguindo identificar com sucesso as diferentes feições de um ecossistema (Cândido et al., 2015).



**Figura 4.** Variação temporal do NDVI com a evolução da regeneração natural no Cerrado.

Na identificação e quantificação dos ambientes florestais em processo de regeneração florestal, têm sido utilizados parâmetros biofísicos (índices de vegetação) e físicos (chuva e temperatura), onde estudos têm observado que a chuva é um dos fatores que mais influencia nos valores dos índices de vegetação (Barbosa et al., 2015; Mohamed et al., 2014; Lopes et al., 2010).

Neste estudo observou-se (Tabela 2), que o avanço da regeneração natural em função do tempo e da chuva foi significativo estatisticamente para os valores NDVI em função do tempo ( $p=0,029$ ) e da chuva na estação seca ( $p=0,042$ ). Assim, pode inferir que no Cerrado a chuva é um dos fatores ambientais determinantes no processo de regeneração natural.

**Tabela 2.** Análise de tendência pelo teste de Mann-Kendall.

Parâmetros Estatísticos	NDVI	P-anual	NDVI		
			P-anual	P-seca	P-chuvosa
Z	0,527	-0,037	-0,183	0,491	-0,2
p-valor	0,029	0,938	0,482	0,043	0,436

Legenda: P = precipitação (mm); Z = análise estatística do teste Mann-Kendall.

No bioma Cerrado a chuva é um fator físico dominante na dinâmica de crescimento da vegetação, onde na sua ausência pode ocorrer a degradação da vegetação e na ocorrência o aumento da cobertura da vegetação, pois a chuva influencia diretamente nos processos fisiológicos das plantas (Barbosa et al., 2015).

Barbosa et al. (2015) realizaram um estudo semelhante no Cerrado, e concluíram que a precipitação foi o fator que determinou as maiores variações no crescimento da vegetação. A chuva influencia diretamente nos processos fisiológicos das plantas e na cobertura da vegetação que pode aumentar ou diminuir dependendo da ocorrência ou ausência de chuvas, respectivamente.

Para melhor entender a relação entre o processo de regeneração natural e a chuva, foi realizada uma análise de regressão (Tabela 3). Constatou-se que a dinâmica da regeneração natural é explicada pela chuva nas duas estações do ano, sendo os coeficientes da equação significativos na estação seca ( $p < 10$ ) e na estação chuvosa ( $p < 5$ ). No entanto, os coeficientes apresentaram maiores valores para a estação chuvosa (Tabela 3).

**Tabela 3.** Análise de regressão linear simples.

Parâmetros Estatísticos	NDVI		
	P-anual	P-seca	P-chuvosa
R <sup>2</sup> - Múltiplo	0,200	0,323	0,423
R <sup>2</sup> -Ajustado	0,111	0,248	0,359
Erro Padrão	0,048	0,044	0,040
p-valor	0,168	0,068	0,030

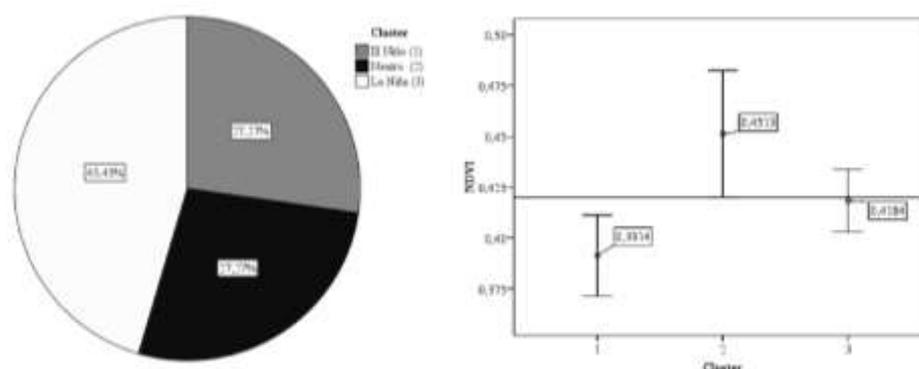
Legenda: P = precipitação (mm)

Avaliando a tendência e a variação da vegetação mundial em resposta a variabilidade das condições climáticas Mohamed et al. (2014), observaram que o aumento da chuva está diretamente relacionado com o aumento da biomassa da vegetação nos ecossistemas. No entanto, outros fatores estão correlacionados com o processo de regeneração natural nos ambientes antropizados tais como: temperatura, solo, radiação solar, nebulosidade e umidade relativa.

A evolução dos valores de NDVI por ser dependente das influências climáticas, tem sido correlacionada quanto aos efeitos dos fenômenos El Niño e La Niña. Estudos têm observado influências diretas dos fenômenos climáticos nos padrões da dinâmica da vegetação nos ecossistemas florestais, já que as condições climáticas podem ser favoráveis ou desfavoráveis aos processos de regeneração natural, por aumentar ou diminuir a incidência de chuvas (Jacóbsen et al., 2004; Grimm et al., 2000).

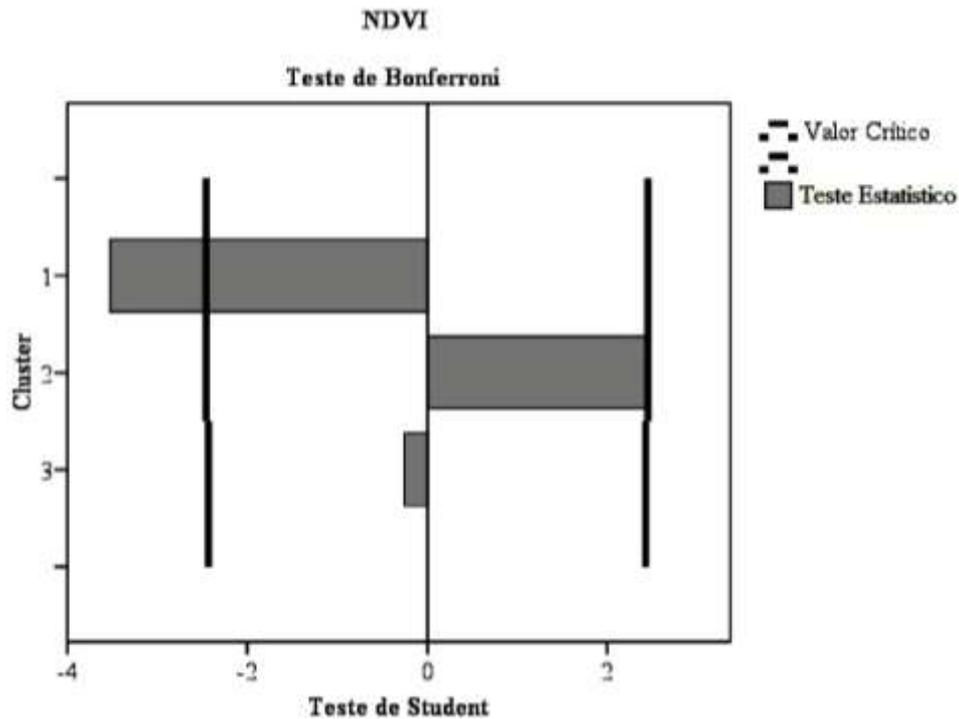
O padrão de regeneração natural observado neste estudo apresentou correlação com a ocorrência dos fenômenos climáticos El Niño e La Niña. Onde pode-se observar (Figura 5), que os valores de NDVI da base de dados foram combinados em conjuntos homogêneos (clusters). Os clusters formados estão associados à ocorrência ou não dos fenômenos climáticos (Figura 5). Onde o maior valor do NDVI foi observado no período de ausência (Neutro) dos fenômenos climáticos e o menor valor do NDVI foi observado no período de ocorrência do El Niño. Essas correlações podem ser explicadas pela redução de chuva no estado de Minas Gerais durante a ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña (Minuzzi et al.; 2005, Minuzzi et al., 2007).

Segundo Gurgel et al. (2003), regiões com períodos secos e chuvosos marcantes como o Cerrado, a vegetação responde de forma rápida à ocorrência de chuva. Além disso, observaram que o efeito El Niño, independente da sua intensidade, afetam distintamente os vários tipos de vegetação do Brasil.



**Figura 5.** Representatividade dos clusters no conjunto de dados e a variação dos valores de NDVI entre os clusters.

Quando testada a significância dos clusters na explicação do padrão do NDVI observado no processo de regeneração natural do Cerrado. A significância estatística foi observada para o cluster 1 (El Niño) e o cluster 2 (Neutro) (Figura 6). A ausência dos fenômenos climáticos El Niño e La Niña (Neutro) teve um efeito positivo no NDVI, já a ocorrência do efeito El Niño teve um efeito negativo, o que está relacionado a menor incidência de chuvas na região estudada (Minuzzi et al., 2005).



**Figura 6.** Análise Two Step Cluster.

Nos últimos anos, na região da América do Sul, a dinâmica da vegetação tem sido associada a diminuição significativa da precipitação, com influência dos fatores uso do solo, cobertura do solo, topografia e classe de solo (Barbosa et al., 2015). A história da degradação do ambiente é outro fator que explica as variações da dinâmica da regeneração natural no Cerrado.

A influência da ocorrência de chuva e dos fenômenos El Niño e La Niña, no padrão de regeneração do bioma Cerrado, pode ser explicada pela boa definição das estações seca e chuvosa do ambiente que o Cerrado está inserido. No entanto, os níveis de degradação dos ambientes antropizados são fatores ambientais que precisam ser melhor avaliados, quando considera os processos de regeneração natural em relação as condições climáticas (chuvas).

#### 4. CONCLUSÕES

A dinâmica da regeneração natural apresenta um padrão crescente de cobertura florestal ao longo do tempo quando protegido da recorrência de ações antrópicas, e o NDVI foi uma ferramenta efetiva no estudo da dinâmica da vegetação em ambientes em regeneração.

O processo de regeneração natural em ambientes antropizados no Cerrado tem uma correlação positiva e significativa com a chuva, com maior influência das chuvas na estação seca;

O fenômeno climático El Niño influencia negativamente no processo de regeneração natural no Cerrado;

No Cerrado, a regeneração natural pode ser adotada como uma ferramenta na recuperação de áreas degradadas e de ambientes antropizados que apresentam capacidade de resiliência.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, R. O. P. O. & SANCHEZ, L. E. Revegetação de áreas mineração: critérios de monitoramento e avaliação do desempenho. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 47-54, 2005.
- ALLEN, R. G.; TASUMI M.; TREZZA, R.; WATERS. R.; BASTIAANSSEN. W. **Surface energy balance algorithms for land (SEBAL)**. Advance training and users manual. Idaho, 2002, 98p.
- BARBOSA, H. A.; LAKSHMI KUMAR, T. V.; SILVA, L.R.M. Recent trends in vegetation dynamics in the South America and their relationship to rainfall. **Natural Hazards**, v.77, n.2, p.883–899, 2015.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 677-683, 2004.
- BECERRA, J. A. B.; SHIMABUKURO, Y. E.; ALVALÁ, R. C. S. Relação do padrão sazonal da vegetação com a precipitação na região do cerrado usando índices espectrais de vegetação. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, INPE, p. 3747-3754, 2007.
- BRAZ, A. J. B. P.; KLIEMANN, H. J.; SILVEIRA P. M. **Produtividade de palhada de plantas de cobertura**. In: SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F (1 Ed). Plantas de cobertura dos solos do Cerrado. Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antonio de Goiás, Brasil. p. 12-43, 2010.
- CÂNDIDO, A. K. A. A; SILVA, N. M.; BARBOSA D. S. Dinâmica espacial e temporal do uso do solo e índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) em setor de cabeceira do rio São Lourenço, Campo Verde, MT. **Revista Ra'e Ga - Curitiba**, v.33, n. s, p. 94-119, 2015.
- COUTINHO, F.; PEREIRA, M. G.; BEUTLER, S. J.; TORRES, J. L. R.; FABIAN, A. J. Avaliação das Limitações ao Uso Agrícola dos Solos da CEFET, Uberaba (MG). **Anais, Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**, Rio de Janeiro, Brasil, p. 1-4, 2008.
- DELGADO, R. C.; SEDIYAMA, G. C.; COSTA, M. H.; SOARES, V. P.; ANDRADE, R. G. Classificação espectral de área plantada com a cultura da cana-de-açúcar por meio da árvore de decisão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal-SP, v. 32, n. 2, p. 369-380, 2012.
- DURIGAN, G.; MELO, A. C. G.; MAX, J. C. M.; BOAS. O. V.; CONTIERI, W. A.;
- GURGEL, H. C.; FERREIRA, N. J.; LUIZ, A. J. B. Estudo da variabilidade do NDVI sobre o Brasil, utilizando-se a análise de agrupamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.1, p.85-90, 2003.
- GRIMM, A. M.; BARROS, V. R.; DOYLE, M. E. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**, v.13, n. 1, p. 35-58, 2000.
- INMET- Instituto Nacional de Meteorologia. Informações sobre as **condições climáticas do município de Uberaba-MG**. Disponível em <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 10 de set. 2015.
- JACÓBSEN, L. O.; FONTANA, D. C.; SHIMABUKURO, Y. E. Efeitos associados a El Niño e La Niña na vegetação do estado do Rio Grande do Sul, observados através do

- NDVI/NOAA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 19, n. 2, p. 129-140, 2004.
- KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods**, 4th ed., Charles Griffin: London, 1975.
- KLINK, C. A. & MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation biology**, San Francisco v. 19, n. 3, p. 707-713, 2005.
- LOPES, H. L.; CANDEIAS, A. L. B.; ACCIOLY, L. J. O.; SOBRAL, M. C. M.; PACHECO, A. P. Parâmetros biofísicos na detecção de mudanças na cobertura e uso do solo em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.11, p.1210–1219, 2010.
- MANN, H. B. **Non-parametric test against trend**, *Econometrica*, v.13, p.245-259, 1945.
- MARKHAM, B. L. & BAKER, J. L. **Landsat MSS and TM Post-Calibration Dynamix Ranges, Exoatmospheric Reflectances and At-Satellite Temperatures**, Landsat Technical Notes, v. 1, n.1, p. 3-5, 1987.
- MOHAMED, A. A. M.; BABIKER, I. S.; HIYAMA, T.; IKEDA, K.; KATO, K. Trends and variations in the activity of global vegetation in response to climate variability between 1987 and 1997. **Sudan Journal of Science**, v. 6, n. 1, p. 11-21, 2014.
- MINUZZI, R. B.; SEDIYAMA, G. C.; COSTA, J. M. N.; VIANELLO, R. L. Influência da La Niña na estação chuvosa da região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 22, n. 3, p. 345-353, 2007.
- MINUZZI, R. B.; SEDIYAMA, G. C.; RIBEIRO, A.; COSTA, J. M. N. El Niño: ocorrência e duração dos veranicos do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 3, p. 364-371, 2005.
- PAVANELLI, J.A.P & GUIMARAES, E. Assessing the Dynamic of Structural Changes in Cerrado Vegetation of Protected and Non-Protected Areas using NDVI. **International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS**, Delhi, v. 3, n. 1, p.553-568, 2014.
- PINHEIRO, E. S. & DURIGAN, G. Dinâmica espaço-temporal (1962-2006) das fitofisionomias em unidade de conservação do Cerrado no sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.32, n.3, p.441-454, 2009.
- RESENDE, F. C.; SOARES, T. B. O.; SANTOS, P. R.; PEREIRA, G. Análise de Índices Espectrais para Estimativa de Áreas de Regeneração Florestal no Parque Nacional Chapada Das Mesas. **Revista Territorium Terram**, São João del-Rei, v. 3, n. 5, p. 95-104, 2015.
- ROUSE, J. W.; HASS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W.; HARLAN, J. **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation**. Final Report, RSC 1978-4, Texas A & M University, College Station, Texas, 1974.
- ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**. Third ERTS Symposium, NASA, Washington, v. 01, p. 309-317, 1973.
- SILVA, J. F.; FARINAS, M. R.; FELFILI, J. M.; KLINK, C. A. Spatial heterogeneity, land use and conservation in the Cerrado region of Brazil. **Journal of Biogeography**, Oxford, v. 33, n. 3, p. 536-548, 2006.
- TORRES, J. L. R & FABIAN, A. J. Levantamento topográfico e caracterização da paisagem para planejamento conservacionista numa microbacia hidrográfica de Uberaba. **Caminhos de Geografia**, Uberaba, v.6, n. 19, p. 150-159, 2006.

## **CAPÍTULO II**

### **Relação Entre as Condições Edafo-Ambientais e Padrões Florísticos de Duas Fitofisionomias do Cerrado Brasileiro**

## RESUMO

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro e um importante *hotspots* para a conservação da natureza. Entretanto, pouco se conhece sobre a distribuição das espécies florestais em ambientes antropizados em processo de regeneração natural. Entender a dinâmica da sucessão ecológica de ambientes antropizados em processo de regeneração natural no Cerrado é fundamental na tomada de decisões quanto a revegetação de áreas antropizadas. Assim, o objetivo desse estudo foi avaliar os padrões florísticos e fitossociológicos da regeneração natural em áreas antropizadas no Cerrado, em diferentes condições edafo-ambientais. Para tanto, foi utilizada uma área antropizada em processo de regeneração, a qual encontra protegida das ações antrópicas a partir de 2002. Foi realizado o levantamento florísticos das espécies arbóreas e coletadas amostras compostas de solo nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm para determinação dos atributos físicos e químicos do solo. A distribuição das espécies arbóreas em relação aos atributos físicos e químicos do solo nos ambientes em processo de regeneração natural foi determinada por análise multivariada. A distribuição das espécies arbóreas, nos ambientes em processo de regeneração natural no Cerrado, é influenciada pelas características dos atributos do solo e pelo grau de sucessão da vegetação, onde a presença das espécies arbóreas está correlacionada com às características dos atributos do solo nos ambientes florestais. No entanto, o processo de regeneração natural proporcionou a melhoria das condições químicas do solo no Cerrado, sendo essas mais efetivas para a classe Gleissolo Háptico, o que está relacionado a decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes, mecanismos esses responsáveis pelo retorno dos nutrientes ao solo.

**Palavras-Chave:** Regeneração natural, Solos, Ciclagem de nutrientes, Espécies florestais

## ABSTRACT

Cerrado is the second largest Brazilian biome and an important area for nature conservation. However, little is known about the distribution of forest species in anthropized areas undergoing natural regeneration. Understanding the dynamics of ecological succession is fundamental to the decision-making process regarding revegetation of anthropic areas in the Cerrado. Thus, this study aimed to evaluate the phytosociological patterns of natural regeneration in areas anthropized in the Cerrado in different soil and environmental conditions. For this purpose, the study was performed in an anthropized area that has been protected from anthropic actions since 2002. A floristic survey of tree species was carried out and soil samples were collected at depths of 0-5, 5-10, and 10-20 cm to determine the physical and chemical properties of the soil. The distribution of tree species with respect to the soil characteristics was determined using multivariate analysis. The distribution of the tree species was shown to be influenced by the soil properties and the degree of succession of the vegetation. Furthermore, the natural regeneration process resulted in an improvement in the chemical properties of soils in the Gleysol class. This pattern is related to the slow decomposition of organic matter, being associated with an environment that has greater water availability and, consequently, less nutrient loss from leaching during the cycling mechanisms responsible for the return of nutrients to the soil.

**Key Words:** Natural regeneration, Soil, Nutrients cycling, Forest species

## 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas houve uma evolução dos estudos que buscam entender a distribuição e dinâmica das espécies em função das condições ambientais nas florestas tropicais (Pereira et al., 2007; Budke et al., 2007; Bukde et al., 2010). No entanto, o Cerrado mesmo sendo o segundo maior bioma brasileiro e um dos *hotspots* para a conservação da natureza, possui pouco conhecimento sobre a ecologia e o cultivo das espécies florestais (Pilon et al., 2013). Porém, pesquisas têm apontado que quando o processo de degradação ambiental não foi muito intenso, a regeneração natural tem mostrado eficiente na recuperação do Cerrado (Durigan et al., 2004; Oliveira et al., 2011).

O processo de regeneração natural também é influenciado pelas características ecológicas e a composição das espécies que compõem o ecossistema, e pode ocorrer por diferentes combinações e sucessões das espécies. Segundo Egler (1954) o processo de sucessão pode acontecer seguindo os seguintes modelos “Composição Florística Inicial” (as espécies pioneiras permanecendo em estágios avançados de sucessão) e “Substituição Florística” (que prevê uma substituição gradual das pioneiras por espécies tardias ao longo da recuperação florestal). Porém para o bioma Cerrado o processo de sucessão ecológica segue o modelo “Composição Florística Inicial” proposto por Egler (1954), no processo de reflorestamento de ambientes antropizados por regeneração natural. ????

A recuperação florística dos ambientes antropizados que ocorre em áreas abandonadas pelo processo de regeneração natural é de extrema importância, pois o processo de restabelecimento vegetal acontece por sucessão ecológica. Assim, entender a sucessão ecológica no Cerrado é fundamental para aperfeiçoamento das técnicas de recuperação ambiental (Silva et al., 2012).

As técnicas de recuperação são definidas com base no grau de antropização dos ambientes e também em função das características fenológicas das espécies a qual permite ter a compreensão da composição e da distribuição das espécies nas comunidades vegetais. A distribuição das espécies, é definida pelo papel ecológico das espécies no ecossistema e por síndromes de dispersão dos propágulos que variam quanto ao grupo ecológico com influência das condições climáticas (Pilon et al., 2015).

No Cerrado as espécies anemocóricas e autocóricas dispersam seus propágulos no final da estação seca, uma vez que, as condições nesta estação são mais propícias para o transporte das sementes, já as espécies com síndrome de dispersão zoocórica apresentaram seus picos de dispersão durante a estação chuvosa, pois a umidade permite que os frutos permaneçam atrativos para os dispersores por mais tempos (Pilon et al., 2015; Vasconcelo et al., 2010).

A dinâmica da vegetação no decorrer da sucessão ecológica no Cerrado pode ser influenciada positiva ou negativamente pelas características dos atributos do solo, pois, a disponibilidade de nutrientes para as plantas e as condições físicas do solo são determinantes na tipologia florestal (Neri et al., 2012; Bueno et al., 2013; Dick & Schumacker, 2015). No entanto, a vegetação presente em um ambiente altera a composição do solo pelo processo de aporte da serapilheira por adicionar matéria orgânica e nutrientes (Madeira et al., 2015), o que pode favorecer ou impedir a entrada de outras espécies no ecossistema (Morandi et al., 2016).

Nos estudos que abordam a relação solo-planta a qualidade dos atributos do solo é sempre abordada para melhor entender a relação entre o solo e a distribuição da vegetação nos diversos ambientes (Neri et al., 2012; Morandi et al., 2016). Pois, as características da classe do solo exercem um papel determinante na florística de um ambiente, onde ocorre a predominância das espécies mais adaptadas, essa situação é bem expressiva nos ambientes de solos hidromórficos (Munhoz et al., 2008 e Ávila et al., 2016;).

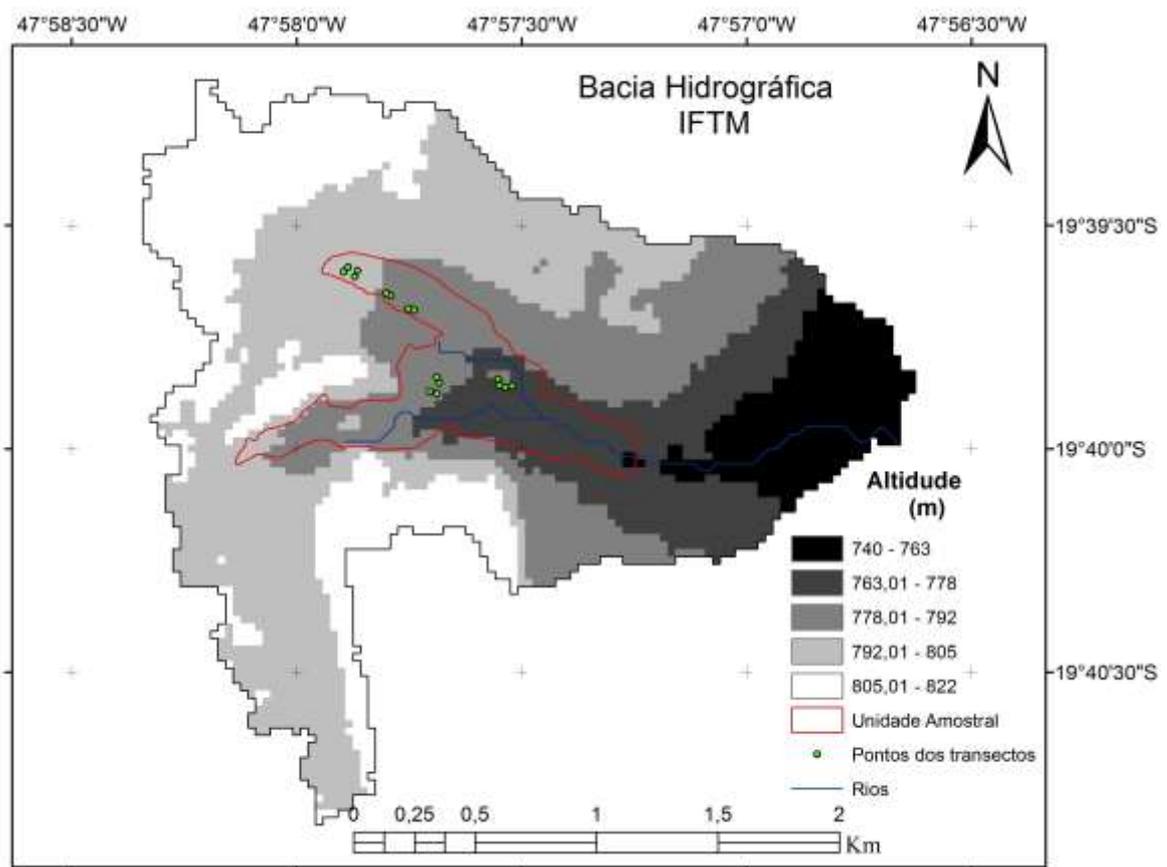
A distribuição florística no decorrer da evolução do processo de regeneração natural de uma área antropizada é influenciada pelo histórico de uso do solo e o grau de antropização do ambiente. Segundo os estudos Calgaro et al. (2015) e Kalacska et al. (2004), o histórico de uso do solo, aliado ao grau de antropização dos ambientes influenciam na diversidade de espécies, na ocorrência natural e desenvolvimento, bem como no crescimento da comunidade arbórea.

Entender a dinâmica da sucessão ecológica de ambientes antropizados em processo de regeneração natural no Cerrado é fundamental na tomada de decisões quando as técnicas adotadas para a revegetação de áreas antropizadas (Calgaro et al., 2015). Assim, o objetivo desse estudo foi avaliar os padrões florísticos e fitossociológicos da regeneração natural, a qual acontece segundo o modelo de sucessão “Composição Florística Inicial” em áreas antropizadas por usos agrícolas no Cerrado, em diferentes condições edafo-ambientais.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Unidade Amostral

Foram selecionados quatro áreas em processo de regeneração natural, sendo essas diferenciadas quanto ao tipo de solo, fitofisionomia e estágio de regeneração natural (estágio sucessional) (Figura 7). Foram adotadas as respectivas combinações: Latossolo Vermelho-Amarelo com Cerrado sentido restrito em estágio inicial; Latossolo Vermelho-Amarelo com Cerrado sentido restrito em estágio avançado; Gleissolo Háptico com Mata de Galeria em estágio inicial e Gleissolo Háptico com Mata de Galeria em estágio avançado. Os estágios de regeneração foram determinados em relação à estrutura (altura e estratificação do dossel) e composição florística dos ambientes antropizados.



**Figura 7.** Localização da unidade amostral na área de estudos e dos pontos dos transectos do levantamento florístico.

### 2.2 Levantamento Fitossociológico

Foi realizado o levantamento das espécies arbóreas presentes nas áreas em regeneração natural, com objetivo de conhecer a flora existente. No levantamento utilizou-se o método do transecto (largura: 4 m e comprimento: 25 m) sendo instalado 2 transectos por área (Mueller-Dombois & Ellenberg, 1974). Nestes transectos, foram identificados e mensurados todos os indivíduos arbóreos/arbustivos de espécies nativas e indivíduos mortos em pé.

A mensuração dos indivíduos arbóreos/arbustivos na área de Cerrado sentido restrito foi realizada à 30 cm do solo enquanto na área de Mata de Galeria essa medida foi tomada à 1,30 metros do solo, todas essas com circunferência igual ou superior a 15 cm. Todos os indivíduos também tiveram sua altura estimada com auxílio de tesoura de poda com cabo telescópico graduado. A nomenclatura botânica seguiu o sistema de classificação do Angiosperm Phylogeny Group (APG III, 2009) e os autores das espécies foram conferidos no site Flora do Brasil - REFLORA (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>). As coletas botânicas foram herborizadas e incluídas nos herbários da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (RBR).

A estrutura horizontal foi caracterizada estimando os seguintes parâmetros fitossociológicos para cada espécie a partir dos valores de diâmetro e altura coletados no campo, sendo: área basal, frequência relativa, densidade absoluta e relativa, dominância absoluta e relativa, valor de importância absoluto e relativo (Felfili et al., 2011). Também foram calculados os índices de diversidade de Shannon-Weaver ( $H'$ ) e equitabilidade de Pielou ( $J'$ ) para o conjunto de espécies (Magurran, 2011). As espécies foram classificadas quanto à síndrome de dispersão (anemocórica, zoocórica e autocórica) e ao grupo sucessional (pioneiros e não pioneiros) de acordo com os autores Silva Júnior (2012) e Silva Júnior et al. (2009).

Foram elaboradas curvas de acumulação de espécies e estimativa de riqueza de espécies para cada área. Nessas análises, apenas as árvores vivas foram consideradas. A curva média de acumulação de espécies e a estimativa da riqueza de espécies foram processadas usando o software EstimateS® Versão 9.1.0 e preparadas com suporte das planilhas Sigmaplot version 10.0®. A curva de acumulação de espécies minimiza os problemas causados pela curva do coletor (Schilling & Batista, 2008). A curva de acumulação de espécies é elaborada a partir de diversas ordens distintas e aleatórias, gerando assim uma curva média (Colwell & Coddington, 1994; Schilling & Batista 2008; Magurran, 2011). Na construção, foram realizadas 100 simulações com o objetivo de alterar a ordem de entrada da unidade de amostra e avaliar o grau de estabilidade da amostra (Schilling & Batista, 2008), com base no teorema do limite central (Ferreira, 2009; Cysneiros et al., 2015). A partir do número médio de acumulação de espécies em função da área amostrada, a riqueza de espécies foi estimada usando o estimador de riqueza de espécies não-paramétrico Chao 2 (Magurran, 2011).

Para verificação das variações florísticas e estruturais entre os ambientes estudados, foram utilizadas duas matrizes de dados: a primeira elaborada com a composição de espécies nas parcelas e, a segunda, pela abundância de indivíduos das espécies nas parcelas. Em seguida, foi realizado um Escalonamento Multidimensional Não Métrico (NMDS), com objetivo de investigar como as parcelas se ordenavam no espaço multidimensional da composição e abundância das espécies.

Para o NMDS, utilizou-se a distância de Sørensen para a matriz de composição e a distância de Bray-Curtis para a matriz de abundância (Legendre & Legendre, 2012). Para verificar a consistência do NMDS calculou-se uma medida de stress, que indica a proporção da variância das disparidades não explicadas pelo modelo (McCune & Grace, 2002).

A significância estatística do stress foi verificada por meio do teste de Monte Carlo com 999 permutações. A confirmação da estabilidade do stress na porção final das interações foi verificada conforme McCune & Grace (2002). Por fim, foi testada a significância estatística dos agrupamentos florísticos formados pelo NMDS pela Análise de Similaridade (ANOSIM).

### **2.3 Atributos Físicos e Químicos do Solo**

Nas áreas em processo de regeneração natural, foram coletadas amostras compostas (três simples) nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, e quantificando-se os teores de argila, silte e areia segundo (Donagema et al., 2011). E realizadas as análises químicas: a) pH em água na relação 1:2,5 (solo:água); b)  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Mg}^{+2}$  trocáveis extraídos com  $\text{KCl}$   $1 \text{ mol L}^{-1}$ , analisados por titulometria; c) P e  $\text{K}^{+}$  extraídos pelo método Mehlich-1 e analisados por colorimetria (P) e fotometria de chama ( $\text{K}^{+}$ ). Todos os métodos se encontram descritos em (Donagema et al., 2011).

### **2.4 Ordenação dos Atributos Químicos do Solo e das Espécies Vegetais**

O número de indivíduos das espécies arbóreas foram analisados em conjunto com os dados dos atributos do solo (pH,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ , P,  $\text{K}^{+}$  e argila) para a profundidade de 0-5 cm, em função do tipo de solo e estágio de regeneração natural através de Análise de Correspondência Canônica (ACC) (Ter Braak, 1986). A ACC permite uma análise da distribuição das espécies vegetais em relação aos atributos físicos e químicos do solo nas áreas em processo de regeneração natural (Ter Braak, 1986).

Foi adotada a profundidade de 0-5 cm, pois as demais profundidades consideradas neste estudo apresentaram a mesma tendência e relação com a distribuição das espécies nas áreas em processo de regeneração natural quando realizada a ACC.

### **2.7 Análise dos Dados**

A partir do levantamento dos dados físicos e químicos do solo foram realizadas as análises de normalidade (Teste de Shapiro Wilk, 5%) e homogeneidade da variância dos erros (Teste de Levene, 5%). Quando não atendido os pressupostos foi aplicada a transformação de Box-Cox. Para os dados que atenderam os pressupostos estatísticos foi realizado um teste paramétrico (teste t, 5%). Para os dados que não atenderam estes pressupostos mesmo com a transformação foi utilizado um teste não paramétrico (teste de Wilcoxon, 5%). As análises estatísticas foram realizadas no programa R 3.2.1.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Levantamento Fitossociológico

No levantamento florístico foram identificados 203 indivíduos arbóreo e arbustivo, distribuídos em 23 famílias e 35 espécies. Os 89 indivíduos amostrados do Cerrado sentido restrito foram distribuídos em 16 famílias, 20 gêneros e 23 espécies. A Mata de Galeria apresentou 114 indivíduos arbóreo e arbustivos, distribuídos em 17 famílias, porém menos rico em gênero (19) e espécies (20). As famílias mais ricas do Cerrado sentido restrito foram Myrtaceae (três), seguidos de Annonaceae, Erythroxylaceae, Fabaceae, Malpighiaceae, e Sapindaceae com duas espécies cada. Os gêneros que apresentaram mais espécies foram *Byrsonima*, *Erythroxylum* e *Matayba* com duas cada. Na Mata de Galeria as famílias mais ricas foram Bruseraceae, Meliaceae e Moraceae. Nesta fitofisionomia somente o gênero *Protium* apresentou mais de uma espécie (Tabela 4).

Quanto à síndrome de dispersão, a zoocórica predominou com 82,9% das espécies, seguido da anemocórica com 11,4% e a autocórica com 5,7% (Tabela 5). Esta distribuição demonstra a importância da fauna nesses ambientes do Cerrado e da Mata da Galeria para a dispersão das espécies arbóreas no processo de regeneração natural. De acordo com Oliveira et al. (2015), espécies com maior capacidade de dispersão de sementes, maior viabilidade de semente e maior adaptabilidade ao meio ambiente e suas adversidades são as que predominam no processo de regeneração natural.

Em relação ao grupo sucessional, o predominante foi não-pioneiras com 77,14% das espécies, seguido pelas pioneiras com 22,86% das espécies (Tabela 5). O domínio do grupo de sucessão não-pioneiras indica que áreas previamente degradadas já estão em um longo processo de regeneração natural. As espécies das pioneiras ocorreram predominantemente nos ambientes de Cerrado e de Mata de Galeria em estágio inicial de regeneração. A presença de espécies pioneiras em estágios avançados confirma o modelo de sucessão “Composição Florística Inicial” proposto por Egler (1954).

**Tabela 4.** Espécies florestais presentes nas áreas em processo de regeneração natural e os respectivos parâmetros fitossociológicos.

Família	Espécies	IVI				
		Ni	LI	LA	GI	GA
Anacardiaceae	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	7			22,87	33,73
	<i>Annona crassiflora</i> Mart.	1		5,53		
Annonaceae	<i>Xylopia aromática</i> (Lam.) Mart.	5	20,39	7,66		
	<i>Xylopia emarginata</i> Mart.	20			51,9	18,54
Arecaceae	<i>Euterpe edulis</i> Mart.	10			28,29	
Bignoniaceae	<i>Jacaranda macrantha</i> Cham.	1	7,51			
	<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand	32		57,73	11,54	71,59
Bursaceae	<i>Protium spruceanum</i> (Benth.) Engl.					11,20
	<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.	6				35,05
Calophyllaceae	<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.	6				35,05
Dilleniaceae	<i>Curatella americana</i> L.	5	20,86	8,8		
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum deciduum</i> A.St.-Hill	10	25,94	39,02		
	<i>Erythroxylum suberosum</i> A.St.-Hill	1	7,51			
Euphorbiaceae	<i>Croton floribundus</i> Spreng.	2			5,66	
	<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	3				15,2
Fabaceae	<i>Machaerium opacum</i> Vogel	1	8,49			
	<i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Coville	1	9,67			
Magnoliaceae	<i>Magnolia ovata</i> (A.St.-Hil.) Spreng.	9			17,65	23,52
	<i>Byrsonima coccolobifolia</i> Kunth	1	6,24			
Malpighiaceae	<i>Byrsonima verbascifolia</i> (L.) DC.	1	10,62			
	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	1				17,91
Meliaceae	<i>Guarea guidonia</i> (L.) Sleumer	2			3,93	4,5
	<i>Brosimum guianense</i> (Aubl.) Huber	10				23,37
Moraceae	<i>Ficus insipida</i> Willdenow	1				5,15
	morta	16	18,86	9,11	29,38	10,79
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O.Berg	3	13,78	8,95		
	<i>Gomidesia lindeniana</i> Berg	1	6,91			
Phyllanthaceae	<i>Psidium myrsinoides</i> O. Berg	12	69,9	6,27		
	<i>Hyeronima alchorneoides</i> Allemão	8		5,75	40,18	25,01
Primulaceae	<i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze	15	24,01	52,36	5,59	
Salicaceae	<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	1	6,16			
	<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk.	2	5,88			4,34
Sapindaceae	<i>Matayba guianensis</i> Aubl.	6	26,64			
	<i>Styrax ferrugineus</i> Nees & Mart.	4		12,56	7,74	
Symplocaceae	<i>Symplocos mosenii</i> Brand	20		66,61	48,31	
Urticaceae	<i>Cecropia glaziovii</i> Snethl.	11		19,64	26,94	
Vochysiaceae	<i>Vochysia tucanorum</i> Mart.	3	10,63			4,5

Legenda: IVI: (Índice de valor de importância); Ni (Número de indivíduos); LI (Área de Latossolo Vermelho-Amarelo em estágio inicial de regeneração); LA (Área de Latossolo Vermelho-Amarelo em estágio avançado de regeneração); GI (Área de Gleissolo Háplico em estágio inicial de regeneração); GA (Área de Gleissolo Háplico em estágio avançado de regeneração).

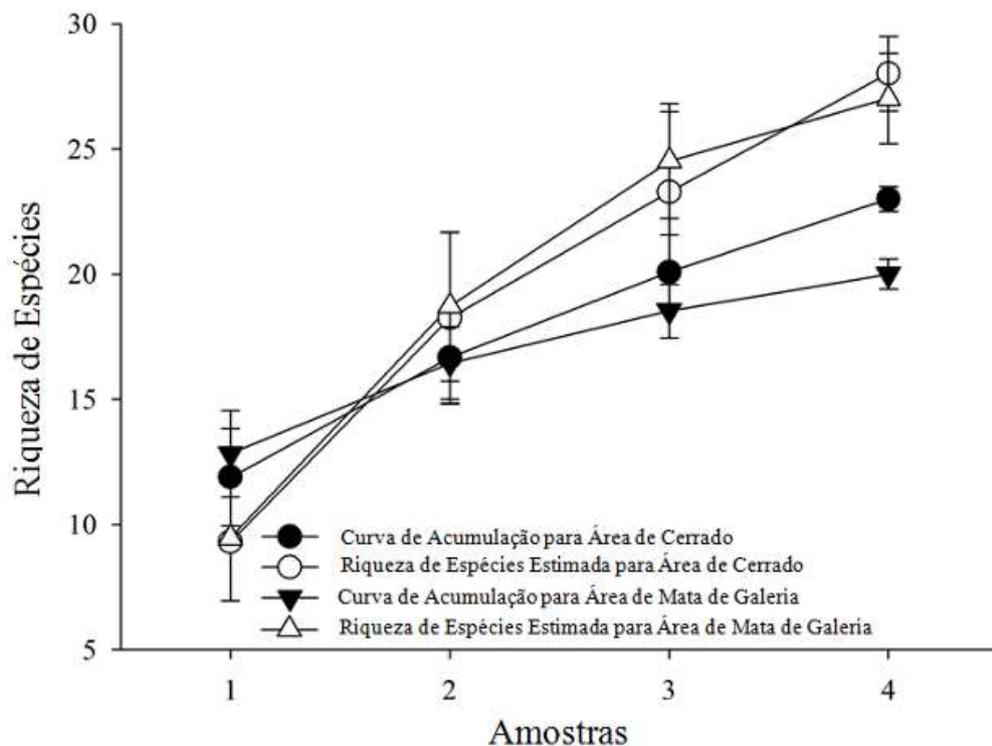
**Tabela 5.** Síndrome de dispersão e o grupo sucessional das espécies florestais presentes nas áreas de Cerrado e da Floresta de Galeria em regeneração natural.

Espécies	SD			Grupo Sucessional
	ANE	AUT	ZOO	
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.			X	NP
<i>Annona crassiflora</i> Mart.			X	NP
<i>Xylopia aromatica</i> (Lam.) Mart.			X	NP
<i>Xylopia emarginata</i> Mart.			X	NP
<i>Euterpe edulis</i> Mart.			X	NP
<i>Jacaranda macrantha</i> Cham.	X			P
<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand			X	NP
<i>Protium spruceanum</i> (Benth.) Engl.			X	NP
<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.			X	NP
<i>Curatella americana</i> L.			X	P
<i>Erythroxylum deciduum</i> A.St.-Hill			X	NP
<i>Erythroxylum suberosum</i> A.St.-Hill			X	NP
<i>Croton floribundus</i> Spreng.		X		P
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.			X	NP
<i>Machaerium opacum</i> Vogel	X			P
<i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Coville		X		NP
<i>Magnolia ovata</i> (A.St.-Hil.) Spreng.			X	NP
<i>Byrsonima coccolobifolia</i> Kunth			X	NP
<i>Byrsonima verbascifolia</i> (L.) DC.			X	NP
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	X			NP
<i>Guarea guidonia</i> (L.) Sleumer			X	NP
<i>Brosimum guianense</i> (Aubl.) Huber			X	NP
<i>Ficus insipida</i> Willdenow			X	P
Morta				
<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O.Berg			X	NP
<i>Gomidesia lindeniana</i> Berg			X	NP
<i>Psidium myrsinoides</i> O. Berg			X	NP
<i>Hyeronima alchorneoides</i> Allemão			X	NP
<i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze			X	P
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.			X	P
<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk.			X	NP
<i>Matayba guianensis</i> Aubl.			X	NP
<i>Styrax ferrugineus</i> Nees & Mart.			X	NP
<i>Symplocos mosenii</i> Brand			X	NP
<i>Cecropia glaziovii</i> Snethl.			X	P
<i>Vochysia tucanorum</i> Mart.	X			NP

Legenda: SD: Síndrome de Dispersão ( ANE = Anemocórica, AUT = Autocórica, ZOO = Zoocórica); P= Pioneiras; NP = Não-Pioneiras.

As curvas médias da acumulação de espécies das duas áreas não apresentaram assíntota (Figura 8). Schilling et al. (2012) relatam que as curvas médias da acumulação de espécies em regiões tropicais raramente apresentam padrão assintótico devido à alta heterogeneidade ambiental. A riqueza de espécies foi estimada em 28 e 27 para as áreas de Latossolo Vermelho-Amarelo com Cerrado e de Gleissolo Háptico com Mata de Galeria, respectivamente (Figura 8).

Embora os indivíduos estejam longe da estabilização das curvas de riqueza dentro de cada ambiente, houve uma diminuição considerável no número de espécies em função da disponibilidade de água e da profundidade do solo (Curcio et al., 2007; Schaefer et al., 2015; Ávila et al., 2016).

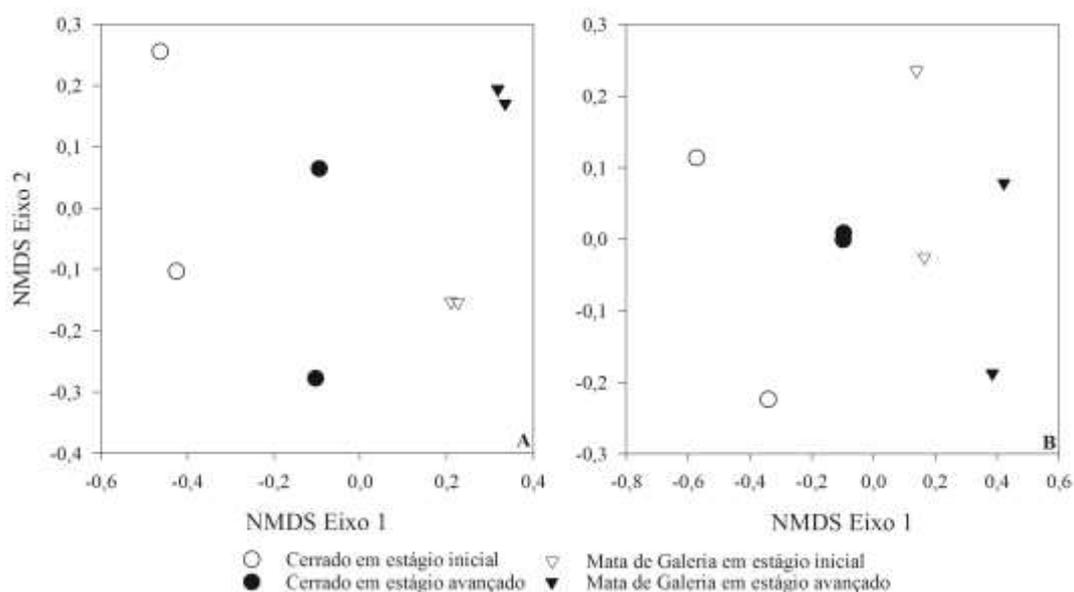


**Figura 8.** Curvas médias de acumulação de espécies e estimativa da riqueza de espécies para cada área.

Diversos autores relatam que a riqueza de espécies arbóreas/arbustivas aumenta conforme a disponibilidade hídrica e a profundidade dos solos (Teixeira & Assis, 2009; Curcio et al., 2007). No entanto, este estudo demonstrou de forma contrária, ou seja, menor riqueza de espécies sob solos hidromórficos e profundos. Curcio et al. (2007), estudando florestas fluviais do rio Iguazu no Paraná também constataram uma menor riqueza de espécies em ambientes saturados de água. Os autores consideram que os solos hidromórficos são ambientes altamente seletivos para a maioria das espécies e, conseqüentemente, tendem a compor menor riqueza quando comparado a outros solos mais drenados. Teixeira & Assis, (2009) e Curcio et al. (2007) discorrem que essas variações dependem do tipo do domínio fitofisiográfico, histórico de antropização e proximidades com fragmentos florestais preservados.

O NMDS apontou diferenças das parcelas entre os tipos de solos, tanto para a composição quanto a abundância de espécies (Figura 09). Os dois primeiros eixos de ordenação das matrizes de composição e abundância segregaram as parcelas situadas em

Latossolo Vermelho-Amarelo e Gleissolo Háplico, e produziram 71% e 65%, respectivamente, da correlação entre as distâncias de ordenação e o espaço n-dimensional original. O stress médio real (composição = 14%; abundância = 12%) e aleatórios (composição = 21%; abundância = 18%) dos dois primeiros eixos de ordenação do NMDS se mantiveram estáveis durante as interações, apresentando-se estatisticamente significante ( $P < 0,05$ ). Os dois grupos florísticos formados pelo NMDS também apresentaram diferenças significativas entre a composição e abundância de espécies ( $P < 0,001$ ).



**Figura 9.** Diagramas de ordenação das parcelas produzidos pelo Escalonamento Multidimensional Não Métrico (NMDS) para composição (A) e abundância (B) em dois ambientes de solos distintos.

As diferenças entre a composição e estrutura da vegetação analisada estão relacionadas com os ambientes. Estudos sobre gradientes ambientais realizados em escalas locais mostraram que a distribuição da vegetação está associada fortemente ao tipo de solo (Curcio et al., 2007; Scipioni et al., 2015; Ávila et al., 2016). Schaefer et al. (2015) discorrem que as mudanças no relevo podem proporcionar alterações nas propriedades físicas e químicas do solo e que, por sua vez, influenciam nos padrões de distribuição da flora.

Neste estudo, os diferentes tipos de solos foram os principais agentes na segregação dos grupos florísticos, indicando que as características físicas e químicas desses solos condicionam ambientes específicos e conseqüentemente, promovendo uma composição e estrutura da vegetação diferenciadas. Estudos como Finger & Oestreich Filho (2014) avaliando a distribuição das espécies florestais em função dos atributos ambientais no Cerrado, perceberam que as espécies são distribuídas na paisagem em forma de mosaicos, determinados pela maior ou menor correlação com as variáveis ambientais.

Quanto à distribuição da vegetação em relação ao estágio da regeneração natural inicial e avançado observou-se que as espécies *Protium heptaphyllum*, *Hyeronima alchorneoides*, *Myrsine guianensis*, *Styrax ferrugineus*, *Symplocos mosenii*, *Cecropia glaziovii* e *Vochysia tucanorum* ocorreram em ambas as áreas (Tabela 4). O padrão de distribuição dessas espécies indica que apesar das condições edafo-ambientais serem determinantes na distribuição das espécies vegetais, algumas tem a capacidade de explorar áreas diversas com diferentes funções no ecossistema. Alguns estudos têm demonstrado que

as espécies vegetais são distribuídas de forma não aleatória nos ambientes tropicais, o que está relacionado à adaptação das espécies ao amplo espectro das condições ambientais do Cerrado (Durigan et al., 2004; Reys et al., 2013; Ávila et al., 2016).

Avaliando o índice de valor de importância (IVI) das espécies florestais (Tabela 4), pode reparar-se que na área com Latossolo Vermelho-Amarelo no estágio inicial de regeneração natural o maior valor foi para a espécie *Psidium myrtoides*, já no estágio de regeneração avançado o maior valor foi para as espécies *Symplocos mosenii*, *Protium heptaphyllum* e *Myrsine guianensis*. No entanto, apenas as espécies *Psidium myrtoides* e *Myrsine guianensis* estão presentes simultaneamente nas duas áreas em processo de regeneração natural.

O padrão oposto observado para as espécies *Psidium myrtoides* e *Myrsine guianensis* quanto aos valores de IVI em função das áreas em processo de regeneração natural explica o papel diferenciado das espécies na dinâmica dos ecossistemas, quanto ao processo de sucessão ecológica. As espécies florestais depois de cumprirem sua função ecológica no ecossistema tendem a sair do sistema dando espaço e condições ambientais para a entrada de novas espécies.

A presença da espécie *Myrsine guianensis* e o elevado valor de IVI em áreas com cobertura do tipo Cerrado em estágio avançado de regeneração, também foi constatado nos estudos de Lopes et al. (2013), avaliando a estrutura do componente arbóreo em áreas de Cerrado no município de São Tomé das Letras, MG. Os resultados observados nesse estudo e nos estudos de Lopes et al. (2013) deixa evidente a importância do uso da espécie *Myrsine guianensis* nos projetos de revegetação de áreas degradadas no Cerrado.

Na área de Gleissolo Háplico no estágio inicial de regeneração natural o maior IVI foi observado para a espécie *Symplocos mosenii* a qual não estava presente no estágio avançado. Já na área em estágio avançado o maior valor foi verificado para a espécie *Protium heptaphyllum*. No entanto, apesar da presença também no estágio inicial de regeneração o valor do IVI foi inferior (Tabela 4), o que indica que algumas espécies só conseguem colonizar uma área depois da exploração inicial por outras espécies.

Avaliando a composição florística e a fitossociologia de uma Mata de Galeria no Cerrado após 20 anos de passagem de fogo em Brasília-DF Oliveira et al. (2011) verificaram a presença das espécies *Protium heptaphyllum* e *Symplocos mosenii* com o comportamento florístico e fitossociológico similar ao observado nesse estudo o que indica a ocorrência do processo sucessional das espécies nas formações florestais autoregenerantes.

Outro fator ecológico que explica a dinâmica de entrada e saída das espécies florestais nos ecossistemas nos processos de sucessões ecológicas é a presença de árvores mortas em ambas as áreas com Latossolo Vermelho-Amarelo e Gleissolo Háplico, sendo o maior número de indivíduos observados nas áreas em estágio inicial de regeneração natural (Tabela 4).

Quanto aos parâmetros fitossociológicos em ambas as áreas foi constatado o maior valor de área basal (G) no estágio avançado de regeneração o que indica a presença de indivíduos arbóreos mais desenvolvidos, no entanto quando observado os valores do índice de Shannon (H') e de Equabilidade (J') os maiores valores foram quantificados nas áreas em estágio inicial de regeneração natural (Tabela 6).

**Tabela 6.** Parâmetros florísticos e fitossociológicos da vegetação arbórea nas áreas em regeneração natural.

Estágio	Ni	Famílias	Espécies	G (m <sup>3</sup> )	H'	J'
Latossolo Vermelho-Amarelo						
Inicial	50	11	17	0,42	2,56	0,65
Avançado	47	10	12	0,48	2,12	0,55
Gleissolo Háplico						
Inicial	74	11	12	1,12	2,29	0,53
Avançado	61	11	14	1,73	2,24	0,54

Ni= (número de indivíduos); G= (área basal); H'= (índice de Shannon); J= (índice de equabilidade).

Os valores do índice de diversidade e de equabilidade quando comparados a outros estudos no Cerrado (Lopes et al., 2013; Rocha et al., 2014), foram inferiores, no entanto foi verificada uma tendência crescente dos índices em função do avanço do processo de regeneração natural (Tabela 6). É importante ressaltar que estudos têm mostrado que mesmo a riqueza e diversidade de espécies sendo baixa no estágio inicial do processo de regeneração, atuam como catalisador do processo de restauração florestal (Campos & Martins, 2016).

O padrão florístico e fitossociológico verificado na Tabela 6 indica que com o avanço do processo de regeneração natural há uma predominância das espécies e dos indivíduos mais adaptados aos sítios florestais, o que pode levar a redução da diversidade e ao aumento da área basal. Como exemplo, a espécie *Xylopia emarginata* que apresentou o maior IVI na área de Gleissolo Háplico em estágio inicial, a qual segundo os estudos de Durigan et al. (2004) e Ávila et al. (2016) é uma espécie associada aos solos hidromórficos, no entanto, mesmo ocorrendo em grande número em um determinado local a sua distribuição é restrita por preferirem solos úmidos.

### 3.2 Atributos do Solo

O padrão de distribuição dos atributos químicos e físicos do solo observados nas diferentes áreas em processo de regeneração natural apresentou uma dinâmica diferenciada quanto a classe e profundidade do solo (Tabela 7). Na área com Latossolo Vermelho-Amarelo os maiores valores de pH foram observados no estágio avançado de regeneração no entanto os maiores teores de P, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, K<sup>+</sup> e argila ocorreram na área de estágio inicial de regeneração.

Na área de Gleissolo Háplico os maiores valores de pH e teores de P, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup> e K<sup>+</sup> foram observados no estágio avançado de regeneração no entanto os maiores teores de argila ocorreram na área de estágio inicial de regeneração (Tabela 7). Quanto a profundidade do solo os valores dos atributos foram decrescente, exceto para o pH e os teores de P (Gleissolo Háplico) os quais aumentaram em profundidade.

A dinâmica dos atributos químicos do solo nos sítios florestais em processo de regeneração natural, é influenciada pelas condições do relevo e pela presença de fatores ambientais, que favorecem os processos de decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes. Assim, o aporte de serapilheira é um dos mecanismos responsáveis pelo retorno dos nutrientes ao solo (Dick & Schumacher, 2015).

Neste estudo, foi verificado que o retorno de nutrientes ao solo, teve sua dinâmica influenciada pelas condições ambientais e a tipologia florestal (Tabela 7). A área de Gleissolo Háplico e tipologia florestal Mata de Galeria proporcionou um maior retorno de nutriente ao solo.

**Tabela 7.** Valores de pH e teores de nutrientes do solo nas diferentes áreas em processo de regeneração natural.

Estágio	pH (H <sub>2</sub> O)	P mg dm <sup>-3</sup>	Ca <sup>+2</sup> -----cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----	Mg <sup>+2</sup> -----cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> -----	K <sup>+</sup> -----	Argila g kg <sup>-1</sup>
0-5 cm						
Latossolo Vermelho-Amarelo						
Inicial	5,01a	1,61a	0,58a	1,30a	0,21a	210a
Avançado	5,06a	1,33a	0,31b	0,52b	0,18a	154b
Gleissolo Háptico						
Inicial	4,46b	1,68b	0,79b	0,94a	0,18b	467a
Avançado	4,95a	5,29a	3,80a	2,21a	0,39a	202b
5-10 cm						
Latossolo Vermelho-Amarelo						
Inicial	5,08b	1,21a	0,54a	0,92a	0,16a	198a
Avançado	5,21a	1,10a	0,20b	0,27b	0,13a	161a
Gleissolo Háptico						
Inicial	4,43b	1,52b	0,56a	0,60a	0,16b	398a
Avançado	4,95a	4,16a	1,69a	1,40a	0,33a	250b
10-20 cm						
Latossolo Vermelho-Amarelo						
Inicial	5,13b	0,90a	0,57a	0,84a	0,12a	197a
Avançado	5,26a	0,82a	0,23b	0,11b	0,13a	168a
Gleissolo Háptico						
Inicial	4,59b	2,36a	0,73a	0,58a	0,12b	363a
Avançado	4,94a	2,47a	1,12a	0,87a	0,25a	254a

Legenda: Arg= (Argila). \*Letras minúsculas diferentes na coluna para cada área diferem entre si (p<0,05), pelo teste-t e Wilcoxon (não-paramétrico).

Quanto à classe de solo (Tabela 7), no Cerrado as melhorias nas condições químicas do solo em função do processo de regeneração natural foram mais efetivas para a classe de solo Gleissolo Háptico, o que está relacionado ao maior aporte de serapilheira nessas áreas e ao lento processo de decomposição desta. Estudos como os de Madeira et al. (2015) avaliando a influência do tipo da cobertura floresta na recuperação da fertilidade de solos Ferralíticos (Latossolos) de Angola, demonstram que a recuperação da fertilidade está associada a natureza da cobertura florestal, e também as características do solo.

### 3.3 Relação dos Atributos do Solo com a Regeneração Natural

Nos ecossistemas a relação entre a distribuição das espécies vegetais e os atributos químicos e físicos do solo é baseada na capacidade das espécies explorarem os ambientes, no entanto, ao mesmo tempo estas modificam os atributos edáficos, o que favorece a saída e/ou a entrada de novos indivíduos no sistema (Dick & Schumacher, 2015).

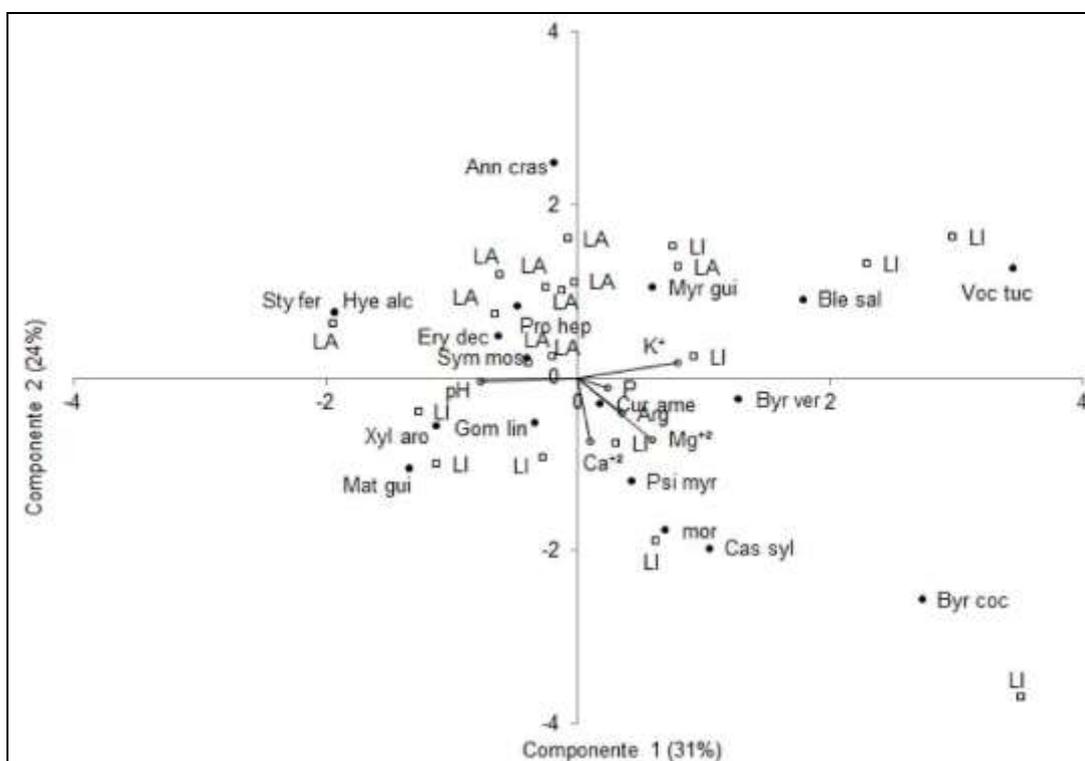
No decorrer do processo de sucessão ecológica, as espécies vegetais proporcionam um aumento da qualidade dos atributos do solo pela adição de matéria orgânica e de nutrientes com o aumento da deposição de serapilheira na camada superficial do solo, o que favorece a entrada de outras espécies no ambiente (Morandi et al., 2016).

Na Figura 10 é apresentada a dispersão dos autovalores dos atributos químicos e físicos do solo e das espécies arbóreas em relação aos dois primeiros eixos da ACC, nas áreas em processo de regeneração natural para a classe de solo Latossolo Vermelho-Amarelo,

observa-se que a distribuição das espécies arbóreas é influenciada pelos atributos do solo e pelo avanço do processo de regeneração natural.

Na área em processo de regeneração natural em estágio inicial, os atributos do solo foram determinantes na distribuição das espécies arbóreas, as espécies *Myrsine guianensis*, *Blepharocalyx salicifolius*, *Vochysia tucanorum* ocorreram nas áreas com alto teor de  $K^+$ . As espécies *Curatella americana*, *Byrsonima verbasifolia*, *Psidium myrtoides*, *Casearia sylvestris* e *Byrsonima coccolobifolia* ocorreram nas áreas com teores elevados de  $Mg^{+2}$ ,  $Ca^{+2}$ , P e teor de argila (Arg).

As espécies *Xylopia aromatica*, *Matayba guianensis* e *Gomidesia lindeniana* são observadas nas áreas com maiores valores de pH. A diferenciação da composição vegetal em função da variação das características do solo quanto aos valores de pH, teores dos macronutrientes e as ações antrópicas corrobora com os resultados obtido por Ávila et al. (2016) avaliando a regeneração natural em Florestas Hidrófilas no Cerrado.



**Figura 10.** Análise de correspondência canônica entre as espécies arbóreas e os atributos de um Latossolo Vermelho-Amarelo no Cerrado.

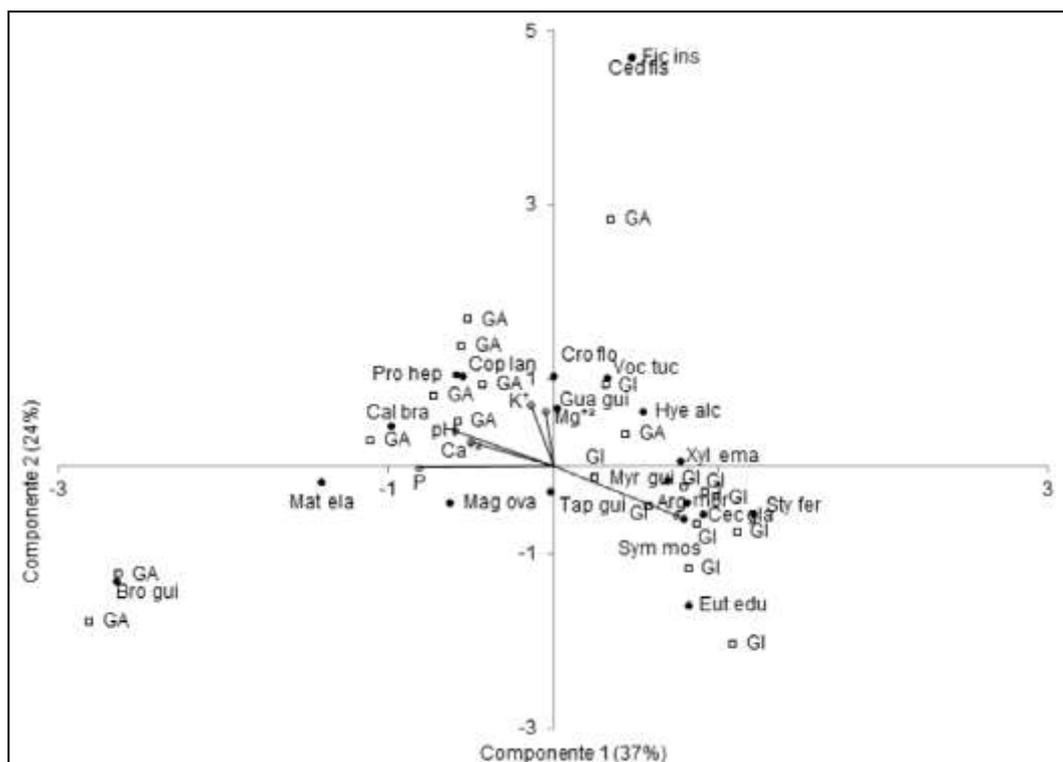
Legenda: Ann cras (*Annona crassiflora*); Ble sal (*Blepharocalyx salicifolius*); Byr coc (*Byrsonima coccolobifolia*); Byr ver (*Byrsonima verbasifolia*); Cas syl (*Casearia sylvestris*); Cec gla (*Cecropia glaziovii*); Cur ame (*Curatella americana*); Ery dec (*Erythroxylum deciduum*); Ery sub (*Erythroxylum suberosum*); Gom lin (*Gomidesia lindeniana*); Hye alc (*Hyeronima alchorneoides*); Jac mac (*Jacaranda macranta*); Mac opa (*Machaerium opacum*); Mat ela (*Matayba elaeagnoides*); Mat gui (*Matayba guianensis*); mor (morta); Myr gui (*Myrsine guianensis*); Pro hep (*Protium heptaphyllum*); Psi myr (*Psidium myrtoides*); Str ads (*Stryphnodendron adstringens*); Sty fer (*Styrax ferrugineus*); Sym mos (*Symplocos mosenii*); Voc tuc (*Vochysia tucanorum*); Xyl aro (*Xylopia aromática*).

No entanto, a área em estágio avançado as espécies *Annona crassiflora*, *Styrax ferrugineus*, *Hyeronima alchorneoides*, *Erythroxylum suberosum*, *Symplocos mosenii* e *Protium heptaphyllum* não apresentaram correlação com os atributos do solo. A formação de grupos das espécies em relação aos atributos do solo corrobora com os estudos desenvolvidos

por Neri et al. (2012), onde estudando a influência dos solos sobre a composição e estrutura de comunidade florística de uma área de Cerrado brasileiro, verificaram a formação de três grupos de espécies determinados pela variação da fertilidade do solo sendo: alta fertilidade do solo, intermediária fertilidade do solo e baixa fertilidade do solo.

O efeito das condições ambientais na distribuição das espécies também foi observado nos estudos de Budke et al. (2007) e Budke et al. (2010), avaliando a distribuição das espécies florestais ao longo de um gradiente topográfico em função da ocorrência do processo de inundação nas florestas ribeirinhas. Os autores observaram que a dinâmica ambiental, espacial e hidrológica dos ambientes foi importante na determinação da riqueza e diversidade das espécies florestais, com os valores mais altos observados em áreas com maior heterogeneidade ambiental.

Na Figura 11 é apresentada a dispersão dos autovalores dos atributos químicos e físicos do solo e das espécies arbóreas em relação aos dois primeiros eixos da ACC, nas áreas com Gleissolo Háplico em processo de regeneração natural, verificou-se que a distribuição das espécies arbóreas é influenciada pelos atributos do solo e pelo avanço do processo da sucessão ecológica. Por outro lado, quando comparado a área com Latossolo Vermelho-Amarelo (Figura 10) a distribuição das espécies apresentou um padrão oposto, o que evidencia a especificidade das áreas quando a dinâmica da regeneração natural.



**Figura 11.** Análise de correspondência canônica entre as espécies florestais e os atributos de um Gleissolo Háplico no Cerrado.

Legenda: Bro gui (*Brosimum guianense*); Cal bra (*Calophyllum brasiliense*); Cec gla (*Cecropia glaziovii*); Ced fis (*Cedrela fissilis*); Cop lan (*Copaifera langsdorffii*); Cro flo (*Croton floribundus*); Eut edu (*Euterpe edulis*); Fic ins (*Ficus insipida*); Gua gui (*Guarea guidonia*); Hye alc (*Hyeronima alchorneoides*); Mag ova (*Magnolia ovata*); Mat ela (*Matayba elaeagnoides*); mor (morta); Myr gui (*Myrsine guianensis*); Pro hep (*Protium heptaphyllum*); Sty fer (*Styrax ferrugineus*); Sym mos (*Symplocos mosenii*); Tap gui (*Tapirira guianensis*); Voc tuc (*Vochysia tucanorum*); Xyl ema (*Xylopia emarginata*).

Estudos como Neri et al. (2012) avaliando a influência dos solos sobre a composição e estrutura da comunidade florística de uma área de Cerrado brasileiro, constataram que as características físicas e químicas dos solos são determinantes na distribuição das espécies.

As espécies *Ficus insipida*, *Cedrela fissilis*, *Croton floribundus*, *Vochysia tucanorum*, *Guarea guidonia*, *Hyeronima alchorneoides* e *Xylopia emarginata* não apresentaram correlação com os atributos do solo, no entanto estavam presente nas áreas em estágio inicial e avançado de regeneração. *Myrsine guianensis*, *Cecropia glaziovii*, *Styrax ferrugineus*, *Symplocos mosenii* e *Euterpe edulis* ocorreram nas áreas em estágio inicial de regeneração com maiores teores de argila (Figura 11).

Nas áreas em que ocorre drenagem impedida e com isso deficiência de oxigênio algumas espécies florestais têm o estabelecimento limitado, sendo observada maior expressão das espécies adaptadas as áreas hidromórficas (Munhoz et al., 2008). Esse padrão sugere que nas áreas de melhor drenagem ocorre uma maior diversidade florística.

Na área com estágio avançado de regeneração as espécies *Matayba elaeagnoides*, *Magnolia ovata* e *Brosimum guianense* apresentaram correlação com os valores de P. As espécies *Copaifera langsdorffi*, *Proidium heptaphyllum* e *Calophyllum brasiliense* ocorreram nas áreas com elevados valores de pH e teores de  $K^+$ ,  $Mg^{+2}$  e  $Ca^{+2}$ , o que sugere que essas espécies estão relacionadas as áreas com solos de maior fertilidade.

Como pode ser observado nas Figuras 10 e 11 a distribuição das espécies florestais é influenciada pela classe de solo, características químicas e físicas e o grau de antropização nas áreas em processo de regeneração natural, o que está relacionado às características e papel das espécies quanto ao processo de sucessão ecológica (Calgaro et al. 2015). No entanto, a relação entre a distribuição das espécies florestais quanto aos atributos do solo precisa ser mais bem estudada, pois, a compreensão desse processo aumenta a eficiência das técnicas de recuperação ambiental adotadas no Cerrado.

#### 4. CONCLUSÕES

A distribuição das espécies florestais nas áreas em processo de regeneração natural no Cerrado é influenciada pelas características dos atributos do solo e pelo grau de sucessão da vegetação, onde a presença das espécies florestais está correlacionada com as características dos atributos do solo nos sítios florestais.

As classes de solo mostraram eficientes quanto a distribuição das espécies florestais, no entanto as especificidades dos atributos de cada classe permitiram uma composição florística e um processo de distribuição das espécies diferenciado quanto ao estágio de regeneração natural das áreas antropizadas.

O processo de regeneração natural proporcionou a melhoria das condições químicas do solo no Cerrado, sendo essas mais efetivas para a classe Gleissolo Háptico, o que está relacionado à decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes, mecanismos estes responsáveis pelo retorno dos nutrientes ao solo.

A relação entre a distribuição das espécies florestais e as propriedades do solo merece maior investigação, uma vez que uma maior compreensão aumentará a eficiência das técnicas de recuperação ambiental adotadas no Cerrado.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. **Botanical Journal of the Linnean Society**, Londres, v. 161, p. 105 - 121, 2009.
- ÁVILA, M. A.; SOUZA, S. R.; VELOSO, M. D. M.; SANTOS, R. M.; FERNANDES, L. A.; NUNES, Y. R. F. Structure of natural regeneration in relation to soil properties and disturbance in two swamp forests. **Cerne**, Lavras, v.22, n.1, p.1-10, 2016.
- BUDKE, J. C.; JARENKOW, J. A.; OLIVEIRA-FILHO, A. T. Relationships between tree component structure, topography and soils of a riverside forest, Rio Botucaraí, Southern Brazil. **Plant ecology**, Dordrecht, v. 189, n. 2, p. 187-200, 2007.
- BUDKE, J. C.; JARENKOW, J. A.; OLIVEIRA-FILHO, A. T. Intermediary disturbance increases tree diversity in riverine forest of southern Brazil. **Biodiversity and Conservation**, New York, 19, n. 8, p. 2371-2387, 2010.
- BUENO, M. L.; NEVES, D. R. M.; SOUZA, A. F.; OLIVEIRA JUNIOR, E.; DAMASCENO JUNIOR, G. A.; PONTARA, V.; RATTER, J. A. Influence of edaphic factors on the floristic composition of an area of cerrado in the Brazilian central-west. **Acta Botanica Brasilica**, Feira de Santana, v. 27, n. 2, p. 445-455, 2013.
- COLWELL, R. K. & CODDINGTON, J. A. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, London, v. B345, p. 101-118, 1994.
- CURCIO, G. R.; GALVÃO, F.; BONNET, A.; BARDDAL, M.L.; DEDECEK, R. A. A floresta fluvial em dois compartimentos do rio Iguaçu, Paraná, Brasil. **Floresta**, Curitiba, v. 37, n. 2, p. 125-147, 2007.
- CYSNEIROS, V. C.; MENDONCA-JUNIOR, J. O.; GAUI, T. D., BRAZ, D. M. Diversity, community structure and conservation status of an Atlantic Forest fragment in Rio de Janeiro State, Brazil. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 15, n.2, p. 1-15, 2015.
- CALGARO, H. F.; BUZETTI, S.; SILVA, L. R.; STEFANINI, L.; MONTENEGRO DE MIRANDA, L. P.; MORAES, M. A. D.; TEIXEIRA DE MORAES, M. L. Distribuição natural de espécies arbóreas em áreas com diferentes níveis de antropização e relação com os atributos químicos do solo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 2, p. 233-243, 2015.
- CAMPOS, W. H. & MARTINS, S. V. Natural regeneration stratum as an indicator of restoration in area of environmental compensation for mining limestone, municipality of Barroso, MG, Brazil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 40, n. 2, p. 189-196, 2016.
- COUTINHO, F.; PEREIRA, M.G.; BEUTLER, S.J.; TORRES, J.L.R.; FABIAN, A.J. Avaliação das Limitações ao Uso Agrícola dos Solos da CEFET, Uberaba (MG). **Anais Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**, Rio de Janeiro, Brasil, p. 1-4, 2008.
- DICK, G. & SCHUMACHER, M. V. Relações entre solo e fitofisionomias em florestas naturais. **Revista Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa Maria, v. 3, n. 2, p. 31-39, 2015.
- DONAGEMA, K. G.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. **Manual de métodos de Análise de solo**. Embrapa Solos. Rio de Janeiro, 2011. 230p.

- DURIGAN, G.; MELO, A. C. G.; CONTIERI, W. A.; NAKATA, H. Regeneração natural da vegetação de Cerrado sob florestas plantadas com espécies nativas e exóticas. **Pesquisas em conservação e recuperação ambiental no oeste paulista: resultados da cooperação Brasil/Japão**. São Paulo: Instituto Florestal, p. 349-362, 2004.
- EGLER, F. E. Vegetation science concepts I. "Initial Florisite Composition", a factor in old-field vegetation development. **Plant Ecology**, Dordrecht, v. 4, n. 6, p. 412-417, 1954.
- FELFILI, J. M.; EISENLOHR, P. V.; MELO, M. M. R. F.; ANDRADE, L. A.; MEIRANETO, J. A. A. Fitossociologia no Brasil: métodos e estudos de casos. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1 ed. 2011. 556p.
- FERREIRA, D. F. **Estatística básica**. Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2009. 664p.
- FINGER, Z. & OESTREICH FILHO, E. Efeitos do solo e da altitude sobre a distribuição de espécies arbóreas em remanescentes de cerrado sensu stricto. **Advances in Forestry Science**, Mato Grosso, v. 1, n. 1, p. 27-33, 2014.
- GOTELLI, N. J. & COLWELL, R.K. Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. **Ecology Letters**, Montpellier, n. 4, v. 4, p. 379-391, 2001.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 15 de junho de 2015.
- KALACSKA, M.; SANCHEZ-AZOFEIFA, G. A.; CALVO-ALVARADO, J. C.; QUESADA, M.; RIVARD, B.; JANZEN, D. H. Species composition, similarity and diversity in three successional stages of a seasonally dry tropical forest. **Forest ecology and management**, Ringwood, n. 200, v. 1, p. 227-247, 2004.
- LEGENDRE, P. & LEGENDRE, L. Numerical ecology. Amsterdam, Elsevier Science. 2012, 870p.
- LOPES, R. M. F.; FREITAS, V. L. O.; BARBOSA, P. M. M. Structure of the tree component in areas of cerrado in São Tomé das Letras, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 5, p. 801-813, 2013.
- MCCUNE, B. & GRACE, J. B. Analysis of ecological communities. MjM Software Design, Oregon: Gleneden Beach. 2002. 284p.
- MADEIRA, M.; RICARDO, R. P.; NETO, A. G. As coberturas florestais e a recuperação da fertilidade de Solos Ferralíticos de Angola. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 38, n. 4, p. 598-611, 2002.
- MAGURRAN, A. E. Medindo a diversidade biológica. / Anne E. Magurran, 1955; translation by Dana Mioana Vianna. Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2011. 261p.
- MORANDI, P. S.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; DE OLIVEIRA, E. A.; REIS, S. M.; VALADÃO, M. X.; FORSTHOFER, M.; MARIMON, B. S. Vegetation succession in the Cerrado–Amazonian forest transition zone of Mato Grosso state, Brazil. **Edinburgh Journal of Botany**, Edinburgh, v. 73, n. 01, p. 83-93, 2016.
- MÜELLER-DOMBOIS, D. & ELLENBERG, H.; **Aims and methods of vegetation ecology**. New York: John Wiley & Sons. 1974, 547p.

- MUNHOZ, C. B. R.; FELFILI, J. M.; RODRIGUES, C. Species-environment relationship in the herb-subshrub layer of a moist Savanna site, Federal District, Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 68, n. 1, p. 25-35, 2008.
- NERI, A. V.; SCHAEFER, C. E. G. R.; SILVA, A. F.; SOUZA, A. L.; FERREIRA-JUNIOR, W. G. & MEIRA-NETO, J. A. A. The influence of soils on the floristic composition and community structure of an area of Brazilian Cerrado vegetation. **Edinburgh Journal of Botany**, Edinburgh, v. 69, n. 01, p. 1-27, 2012.
- OLIVEIRA, L. C. S.; GUIMARÃES, J. C. O.; SOUZA, I. C. S.; LIMA, C. M.; FERREIRA, W. C. Levantamento florístico e fitossociológico da regeneração natural de uma Mata de Galeria localizada no município de Jataí-GO. **Global Science and Technology**, Goiano, v. 8, n. 3, 59-77, 2016.
- OLIVEIRA, M. C.; FELFILI, J. M.; SILVA JÚNIOR, M. C.O. Análise florística e fitossociológica da comunidade arbórea da Mata de Galeria do Capetinga, após vinte anos de passagem de fogo, na Fazenda Água Limpa, Brasília-DF. **Heringeriana**, Brasília, v. 5, n. 2, p. 19-31, 2011.
- PEREIRA, J. A. A.; OLIVEIRA-FILHO, A. T.; LEMOS-FILHO, J. P. Environmental heterogeneity and disturbance by humans control much of the tree species diversity of Atlantic montane forest fragments in SE Brazil. **Biodiversity and Conservation**, New York, v.16, n.6, p.1761-1784, 2007.
- PILON, N. A. L.; UDULUTSCH, R. G.; DURIGAN, G. Phenological patterns of 111 Cerrado species under cultivation. **Hoehnea**, São Paulo, v. 42, n. 3, p. 425-443, 2015.
- PILON, L.; NATASHI, A.; DURIGAN, G. Critérios para indicação de espécies prioritárias para a restauração da vegetação de cerrado. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, p. 389-399, 2013.
- REYS, P.; CAMARGO, M. G. G. D.; GROMBONE-GUARATINI, M. T.; TEIXEIRA, A. D. P.; ASSIS, M. A.; MORELLATO, L. P. C. Estrutura e composição florística de um Cerrado sensu stricto e sua importância para propostas de restauração ecológica. **Hoehnea**, São Paulo, p. 449-464, 2013.
- ROCHA, E.; REYS, P.; DA SILVA, P. O.; SOARES, M. P. Florística e fitossociologia em um fragmento de Cerrado no Sudoeste de Goiás. **Global Science and Technology**, Goiano, v. 7, n. 3, p. 110-118, 2014.
- SANTOS, R. D.; LEMOS. R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C.; SHIMIZU, S. H. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 6.ed. Viçosa: SBCS, 2013, 100p.
- SCHAEFER, C. E. G. R.; NUNES, J. A.; NERI, A. V.; MENDONÇA, B. A. F.; FERREIRA-JÚNIOR, W. G.; ARRUDA, D. M. Relação solo-vegetação em formações vegetacionais brasileiras: metodologia e estudos de caso. In: EISENLOHR, P. V.; FELFILI, J. M.; MELO, M. M. R. F.; ANDRADE, L. A.; MEIRA NETO, J. A. A. Fitossociologia no Brasil: métodos e estudos de casos. Viçosa: UFV; 2015.
- SCHILLING, A. C. E. & BATISTA, J. L. F. Curva de acumulação de espécies e suficiência amostral em florestas tropicais. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 31, p. 179-187, 2008.
- SCHILLING, A. C.; BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. Z. Ausência de estabilização da curva de acumulação de espécies em florestas tropicais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, p. 101-111, 2012.

SILVA JÚNIOR, M. C. **100 Árvores do cerrado sentido restrito, guia de campo**. 1. ed. Brasília: Rede de Sementes do cerrado. 2012. 303p.

SILVA JÚNIOR, M. C. & PEREIRA, SILVA, B. A. + **100 Árvores do Cerrado -Matas de Galeria** - Guia de Campo. 1. ed. Brasília: Rede de Sementes do Cerrado. 2009. 290p.

SILVA, J. C.; SILVA, I. P.; SILVA, E. M.; RIBEIRO, E. S.; MOREIRA, E. L.; PASA, M. C. Sucessão ecológica no Cerrado. **FLOVET-Boletim do Grupo de Pesquisa da Flora, Vegetação e Etnobotânica**, Cuiabá, v. 1, n. 1, p.33-47, 2012.

SCIPIONI, M. C.; GALVAO, F.; LONGHI, S. J.; PEDRON, F. A. Gradiente ambiental em comunidades arbóreas no baixo rio Jacuí. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 10, p. 1802-1808, 2015.

TEIXEIRA, A. P. & ASSIS, M. A. Relação entre heterogeneidade ambiental e distribuição de espécies em uma floresta paludosa no Município de Cristais Paulista, SP, Brasil. **Acta Botânica Brasileira**, Feira de Santana, v. 23, n. 3, p. 843-853, 2009.

TER BRAAK, C. J. F. Canonical Correspondence Analysis: A new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. **Ecology**, New York, v. 67, n. 5, p. 1167-1179, 1986.

TORRES, J. L. R & FABIAN, A. J. Levantamento topográfico e caracterização da paisagem para planejamento conservacionista numa microbacia hidrográfica de Uberaba. **Caminhos de Geografia**, Uberaba, v.6, n. 19, p. 150-159, 2006.

VASCONCELOS, S., F.; ARAÚJO, F., S.; LOPES, A. V. Phenology and dispersal modes of wood species in the Carrasco, a tropical deciduous shrubland in the Brazilian semiarid. **Biodiversity and Conservation**, New York, v. 19, n. 8, p. 2263-2289, 2010.

## **CAPÍTULO III**

### **Expansão da Cobertura do Solo e a Recuperação dos Serviços Ambientais em Bacia Hidrográfica no Cerrado**

## RESUMO

O processo de antropização do Cerrado tem gerado diversos passivos ambientais, tais como redução da biodiversidade, degradação dos recursos hídricos e alteração da qualidade e quantidade da água nos corpos hídricos. A vegetação tem um papel importante na estabilização e manutenção das vazões dos rios, nos quais a revegetação é uma prática sugerida na recuperação e revitalização dos serviços hidrológicos de bacias hidrográficas. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a evolução do processo de regeneração natural de ambientes antropizados com a variação das condições climática e a recuperação dos serviços ambientais em bacia hidrográfica no Cerrado. Para tanto, foi utilizada a bacia hidrográfica do Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM) Campus Uberaba-MG, a qual possui uma área antropizada que desde 2002 encontra-se protegida da entrada de animais domésticos e explorações agrícolas. A dinâmica da regeneração natural foi avaliada por meio do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), a qual foi correlacionada com as variáveis climáticas e com a vazão da bacia hidrográfica. A caracterização da dinâmica da vegetação, das variáveis climáticas e da vazão foi determinada por análise descritiva e dos desvios, já a relação entre as variáveis por análise multivariada. A regeneração natural proporciona o crescimento da vegetação em ambientes antropizados no Cerrado, a qual é fundamental para a recuperação dos serviços ambientais da bacia hidrográfica. Sendo, os fatores climáticos chuva e temperatura determinantes na dinâmica da regeneração natural e na vazão das bacias hidrográficas no Cerrado.

**Palavras-chave:** Bacias hidrográficas, Vazão, Regeneração natural, Fatores climáticos

## ABSTRACT

The process of anthropization of the Cerrado has generated diverse environmental liabilities, such as loss of biodiversity, degradation of water resources and alteration of the quality and quantity of water in the water bodies. The vegetation plays an important role in stabilizing and maintaining river flows, where revegetation is a suggested practice in the recovery and revitalization of river basin hydrological services. Thus, the objective of this study is to evaluate the evolution of the process of natural regeneration of anthropic environments with the variation of climatic conditions and the recovery of environmental services in hydrographic basins in the Cerrado. For this purpose, the catchment area of the Federal Institute of the Triângulo Mineiro (IFTM) Campus Uberaba-MG was used, which has an anthropic area that since 2002 has been protected from the entry of domestic animals and farms. The dynamics of the natural regeneration was abated by means of the product related to the vegetation index (MOD13Q1), which was correlated with the climatic variables and the flow of the river basin. The characterization of vegetation dynamics, climatic variables and flow was determined by descriptive analysis and deviations, and the relation between variables was determined by multivariate analysis. Natural regeneration provides vegetation growth in anthropogenic environments in the Cerrado, which is fundamental for the recovery of the environmental services of the river basin. Being, climatic factors rain and temperature determinants in the dynamics of the natural regeneration and the flow of the hydrographic basins in the Cerrado.

**Key Words:** Hydrographic basins, Flow, Natural regeneration, Climatic factors

## 1. INTRODUÇÃO

O Cerrado é considerado como um dos maiores reservatórios de água do Brasil, por ser onde nascem os principais rios brasileiros (Parnaíba, Paraná, Paraguai, Tocantins-Araguaia, São Francisco e Amazônia), os quais são responsáveis por abastecer uma parte significativa da população brasileira. No entanto, por ser um ambiente com solos e condições de relevo favoráveis a implantação da agricultura, tem tido sua vegetação natural substituída por culturas agrícolas e pastagens (Nóbrega et al., 2017).

O processo de antropização do Cerrado tem gerado diversos passivos ambientais, tais como redução da biodiversidade, assoreamento dos corpos hídricos, degradação ambiental e alteração da quantidade e qualidade da água nos corpos hídricos (Torres et al., 2011).

Em ambientes nos quais há resiliência e a área é protegida dos fatores de perturbação o processo de regeneração natural acontece havendo a recuperação dos serviços ambientais (Santos et al., 2017). Porém, o estabelecimento das espécies vegetais em ambientes antropizados depende também da frequência e intensidade da perturbação que o ambiente foi submetido (Sampaio et al., 2007).

A vegetação tem um papel importante na estabilização e manutenção das vazões dos rios, assim, a revegetação é uma prática sugerida na recuperação e revitalização dos serviços hidrológicos de bacias hidrográficas (Bacellar, 2005). Entretanto, apesar das bacias hidrográficas com cobertura florestal produzirem menos água em relação aos outros tipos de cobertura, apresentam uma vazão mais estável e sustentável o que é fundamental para o balanço hidrológico (Balbinot et al., 2009).

Nas bacias hidrográficas do Cerrado, a dinâmica da vegetação no processo de revegetação por regeneração natural é influenciada pelas condições climáticas. Por exemplo, a região Nordeste do Brasil onde a dinâmica da vegetação está correlacionada com a chuva, sendo esta um fator importante para entender e monitorar a dinâmica da vegetação (Barbosa & Kumar, 2016). A dinâmica da vegetação não só varia com as chuvas, mas também depende dos fatores (uso do solo, classe do solo, topografia e temperatura), os quais são determinantes das características dos ambientes florestais (Barbosa et al., 2015).

Desta forma, sabendo que a dinâmica da regeneração em ambientes antropizados está correlacionada com os fatores climáticos e a tipologia da vegetação influencia no ciclo hidrológico das bacias hidrográficas. Este estudo tem como objetivo avaliar a evolução do processo de regeneração natural de ambientes antropizados e suas relações com as condições hidrológicas, climática e a recuperação dos serviços ambientais em bacia hidrográfica no Cerrado.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Vegetação

Na avaliação da vegetação foram utilizados os produtos relativos aos índices de vegetação (MOD13Q1) do satélite TERRA (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) referentes aos períodos de agosto/2002 a julho/2003 e agosto/2015 a julho/2016. Foi avaliada a relação da vazão com a dinâmica da regeneração natural, sendo utilizadas as imagens referentes aos meses e períodos de quantificação da vazão na bacia hidrográfica.

O MOD13Q1 possui o índice vegetação da diferença normalizada (NDVI), o qual fornece informações sobre detecção de mudanças na vegetação e parâmetros biofísicos do dossel (Latorre et al., 2003). Na avaliação da dinâmica da vegetação quanto a variação das condições foi utilizado o produto NDVI do MOD13Q1, com a resolução espacial de 250 m.

Os produtos relativos aos índices de vegetação foram obtidos no endereço <http://glovis.usgs.gov> os quais são distribuídos pela National Aerospace and Space Administration (NASA). As imagens do MODIS são disponibilizadas no formato Hierarchical Data Format (HDF), assim com auxílio do R foram convertidas para o GEOTIFF e simultaneamente da projeção sinusoidal para a UTM WGS 84.

No entanto, para a correta visualização e interpretação do índice de vegetação das imagens foi realizada a conversão da escala digital para o valor físico do índice de vegetação. De acordo com a equação:

$$VF = ND * 0,0001$$

em que:

ND = imagem (MOD13Q1);

0,0001 = fator de transformação para valor físico de índice de vegetação.

O padrão temporal da vegetação observado pela variação do NDVI foi correlacionado com a vazão nas diferentes estações do ano, seca e chuvosa, buscando entender o efeito da regeneração natural na produção de água de uma bacia hidrográfica no Cerrado.

### 2.2 Variáveis Meteorológicas

Os dados de chuva e temperatura do ar diários foram obtidos da Estação Meteorológica Convencional (EMC) de Uberaba-MG código OMM: 83577, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2002/2003 e 2015/2016). Após análise preliminar dos dados, calculou-se a temperatura média e a chuva mensal dos respectivos anos. Os dados meteorológicos não apresentam falhas.

## 2.3 Produção de Água

Na medição da vazão foi utilizado o método de vertedor trapezoidal, o qual é bastante sensível as variações da vazão. A vazão foi medida numa bacia hidrográfica com a vegetação antropizada em processo de regeneração natural no Cerrado no Município de Uberaba-MG, na Unidade I do Instituto Federal de Educação Tecnológica. Quanto à expressão matemática adotada no cálculo da vazão no período de agosto/2002 a julho/2003 e de agosto/2015 a julho/2016 foi a de Mauro, (2003) (adaptado):

$$Q = 1,86 * L * H^{(3/2)}$$

em que:

Q = vazão em l/s; 1,86 = constante (relacionada às características do vertedor e a velocidade da água); L= comprimento da soleira; H = cota em m (altura da lâmina d'água referida a um plano pré-estabelecido).

A vazão foi quantificada no período de agosto/2002 a julho/2003 (Fabian & Torres, 2003, dados não publicados), e no período de agosto/2015 a julho/2016, com medições no intervalo de 10 em 10 dias (Figura 12).



**Figura 12.** Medição da vazão pelo método de vertedor trapezoidal.

Fonte: Torres, 2015.

A variação observada quanto a vazão foi correlacionada à dinâmica da vegetação, chuva e temperatura nos respectivos períodos e em relação às estações seca e chuvosa. Tal procedimento, permitiu identificar a influência do processo de regeneração natural na dinâmica da água em bacias hidrográfica com ambientes antropizados.

## 2.4 Análise dos Dados

As séries temporais do NDVI, das variáveis meteorológicas e da vazão foram submetidas a uma análise estatística descritiva. Posteriormente, foi calculado o desvio do NDVI, das variáveis meteorológicas e da vazão para cada período de estudo segundo a equação:

$$(X - \bar{X})$$

em que,

$X$  = NDVI, chuva, vazão e temperatura para cada mês do período;

$\bar{X}$  = média do NDVI, da chuva, da vazão e da temperatura para os 12 meses do período analisado.

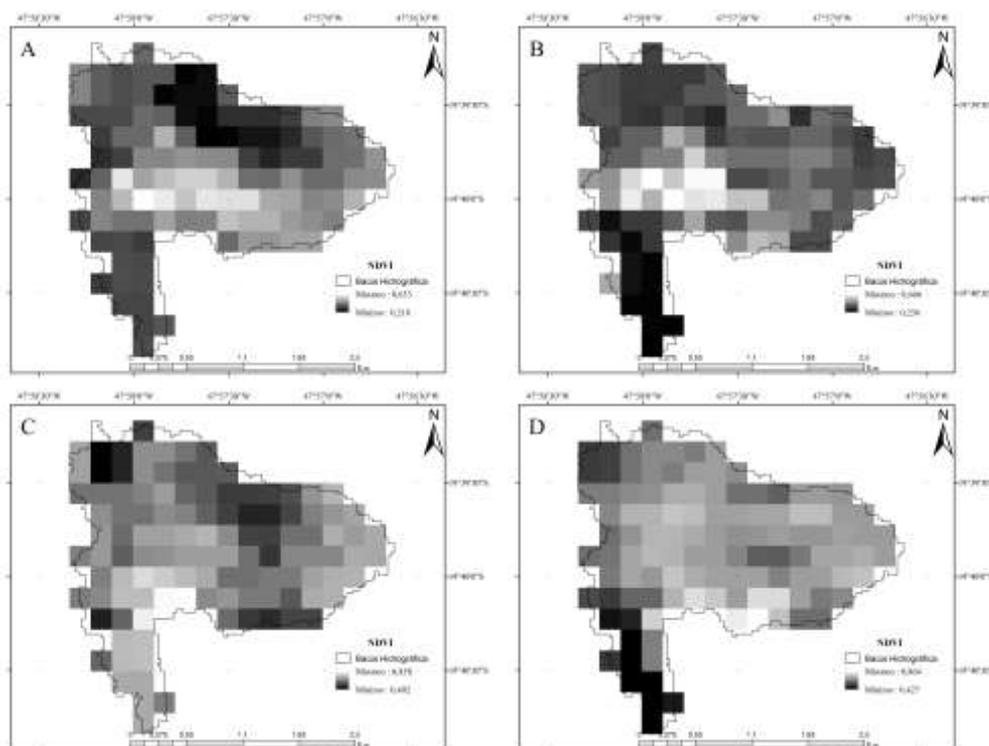
Foi calculada também a diferença entre os valores do NDVI, da chuva, da vazão e da temperatura entre o período final (2015/2016) e período inicial (2002/2003). Para melhor compreensão da dinâmica da vegetação (NDVI) em função dos atributos meteorológicos (chuva e temperatura) e da vazão foi realizada uma análise multivariada de redução de dados pelo método da Análise dos Componentes Principais. As análises foram realizadas nos programas R 3.2.1 e SPSS 15.0.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Dinâmica da Vegetação, da Vazão e dos Fatores Meteorológicos

O processo da regeneração natural na bacia hidrográfica do IFTM no decorrer de um período de 13 anos apresentou um padrão de expansão das áreas com cobertura florestal, sendo esse padrão positivo em função do tempo e das estações do ano, o qual foi observado através da dinâmica temporal do NDVI nos ambientes em processo de regeneração (Figura 13).

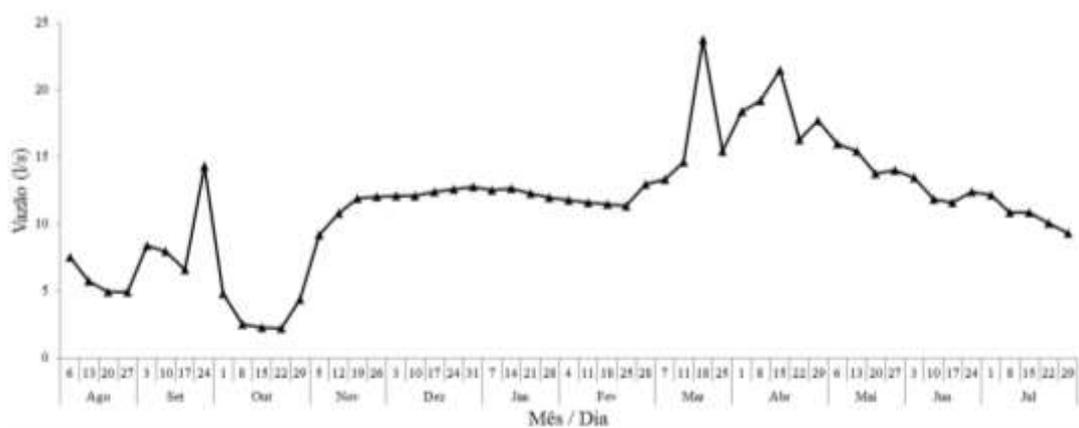
Estudos como o de Resende et al. (2015) estimando a regeneração natural da vegetação no Cerrado em ambientes antropizados com o uso de índices de vegetação, observaram que o índice de vegetação é uma ferramenta adequada para esse tipo de análise, por permitir obter informações rápidas e criteriosas.



**Figura 13.** Dinâmica temporal do valor de NDVI na bacia hidrográfica do IFTM em função das estações do ano.

Legenda: A= estação seca 2002/2003; B=estação seca 2015/2016; C= estação chuvosa 2002/2003 e D = estação chuvosa 2015/2016.

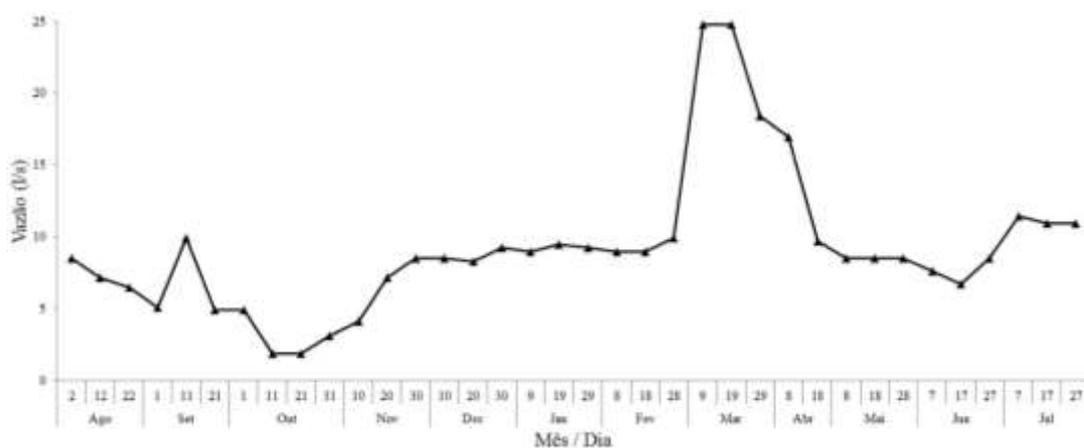
Quanto a dinâmica da vazão na bacia hidrográfica do IFTM-Uberaba-MG, foi observado um padrão similar em ambos os anos com o maior pico de vazão no mês de março (23,74 e 24,74  $Ls^{-1}$ , respectivamente) o qual coincide com o final da estação chuvosa e a menor vazão para o mês de outubro que coincide com o final da estação seca (2,22 e 1,86  $Ls^{-1}$  respectivamente) (Figura 14 e 15).



**Figura 14.** Vazão da bacia hidrográfica do IFTM-Uberaba-MG no ano de 2002/2003.

A redução da vazão observada para o período de 2015/2016 ( $-2,09 \text{ L s}^{-1}$ ), pode estar relacionada com o aumento da cobertura do solo resultante do avanço do processo de regeneração natural. Visto que, em relação aos demais tipos de uso do solo a floresta é a que consome mais água, principalmente, devido ao aumento das perdas de água por evapotranspiração, sendo a redução da vazão maior nos períodos de seca (Balbinot et al., 2009).

A presença de florestas tende a causar redução da vazão por aumentar o processo de evapotranspiração, por outro lado, quando o desmatamento é realizado sem preceitos técnicos, a vazão pode reduzir devido a redução da infiltração por causa da compactação do solo. A compactação pode desaparecer com a regeneração natural da vegetação nos ambientes antropizados (Bacellar, 2005), em função da deposição de matéria orgânica e com isso melhora a agregação do solo, aumentando a porosidade.



**Figura 15.** Vazão da bacia hidrográfica do IFTM-Uberaba-MG no ano de 2015/2016.

Outro fator que interfere na dinâmica da vazão é a taxa de infiltração de água no solo, que segundo Balbinot et al. (2009), é diretamente proporcional ao tamanho da cobertura florestal e a densidade e idade dos indivíduos. Assim, a evolução da regeneração natural na bacia hidrográfica do IFTM tem contribuído para uma maior infiltração da água no solo, o que aumenta o tempo de permanência da água na bacia, e reflete em uma vazão mais constante, neste estudo próximo de  $10 \text{ L s}^{-1}$ , exceto em períodos extremos de chuvas e de seca (Figura 15).

Na análise descritiva pode-se observar (Tabela 8), que o padrão de distribuição das variáveis NDVI, chuva, vazão e temperatura foram similares nos períodos de estudos, sendo a variável chuva a que apresentou maiores valores para o desvio padrão e variância.

Os valores médios de NDVI, chuva e temperatura aumentaram no intervalo de 13 anos, por outro lado, o valor médio da vazão reduziu (Tabela 8). O padrão observado demonstra que a bacia hidrográfica encontra-se em processo de regeneração natural e que as funções hidrológicas desta estão sendo recuperadas, com o aumento do tempo de permanência da água no sistema hidrológico da bacia.

Diversos estudos têm demonstrado que a substituição da vegetação natural por pastagem tem proporcionado um aumento da vazão das bacias hidrográficas por diminuir a evapotranspiração e a infiltração de água no solo, por outro lado, quando comparado com a vegetação natural observa uma maior evapotranspiração e uma maior infiltração de água no solo o que proporciona uma melhor regularização dos processos hidrológicos na bacia, com um fluxo mais estável e sustentável do que em outros ambientes (Nóbrega et al., 2017; Balbinot et al., 2009).

**Tabela 8.** Estatística descritiva das variáveis NDVI, chuva, vazão e temperatura.

Estatística Descritiva	NDVI		Chuva (mm)		Vazão (Ls <sup>-1</sup> )		Temperatura (° C)	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Média	0,48	0,56	112,93	151,12	11,59	9,50	23,51	24,25
Erro Padrão	0,04	0,03	49,14	36,07	1,23	1,40	0,52	0,67
Desvio Padrão	0,14	0,12	170,24	124,96	4,25	4,86	1,81	2,31
Variância	0,02	0,01	28981,46	15616,18	18,03	23,58	3,27	5,32
Mínimo	0,30	0,40	0,00	0,00	3,24	2,93	20,16	20,27
Máximo	0,73	0,77	550,30	315,20	18,63	22,64	26,17	27,99

Legenda: 1 = período (2002/2003); 2 = período (2015/2016)

Quando analisado os desvios mensais para os respectivos períodos (Tabela 9), verifica-se que para as variáveis NDVI e chuva os valores foram negativos na estação seca, devido a menor ocorrência de chuvas na bacia hidrográfica. Porém em relação ao período anterior houve um aumento dos valores das variáveis sendo de 0,08 para o NDVI e de 38,19 mm para a chuva. Estudos como o de Santos et al. (2017) avaliando regeneração natural em ambientes antropizados por usos agrícolas no Cerrado também observaram que o processo de regeneração natural segue uma tendência crescente em áreas antropizadas, sendo essa influenciada pela incidência de chuvas.

Para a vazão (Tabela 9), observou-se que o desvio foi negativo na estação seca para o período (2002/2003). No entanto para o período (2015/2016) após 13 anos em processo de regeneração natural, o desvio foi positivo nos meses de março, abril e julho, sendo esse os meses de maior vazão da bacia hidrográfica (Figura 15).

Em relação ao período de análise, houve um decréscimo da vazão no intervalo de 13 anos sendo igual a -2,09 (Ls<sup>-1</sup>), esse padrão é explicado pelo aumento da cobertura do solo com a expansão das áreas em regeneração natural, o que simultaneamente recupera as condições de armazenamento e infiltração de água no solo.

Segundo Nóbrega et al. (2017), quando há uma substituição da cobertura florestal por pastagem, um processo inverso ao observado neste estudo ocorre, devido a redução da evapotranspiração e o aumento do escoamento superficial. Além disso, a pastagem leva o solo

a degradação das propriedades hidrofísicas. Deste modo, constata-se o quanto é importante o reflorestamento para que o serviço hidrológico da bacia hidrográfica seja recuperado.

Para a variável temperatura não foi observado um padrão quanto às estações do ano, porém, os desvios mensais foram maiores no período de 2015/2016 (Tabela 8), com um aumento da temperatura na bacia hidrográfica de 0,74°C no intervalo de 13 anos. Este resultado corrobora com os encontrados por Ávila et al. (2014), que avaliaram as tendências das temperaturas mínimas e máximas, no estado de Minas Gerais no período de 30 anos (1961 a 2004). Os autores observaram que os valores de temperatura aumentaram significativamente no estado de Minas Gerais, sendo esse aumento mais acentuado no mês de outubro, no sentido sul-norte do estado.

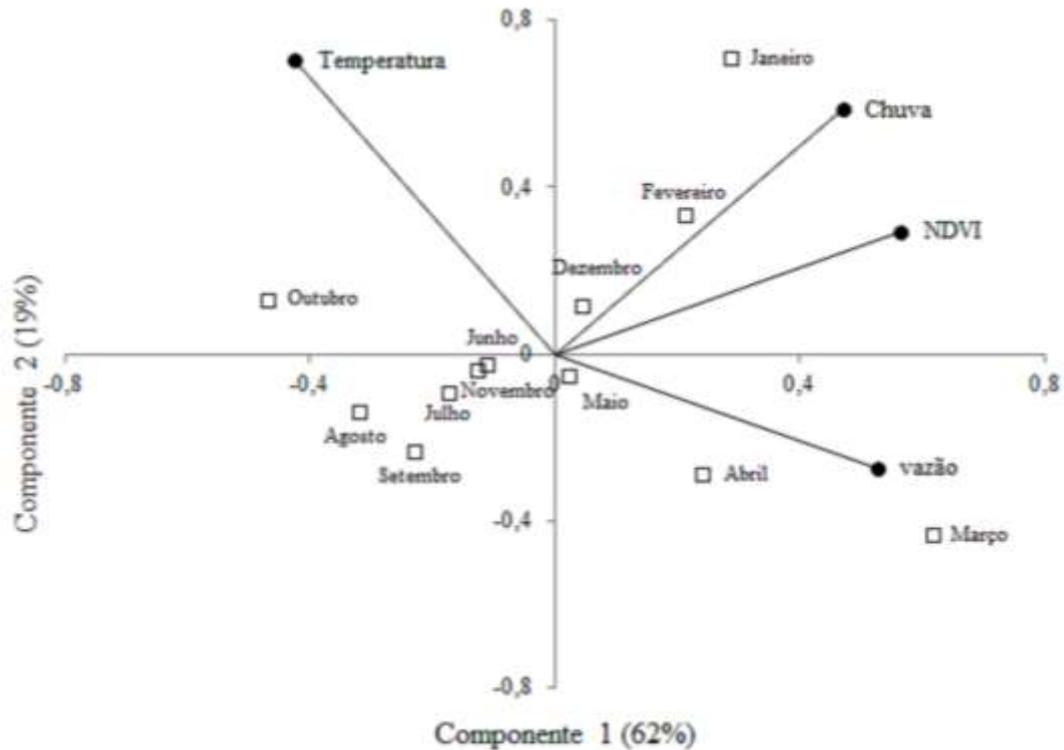
**Tabela 9.** Desvios mensais do NDVI, da chuva, da vazão e da temperatura para os dois períodos.

Mês	NDVI		Chuva (mm)		Vazão (Ls <sup>-1</sup> )		Temperatura (° C)	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Agosto	-0,16	-0,14	-110,93	-151,12	-5,80	-2,10	-0,98	-1,77
Setembro	-0,17	-0,12	-100,93	-51,12	-2,28	-2,86	-1,39	0,77
Outubro	-0,18	-0,13	-108,93	-78,42	-8,35	-6,57	2,66	3,74
Novembro	-0,05	-0,02	-79,93	61,78	-0,61	-2,89	0,59	1,78
Dezembro	0,09	0,21	-15,93	125,08	0,79	-0,82	0,76	1,57
Janeiro	0,11	0,11	437,38	164,08	0,77	-0,28	1,43	1,14
Fevereiro	0,25	-0,02	77,68	164,08	0,25	-0,19	0,40	1,24
Março	0,18	0,12	223,98	-19,62	5,18	13,14	-3,35	0,85
Abril	0,07	0,08	-39,93	141,78	7,04	3,82	-2,89	0,17
Mai	0,01	0,04	-56,63	-146,62	3,21	-0,98	0,60	-2,21
Junho	-0,02	0,04	-112,93	-142,72	0,75	-1,88	1,62	-3,98
Julho	-0,08	-0,16	-112,93	-67,22	-0,95	1,61	0,55	-3,30

Legenda: 1 = período (2002/2003); 2 = período (2015/2016)

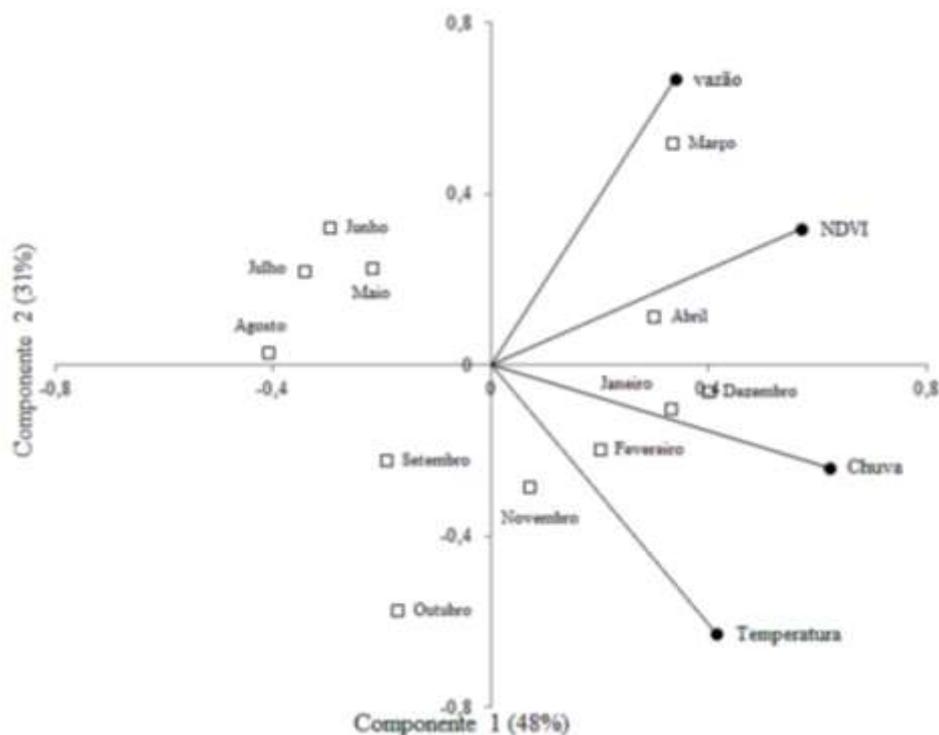
Nas Figuras 16 e 17 observa-se que a dinâmica da vegetação (NDVI), da chuva, da vazão e da temperatura estão correlacionadas aos meses de maior ocorrência de chuva na bacia hidrográfica (estação chuvosa). Este padrão observado demonstra que a dinâmica da regeneração natural (NDVI) e a vazão de uma bacia hidrográfica são influenciadas pela variação das condições climáticas na região do Cerrado, principalmente pela incidência de chuvas, já que a disponibilidade de água é um fator limitante nesse ecossistema.

A influência da chuva na dinâmica da regeneração natural (NDVI) também foi observado, por Santos et al. (2017), quando avaliaram a dinâmica da regeneração natural em diferentes ambientes antropizados em função das estações do ano. Os autores constataram que o processo de regeneração natural no Cerrado apresenta uma correlação positiva e significativa com a chuva, principalmente quando há ocorrência na estação seca.



**Figura 16.** Análise de componente principal da vegetação (NDVI), das variáveis meteorológicas e da vazão no período 2002/2003.

A dinâmica da vegetação do Cerrado tem sido fortemente influenciada pela ocorrência de chuva, sendo a chuva o principal fator que direciona o crescimento da vegetação e com maior incidência na estação chuvosa (Souza et al., 2016). Assim, a vazão da bacia hidrográfica é o reflexo da interação entre a ocorrência de chuvas e a evolução da regeneração natural no Cerrado (Figuras 16 e 17), a qual recupera a condições hidrológicas do ambiente para uma melhor dinâmica hídrica da bacia hidrográfica.



**Figura 17.** Análise de componente principal da vegetação (NDVI), das variáveis meteorológicas e da vazão no período 2015/2016.

Apesar da chuva ser um dos fatores responsáveis pela dinâmica da vegetação do Cerrado, estudos como o de Barbosa et al. (2015), tem evidenciado a importância dos fatores uso do solo, cobertura do solo, tipo de solo e topografia, para melhor entender a tendência da dinâmica da vegetação do Cerrado na América do Sul. No entanto, em ambientes onde a água é escassa, a chuva é um fator determinante da dinâmica da vegetação, como exemplo a região Nordeste do Brasil (Barbosa & Kumar, 2016).

Portanto, a relação entre a dinâmica da regeneração natural e a recuperação dos serviços ambientais das bacias hidrográficas no Cerrado precisa ser melhor estudada, pois, entender o papel da regeneração natural na recuperação dos serviços ambientais da bacia hidrográfica é fundamental para a proteção e recuperação do Bioma Cerrado.

#### **4. CONCLUSÕES**

O processo de regeneração natural aumentou a cobertura do solo em ambientes antropizados, o que contribuiu para a recuperação dos serviços ambientais da bacia hidrográfica.

Os fatores climáticos chuva e temperatura são determinantes na dinâmica da regeneração natural e da vazão das bacias hidrográficas no Cerrado.

No Cerrado a chuva é um fator que direciona o crescimento da vegetação, assim, influência diretamente a dinâmica da regeneração natural e na recuperação dos serviços ambientais.

## 5. CONCLUSÕES GERAIS

A dinâmica da regeneração natural no Cerrado apresenta um padrão crescente de cobertura florestal ao longo do tempo, com uma correlação positiva a ocorrência de chuvas, desde que os ambientes antropizados sejam protegidos da recorrência de ações antrópicas.

A distribuição das espécies florestais nos ambientes em regeneração natural no Cerrado é influenciada pelas especificidades dos atributos químicos e físicos das classes de solo, as quais permitem uma composição florística e um processo de distribuição das espécies diferenciado quanto ao estágio de regeneração natural das áreas antropizadas. Por outro lado, a dinâmica das espécies florestais no processo de regeneração natural proporciona a melhoria das condições químicas do solo no Cerrado.

O processo de regeneração natural aumentou a cobertura do solo em ambientes antropizados no Cerrado, o qual foi influenciado diretamente pela ocorrência de chuva e proporcionou a recupera dos serviços ambientais da bacia hidrográfica.

Perante o observado nesse estudo, é importante a consideração do processo de regeneração natural na recuperação dos ambientes antropizados no Cerrado, desde que o ambiente apresente capacidade de resiliência e seja garantida a proteção da reincidência de ações antrópicas.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como proposta avaliar a dinâmica da regeneração natural em ambientes antropizados no Cerrado e a recuperação dos serviços ambientais. Os atributos ambientais avaliados nesse estudo foram bons indicadores do efeito das condições climáticas e dos atributos do solo na dinâmica da regeneração natural. A regeneração natural proporciona o crescimento da vegetação em ambientes antropizados e recupera os serviços ambientais em bacias hidrográficas.

Os processos de reflorestamentos de ambientes antropizados têm demandado altas taxas de recursos financeiros e de mão de obra. Nesse sentido, uma das propostas seria a consideração do processo de regeneração natural nas técnicas de recuperação de ambientes com capacidade de resiliência no Cerrado, por favorecer o estabelecimento das espécies mais adaptadas ao ambiente.

Para complementar os estudos desenvolvidos nessa linha de pesquisa, são necessárias pesquisas mais detalhadas sobre as espécies arbóreas que estão envolvidas no processo de regeneração natural de ambientes antropizados no Cerrado.

O Cerrado mesmo apresentando relevante importância hidrológica para o funcionamento das bacias hidrográficas brasileiras, tem sido antropizado de forma desorganizada comprometendo os serviços ambientais, assim entender a recuperação dos serviços ambientais em ambientes antropizados pelo processo de regeneração natural e/ ou reflorestamento é uma iniciativa de relevante importância para que se possa recuperar os ambientes antropizados melhorando as condições socioambientais das comunidades inseridas nesses ambientes.

Para isso, é necessário o envolvimento da comunidade, das instituições de ensino, dos órgãos de pesquisa e do poder público para o incentivo de boas práticas de recuperação e conservação dos recursos naturais, tendo como atrativos o pagamento pelos serviços ambientais prestados.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R.; YANAGI, S. N. M.; NETO, O. B. S. Trends of minimum and maximum air temperatures in the state of Minas Gerais, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 4, p. 247-256, 2014.
- BACELLAR, L. A. P. O papel das florestas no regime hidrológico de bacias hidrográficas. **Geo.br**, Ouro Preto, v.1, n.1, p. 1-39, 2005.
- BALBINOT, R.; DE OLIVEIRA, N. K.; VANZETTO, S. C.; PEDROSO, K.; VALERIO, Á. F. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas The forest role in the hydrological cycle at hydrological basins. **Ambiência**, Guarapuava, v. 4, n. 1, p. 131-149, 2009.
- BARBOSA, H. A. & KUMAR, T. L. Influence of rainfall variability on the vegetation dynamics over Northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**, Trelew, v.124, p. 377-387, 2016.
- BARBOSA, H. A.; KUMAR, T. L.; SILVA, L. R. M. Recent trends in vegetation dynamics in the South America and their relationship to rainfall. **Natural Hazards**, v. 77, n. 2, p. 883-899, 2015.
- COUTINHO, F.; PEREIRA, M.G.; BEUTLER, S.J.; TORRES, J.L.R.; FABIAN, A.J. Avaliação das Limitações ao Uso Agrícola dos Solos da CEFET, Uberaba (MG). **Anais Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**, Rio de Janeiro, Brasil, p. 1-4, 2008.
- INMET- Instituto Nacional de Meteorologia. Informações sobre as **condições climáticas do município de Uberaba-MG**. Disponível em <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em 10 de agosto de 2015.
- LATORRE, M. L.; ANDERSON, L. O.; SHIMABUKURO, Y. E.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. C. Sensor MODIS: Características gerais e aplicações. **Espaço & Geografia**, Brasília, v.6, n.1, p.91-121, 2003.
- MAURO, F. **Vazão e qualidade da água em manancial degradado do cinturão verde de Ilha Solteira**. 2003. 75f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - São Paulo, Universidade Estadual de São Paulo, Ilha Solteira, 2003.
- NÓBREGA, R. L. B., GUZHA, A. C., TORRES, G. N., KOVACS, K., LAMPARTER, G., AMORIM, R. S. S., GEROLD, G. Effects of conversion of native Cerrado vegetation to pasture on soil hydro-physical properties, evapotranspiration and streamflow on the Amazonian agricultural frontier. **Plos one**, Cambridge, v.12, n.6, 2017.
- RESENDE, F. C.; SOARES, T. B. O.; SANTOS, P. R.; PEREIRA, G. Análise de Índices Espectrais para Estimativa de Áreas de Regeneração Florestal no Parque Nacional Chapada Das Mesas. **Revista Territorium Terram**, v. 3, n. 5, p. 95-104, 2015.
- SANTOS, G. L.; PEREIRA, M. G.; DELGADO, R. C.; TORRES, J. L. R. Natural regeneration in anthropogenic environments due to agricultural use in the Cerrado, Uberaba, MG, Brazil. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 33, n. 1, p. 169-176, 2017.
- SAMPAIO, A. B., HOLL, K. D., & SCARIOT, A. Does restoration enhance regeneration of seasonal deciduous forests in pastures in central Brazil?. **Restoration Ecology**, Washington, v. 15, n. 3, p. 462-471, 2007.

SOUZA, G. M.; COSTA, G. H.; CIAMP, P. M. Análise sazonal da vegetação do Cerrado por meio de dados do sensor MODIS no Distrito Federal (Brasil). **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 36, n. 3, p. 502-520, 2016.

TORRES, J. L. R & FABIAN, A. J. Levantamento topográfico e caracterização da paisagem para planejamento conservacionista numa microbacia hidrográfica de Uberaba. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v.6, n. 19, p. 150-159, 2006.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; OLIVEIRA, F. A.; PAIVA, J.; CORNÉLIO, E. P.; FERNANDES, F. S. Análise das características quantitativas e qualitativas da microbacia do córrego barreiro, afluente do Rio Uberaba. **Revista Árvore**, Viçosa, v.35, n.4,p. 931-939, 2011.