SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO
CAMPUS DE NOVA XAVANTINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO

EFEITOS DA SECA NO DOSSEL DE VEGETAÇÕES NA TRANSIÇÃO AMAZÔNIA-CERRADO

Luciana Januário de Souza

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação da Universidade do Estado de Mato Grosso - *Campus* de Nova Xavantina, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação.

Orientador: Prof. Dr. Ben Hur Marimon Junior
Coorientadora: Profª. Drª. Marina Corrêa Scalon

Nova Xavantina-MT
Março, 2020

SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO
CAMPUS DE NOVA XAVANTINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO

EFEITOS DA SECA NO DOSSEL DE VEGETAÇÕES NA TRANSIÇÃO AMAZÔNIA-CERRADO

Luciana Januário de Souza

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação da Universidade do Estado de Mato Grosso - *Campus* de Nova Xavantina, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação.

Orientador: Prof. Dr. Ben Hur Marimon Junior
Coorientadora: Prof[a]. Dr[a]. Marina Corrêa Scalon

Nova Xavantina-MT
Março, 2020

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES)

This study was partially funded by CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Brazilian Ministry of Education)

Walter Clayton de Oliveira CRB 1/2049

SOUZA, Luciana Januário de Souza.
S719e Efeitos da Seca no Dossel de Vegetações na Transicão Amazônia-Cerrado / Luciana Januário de Souza - Nova Xavantina, 2020.
28 f.; 30 cm. (ilustrações) Il. color. (sim)

Trabalho de Conclusão de Curso (Dissertação/Mestrado) – Curso de Pós-graduação Stricto Sensu (Mestrado Acadêmico) Ecologia e Conservação, Faculdade de Ciências Agrárias Biológicas e Sociais Aplicadas, Câmpus de Nova Xavantina, Universidade do Estado de Mato Grosso, 2020.
Orientador: Ben Hur Marimon Junior
Coorientadora: Marina Corrêa Scalon

1. Cerradão. 2. Cerrado Típico. 3. El Niño. 4. Mudanças Climáticas. 5. Seca. I. Luciana Januário de Souza . II. Efeitos da Seca no Dossel de Vegetações na Transição Amazônia-Cerrado.

CDU 504

TERMO DE APROVAÇÃO

EFEITOS DA SECA NO DOSSEL DE VEGETAÇÕES NA TRANSIÇÃO AMAZÔNIA-CERRADO

Luciana Januário de Souza

Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação da Universidade do Estado de Mato Grosso - *Campus* de Nova Xavantina, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação.

Aprovada em 13 de Março de 2020.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Ben Hur Marimon Junior
Universidade do Estado de Mato Grosso
Orientador

Profa. Dra. Simone Matias de Almeida Reis
Universidade do Estado de Mato Grosso
Membro titular

Profa. Dra. Halina Soares Jancoski
Universidade do Estado de Mato Grosso
Membro titular

Prof. Dr. Paulo Sérgio Morandi
Universidade do Estado de Mato Grosso
Suplente

Prof. Dr. Edmar Almeida de Oliveira
Universidade do Estado de Mato Grosso
Suplente

Aos meus pais, Zilda, Alípio e minha filhinha Ana Flor, dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me guiar e acompanhar nesta linda estrada da vida.

À UNEMAT que me acolheu desde o início da graduação até aqui. Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela concessão de bolsa e pelo apoio financeiro do projeto PELD (Transição Cerrado-Floresta Amazônica: Bases ecológicas e socioambientais para a conservação).

Ao meu orientador Ben Hur Marimon Junior pelas horas compartilhadas falando sobre ecologia. Grata pelo apoio, sugestões, paciência, correções e orientação. Muito obrigada pela confiança.

À minha coorientadora Marina Corrêa Scalon, "um anjo que caiu do céu" por toda ajuda com a dissertação, análises, correções, sugestões, que foram de suma importância para o desenvolvimento do trabalho e claro pela amizade. Muito obrigada.

Aos membros da banca de qualificação, Denis Nogueira e Simone Matias por ter aceitado participar e pelas contribuições no trabalho.

Agradeço aos membros da banca de defesa, Simone Matias e Halina Soares que com muito carinho aceitaram meu convite e puderam dar suas contribuições.

À professora Beatriz Schwantes Marimon pela oportunidade de fazerparte da família LABEV, que me recebeu com muito carinho, confiança e amizade.

À Imma Oliveras pela ajuda com o software Hemisfer e a rede GEM pela oportunidade de pesquisa.

À minha filhinha Ana Flor, a mamãe ama muito, se eu cheguei até aqui foi por você. Te amo minha pequena grande mestre!

Ao meu esposo Leonardo Baruffaldi que sempre me apoiou com carinho e pela força que me deu durante todo esse período. Era com você que dividi as minhas aflições. Sou muito grata por você fazer parte da minha vida, te amo.

Aos meus pais Zilda Magalhaes e Alípio Januário, vocês são uma bênção sem comparação e só espero que um dia os meus filhos possam sentir um orgulho igual por mim. Eu sou muito grata e abençoada por Deus ter escolhido vocês para me receberem na terra e me ensinarem tudo que eu precisava aprender para seguir o meu caminho e cumprir a minha missão na vida, amo vocês, gratidão eterna.

Ao meu irmão Leonardo Januário por sempre me apoiar e sua amada filhinha Maria Fernanda, a titia amo muito vocês.

Aos meus sogros Márcia Helena e Sergio Luís pelo carinho, apoio, cuidado e ensinamentos. Que mesmo distantes sabemos que o mais importante é a união da família. Amo vocês.

À minha cunhada Helena, pelo apoio, carinho e incentivo.

Ao meu amigo Victor, que mesmo distante sempre me apoio e incentivou.

À minha amiga Renata Freitag (Re) que me ajudou pra caramba para a construção deste trabalho "gratidão" por ter conhecido você.

À minha amiga Nayane por ser essa pessoa maravilhosa "tipo mãe", que nesses últimos meses me ajudou muito, com conversas, dicas que no momento de aflição era a luz que eu precisava. Amo você.

À minha grande amiga Raiane, guerreira por natureza, é uma pessoa que admiro muito, especial demais, amizade essa que vai ser para o resto da minha vida. Amo você.

À minha nova grande amiga Daniele, que me ajudou tanto esses meses, sempre meiga, compreensiva e atenciosa. Gratidão por me ouvir.

Ao Lucas pelas horas compartilhadas me ajudando a desvendar o R. Muita grata.

A todos do Laboratório de Ecologia Vegetal (Labev), com os quais compartilhei muitos momentos de alegria, aprendizado, trabalho e amizade (Pedro Gabriel, Izabel, Kelinha, Eder, Fabio, Paulo, Silvio, Wesley, Eduardo, Karla, Milene, Camila, Edmar, Pedro Noleto, Carla Heloisa, Ediméia, Eduarda, Maely, Angélica, Camila, Facundo, Elisvan, Igor, e Denílson). Se por acaso esqueci-me de alguém, perdão. Muito obrigada.

Obrigada a todos que me ajudaram, que de alguma forma contribuíram para o meu crescimento profissional e realização desse estudo.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 1
2. MATERIAL E MÉTODOS 3
2.1. Área de estudo 3
2.2. Coleta de dados 6
2.3. Análise de dados 7
3. RESULTADOS 8
4. DISCUSSÃO 15
5. CONCLUSÃO 17
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 18

RESUMO

As mudanças climáticas resultantes do desmatamento e do aquecimento global têm sido uma das principais causas de danos no dossel e perdas de biodiversidade e serviços ambientais. Um excelente indicador para avaliar mudanças climáticas é o índice de área foliar (IAF), que revela o estado de equilíbrio do dossel das florestas. No presente estudo verificamos se o evento extremo de seca registrado em 2015/2016 afetou a dinâmica do IAF e da produção de serapilheira (PDS) de formações florestal e savânica na transição entre a Floresta Amazônica e o Cerrado. Realizamos este estudo em parcelas permanentes de cerradão (CD) e cerrado típico (CT) (1 ha cada), subdivididos em 25 subparcelas de 20 x 20 m, durante junho de 2015 a dezembro de 2018 (coletas trimestrais). Mensuramos o IAF por meio de imagens fotográficas e, para estimar a PDS, usamos 25 coletores circulares (0,2827 m^2). Verificamos redução significativa do IAF no CD após o evento de seca decorrente do *El Niño* de 2015/2016. Por outro lado, apesar do CT ter apresentado variação significativa de 2015 a 2018, não registramos nenhum padrão evidente que pudesse indicar relação entre o evento de seca e redução no IAF. Em relação às diferenças estruturais (savana *vs*. floresta), o CD apresentou exatamente o dobro do IAF comparado com o CT. A PDS foi maior em ambas as áreas no ano pré-seca de 2015 em relação aos anos posteriores, indicando redução no aporte anual em decorrência da seca independente do tipo de vegetação (savana x floresta). Observamos também que houve efeitos da sazonalidade climática com diferenças entre os períodos (transição, seca e chuva) no IAF e PDS para o CD e CT. As variáveis climáticas (umidade relativa média do ar, temperatura máxima do ar e precipitação total) explicaram 22 e 31% do IAF e 52 e 58% da PDS para o CT e CD, respectivamente. O monitoramento contínuo do IAF e a PDS revelou um efeito significativo decorrente do *El Niño* para as duas áreas. Além disso, para ambas as vegetações, o IAF e a PDS foram fortemente relacionadas com a sazonalidade climática, apresentando forte resposta fenológica.

Palavras-chave: cerradão, cerrado típico, *El Niño*, mudanças climáticas, seca.

ABSTRACT

Climate change resulting from deforestation and global warming has been a major cause of canopy damage and loss of biodiversity and environmental services. An excellent indicator for assessing climate change is the leaf area index (IAF), which reveals the balanced state of the forest canopy. In the present study, we verified whether the extreme drought event recorded in 2015/2016 affected the dynamics of the IAF and the litter production (PDS) of forest and savanna formations in the transition between the Amazon Forest and the Cerrado. We carried out this study in permanent plots of cerradão (CD) and cerrado típico (CT) (1 ha each), subdivided into 25 subplots of 20 x 20m each, during June 2015 to December 2018 (every three months). We measured IAF using photographic images, and to estimate PDS, we used 25 circular litter traps (0.2827 m^2). We found a significant reduction in the IAF in the DC after the 2015/2016 El Niño drought event. On the other hand, despite the CT showing significant variation from 2015 to 2018, we did not register any evident pattern that could indicate a relationship between the drought and reduction in the IAF. In relation to structural differences (savannah vs. forest), the CD showed exactly twice the IAF compared with the CT. The PDS was higher in both areas in the 2015 pre-drought year compared to the following years, indicating a reduction in the annual contribution due to drought regardless of the type of vegetation (savanna x forest). We also observed that there were effects of climatic seasonality with differences between the periods (transition, drought and rain) in the IAF and PDS for the CD and CT. Climatic variables (average relative humidity, maximum air temperature and total precipitation) explained 22% and 31% of the IAF and 52% and 58% of the PDS for the CT and CD, respectively. The continuous monitoring of the IAF and the PDS revealed a significant effect from El Niño for both areas. In addition, for both vegetations, the IAF and the PDS were strongly related to climatic seasonality, presenting a strong phenological response.

Keywords: cerradão, cerrado típico, El Niño, climate change, drought.

1. INTRODUÇÃO GERAL

As mudanças climáticas resultantes do desmatamento e do aquecimento global (NOBRE, 2007) têm sido uma das principais causas de danos no dossel (LIU et al., 2004) e perdas de biodiversidade e serviços ambientais (CHAMBERS; ARTAXO, 2017) na vegetação remanescente da transição entre a Floresta Amazônica e o Cerrado (TAC) (BONINI et al., 2018). A vegetação da TAC é hiperdinâmica, apresentando elevadas taxas de mortalidade e recrutamento em comparação com as áreas centrais dos dois biomas (MARIMON et al., 2014). Essa vegetação é constituída por uma extensa zona de contato entre florestas e savanas que se estendem ao longo de quase 6.000 km de meandros e intrusões dos maiores biomas sul-americanos, a Amazônia e o Cerrado (MARQUES et al., 2019). Por ser localizada numa região com forte sazonalidade da precipitação, estas vegetações apresentam grande sazonalidade anual no índice de área foliar (IAF) (FREITAG et al., 2018) e na produção de serapilheira, além de alta sensibilidade às variações climáticas, especialmente aos eventos extremos de seca registrados nos últimos anos (MALHI et al., 2004; PHILLIPS et al., 2004; OLIVEIRA et al., 2017; PEIXOTO, et al., 2017). Entender o funcionamento das florestas tropicais em relação à variação sazonal é compreender como as florestas tropicais irão reagir as mudanças do clima (BI et al., 2015).

Um excelente indicador para avaliar mudanças climáticas é o IAF, que revela o estado de equilíbrio do dossel das florestas (THIMONIER, 2010). O IAF foi pela primeira vez sugerido por Watson (1947) e se baseia no cálculo da área foliar do dossel por unidade de superfície projetada no solo (m^2/m^2), podendo ser utilizado para quantificar a área útil do dossel de uma vegetação (CHEN et al., 1991). Essa medida revela o quanto varia a estrutura e a dinâmica inter e intra-anual em cada ecossistema (WELLES, 1990; LEBLANC), bem como seu estado de preservação e funcionalidade, sendo essencial para caracterizar a interface entre a atmosfera e o dossel (BREDA, 2003). O dossel é um importante regulador do clima local, influenciando diretamente as temperaturas anuais (SILVÉRIO et al., 2015) e as taxas regionais de precipitação através da evapotranspiração (SPRACKLEN; GARCIA-CARRERAS 2015). Na região deste estudo, a TAC se destaca pelo contato entre o cerrado típico, que é uma formação savânica de menor IAF, e o cerradão, uma formação florestal de maior IAF caracterizada pela presença tanto de espécies florestais quanto savânicas (RATTER et al., 1973).

A ocorrência de fenômenos climáticos extremos na TAC, como as grandes secas causadas pelo fenômeno *El Niño* (i.e., o aquecimento anormal do oceano pacífico), podem comprometer o IAF das vegetações transicionais (FREITAG et al., 2018). Estes danos no dossel ocorrem pela mortalidade de árvores quanto por danos parciais da copa provocados por respostas fisiológica das árvores, como a excessiva deciduidade foliar decorrente da seca. Como a incidência do *El Niño* está se tornando cada vez mais frequente com o aquecimento global (CAI et al., 2014), as vegetações da TAC podem estar apresentando indícios de colapso do dossel. Ou seja, durante prolongados e intensos períodos de seca, as plantas podem responder ao estresse hídrico e limitações à transpiração através do fechamento dos estômatos (WATERLOO, 1994). Dessa forma, gerando não só redução no IAF, mas também falha hidráulica do xilema (MCDOWELL, 2008), o que pode levar os indivíduos a morte por *dieback* (falência da copa) (PHILLIPS et al., 2009). Entretanto, há uma lacuna de tempo entre a ocorrência de mudanças climáticas e as respostas biológicas das vegetações que precisa ser melhor compreendida (KRUG, 2010).

Uma consequência direta da variação sazonal do dossel é a variação sazonal na formação da camada de serapilheira sobre o solo, uma vez que a queda foliar é diretamente proporcional ao IAF (OLIVEIRA et al., 2016). Devido ao solo distrófico e ácido, a serapilheira é um importante componente do balanço de carbono e nutrientes do ecossistema, sendo vital para a manutenção nutricional da vegetação na TAC através de uma intensa ciclagem de nutrientes e fluxo de carbono (MARIMON-JUNIOR et al., 1997; OLIVEIRA et al., 2016; VALADÃO et al., 2016). Além disso, a produção de serapilheira, associada ao IAF, são indicadores da produtividade primária (MALHI et al., 2012), podendo revelar os efeitos das mudanças climáticas no ecossistema, principalmente as secas intensas (MEIR et al., 2008). As principais alterações no funcionamento dos diversos compartimentos do ecossistema causados pela seca podem prejudicar a hiperciclagem de nutrientes (OLIVEIRA et al., 2017) e o fluxo de biomassa da serapilheira (VALADÃO et al., 2016), afetando diretamente o equilíbrio nutricional e a sobrevivência de muitas espécies arbóreas (COURALET et al., 2013). Neste cenário de mudanças climáticas e suas anomalias, o IAF e a produção de serapilheira podem ser indicadores chave para avaliar a dinâmica da vegetação (CHEN; BLACK, 1991; SCURLOCK et al., 2001) e o funcionamento do ecossistema nas condições ambientais da TAC.

No presente estudo verificamos se o evento extremo de seca registrado em 2015/2016 afetou a dinâmica do índice de área foliar e da produção de serapilheira de formações florestal e savânica na TAC. Nossos principais objetivos foram: (i) determinar se a seca de 2015/2016 afetou o IAF e a produção de serapilheira, incluindo os efeitos pós-seca (2017 a 2018); (ii) verificar o comportamento sazonal do IAF e produção de serapilheira nas duas áreas e qual fitofisionomia foi mais afetada; (iii) verificar a relação entre o IAF, produção de serapilheira e variáveis climáticas de temperatura máxima do ar, umidade relativa média do ar e precipitação pluviométrica nas duas fitofisionomias. Testamos as seguintes hipóteses: i) eventos extremos de seca, como o *El Niño* de 2015/2016, afeta menos o dossel de formações savânicas de cerrado típico, devido a sua resistência natural à seca, do que de formações florestais de cerradão na TAC, levando a um maior decréscimo do IAF desta última; ii) o cerradão deve apresentar maior produção de serapilheira e IAF que o cerrado típico devido à sua estrutura e funcionalidade mais complexa e dossel mais fechado, nas quais em ambas vegetações estas produções serão afetadas pela variação sazonal; iii) existe variação sazonal no IAF e na produção de serapilheira em ambas vegetações devido a sazonalidade natural da precipitação; iv) tanto no cerradão quanto no cerrado típico, a distribuição sazonal do IAF e a produção serapilheira diminuiria por causa de fatores climáticos, como a redução da precipitação, temperaturas mais altas e diminuição da umidade relativa média do ar.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A área de estudo está localizada no Parque Municipal do Bacaba (14º 42’ 28,8” S e 52º 21’ 03,9” W), que ocupa aproximadamente 500 hectares no município de Nova Xavantina, região leste do estado de Mato Grosso. O parque apresenta altitude média de 348m e está localizado na região de transição entre os Biomas Cerrado e Floresta Amazônica (MARIMON-JUNIOR; HARIDASAN, 2005). É formado por várias fitosionomias (ABAD; MARIMON, 2008) (Figura, 1), com solos predominantemente distróficos ($Ca^{2+} \leq 0,4$ $cmol_c$ kg^{-1}), ácidos (pH < 5,0), profundos, com baixos níveis de

cálcio e magnésio nas camadas superficiais, bem drenados, e com altos teores de alumínio trocável (Al^{3+} > 1,3 $cmol_c$ kg^{-1}) (MARIMON JUNIOR; HARIDASAN, 2005).

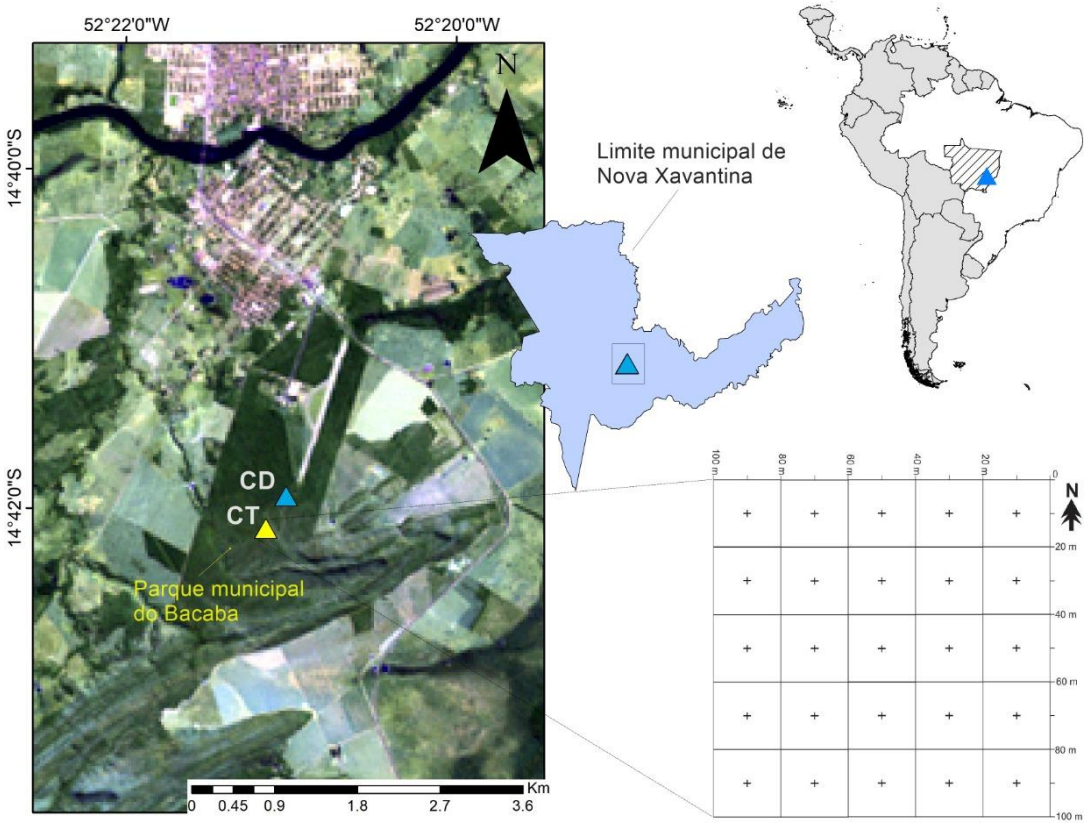


Figura 1. Localização do cerradão (CD) e cerrado típico (CT), (+) e a disposição da**s** 25 subparcelas no Parque Municipal do Bacaba, Nova Xavantina – MT.

O clima da região é do tipo Aw de Köppen (SILVA et al., 2008), com duas estações bem definidas, uma seca, de maio a setembro e outra chuvosa, de outubro a abril. A temperatura média da região é de 25ºC e a precipitação total anual é de aproximadamente 1.500 mm (MARIMON et al., 2010). Porém, durante a pesquisa, registramos uma redução drástica na precipitação, com apenas 720,5 mm de precipitação entre junho/2015 a maio/2016, período coincidente com o evento de *El Niño* (Figura, 2 e 3). Esta foi a menor precipitação de toda a série histórica de 42 anos de registro.

Realizamos este estudo em um cerradão (CD), formação florestal com espécies tanto de savana quanto de floresta, que apresenta um dossel mais fechado e denso, com árvores variando de 8 a 15 m ou mais de altura (MARIMON JÚNIOR; HARIDASAN,

2005; RIBEIRO; WALTER, 2008). O cerrado típico (CT), por sua vez, é uma formação tipicamente savânica que apresenta um mosaico de espécies dominantes arbóreo-arbustivas com árvores de alturas variando de 3 a 6 m (EITEN, 1993; RIBEIRO; WALTER, 2008). Ambas parcelas de estudo, cerradão e cerrado típico, foram de 1-ha cada), distantes ~800 m entre si, subdividas cada uma em 25 subparcelas contínuas de 20 x 20 m.

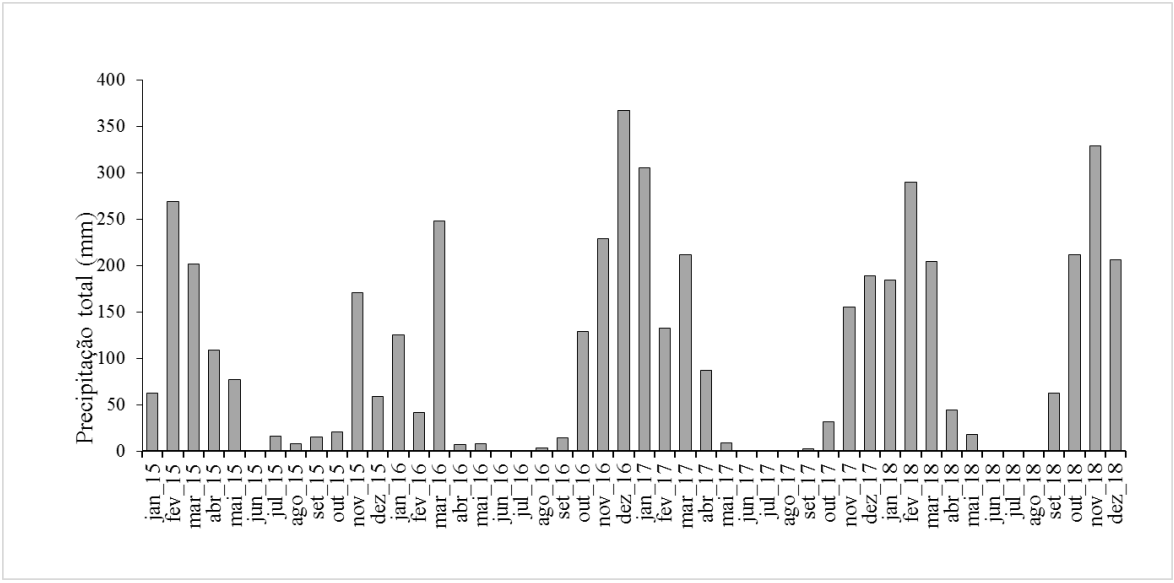


Figura 2. Climatograma dos dados mensais de precipitação total (mm) de janeiro/2015 a dezembro/2018 no Parque Municipal do Bacaba, Nova Xavantina, MT.

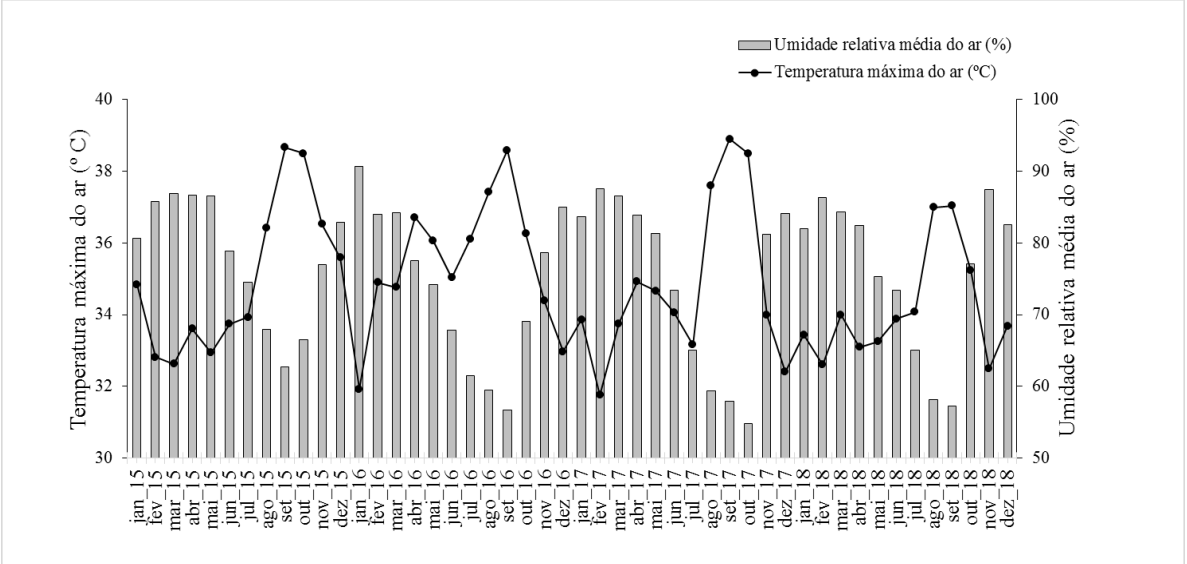


Figura 3. Dados mensais de temperatura máxima do ar (°C) e umidade relativa média do ar (%) de janeiro/2015 a dezembro/2018 no Parque Municipal do Bacaba, Nova Xavantina, MT.

2.2. Coleta de dados

Realizamos as coletas de junho de 2015 a dezembro de 2018 (coletas trimestrais). O Laboratório de Ecologia Vegetal (LABEV) disponibilizou os dados do índice de área foliar e produção de serapilheira, referentes às coletas de junho de 2015 a junho 2017. Para a etapa de campo e coleta de dados novos, realizamos coletas de setembro de 2017 a dezembro de 2018, a fim de completar a série histórica, avaliando o efeito pós-seca.

Índice de área foliar – registramos as imagens fotográficas com uma câmera digital Nikon D3100 e uma lente do tipo "olho de peixe" (Nikon AF Fisheye Nikkor 10.5mm), com ângulo de 180° (JONCKHEERE et al., 2004). As imagens foram capturadas no centro (MARTHEUS et al., 2014) de cada uma das 25 subparcelas em cada fitofisionomia, sempre no mesmo local, com três imagens de diferentes intensidades de entrada de luminosidade.

No momento da captura das imagens fotográficas evitamos a radiação solar direta selecionando dias com céu nublado/com nuvens, no amanhecer ou pôr do sol, com pouca reflexão de luz direta, de forma a obter o máximo de contraste disponível entre as folhas e o céu (WHITFORD et al., 1995; JELASKA, 2004). O tripé foi nivelado exatamente a 1 m do solo, com a lente apontada diretamente para cima (SCHLEPPI, 2007). Todas as imagens com a mesma resolução e sempre direcionadas para a posição norte (MARTHEUS et al., 2014) (Figura 4).

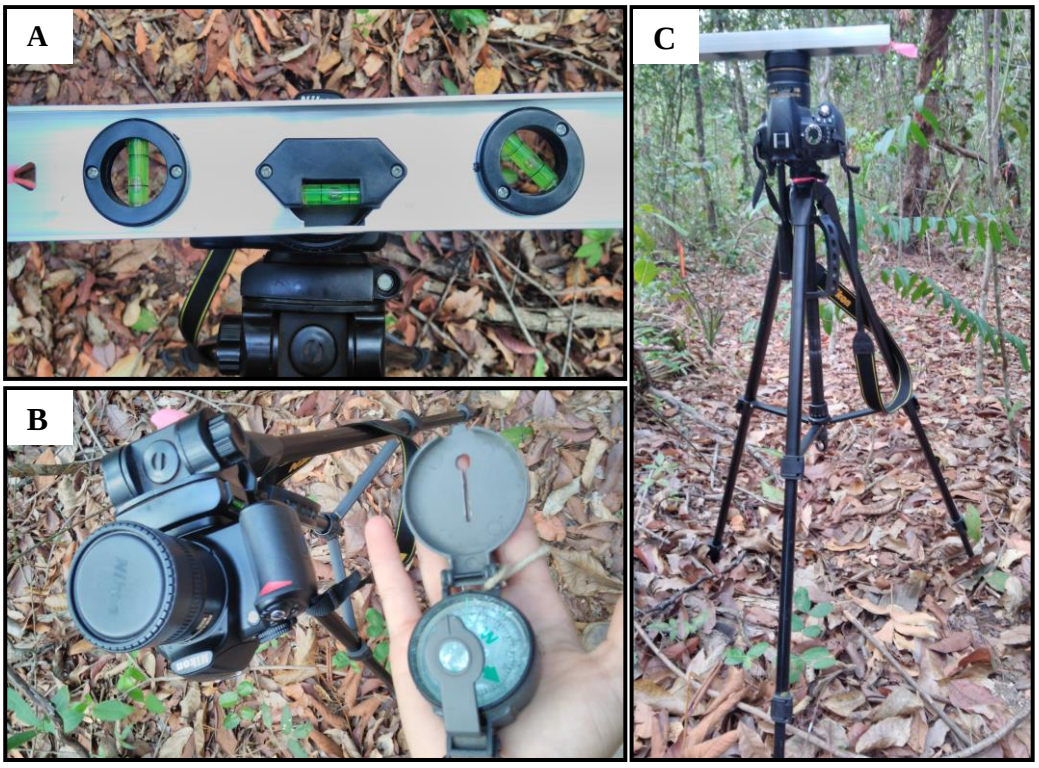


Figura 4. Coleta de dados do dossel com tripé e câmera a um metro do solo (C), posicionados para o norte (B) e nivelados (A), Parque Municipal do Bacaba, Nova Xavantina – MT.

Produção de serapilheira - para estimar a produção de serapilheira usamos 25 coletores circulares (0,2827 m^2) instalados a 1 m acima da superfície do solo, em cada local (um para cada subparcela). A cada 15 dias, coletamos a produção de serapilheira em cada fitofisionomia. Em laboratório levamos o material para a estufa para secagem em circulação forçada de ar a 65°C por 72 horas e pesado em balança de precisão. Determinamos a produtividade mensal de serapilheira a partir da soma do peso das duas amostras quinzenais correspondentes a cada mês. Os cálculos foram feitos conforme orientações de Honorio-Coronado; Baker (2010).

Obtivemos os dados de temperatura do ar máxima (°C), precipitação (mm) e umidade relativa do ar (%), através da estação meteorológica 83319 do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), situada dentro do parque.

2.3. Análise de dados

Para determinar o índice de área foliar (IAF) utilizamos o *software Hemisfer* de livre acesso (versão 2.17), disponível em: http://www.wsl.ch/dienstleistungen/produkte/software/hemisfer/download_EN. O *software* foi desenvolvido para analisar o IAF a partir de imagens hemisféricas, utilizando o método elipsoidal ponderada (THIMONIER et al., 2010). O *software* é capaz de calcular o limiar entre branco (céu) e preto (copas) usando os métodos de Nobis & Hunziker (2005). O IAF é um valor estimado que inclui não somente as folhas, mas também outras partes da planta (caules, ramos, flores e frutos). Desse modo, o índice de área foliar deve ser considerado como um índice de cobertura total da planta ou da vegetação aérea total, e não somente das folhas (THIMONIER et al., 2010).

Para avaliar o efeito do *El Niño* de 2015/2016 (hipótese i) e comparar as diferentes vegetações (hipótese ii), utilizamos Modelos Lineares de Efeitos Mistos para modelar o índice de área foliar e produção de serapilheira (variáveis respostas) em função da área (categórica com dois níveis - cerrada e cerradão) e do ano (categórico com quatro níveis - 2015, 2016, 2017 e 2018), bem como a interação entre área e ano. Para controlar a dependência entre as observações, utilizamos as subparcelas aninhadas dentro da área como efeito aleatório. Os pacotes utilizados foram “nlme” e “lsmeans”.

Também realizamos modelos lineares de efeitos mistos para avaliar o efeito da sazonalidade no IAF e na produção de serapilheira (hipótese iii) considerando cada área

separadamente, e o período (categórico com três níveis – seca, chuva e transição) e ano como variáveis independentes. Aqui também utilizamos as subparcelas aninhadas dentro da área como efeito aleatório. Para testar a influência das variáveis climáticas (umidade relativa média do ar, temperatura máxima do ar e precipitação total) na produção de serapilheira e IAF (hipótese iv), bem como a relação do IAF e de produção de serapilheira, para cada área separadamente, utilizamos análises de regressão linear múltipla, onde incluímos três preditores climáticos no modelo: umidade relativa média do ar, temperatura máxima do ar e precipitação total. Para isso, utilizamos os pacotes "lme4" e "car". E para a relação entre produção de serapilheira e IAF utilizamos uma regressão linear simples.

Para todos os testes estatísticos verificamos os pressupostos de normalidade dos dados e homocedasticidade com os testes de Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente. Em todas as análises assumimos o nível alfa de significância de $\alpha = 0{,}05$ (ZAR, 2010) e efetuamos as análises com o auxílio do programa R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2020).

3. RESULTADOS

Verificamos redução significativa do IAF no CD após o evento de seca decorrente do *El Niño* de 2015/2016 ($P < 0{,}005$; Figura 5; Tabela 1). Por outro lado, apesar do CT ter apresentado variação significativa de 2015 a 2018, não registramos nenhum padrão evidente que pudesse indicar relação entre o evento de seca e redução no IAF. Em relação às diferenças estruturais (savana *vs*. floresta), o CD apresentou exatamente o dobro do IAF (média ± desvio padrão: 2,82 ± 0.04 m^2/m^2) comparado com o CT (média ± desvio padrão: 1,41 ± 0.03m^2/m^2; $P < 0{,}001$).

A produção de serapilheira (PDS) foi maior em ambas as áreas no ano pré-seca de 2015 em relação aos anos posteriores (Figura 5), indicando redução no aporte anual em decorrência da seca independente do tipo de vegetação (savana x floresta). Para o CD, a PDS foi significativamente maior no ano de 2015, diferente de todos os demais anos, enquanto para o CT, 2015 foi maior apenas de 2016 ($P < 0{,}001$) e 2018 ($P < 0.0037$; Figura 5; Tabela 1). A produção de serapilheira total no CD foi 1,79 vezes maior do que do CT (média ± desvio padrão; cerradão = 9,26 ±0,40 Mg ha^{-1} ano^{-1}; cerrado = 5,17 ± 0,33 Mg ha^{-1} ano^{-1}; $P < 0{,}001$).

Observamos também que houve efeitos da sazonalidade climática com diferenças entre os períodos de seca, chuva e transição (Tabela 1) no IAF para o CD e CT. A

tendência de variação sazonal foi notável nas duas áreas, onde o IAF foi maior durante os meses de maior precipitação, e menor nos meses de seca. A maior diferença de cobertura de dossel entre as áreas ocorreu em setembro/2015, onde o IAF no CD foi 70% maior que no CT. Em março/2017 foi verificada a menor diferença, com 37% vezes maior cobertura de dossel no cerradão (Figura 6).

A PDS no CD e CT, também apresentou um comportamento sazonal (Tabela 1). Os maiores valores de PDS ocorreram em setembro para as duas áreas, coincidindo com o período de estiagem da região (seca). O CD apresentou maior PDS que o CT, tanto nos períodos de seca quanto de chuva e transição. A maior diferença de serapilheira entre as áreas ocorreu em setembro/2018, onde a PDS no CD foi 80% maior que no CT (Figura 6). Em dezembro/2015 foi verificada a menor diferença, com 11% a mais de PDS no CD. O mês com maior PDS no CD foi em setembro/2015, com a média de 2 Mg ha^{-1} $mês^{-1}$, o mesmo padrão encontrado para o CT, mas com a média de 1,31 Mg ha^{-1} $mês^{-1}$.

Tabela 1. Parâmetros dos Modelos Lineares de Efeitos Mistos (Linear Mixed Effects Models) utilizados para modelar a produção de serapilheira e índice de área foliar (variável de resposta contínua) em função da área (categórica com dois níveis – cerrado típico (CT) e cerradão (CD), do ano (categórico com quatro níveis - 2015, 2016, 2017 e 2018) e do período (categórica com três níveis – seca chuva e transição). IC = Intervalo de Confiança.

	Índice de área foliar			**Produção de serapilheira**		
Preditores						
Área CD	Estimativa ± IC	*T*	*P*	Estimativa ± IC	*t*	*p*
Intercepto	3,42 ± 0,10	32,40	**< 0,001*** **	6,94 ± 0,70	9,91	**< 0,001 *** **
Ano/2016	0,13 ± 0,09	-1,46	< 0,1435	-3,37 ± 076	-4,41	**< 0,001 *** **
Ano/2017	-0,22 ± 0,08	-2,57	**< 0,010***	-2,08 ± 0,80	-2,60	**< 0,009 ** **
Ano/2018	-0,36 ± 0,08	-4,29	**< 0,001*** **	-2.07 ± 0,72	-2,88	**<0.004** **
Período/seca	-0,84 ± 0,07	-11,60	**< 0,001*** **	12,03 ± 0,61	19,67	**< 0,001 *** **
Período/transição	-0,54 ± 0,07	-7,52	**< 0,001*** **	2,20 ± 0,70	3,14	**<0,001 ** **
Área CT	Estimativa ± IC	*T*	*P*	Estimativa ± IC	*t*	*p*
Intercepto	1,93 ± 0,09	19,80	**< 0,001*** **	2,64 ± 0,66	3,97	**< 0,001 *** **
Ano/2016	-0,04 ± 0,08	-0,51	< 0,604	-3,02 ± 071	-4,21	**< 0,001 *** **
Ano/2017	-0,12 ± 0,08	-1,53	< 0,125	0,74 ± 0,74	-2,60	< 0,317
Ano/2018	-0,21 ± 0,08	-2,71	**< 0,007** **	-1,97 ± 0,67	-2,92	**<0.003** **
Período/seca	-0,96 ± 0,06	-14,24	**< 0,001*** **	9,10 ± 0,57	15,89	**< 0,001 *** **
Período/transição	-0,51 ± 0,06	-7,64	**< 0,001*** **	3,71 ± 0,65	5,65	**<0,001 ** **

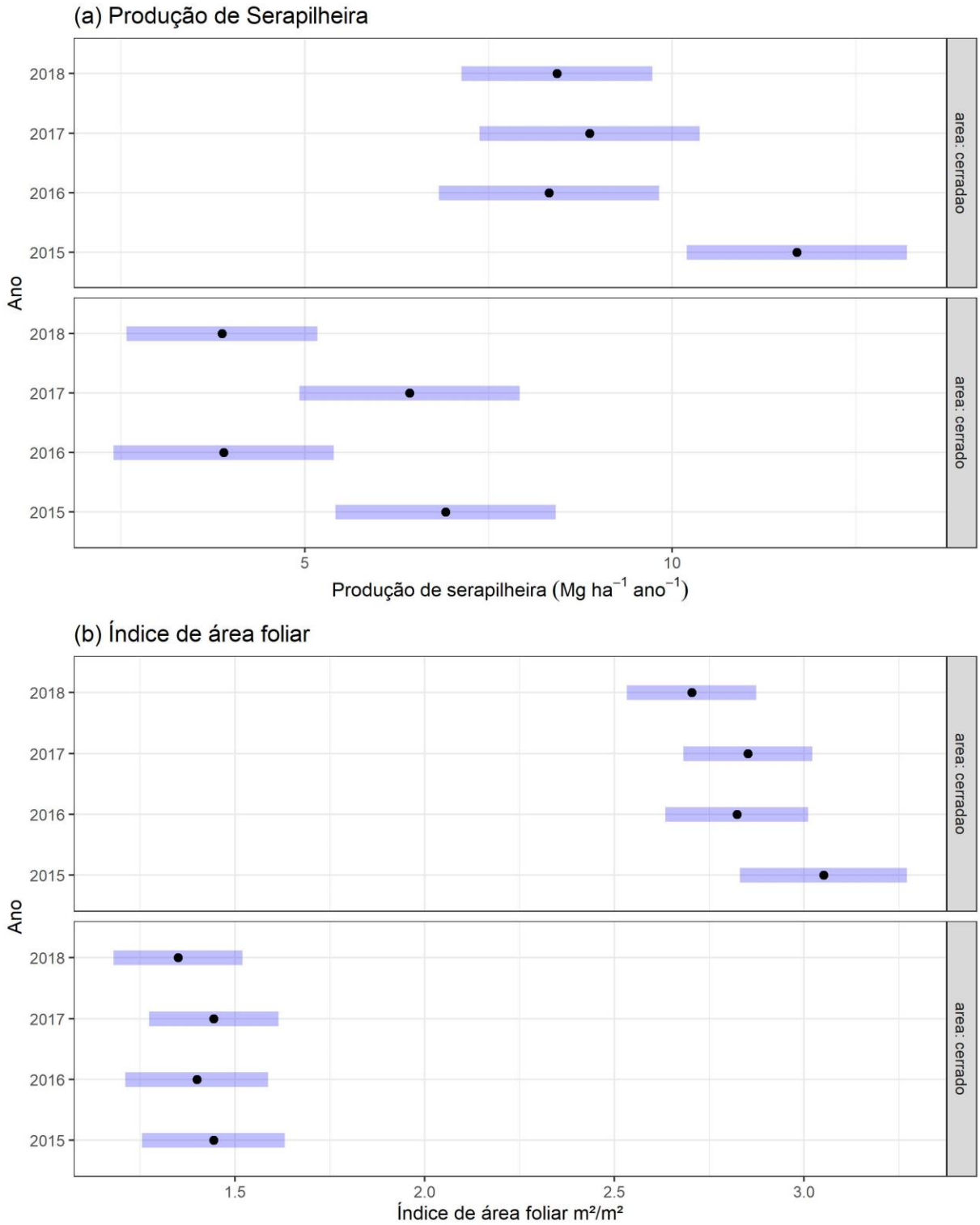


Figura 5. Produção de serapilheira (Mg ha^{-1} ano $^{-1)}$ e índice de área foliar (m^2/m^2) ao longo dos anos (2015 a 2018) no cerrado típico e cerradão, Parque Municipal do Bacaba, Nova Xavantina –MT.

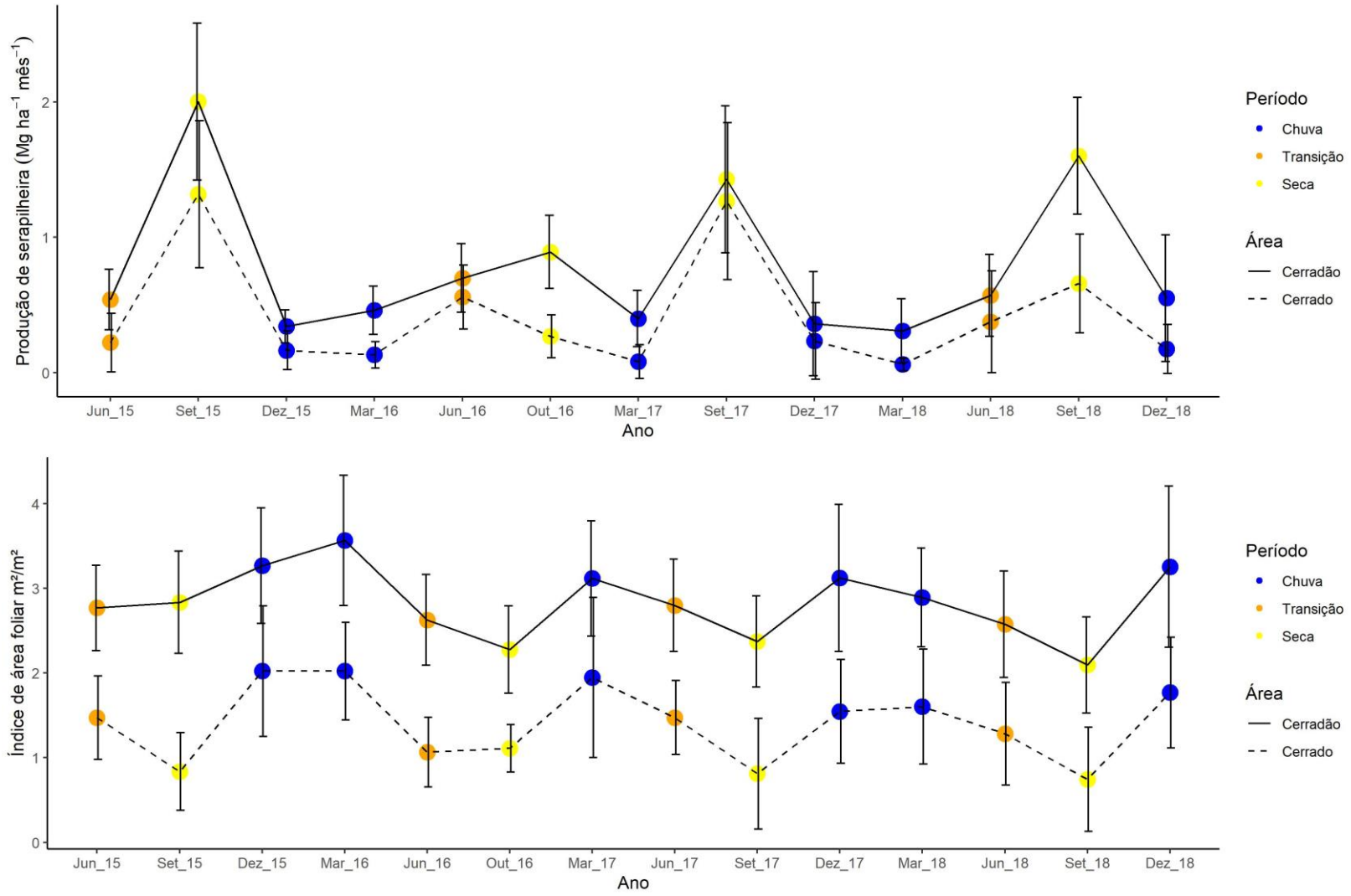


Figura 6. Produção de serapilheira (Mg ha^{-1} mês $^{-1)}$ e índice de área foliar (m^2/m^2) ao longo dos anos (2015 a 2018) no cerrado típico e cerradão, Parque Municipal do Bacaba, Nova Xavantina- MT**.**

O modelo de regressão múltipla explicou 22% da variação do IAF para o CD e 31% para o CT. Não registramos associação direta entre a precipitação e o IAF, mas o modelo de regressão múltipla indicou associação significativa e positiva com a umidade relativa do ar (%) para o cerrado típico ($F_{(52,8)}$ = 346; β ± Erro: 0,053 ± 0,007; P < 0,0001) e para o cerradão ($F_{(32,4)}$ = 346; β ± Erro: 0,054 ± 0,008; P < 0,0001). Já a temperatura máxima do ar (°C) foi significativa e negativa para o CD ($F_{(32,8)}$ = 346; β ± Erro: 0,124 ± 1,736; P< 0,0001) e CT ($F_{(52,8)}$ = 346; β ± Erro: 0,065 ± 0,032; P < 0,04; Figura 7).

A respeito da PDS, em função das variáveis climáticas, o modelo de regressão múltipla explicou 58% para o CD e 52% para o CT. Houve uma relação negativa e significativa entre a precipitação e a PDS para o CD ($F_{(152,1)}$ = 321; β ± Erro: 0,000 ± 0,000; P < 0,0005), que não foi significativa para o CT. Já a umidade relativa do ar (%) foi negativa e significativamente relacionada com a PDS para ambas as vegetações CT ($F_{(116,3)}$ = 321; β ± Erro: 0,012 ± 0,004; P < 0,003) e CD ($F_{(152,1)}$ = 321; β ± Erro: 0,035 ± 0,004; P < 0,004). Em relação à temperatura máxima do ar (°C) tanto o CT ($F_{(116,3)}$ = 321; β ± Erro: 0,111 ± 0,019; P < 0,0001) quanto o CD ($F_{(152,1)}$ = 321; β ± Erro: 0,100 ± 0,022; P < 0,0001), apresentaram uma relação positiva e significativa (Figura 7). A relação entre IAF e a PDS no CT foi significativamente negativa (R^2 = 0,64; P < 0,001), ou seja, quanto menor IAF maior a PDS, devido à queda foliar. Para o CD, essa relação também se manteve, porém não tão forte (R^2 = 0,33; P < 0,03; Figura 8).

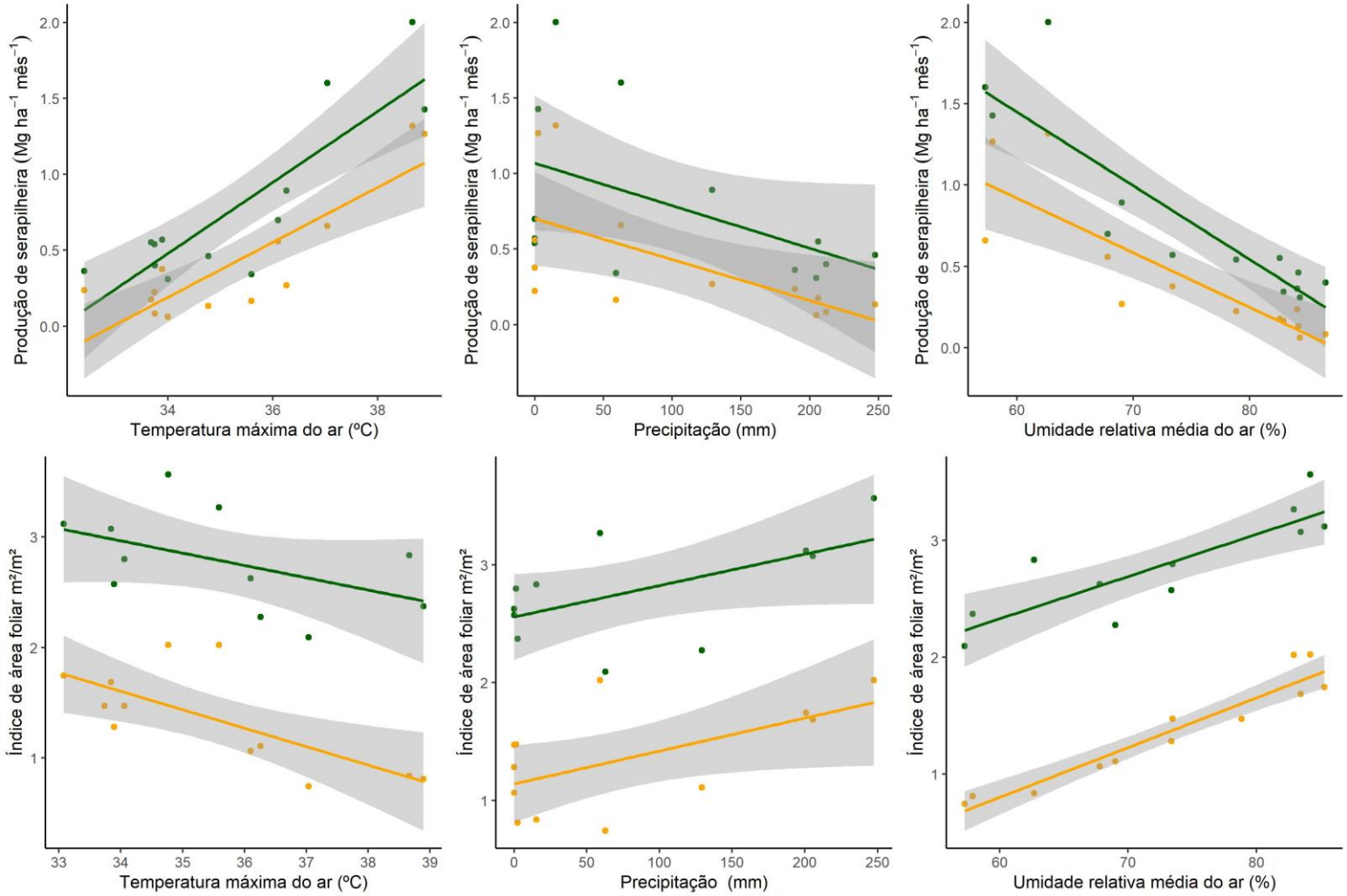


Figura 7. Relação entre a temperatura máxima do ar (°C), precipitação (mm) e umidade relativa do ar (%) com a Produção de serapilheira (Mg ha^{-1} mês $^{-1)}$ e índice de área foliar (m^2/m^2) ao longo dos anos (2015 a 2018) no cerrado típico (CT, linhas e pontos laranjas) e cerradão (CD, linhas e pontos em verde), Parque Municipal do Bacaba, Nova Xavantina- MT.

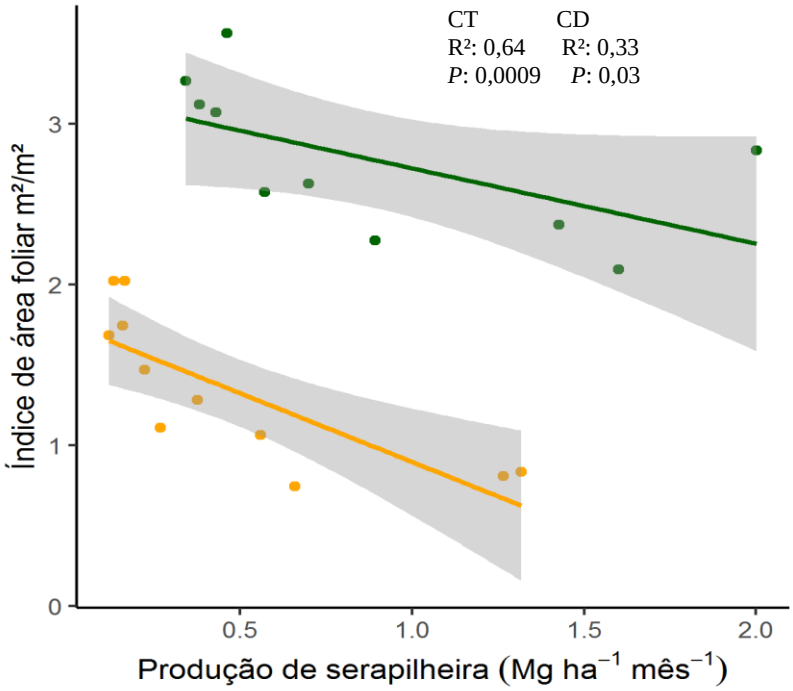


Figura 8. Relação entre o Índice de área foliar (m^2/m^2) e Produção de serapilheira (Mg $ha^{-1}mês^{-1)}$ ao longo dos anos (2015 a 2018) no cerrado típico (CT, linha e símbolos laranjas) e cerradão (CD, linha e símbolos verdes), Parque Municipal do Bacaba, Nova Xavantina- MT. R^2= coeficiente de determinação marginal (parte fixa do modelo).

4. DISCUSSÃO

Nossos resultados demostraram que o IAF e a produção de serapilheira (PDS) do cerradão foram mais afetados do que do cerrado típico nos anos posteriores ao fenômeno *El niño* (2017 e 2018). Esse efeito se deve principalmente à redução drástica na precipitação pluviométrica que foi de 720,5 mm de precipitação de junho/2015 a maio/2016, cerca da metade da precipitação usual de 1.500 mm. Essa condição ficou evidente quando comparamos o ano de pré-seca de 2015 com o ano de pós-seca de 2018, quando registramos uma redução significativa do IAF para ambas as áreas de estudo. A diferença é que esse efeito direto do *El niño* foi maior para o cerradão, revelando a vulnerabilidade deste ambiente quando comparado à vegetação de cerrado típico, que se mostrou mais resiliente e sem efeito significativo nos anos imediatamente posteriores (2015 a 2017). Alguns estudos apontam que alta diversidade fenológica e morfológica nas espécies savânicas que compõe a vegetação do cerrado típico possibilita diferentes padrões de distribuição do sistema radicular e estratégias em relação ao uso da água (JACKSON et al., 1999), o que pode ter minimizado os efeitos a curto prazo do *El niño*. Ou seja, esta vegetação pode possuir maior resistência e resiliência à seca do que o cerradão devido às

estratégias ecofisiológicas das espécies típicas de cerrado, conforme verificou Franco et al., (2005); Jancoski (2019).

No entanto, a PDS no ano de *El Niño* (2015) foi superior tanto no CD como no CT, revelando um efeito claro e direto da seca neste componente do ecossistema. As secas severas restringem a produtividade da vegetação (CHEN et al., 2003) principalmente devido a danos no dossel. Como resultado, a vegetação pode sofrer mortalidade parcial ou total por *dieback*, com efeitos em nível de ecossistema que alteram a dinâmica do carbono (DAVIDSON et al., 2012; ARAGÃO et al., 2014). Uma vez que a serapilheira acumulada no solo seria posteriormente decomposta, liberando nutrientes de volta para as plantas (PIRES et al., 2005), condições climáticas provocadas pelo último *El Niño* (2015-2016), como temperaturas altas, reduções das chuva e umidade baixa, podem causar grandes desiquilíbrio no ecossistema (CHEN et al., 2017), já que a atividade dos organismos decompositores depende de condições ideais de umidade (SAYER et al., 2006; WANG et al., 2007). Segundo Costa et al., (2014), que também avaliou a produção de serapilheira em floresta nacional de Caxiuanã, município também localizado na região de transição, houve um aumento significativo na produção de serapilheira também ocasionado pelo fenômeno *El Niño* no ano durante os anos de 2009-2010. Por outro lado, pouco se sabe sobre como as variáveis fisiológicas das plantas responderão ao conjunto das mudanças climáticas referentes aos fatores climatológicos na floresta de transição (DALMAGRO et al., 2011). Desse modo, corroboramos nossa hipótese (i) de que o CD e CT apresentaria um decréscimo expressivo do IAF e um aumento na PDS em decorrência da maior perda de folhas pelas as árvores, por conta da seca de 2015/2016.

A produtividade de serapilheira e cobertura do dossel quase duas vezes maior do CD em relação ao CT corroboram a nossa hipótese (ii). Alguns estudos citam que a composição florística é considerada um importante preditor da produtividade, contribuindo expressivamente para os valores de IAF e PDS (CELENTANO et al., 2011; ARYAL et al., 2015). As diferenças encontradas entre o CD e CT, revelam diferenças funcionais entre as fitofisionomias (RIBEIRO; WALTER, 2008). O CD, considerado uma importante vegetação da transição Amazônia-Cerrado (MARIMON et al., 2014), é composto por uma mistura de espécies típicas de savana e de floresta e um dossel mais fechado, denso e com árvores mais altas, enquanto o CT apresenta um mosaico de espécies dominantes arbóreo-arbustivo, com árvores mais baixas e uma cobertura vegetal mais aberta (EITEN, 1993; RIBEIRO; WALTER, 1998). Em vista disso, locais com árvores mais altas e dossel mais volumoso terão maior IAF e mais PDS (WERNECK et al.,

2001). Entretanto, outros estudos apontam que a maior biomassa acumulada do CD também pode ser explicada pelo maior acúmulo de serapilheira, por conta da hiperdinâmica da vegetação (MARIMON et al., 2014) e hiperciclagem de nutrientes (OLIVEIRA et al., 2017). Essa hiperdinâmica da vegetação encontrada no CD é determinada pelo resultado da alta mortalidade e recrutamento de árvores na vegetação. Tal condição requer um mínimo de chuvas anuais para a manutenção operacional do conjunto hiperdinâmico, o que pressupõe maior vulnerabilidade a extremos, como o ocorrido em 2015/2016, em relação à vegetação de savana, muito menos dependente da ciclagem de nutrientes e menores taxa evapotranspirativa, além do conjunto de espécies geneticamente mais adaptadas à seca (FRANCO et al., 2005).

O CT apresentou maior deciduidade foliar no período de seca em relação ao CD (figura 9), uma estratégia eficiente para evitar possíveis danos provocados pela seca e evitar a perda de água por transpiração foliar (FRANCO et al., 2005). Essa estratégia é muito comum no cerrado típico, onde grande parte das plantas são decíduas ou semidecíduas, com perda total ou parcial de folhas durante os períodos de maior déficit hídrico (PINTO-JUNIOR et al., 2009). Por outro lado, a maioria espécies do CD são sempre-verdes, que mantêm as suas folhas durante todo o ano (FRANCO, 1998), ou seja, podem sofrer mais facilmente mortalidade por estresse hídrico e falha hidráulica (NEPSTAD et al., 2002), resultando em maior acúmulo de material vegetal sobre o solo.

Outra explicação possível para essa diferença encontrada é que, durante a seca, vegetações de regiões tropicais com sazonalidade marcante perdem até 70% da cobertura foliar do dossel como estratégia de sobrevivência, tendo como consequência um aumento na radiação solar abaixo do dossel (VELOSO et al., 1991). Justamente por esse fenômeno e por ser menos adensada e mais aberta, a vegetação do CT recebe maior radiação solar (FRANCO, 1998) e um maior aporte de energia. Assim, a abertura do dossel modifica as condições do microclima no interior da vegetação (SOUZA et al., 2014), levando a uma maior perda direta de umidade do solo no cerrado típico comparado ao cerradão, em consequência do aumento da intensidade luminosa e evapotranspiração. Esse cenário resulta na redução da umidade do subdossel devido ao aumento da abertura do dossel (ZANCHI et al., 2009), condições que potencializam ainda mais os efeitos da baixa umidade e falta de precipitação.

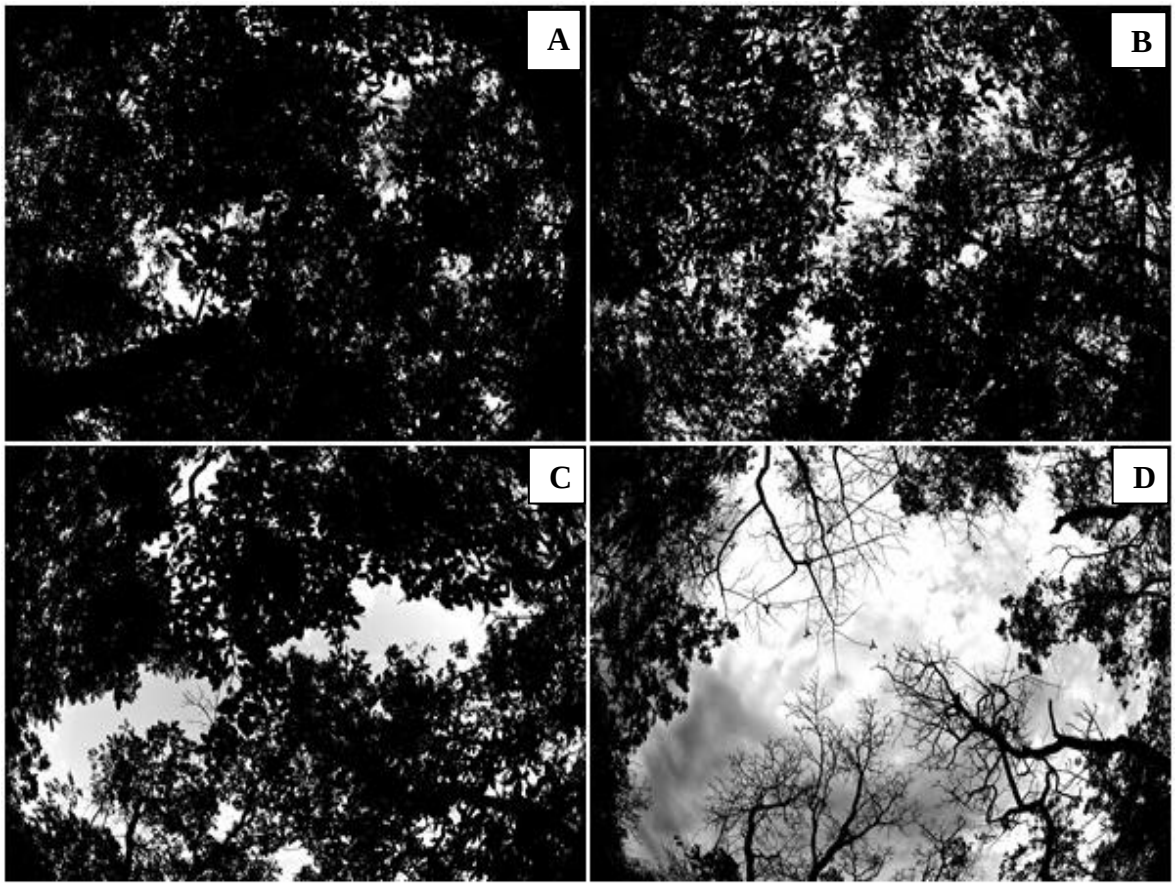


Figura 9. Imagens fotográficas do cerradão no período chuvoso (A) e seco (B) e cerrado típico no período chuvoso (C) e seco (D), Parque Municipal do Bacaba, Nova Xavantina – MT.

Nossos resultados confirmaram a forte relação entre o IAF e PDS com a sazonalidade climática nas duas áreas, apresentando significativa resposta fenológica em termos de abertura do dossel. Esses resultados corroboram a nossa hipótese (iii) de que existe variação sazonal no IAF e na PDS nas vegetações de CD e CT devido à sazonalidade natural da precipitação. Em todos os períodos avaliados (chuva, transição e seca), os valores IAF foram menores no período de seca devido à resposta das plantas ao déficit hídrico devido à resposta do seu metabolismo à seca através da perda de folhagem e redução da transpiração foliar (EITEN, 1972; REICH 1995; ADUAN, 1998; BUCCI et al., 2004). No mesmo período, houve maior produção de serapilheira devido, especialmente, à baixa umidade relativa do ar (PINTO et al., 2008) e estresse hídrico (SAYER et al. 2006). O clima é claramente um dos principais determinantes na formação da vegetação em razão das características marcantes que definem a sazonalidade da precipitação ao longo do ano (EITEN, 1972; PHILLIPS et al., 2009), refletindo diretamente no IAF e PDS. Segundo Ribeiro & Walter (2008), durante o período de chuva, há um aumento na disponibilidade hídrica para a vegetação, resultando em um aumento de aproximadamente 70% a 95% de

cobertura do dossel, o que pode explicar o maior IAF e menor PDS em ambas as áreas nos períodos de chuva.

Esta estratégia das plantas está ligada aos diferentes padrões fenológicos de renovarem sua folhagem (LENZA; KLINK, 2006), garantindo que as plantas reduzam a sua produtividade no período seco (FRANCO, 1998), limitado pela redução das chuvas, o que é fundamental para a sobrevivência de muitas espécies arbóreas dos trópicos sazonais (NARDOTO et al., 1998; NUNES et al., 2005). Nossos resultados corroboraram com o estudo realizado em floresta de transição Amazônia/Cerrado em Sinop-MT por Sanches et al., (2008), que também utilizaram o mesmo método de fotografias hemisféricas, e também observaram uma variação sazonal do IAF com o regime hídrico, apresentando menores valores no período de seca. Os períodos de seca são essenciais para a manutenção dos ecossistemas e da biodiversidade, porém, quando as secas são muito severas e frequentes (MEEHL et al., 2007), como foi registrado em 2015/2016, pode haver uma mortalidade generalizada das plantas em muitos biomas florestais, alterando profundamente as funções ecossistêmicas e o balanço de carbono (CHOAT et al., 2018).

O fato do IAF para ambas as vegetações e PDS para CT não terem apresentado relação com a precipitação, pode ser explicado pelo atraso de resposta fisiológica das plantas à seca. Quando as chuvas se iniciam na região, entre final de setembro e outubro, o solo ainda não está devidamente recarregado de umidade e não pode fornecer água em quantidade suficiente para a vegetação (MARIMON-JUNIOR; HARIDASAN 2005). Por esse motivo, a resposta fisiológica de queda foliar e outras variáveis fenológicas ocorrem em tempos deslocados da curva de resposta em relação à da precipitação pluviométrica. Contudo, para o CD a precipitação exerceu relação significativae direta para a PDS: quanto maior a disponibilidade de água menor foi a PDS, demostrando que a disponibilidade de água é capaz de controlar essas importantes funções ecossistêmicas (PEIXOTO et al., 2017). O pico de maior produção de serapilheira ocorreu nos meses em que a precipitação foi mais baixa (SAYER et al., 2006) e, consequentemente, secas prolongadas resultam em uma maior produção de serapilheira (ARYAL et al., 2015).

O IAF e a PDS nas duas vegetações foram fortemente relacionadas com as variáveis anuais de umidade relativa do ar e temperatura máxima. Quanto maior umidade relativa do ar, menor é a PSD e, consequentemente, maior o IAF. Essa forte influência da umidade relativa do ar e temperatura máxima indica que a vegetação é muito dinâmica em relação ao déficit de pressão de vapor atmosférico (VITOUSEK; SANFORD JR. 1986), que também é um fator alterado durante eventos extremos climáticos. Ou seja, se a

sazonalidade na umidade é acentuada, as espécies arbóreas perdem as folhas de forma mais concentrada na seca, o que explica o mecanismo de escape ao estresse hídrico (O'BRIEN et al., 2008). A temperatura máxima foi relacionada com a maior PDS e menor IAF, indicando que houve maior deposição no período de seca do que no período de chuva, possivelmente em consequência de uma maior radiação solar e radiação fotossinteticamente ativa e menor disponibilidade hídrica (VILANI et al., 2006). Dessa maneira, tais resultados corroboram com a nossa hipótese (iv), indicando uma forte influência do clima local nas variáveis medidas.

É esperado que as mudanças na intensidade e na frequência desses eventos extremos provoquem perturbações nas formações florestais, podendo causar não só a mortalidade em massa, mas também afetar diretamente a distribuição das espécies nos ecossistemas (PARMESAN et al., 2000). Além disso, em longo prazo, essas vegetações podem sofrer em alterações, passando de floresta para uma formação savânica (NUNES et al., 2005). O que revelará de fato esta condição é a avaliação de mortalidade nos anos subsequentes à seca, que deverá ser conduzido em trabalhos posteriores. Portanto, devemos prosseguir com o monitoramento das florestas da transição Amazônia/Cerrado para novas conclusões futuras frente à intensidade e frequência das mudanças climáticas.

5. CONCLUSÃO

O monitoramento contínuo do IAF e a PDS revelou um efeito significativo decorrente do *El Niño* para as duas áreas, com o CD sofrendo maior efeito do *El Niño* de 2015/2016 do IAF. Além disso, para ambas as vegetações, o IAF e a PDS foram fortemente relacionadas com a sazonalidade climática. Nossos resultados revelaram que os dois ecossistemas diferem entre si em termos funcionais, mas que, tanto o CT quanto o CD, apresentam forte resposta fenológica em relação aos períodos do ano, mas não necessariamente indicam resiliência ou resistência ao déficit hídrico e/ou elevação de temperatura. Os resultados indicam ainda que o CD é mais produtivo que o CT, devido à sua estrutura e funcionalidade mais complexa e devido à presença de dossel mais fechado e denso.

A realização dessa pesquisa possibilitou conhecer a capacidade de resposta da vegetação na TAC frente às variações climáticas causadas pelo fenômeno *El Niño.* A continuidade de esforços nesse sentido é importante, visto que mudanças climáticas

poderão afetar todos os ecossistemas terrestres, com consequências negativas para a biodiversidade e serviços ecossistêmicos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAD, J. C. S.; MARIMON, B. S. Caracterização e diagnóstico ambiental do Parque Municipal do Bacaba (Nova Xavantina, MT). In: SANTOS, J.E.; GALBIATI, C. (orgs.). **Gestão e educação ambiental**: água, biodiversidade e cultura. São Carlos-SP, p. 23-56, 2008.

ADUAN, R. E. **Relações hídricas de duas gramíneas nativas e uma introduzida no Cerrado e sua conexão com as consequências da substituição do estrato herbáceo**. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 1998.

ARAGAO, L. E. ARAGAO, L. E.; POULTER, B.; BARLOW, J. B.; ANDERSON, L. O.; MALHI, Y.; SAATCHI, S.; GLOOR, E. Environmental change and the carbon balance of A mazonian forests. **Biological Reviews**, v. 89, n. 4, p. 913-931, 2014.

ARYAL, D. R.; JONG, B. H. J.; OCHOA-GAONA, S.; MENDOZA-VEGA, J.; ESPARZA-OLGUIN, L. Successional and seasonal variation in litterfall and associated nutrient transfer in semievergreen tropical forests of SE Mexico. **Nutrient cycling in agroecosystems**, v. 103, n. 1, p. 45–60. 2015.

BI, J.; KNYAZIKHIN, Y.; CHOI, S.; PARK, T.; BARICHIVICH, J.; CIAIS, P.; HUETE, A. Sunlight mediated seasonality in canopy structure and photosynthetic activity of Amazonian rainforests. **Environmental Research Letters**, v. 10, n. 6, p. 064014, 2015.

BONINI, I.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; MATRICARDI, E. A.; PHILLIPS, O. L.; PETTER, F. A.; OLIVEIRA, B.; MARIMON, B. S. Collapse of ecosystem carbon stocks due to forest conversion to soybean plantations at the Amazon-Cerrado transition. **Forest Ecology and Management**, v. 414, p. 64-73, 2018.

BREDA, N. J. Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. **Journal of experimental botany,** v. 54, n. 392, p. 2403-2417, 2003.

BUCCI, S. J.; SCHOLZ, F. G.; GOLDSTEIN, G.; MEINZER, F. C.; HINOJOSA, J. A.; HOFFMAN, W. A.; FRANCO, A. C. Processes preventing nocturnal equilibration between leaf and soil water potential in tropical savanna woody species. **Tree Physiology**, v. 24, n. 10, p. 1119-1127, 2004.

CAI, W.; LENGAIGNE, M.; BORLACE, S.; COLLINS, M.; COWAN, T.; MCPHADEN, M. J.; NGARI, A. More extreme swings of the South Pacific convergence zone due to greenhouse warming. **Nature,** v. 488, n. 7411, p. 365-369, 2012.

CELENTANO, D.; ZAHAWI, R. A.; FINEGAN, B.; OSTERTAG, R.; COLE, R. J.; HOLL, K. D. Litterfall dynamics under different tropical forest restoration strategies in Costa Rica. **Biotropica**, v. 43, n. 3, p. 279-287, 2011.

CHAMBERS, J. Q.; ARTAXO, P. Biosphere–atmosphere interactions: Deforestation size influences rainfall. **Nature Publishing Group**, v. 7, n. 3, p. 175–176, 2017.

CHEN, J. M.; BLACK, T. A. Measuring leaf area index of plant canopies with branch architecture. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 57, n. 1-3, p. 1-12, 1991.

CHEN, XI.; HUTLEY, L. B.; EAMUS, D. Carbon balance of a tropical savanna of northern Australia. **Oecologia**, v. 3, n. 137, p. 405-416, 2003.

CHEN, Y.; MORTON, D. C.; ANDELA, N.; VAN DER WERF, G. R.; GIGLIO, L.; RANDERSON, J. T. A pan-tropical cascade of fire driven by *El Niño*/Southern Oscillation. **Nature Climate Change,** n. 7, v. 12, p. 906-911, 2017.

CHOAT, B.; BRODRIBB, T. J.; BRODERSEN, C. R.; DUURSMA, R. A.; LÓPEZ, R.; MEDLYN, B. E. Triggers of tree mortality under drought. **Nature**, n. 558, v.7711, p. 531-539, 2018.

COSTA, M. C.; COSTA, A. C. L.; COELHO, L. T. S.; SILVA, T. M. L.; AZEVEDO, A. F. Correlação entre precipitação pluviométrica e umidade do solo na produção de serapilheira em Caxiuanã (PA). **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 5, n. 1, p. 170-179, 2014.

COURALET, C.; VAN DEN BULCKE, J.; NGOMA, L. M.; VAN ACKER, J.; BEECKMAN, H. Phenology in functional groups of Central African rainforest trees. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 25, n. 3, p. 361–374, 2013.

DALMAGRO, H. J.; DE ALMEIDA LOBO, F.; ORTÍZ, C. E. R.; BIUDES, M. S.; DE SOUSA NOGUEIRA, J.; VOURLITIS, G. L.; JUNIOR, O. B. P. Trocas gasosas de uma espécie lenhosa na floresta de transição Amazônia-Cerrado. **Ciência e Natura**, v, 33, n. 2, p. 147-165, 2011.

DAVIDSON, E. A.; DE ARAÚJO, A. C.; ARTAXO, P.; BALCH, J. K.; BROWN, I. F.; BUSTAMANTE, M. M.; MUNGER, J. W. The Amazon basin in transition. **Nature**, v. 481, n.7381, p. 321-328, 2012.

EITEN, G. The Cerrado vegetation of Brazil. **The Botanical Review**, v. 38, n. 2, p. 201-341, 1972.

EITEN, G. Vegetação do Cerrado. In: PINTO, M. N. (ORGS) (Ed.). **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas.** 2. ed. Brasília: Editora da Universidade de Brasília - UNB/ Secretaria do Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia - SEMATEC, p. 17-74, 1993.

FRANCO, A. C. Seasonal patterns of gas exchange, water relations and growth of Roupala montana, an evergreen savanna species. **Plant Ecology**, v. 136, n. 1, p. 69-76, 1998.

FRANCO, A. C.; BUSTAMANTE, M. M.; CALDAS, L. S.; GOLDSTEIN, G.; MEINZER, F. C., KOZOVITS, A. R., RUNDEL, P.; CORADIN, V. T. R. Leaf functional traits of Neotropical savanna trees in relation to seasonal water deficit. **Trees Structure and Function,** v. 19, n. 3, p. 326-335, 2005.

FREITAG R. D. **Funções ecossistêmicas na Transição Amazônia/Cerrado: respiração e decomposição em floresta e savana**. Tese (Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia) - Rede Bionorte (UFAM), 2018.

HONORIO-CORONADO, E. M.; BAKER, T. R. Manual para el monitoreo del ciclo del carbon en bosques amazónicos. **Insituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana. Universidad de Leeds. Lima**, 2010.

JACKSON, P. C.; MEINZER, F. C.; BUSTAMANTE, M.; GOLDSTEIN, G.; FRANCO A. C.; RUNDEL, P. W.; CALDAS, L.; IGLER, E.; CAUSIN, F. Partitioning of soil water among tree species in a Brazilian Cerrado ecosystem. **Tree Physiology**, v. 19, p. 717-724, 1999.

JANCOSKI, H. S.; PINTO, J. R. R.; NOGUEIRA, D. S.; MEWS, H. A.; ABAD, J. C. S.; SCALON, M. C.; MARIMON, B. S. Fine-scale effects of fire on non-woody species in a southern Amazonian seasonal wetland. **Wetlands Ecology and Management**, v. 27, n. 2-3, p. 267-281, 2019.

JELASKA, S. D. Analysis of canopy closure in the dinaric silver fir – beech fores (Omphalodo-Fagetum) in Croatia using hemispherical photography. **Hacquetia**, v. 3, n. 2, p. 43-49, 2004.

JONCKHEERE, I.; FLECK S.; NACKAERTS, K; MUYS, B.; COPPIN, P.; WEISS, M.; BARET, F. Review of methods for in situ leaf area index determination. Part I. Theories, sensors and hemisferical photography. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 121, n. 1, p. 19-35, 2004.

KRUG, T. Impacto, vulnerabilidade e adaptação das florestas à mudança do clima. **Parcerias estratégicas**, v. 13, n. 27, p 43-72, 2010.

LEBLANC, S. G.; CHEN, J. M. A pratical scheme for correcting multiplescattering effects on optical LAI measurements. **Agricultural Forest Meteorological**, v. 110, p. 125-139, 2001.

LENZA, E.; KLINK, A. Comportamento fenológico de espécies lenhosas em um cerrado sentido restrito de Brasília, DF. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 29, n. 4, p. 627–638, 2006.

LIU, D.; BATISTELLA, M.; MORAN, E. Multitemporal spectral mixture analysis for Amazonian land-cover change detection. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 30, n. 1, p. 87-100, 2004.

MALHI, Y.; BAKER, T. R.; PHILLIPS, O. L.; ALMEIDA, S.; ALVAREZ, E.; ARROYO, L.; KILLEEN, T. J. The above-ground coarse wood productivity of 104 Neotropical forest plots. **Global Change Biology**, v. 10, n. 5, p. 563-591, 2004.

MALHI, Y.; DOUGHTY, C.; GALBRAITH, D. The allocation of ecosystem net primary productivity in tropical forests. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 366, n. 1582, p. 3225–3245, 2012.

MARIMON, B. S.; FELFILI, J. M. Seed rain in a monodominant *Brosimum rubescens* Taub. forest and an adjacent mixed forest in the Araguaia River Valley, Mato Grosso State, Brazil . **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, n. 2, p. 423-432, 2006.

MARIMON, B. S.; FELFILI, J. M.; LIMA, E. S.; DUARTE, W. M. G.; MARIMON, JUNIOR, B. H. Environmental determinants for natural regeneration of gallery forest at the Cerrado/Amazonia boundaries in Brazil. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 1, p. 107-118, 2010.

MARIMON, B. S.; LIMA, E. S.; DUARTE, T. G.; CHIEREGATTO, L. C.; RATTER, J. A. Observations on the vegetation of northeastern Mato Grosso, Brazil. IV. An analysis of the Cerrado-Amazonian Forest ecotone. **Edinburgh Journal of Botany**, Edinburgh, v. 63, n. 2-3, p. 323-341, 2006.

MARIMON, B. S.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; FELDPAUSCH, T. R.; OLIVEIRA-SANTOS, C.; MEWS, H. A.; LOPEZ-GONZALEZ, G.; MIGUEL, A. Disequilibrium and hyperdynamic tree turnover at the forest-cerrado transition zone in southern Amazonia. **Plant Ecology & Diversity**, London, v. 7, n. 1-2, p. 281-292, 2014.

MARIMON-JÚNIOR, B. H.; HARIDASAN, M. Comparação da vegetação arbórea e características edáficas de um cerradão e um cerrado stricto sensu em áreas adjacentes sobre solo distrófico no leste de Mato Grosso, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 19, p. 913-926, 2005.

MARQUES, E. Q.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; MARIMON, B. S.; MATRICARDI, E. A. T.; MEWS, H. A.; COLLI, G. R. Redefining theCerrado-Amazonia transition: implications for conservation. **Biodiversity and Conservation**, v. 28, p. 1-17, 2019.

MARTHEUS, T. R.; METCALFE, D. B.; MALHI, Y.; HUASCO, W. H. **Rede de Monitoramento Global de Ecossistemas,** Oxford, 2014.

MCDOWELL, N.; POCKMAN, W. T.; ALLEN, C. D.; BRESHEARS, D. D.; COBB, N., KOLB, T.; YEPEZ, E. A. Mechanisms of plant survival and mortality during drought: why do some plants survive while others succumb to drought?. **New phytologist**, v. 178, n. 4, p. 719-739, 2008.

MEEHL, G. A.; STOCKER, T. F.; COLLINS, W. D.; FRIEDLINGSTEIN, P. I. E. R. R. E.; GAYE, A. T.; GREGORY, J. M.; RAPER, S. C. **Global climate projections.** New York: Cambridge University Press, 2007.

MEIR, P.; METCALFE, D. B.; COSTA, A. C. L.; FISHER, R. A. The fate of assimilated carbon during drought: impacts on respiration in Amazon rainforests. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences,** v. 363, n. 1498, p. 1849-1855, 2008.

NARDOTO, G. B.; SOUZA, M. P.; FRANCO, A. C. Estabelecimento e padrões sazonais de produtividade de *Kielmeyera coriaceae* (Spr) Mart. Nos Cerrados do Planalto Central. **Revista Brasileira de Botânica,** v. 21, n. 3, 1998.

NEPSTAD, D. C.; MOUTINHO, P.; DIAS-FILHO, M. B.; DAVIDSON, E.; CARDINOT, G.; MARKEWITZ, D.; GUERREIROS, J. B. The effects of partial throughfall exclusion

on canopy processes, aboveground production, and biogeochemistry of an Amazon forest. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 107, n. D20, p. LBA 53-1-LBA 53-18, 2002.

NOBIS, M.; HUNZIKER, U. Automatic thresholding for hemispherical canopy photographs based on edge detection. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 128, p. 243–250, 2005.

NOBRE, C.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. Mudanças climáticas e Amazônia. **Ciência e Cultura**, v. 53, p. 6, 2007.

NUNES, R. F. Y.; FAGUNDES, M.; SANTOS, M. R.; DOMÍNGUEZ, E. B. S.; ALMEIDA, H. S.; GONZAGA, A. P. D. Atividades fenológicas de *Guazuma ulmifolia* Lam. (Malvaceae) em uma Floresta Estacional Decidual no norte de Minas Gerais. **Lundiana**, v. 6, n. 2, p. 99-105, 2005.

O'BRIEN, J. J.; OBERBAUER, S. F.; CLARK, D. B.; CLARK, D. A. Phenology and stem diameter increment seasonality in a Costa Rican wet tropical forest. **Biotropica**, v. 40, n. 2, 151-159, 2008.

OLIVEIRA, B.; MARIMON JUNIOR, B. H.; MEWS, H. A.; VALADÃO, M. B. X.; MARIMON, B. S. Unraveling the ecosystem functions in the Amazonia–Cerrado transition: evidence of hyperdynamic nutrient cycling. **Plant Ecology**, v. 218, n. 2, p. 225–239, 2017.

PARMESAN, C.; ROOT, T. L.; WILLIG, M. R. Impacts of extreme weather and climate on terrestrial biota. **Bulletin of the American Meteorological Socie**ty, v. 81, n. 3, p. 443-450, 2000.

PEIXOTO, K. P.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; MARIMON, B. S.; ELIAIS, F.; FARIAS, J. DE.; FREITAG, R.; MEWS, H. A.; NEVES, E. C. DAS.; PRETES, N. C. C. S.; MALHI, Y. Unravelling ecosystem functions at the Amazonia-Cerrado transition: II. Carbon stocks and CO_2 soil efflux in cerradão forest undergoing ecological succession. **Acta Oecologica**, v. 82, p. 23-31, 2017.

PHILLIPS, O. L.; ARAGÃO, L. E.; LEWIS, S. L.; FISHER, J. B.; LLOYD, J.; LÓPEZ-GONZÁLEZ, G.; VAN DER HEIJDEN, G. Drought sensitivity of the Amazon rainforest. **Science**, v. 323, n. 5919, p. 1344-1347, 2009.

PHILLIPS, O. L.; BAKER, T. R.; ARROYO, L.; HIGUCHI, N.; KILLEEN, T. J.; LAURANCE, W. F.; NEILL, D. A. Pattern and process in Amazon tree turnover, 1976-2001. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: **Biological Sciences**, v. 359, n. 1443, p. 535-407, 2004.

PINTO, S. I. D. C.; MARTINS, S. V.; BARROS, N. F. D.; DIAS, H. C. T. Produção de serapilheira em dois estádios sucessionais de Floresta Estacional Semidecidual na Reserva Mata do Paraíso, em Viçosa, MG. **Revista Árvore**, v. 32, n. 3, p. 535-546, 2008.

PIRES, L. A.; BRITEZ, R. M.; MARTEL, G.; PAGANO, S. N. Produção, acúmulo e decomposição da serapilheira em uma restinga da Ilha do Mel, Paranaguá, PR, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, n. 1, p. 173-184, 2006.

RADAMBRASIL. Levantamento de recursos naturais. Folha SD. 21 Cuiabá. **Ministério das Minas e Energia**, Rio de Janeiro, v. 26, 1982.

RATTER, J. A.; RICHARDS, P. W.; ARGENT G.; GIFFORD D. R. Observations on the vegetation of northeastern Mato Grosso. The woody vegetation types of the Xavantina-Cachimbo expedition area. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences**, v. 266, n. 880, p. 449-492, 1973.

REICH, P B. Phenology of tropical forests: patterns, causes, and consequences. **Canadian Journal of Botany**, v. 73, n. 2, p. 164-174, 1995.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: **Cerrado: ecologia e flora**, v.1, p. 151-212, 2008.

RIBEIRO, J. F; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. **Embrapa Cerrados-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 1998.

SANCHES, L.; VALENTINI, C. M. A.; PINTO JÚNIOR, O. B.; NOGUEIRA, J. S.; VOURLITIS, G. L.; BIUDES, M. S.; SILVA, C. J.; BAMBI, P.; LOBO, F. A. Seasonal and interannual litter dynamics of a tropical semideciduous forest of the Southern Amazon Basin, Brazil. **Journal of Geophysical Research**, v. 113, p. 1–9, 2008.

SAYER, E. J.; TANNER, E. V. J.; CHEESMAN, A. W. Increased litterfall changes fine root distribution in a moist tropical forest. **Plant and Soil**, v. 281, n. 1-2, p. 5-13, 2006.

SCHLEPPI, P.; CONEDERA, M.; SEDIVY, I.; THIMONIER, A. (2007). Correcting non-linearity and slope effects in the estimation of the leaf area index of forests from hemispherical photographs. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 144, n. 3, p. 236-242, 2007.

SCURLOCK, J. M. O.; ASNER, G. P.; GOWER, S. T. Global Leaf Area Index Data from Field Measurements, University of Colorado, **Oak Ridge**, p. 1932–2000, 2001.

SILVA, J. M. C.; BATES, J. M. Biogeographic patterns and conservation in the South American Cerrado: a tropical savanna hotspot. **Bioscience**, v. 52, p. 225-233, 2002.

SILVÉRIO, D. V.; BRANDO, P. M.; MACEDO, M. N.; BECK, P. S.; BUSTAMANTE, M.; COE, M. T. Agricultural expansion dominates climate changes in southeastern Amazonia: the overlooked non-GHG forcing. **Environmen tal Research Letters**, v. 10, n. 10, p. 104015, 2015.

SOUZA, F. M.; GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R. Deciduousness influences the understory community in a semideciduous tropical forest. **Biotropica**, v. 46, n. 5, p. 512-515, 2014.

SPRACKLEN, D. V.; GARCIA-CARRERAS, L. The Impact of Amazonian Deforestation on Amazon Basin Rainfall. **Geophysical Research Letters**, v. 42, p. 9546-9552, 2015.

THIMONIER, A.; SEDIVY, I.; SCHLEPPI, P. Estimating leaf area index in different types of mature forest stands in Switzerland : a comparison of methods. **European Journal of Forest Research**, v. 129, n. 4, p. 543-562, 2010.

VALADÃO, M. B. X.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; OLIVEIRA, B.; LUCIO, N. W.; SOUZA, M. G. R.; MARIMON, B. S. Biomass hyperdynamics as a key modulator of forest self-maintenance in a dystrophic soil in the Amazonia-Cerrado transition. **Scientia Forestalis**, v. 44, p. 475-485, 2016.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação.brasileira, adaptada a um sistema universal.** IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Rio de Janeiro, p. 123, 1991.

VILANI, M. T.; SANCHES, L.; NOGUEIRA, J. S.; PRIANTE FILHO, N. Sazonalidade da radiação, temperatura e umidade em uma floresta de transição Amazônia Cerrado. **Revista Brasileira de Meteorologia**, n. 21, v. 3b, p. 119-131, 2006.

VITOUSEK, P. M.; SANFORD JR, R. L. Nutrient cycling in moist tropical forest. **Annual review of Ecology and Systematics**, v. 17, n. 1, p. 137-167, 1986.

WANG, Q.; WANG, S.; FAN, B.; YU, X. Litter production, leaf litter decomposition and nutrient return in Cunninghamia lanceolata plantations in south China: effect of planting conifers with broadleaved species. **Plant and Soil**, v. 297, n. 1-2, p. 201-211, 2007.

WATERLOO, M. J. **Water and nutrient dynamics of Pinus caribaea plantation forests on former grassland soils in southwest Viti Levu, Fiji**. The Netherlands: Vrije Universiteit Amsterdam, p. 478, 1994.

WATSON, D. J. Comparative physiological studies on growth of field crops. I - Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. **Annals of Botany**, v. 11, p. 41-76, 1947.

WELLES, J. M. Some indirect methods of estimating canopy structure. **Remote Sensing Reviews**, v. 5, n. 1, p. 31-43, 1990.

WERNECK, M. S.; PEDRALLI, G.; GIESEKE, L. F. Produção de serapilheira em três trechos de uma floresta semidecídua com diferentes graus de perturbação na Estação Ecológica do Tripuí, Ouro Preto, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 24, n. 2, p. 195-198, 2001.

WHITFORD, K. R.; COLQUHOUN, I. J.; LANG, A. R. G.; HARPER, B. M. Measuring leaf are index in a sparse eucalypt forest: a comparison of estimates from direct measurement, hemispherical photography, sunlight transmittance and allometric regression. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 74, p. 237-249, 1995.

WOOD, S. N. **Generalized Additive Models: an introduction with R**. CRC press, 2017.

ZANCHI, F. B. et al. Estimativa do Índice de Área Foliar (IAF) e Biomassa em pastagem no estado de Rondônia, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 2, p. 335–348, 2009.

ZAR, J. H**. Bioestatistical analysis**. 5. Ed. New Jersey: Prentice Hall, p. 944, 2010.

ZUUR, A.; IENO, E. N.; WALKER, N.; SAVELIEV, A. A.; SMITH, G. M. **Mixed effects models and extensions in ecology with R**. 1. Ed. Springer-Verlag, New York, 2009.