

ARTIGO ORIGINAL

O que explica a baixa produção de frutos por árvores de *Bertholletia excelsa* em áreas de pastagem?

What explains the low production of fruits by *Bertholletia excelsa* tree in pasture areas?

Gilnei Samuel Souza Cardoso¹ , Ricardo Scoles² , Susan Aragón³ 

¹Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, Oriximiná, PA, Brasil

²Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, Santarém, PA, Brasil

³Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Porto Velho, RO, Brasil

Como citar: Cardoso, G. S. S., Scoles, R., & Aragón, S. (2022). O que explica a baixa produção de frutos por árvores de *Bertholletia excelsa* em áreas de pastagem? *Scientia Forestalis*, 50, e3913. <https://doi.org/10.18671/scifor.v50.40>

Resumo

Em várias regiões da Amazônia é comum observar populações isoladas de castanheiras (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) em áreas de pastagem, algumas destas mortas. Nestes ambientes alterados, a literatura ressalta que a produção de frutos das castanheiras remanescentes é menor que em fragmentos florestais adjacentes com ocorrência significativa de *B. excelsa* (castanhais). O objetivo deste estudo foi explorar as variáveis que melhor explicam a baixa produção de frutos das árvores de castanhas em áreas desmatadas. Foram estudadas as variáveis dendrométricas, parâmetros físicos do solo, serapilheira acumulada e variáveis microclimáticas. Os resultados mostraram que a área de pastagem apresentou maiores valores de densidade do solo, menores valores de umidade do solo e serapilheira acumulada, assim como condições microclimáticas mais secas e quentes que nas áreas florestais. A distância média entre as árvores foi significativamente maior na área de pastagem do que na de castanhal e, em contraste, a área de copa das árvores de *B. excelsa* foi em média significativamente menor que as do castanhal, podendo assim diminuir as possibilidades de polinização das árvores. Em resumo, condições ambientais, em geral, mais desfavoráveis nas áreas de pastagem (solo, microclima, isolamento físico) poderiam explicar, parcialmente, a baixa produção de frutos das árvores de castanheiras em comparação à produção observada em florestas adjacentes.

Palavras-chave: Desmatamento; Pastagem; Castanhal; Solos; Microclima.

Abstract

In several regions of the Amazon is common to observe isolated populations of Brazil nut trees (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) in pastures, some of which are dead. In these altered environments, the literature indicates that fruit production of the remaining Brazil nut trees is lower than those of adjacent forest with a significant occurrence of *B. excelsa* (Brazil nut groves). The objective of this study was to explore which factors better explain the low fruit production of Brazil nut trees in deforested areas. We studied dendrometric variables, soil physical parameters, litter and microclimatic variables. The results showed that pasture areas presented higher values of soil density, lower values of soil moisture and litter, as well as drier and warmer microclimatic conditions than in the forested areas. The average distance between the trees was significantly greater in the pasture area than in the Brazil nut groves, in contrast, the canopy area of *B. excelsa* trees was on average significantly smaller than in the Brazil nut groves, thus reducing the possibilities of pollination of the trees. In summary, more unfavorable environmental conditions in pasture areas (soil, microclimate, physical isolation) could partially explain the low fruit production of Brazil nut trees compared to observed production in adjacent forests.

Fonte de financiamento: Nenhuma.

Conflito de interesse: Nada a declarar.

Autor correspondente: ricardscoles@yahoo.es

Recebido: 26 maio 2022.

Aceito: 12 setembro 2022.

Editor: Mauro Valdir Schumacher.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o artigo científico seja corretamente citado.

Keywords: Deforestation; Pasture; Brazil nut; Soils; Microclimate.

INTRODUÇÃO

O avanço do desmatamento expõe as árvores sobreviventes a mudanças em seu ambiente abiótico e biótico. Árvores de castanheiras (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), por serem protegidas por lei, ficam isoladas no meio das áreas de pastagem (Homma et al., 2000). Sujeitas ao estresse fisiológico causado por fatores físicos, a sobrevivência e reprodução destas grandes árvores fica comprometida em ambientes desmatados (Scoles et al., 2016). Neste estudo, documentamos as condições ambientais que afetam a produção de frutos por árvores de *B. excelsa* em áreas de pastagens.

O desmatamento da floresta ombrófila de terra firme é um dos problemas socioambientais e econômicos mais graves que sofre a região da Amazônia nas últimas cinco décadas (Berenguer et al., 2021). Segundo pesquisas que utilizam modelos de simulação climática para a Amazônia (Lawrence & Vandecar, 2015), o desmatamento em larga escala poderá alterar significativamente o clima regional e global, provocando uma série de alterações climáticas, como: interferências no ciclo hidrológico (Verweij et al., 2009); diminuição dos processos de evapotranspiração e dissipação de energia (Sampaio et al., 2007); aumento da emissão de gases do efeito estufa (Fearnside, 2006) e alteração de outros serviços ecossistêmicos.

A castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) é uma árvore de grande porte, endêmica da Amazônia e tende a formar aglomerações de indivíduos, chamados castanhais (Mori & Prance, 1990). O tempo de maturação dos frutos das castanheiras pode durar de 12 a 15 meses, devido a isto, é muito comum encontrar em uma mesma árvore, flores e frutos em diversos estágios de desenvolvimento durante todo o ano (Maués et al., 2018). A produção de frutos de *B. excelsa* é altamente variável entre indivíduos (Kainer et al., 2007) e entre anos (Kainer et al., 2014). A produção de frutos é influenciada por vários fatores abióticos como a precipitação anual (Kainer et al., 2007), diminuindo nos anos em que se apresenta El Niño (Pastana et al., 2021), ou tipo de solo (Silva et al., 2021). Entre os fatores bióticos, a eficiência na polinização das flores (Baldoni et al., 2017) assim como tamanho da copa e diâmetro da árvore (Kainer et al., 2007; Wadt et al., 2008) seriam determinantes. No estudo realizado por Kainer et al. (2007), 25% das árvores produziram 72% dos frutos o que poderia indicar o efeito da variabilidade genética na produção de frutos. A combinação destes fatores faz com que as árvores de *B. excelsa* localizadas em áreas desmatadas sejam menos produtivas do que as que se encontram em áreas florestadas (Pereira et al., 2019) embora ainda não se saiba a importância relativa de cada fator, nem os mecanismos que atuam na baixa produtividade.

Na região noroeste do estado do Pará existem grandes extensões de floresta ombrófila com presença de numerosos castanhais especialmente na bacia do rio Trombetas (Scoles & Gribel, 2012). Ainda que o avanço do desmatamento seja menor que em outras partes do estado (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2021), nas margens das estradas que ligam os municípios de Oriximiná (PA) e Óbidos (PA), a perda de cobertura florestal por mudanças de uso da terra é significativa e observável pela presença de populações remanescentes de *B. excelsa* em áreas de pastagem (Scoles et al., 2016). Nestes municípios o desmatamento acumulado até 2021 era de 1,7% em Oriximiná e 7,1% em Óbidos, taxa menor que a estimada para a média de desmatamento por municípios do estado do Pará (33%, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2021).

No levantamento realizado por Scoles et al. (2016), 75,5% das castanheiras inventariadas em quatro áreas distintas nas margens da estrada do BEC (Oriximiná e Óbidos), estavam mortas. As poucas árvores remanescentes vivas (24,5% sobre o total inventariado) apresentaram uma baixa produção de frutos (somente 50% das árvores tinham evidências de frutos). Estes autores alertaram sobre a necessidade de entender os fatores que incidem na baixa produtividade de frutos por árvores de *B. excelsa* em áreas desmatadas, haja vistas as evidências de baixa produção de frutos em comparação com as observadas em áreas florestais adjacentes (Pereira et al., 2019). Este estudo objetivou evidenciar como alguns

fatores ambientais (variáveis microclimáticas, variáveis físico-químicas do solo e produção) poderiam explicar, parcialmente, as diferenças de produção de frutos de castanheira entre áreas de pastagem e fragmentos florestais.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo localiza-se na prolongação da BR-163, chamada localmente de estrada do BEC (Batalhão de Engenharia e Construção), no trecho que inicia seu trajeto em direção setentrional na confluência das rodovias PA-439 e PA-254. Esta estrada passa pelos municípios de Oriximiná e Óbidos, no Estado do Pará. A coleta de dados realizou-se em uma propriedade particular localizada no ramal do Boa Vista cerca de 10 km da Comunidade de Nova Betel que pertence ao município de Óbidos-PA (S 01°25' 8,67"; W 055°42'41,63, Figura 1).

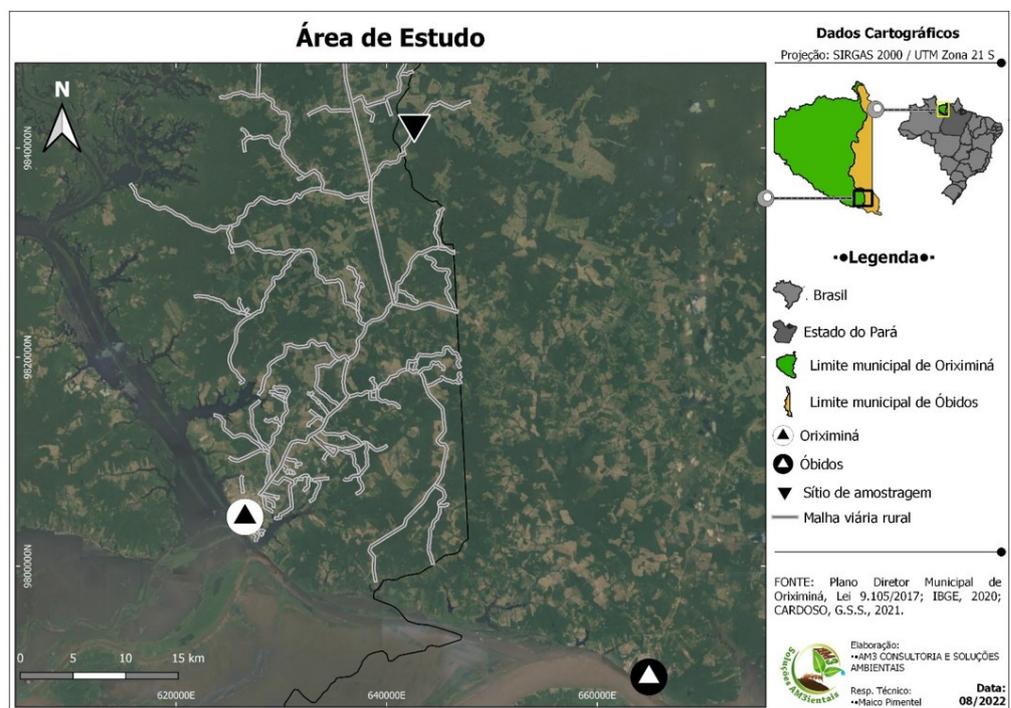


Figura 1 – Mapa da área de estudo mostrando o sítio de amostragem de *B. excelsa*, malha viária rural, e o Ramal do Boa Vista na Estrada do BEC, Óbidos-PA.

O clima da região é caracterizado como quente e úmido com estação seca definida (3 meses com precipitação < 60 mm), com temperaturas superiores a 26°C e a média de precipitação anual que varia de 1.900 a 2.200 mm (Alvares et al., 2013). De acordo com a série de dados climáticos (1981-2010) da estação meteorológica mais próxima (Óbidos, código 82178, Instituto Nacional de Meteorologia, 2021), a pluviosidade anual média é de 1.911,1 mm, com picos de chuva nos meses de março (320 mm) e abril (277,3 mm) e períodos de estiagem nos meses de agosto (33,8 mm) e setembro (42,9 mm).

Desenho amostral

Realizaram-se as coletas dos dados em duas áreas com ocorrência de castanheiras. As características ecológicas e histórico de uso das duas áreas foram obtidas a partir de três procedimentos, todos de acordo com as normas vigentes: observação empírica, relatos informais com alguns trabalhadores das terras e visualização de imagens históricas de satélites usando Software Google Earth. As duas áreas de estudo foram: 1) área de pastagem

que foi desmatada há aproximadamente 20 anos, com predomínio de vegetação rasteira (gramíneas e arbustos dispersos) e com algumas árvores isoladas de castanheiras; 2) castanhal em um fragmento de floresta secundária em estágio médio de desenvolvimento com presença marcante de árvores de *B. excelsa*.

O número de castanheiras monitoradas foi vinte (20) árvores para cada área estudada. A distância mínima entre as castanheiras monitoradas foi de 50 metros para respeitar o critério de independência das amostras (Gotelli & Ellison, 2011). Todas as árvores de *B. excelsa* inventariadas apresentavam um diâmetro à altura do peito medido a 1,30 m de altura do nível do solo (DAP) > 100 cm, consideradas adultas e potencialmente produtivas (Kainer et al., 2007; Scoles & Gribel, 2015).

Coleta e análise de dados

Dados dendrométricos e qualitativos das castanheiras

Identificaram-se todas as árvores monitoradas com um código de numeração decimal. Mediu-se para cada árvore, as coordenadas geográficas, o DAP, a projeção de dois galhos da copa no chão (perpendiculares entre eles) e a distância entre a árvore e a castanheira vizinha mais próxima. Por último, para cada árvore, anotou-se a presença ou ausência de sinais de queimadas e rebrotas.

Estimou-se a área de copa das castanheiras mediante o cálculo da superfície de uma elipse ($\pi r_1 * r_2$) cujos raios equivaleriam as projeções de dois galhos da árvore no chão (perpendiculares um do outro), multiplicando-se este valor de área por um índice de forma de copa com quatro frações possíveis (0,25, 0,50, 0,75 e 1) dependendo da integridade da copa (Scoles & Gribel, 2015).

Produção de frutos

Este estudo acompanhou a produção de frutos das castanheiras monitoradas por três anos (2014-2016) conferindo o número de frutos presentes na copa das árvores em estágio avançado de desenvolvimento (3-4 meses antes da queda gravitacional), os quais já apresentam tamanhos parecidos aos plenamente amadurecidos. A contagem foi realizada com auxílio de binóculos e ocorreu na época da renovação das folhas da copa onde a árvore fica sem folhas por um período de duas a três semanas e antes de período de floração das árvores (setembro e outubro) para melhor visualização dos frutos bem desenvolvidos e não abortivos.

Densidade, umidade do solo e granulometria

Para determinar a densidade do solo, coletaram-se 40 amostras (20 em cada área) a uma profundidade de 40 cm, pelo método do anel volumétrico, conforme Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (2017). A localização dos pontos de coleta estabeleceu-se a partir de cada uma das árvores monitoradas, estabelecendo a coleta a 10 metros de distância em direção aleatorizada. Após a coleta, as amostras foram secadas em estufa com temperatura controlada a 105 °C por 24 horas, retiradas, esfriadas em dessecadora e pesadas com balança eletrônica de 0,1 gramas de precisão. Em seguida determinou-se a densidade realizando primeiro o cálculo do volume do anel, conforme o protocolo da Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (2017).

As coletas do solo com estrutura deformada para análise de umidade realizaram-se no período de novembro/2015 a abril/2016, nas duas áreas amostrais, utilizando como ponto uma árvore monitorada a cada dois e mantendo uma distância de 10 metros das árvores monitoradas em direção cardinal aleatória e a uma profundidade de 0-20 cm do solo (10 amostras por área, totalizando 20 amostras a cada mês). Após pesagem *in situ*, colocaram-se as amostras para secar em estufa a 105° C por 24 horas. Para determinar a umidade (U), usou-se o método termogravimétrico (Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias, 2017), que consiste em pesar a massa de solo úmido (Mu) e em seguida secá-lo em estufa, e após

determinar sua massa seca (Ms). A partir da equação, calcula-se a umidade do solo: $U (\%) = \frac{Mu - Ms}{Ms} \times 100$.

Coletaram-se as amostras de solo para granulometria em (10) dez pontos para cada área de estudo, selecionados aleatoriamente a cada duas castanheiras. A profundidade de extração das amostras foi de 0-40 cm. O ponto de coleta determinou-se há dez (10) metros de distância das árvores e direção cardinal aleatória para cada amostra. A granulometria das amostras de solo foi analisada pelo Laboratório de Solos de Embrapa Oriental seguindo metodologia específica (Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias, 2017). A justificativa de usar como ponto de coleta das amostras do solo uma distância de 10 metros com a árvore monitorada foi com a intenção de estabelecer um ponto médio entre o tronco e o rádio da copa.

Serapilheira acumulada

A coleta de serapilheira acumulada foi realizada nas duas áreas de estudo, mensalmente no período de novembro de 2015 a abril de 2016. Para este fim foi utilizado um quadrado de madeira com as dimensões de 0,50 x 0,50 m. (Santos et al., 2001). Coletou-se a serapilheira a uma distância de 10 metros do tronco de cada uma das castanheiras monitoradas. Para obter a massa seca, colocaram-se as amostras em estufa para a secagem a 65 - 70° C por 72 horas e posteriormente pesadas em balança eletrônica com precisão de 0,1 gramas (Almeida et al., 2015).

Coleta de variáveis meteorológicas: umidade, temperatura e velocidade do vento

As mensurações de umidade relativa do ar, temperatura relativa do ar e velocidade do vento, realizaram-se periodicamente, nos meses de novembro de 2015 a abril de 2016, totalizando 12 coletas de dados e usando um higrômetro-termômetro-nanômetro portátil.

O monitoramento se fez no período esperado de floração na região de estudo e representa o final da estação “seca” e boa parte da estação “chuvosa”. As coletas de dados meteorológicos realizaram-se duas vezes por dia: 1) durante o amanhecer de 06:00 às 06:10 h; 2) no início da tarde de 13:00 às 13:10 h. A coleta de dados meteorológicos ocorreu em um ponto escolhido aleatoriamente no perímetro de localização das castanheiras monitoradas em cada uma das duas áreas estudadas. Mediram-se variáveis meteorológicas à altura de 2 metros do nível do solo.

Análise estatística

Para detectar diferenças entre as duas áreas: pastagens e floresta, inicialmente os dados foram submetidos aos testes de normalidade (teste Kolmogorov-Smirnov com a correção de Lilliefors (1967); se os dados seguiam normalidade se aplicaram testes paramétricos (Teste-t, Teste-t pareado), caso contrário, se aplicaram testes não paramétricos (Mann-Whitney, Qui-quadrado). Para a descrição e testes estatísticos usou-se Paleontological Statistics (PAST) versão 3.08 e Excel do Microsoft Office Professional Plus 2013.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comparação das variáveis microclimáticas nas áreas estudadas

No ano de 2015 o município de Óbidos apresentou os menores valores de precipitação anual total dos últimos 30 anos (Figura 2). Para a região de estudo é esperado anualmente um índice pluviométrico acumulado em média de ≥ 1.900 mm, no entanto, no ano de 2015 foi de 1.464,9 mm (valor mais próximo a climas de cerrado ou savana), o que representa uma diminuição de 22,9%. Assim como a média anual, os valores pluviométricos dos meses de novembro de 2015 a fevereiro de 2016 apresentaram valores abaixo da média dos últimos 30 anos, fato que se inverteu nos dois meses seguintes (Figura 2).

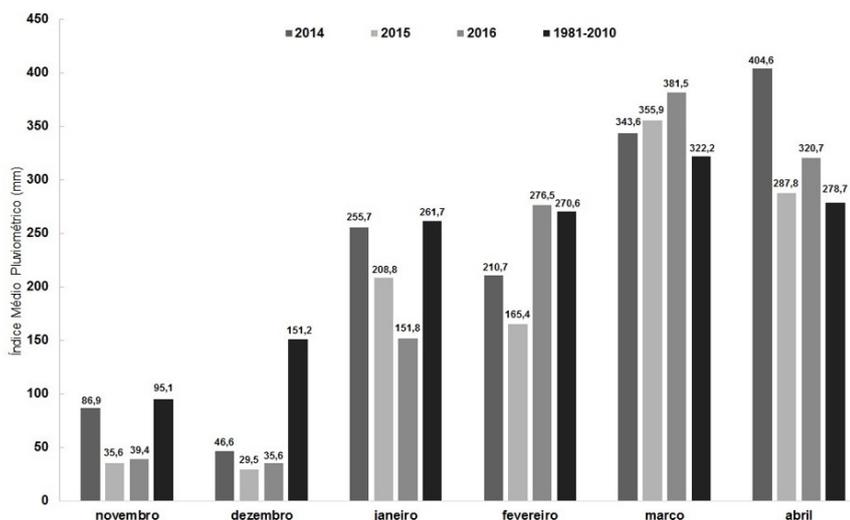


Figura 2 – Índice Pluviométrico do período da pesquisa (2014 a 2016) comparado com a média dos últimos 30 anos. Estação Meteorológica de Óbidos- PA, (S01°88' 8,33"; W055°51'97,22).

O principal responsável desse ano atípico em termos climáticos foi El Niño, um fenômeno atmosférico-oceânico que provoca o aquecimento anormal das águas do Pacífico e menos chuva na Amazônia (Marengo et al., 2018). De fato, pesquisadores climáticos constaram que o El Niño 2015-2016 registraram um aquecimento recorde na região amazônica (Marengo et al., 2018) e seca extrema nos meses de fevereiro e março de 2016 (Aragão et al., 2018). Os efeitos da seca extrema provocada pelo El Niño pode ser devastador para floresta amazônica, como mostram os estudos de Erfanian et al. (2017) que revelaram consequências ec hidrológicas da seca de 2016, mais extensas e severas que as secas de 2005 e 2010.

Em relação as comparações de variáveis meteorológicas entre áreas de pastagem-floresta, as médias da temperatura do ar no início da manhã (TIM) no período de novembro de 2015 a abril e 2016 não foram significativamente diferentes entre as duas áreas (Tabela 1). Entretanto, a média da temperatura do início da tarde (TIT) apresentou diferenças significativas entre as duas áreas, sendo maior na área de pastagem ($36,4 \pm 1,8$ °C) que na do castanhal ($33,9 \pm 2,1$ °C) (Tabela 1).

Tabela 1. Comparação das variáveis microclimáticas (temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento) entre duas áreas de estudo (pastagem e floresta), Ramal do Boa Vista, Estrada do BEC, Óbidos-PA.

Variáveis	Período	Pastagem		Castanhal		p-valor*
		Média ± DP	Min/Max	Média ± DP	Min/Max	
Temperatura média (°C)	Manhã	25,5 ± 1,3	22,6 - 27,6	25,9 ± 1,5	23,2 - 28,5	0,06
	Tarde	36,4 ± 1,8	33,7 - 39,9	33,9 ± 2,1	30,8 - 36,7	0,004
Amplitude Térmica (°C)	Dia	10,9 ± 2,5	6,8 - 15,3	7,9 ± 3,2	2,4 - 13,5	0,001
Umidade do ar (%)	Manhã	66,6 ± 2,3	61,8 - 70,3	65,7 ± 3,3	59,6 - 71,9	0,12
	Tarde	44,1 ± 5,3	38,1 - 55,1	50,1 ± 7,8	38,1 - 66,4	0,0001
Velocidade do Vento (m/s)	Manhã	0	0	0	0	-
	Tarde	2,8 ± 1,2	1,0 - 4,5	0,2 ± 0,2 b	0,0 - 0,5	0,0001

*p<0,05=diferenças significativas. DP=desvio padrão; Min=mínima; Max=Máxima

A pastagem apresentou um aumento de 7,34% na TIT em relação ao castanhal, mostrando que a conversão da floresta em áreas de pastagem contribui para o aumento da temperatura superficial, especialmente nos períodos do dia em que a insolação é maior (Nobre, 2014). O efeito do albedo, a luz refletida na pastagem é maior do que no castanhal, devido as áreas de florestas possuírem em sua maioria uma vegetação com cores mais escuras e um dossel mais alto, possibilitando a entrada da radiação solar que fica aprisionada no interior do dossel da floresta (Santos et al., 2014). As pastagens apresentam solos expostos e baixa densidade vegetal que detém uma menor quantidade de radiação solar que a floresta.

Isso tem um efeito “refrigerador”, especialmente pela noite, assim as áreas de pastagem têm valores de temperatura menores na madrugada do que durante o dia.

Mützenbergl (2016) analisando o efeito da mudança na cobertura do solo sobre a condição climática em uma área de transição Amazônia-Cerrado, obteve temperaturas médias máximas anuais (2012 e 2013) em solo descoberto ($34,4 \pm 0,52$; $33,81 \pm 0,6$ °C) mais elevadas que em áreas de floresta ($31,1 \pm 0,7$; $30,5 \pm 0,5$ °C). Outros trabalhos como os de Biudes et al. (2012), apresentaram resultados similares aos nossos estudos, obtendo um aumento de 6,6% da temperatura máxima da pastagem em relação a floresta.

A área de pastagem apresentou valores de amplitude térmica cerca de 4 °C a mais em relação ao castanhal, sendo estas diferenças significativas (Tabela 1). Estes resultados são coincidentes com de Nascimento et al. (2016) na Amazônia Ocidental, os quais, comparando variáveis meteorológicas entre áreas de floresta e pastagem, observaram que a amplitude térmica foi maior na pastagem do que na floresta principalmente no período seco. Isso se deve, à falta de cobertura vegetal nas áreas de pastagens, pois as formações vegetais influenciam na quantidade de umidade presente na atmosfera e nos processos homeostáticos. Com maior umidade relativa do ar diminui a amplitude térmica, devido ao elevado calor específico da água, que atua como controlador térmico (Andrade et al., 2009). Neste estudo, registraram-se diferenças significativas de umidade relativa entre as duas áreas, mas unicamente pelo período da tarde. As médias da umidade específica do ar do início da tarde (UIT) foi menor na área de pastagem ($44,1 \pm 5,3\%$) em relação ao castanhal ($50,1,4 \pm 7,8\%$) (Tabela 1).

Geralmente em ambientes tropicais, a umidade relativa do ar é correlacionada negativamente com a temperatura e radiação direta (Fisch et al, 1997), por isso esperava-se registrar os menores valores de umidade na área de pastagem neste estudo, fato que ocorreu no período do início da tarde (insolação mais forte). A ausência da floresta contribui fortemente para o baixo teor de umidade do ar, uma vez que a vegetação arbórea resulta em aumento da umidade do ar mediante o fenômeno de evapotranspiração (Nobre, 2014). Esses resultados são semelhantes ao trabalho de Biudes et al. (2012) que mostrou uma menor umidade da pastagem em cerca de 5,7% em relação à floresta no Norte do Pantanal mato-grossense. Em definitiva, os menores valores para umidade relativa do ar em áreas de pastagem se devem a três fatores: incremento da temperatura ambiental, ausência de cobertura vegetal e perda de água pela evaporação da umidade do solo (Falcão et al., 2010).

A velocidade do vento foi inexistente a uma altura de 2 metros da superfície no início da manhã (VIM) nas duas áreas estudadas (Tabela 1). Em contraste, a velocidade média do vento (a uma altura de 2 metros da superfície) no início da tarde (VIT) foi 14 vezes maior na área de pastagem ($2,8 \pm 1,2$ m s⁻¹) quando comparado com o castanhal (Tabela 1). Estes resultados são semelhantes aos trabalhos de Fisch et al. (1997), que constataram que a velocidade do vento na pastagem no período seco é mais intensa que na floresta, apresentando valores de até 3,5 m s⁻¹. A estrutura vertical das florestas tropicais úmidas age como barreira natural dos ventos atenuando e/ou freando sua velocidade devido à altura e porte das árvores florestais assim como pela superfície rugosa do estrato do dossel (Nobre, 2014).

De acordo com os resultados apresentados neste trabalho, a área de pastagem apresentou condições microclimáticas mais estressantes para plantas tropicais em relação a floresta adjacente pelo aumento de temperatura ambiental, maior velocidade do vento e diminuição da umidade relativa. O desmatamento da floresta provoca mudanças no microclima da área afetada em virtude de modificar as interações entre o solo, a vegetação e a atmosfera, alterar o funcionamento dos ecossistemas e o ciclo hidrológico, assim como diminuir sua capacidade homeostática (Biudes et al., 2012; Nobre, 2014).

Densidade, umidade do solo, granulometria e serapilheira acumulada

A densidade do solo apresentou diferenças significativas entre as duas áreas (Teste T, t = 2.9226; p = 0,002), sendo que a de pastagem ($1,6 \pm 0,1$ kg cm⁻³) foi maior que a de castanhal ($1,5 \pm 0,1$ kg cm⁻³). A maior densidade dos solos das áreas de pastagem em relação ao castanhal, relacionam-se pela maior compactação do solo nessa área causada pela criação de

gado (pisoteio) presente no Ramal do Boa Vista (Pereira et al., 2019), a falta de cobertura vegetal e ação da chuva (Panachuki et al., 2010). Dessa forma, o aumento da compactação dos solos, resulta em aumento da densidade e diminuição da porosidade (Lopes et al., 2015). Estes resultados são semelhantes aos registrados por diversos, pesquisadores em outras regiões de estudo que mostram maior compactação e densidade nos solos em áreas de pastagens em relação às florestais (Cherubin et al., 2015). Na mesma região de estudo, Pereira et al. (2019) registraram diferenças significativas de compactação e densidade do solo entre a área de pastagem e a área de floresta secundária circunvizinha, confirmando que a conversão de floresta em pastagem provoca compactação significativa do solo.

Em relação a granulometria, as duas áreas pesquisadas apresentaram em média solo com textura franco-arenosa com domínio do componente arenoso: pastagem ($60,0 \pm 9,4\%$ de areia total) e castanhal ($66,6 \pm 2,4\%$ de areia total). As diferenças de concentração média de areia não foram significativas entre as duas áreas (Teste Mann-Whitney, $U = 36,00$; $p = 0,28$). Em contraste, a concentração média da argila total foi significativamente menor na área de pastagem ($154 \pm 26,7 \text{ g kg}^{-1}$) em relação ao castanhal ($190 \pm 31,6 \text{ g kg}^{-1}$) (Teste T, $t = 2,7485$; $p = 0,01$). Com independência do maior ou menor teor de argila entre as duas áreas de estudo, a textura do solo é bastante homogênea entre estas, com domínio da porção de areia total ($>60\%$) em relação a outros dois tipos de partículas - silte e argila.

A umidade média do solo nos seis meses de coletas apresentou diferenças significativas entre pastagem ($17,6 \pm 2,8\%$) e castanhal ($18,9 \pm 3,5\%$), (Teste Mann-Whitney, $U = 1396$; $p = 0,03$). A pastagem teve os menores valores de umidade em relação ao castanhal. Isso se deve a inexistência da cobertura florestal que protege o solo contra a radiação solar, o que a sua vez, provoca o aquecimento mais acentuado da superfície (Dalben & Osaki, 2008) e, conseqüentemente, maior evaporação da água no solo. Além disso, a alta compactação do solo na pastagem diminui a infiltração da água da chuva, aumentando o escoamento superficial e diminuindo a água disponível para as plantas (Huber & Souza, 2013). Por último, na pastagem, a quantidade de serapilheira acumulada é significativamente menor que em áreas de florestas como os resultados deste estudo mostram: nos seis meses monitorados, o estoque de serapilheira acumulada no castanhal ($692,9 \pm 226,5 \text{ g m}^{-2}$) apresentou uma produção cerca de 6,3 vezes maior que a pastagem ($110,3 \pm 72,7 \text{ g m}^{-2}$) (Figura 3).

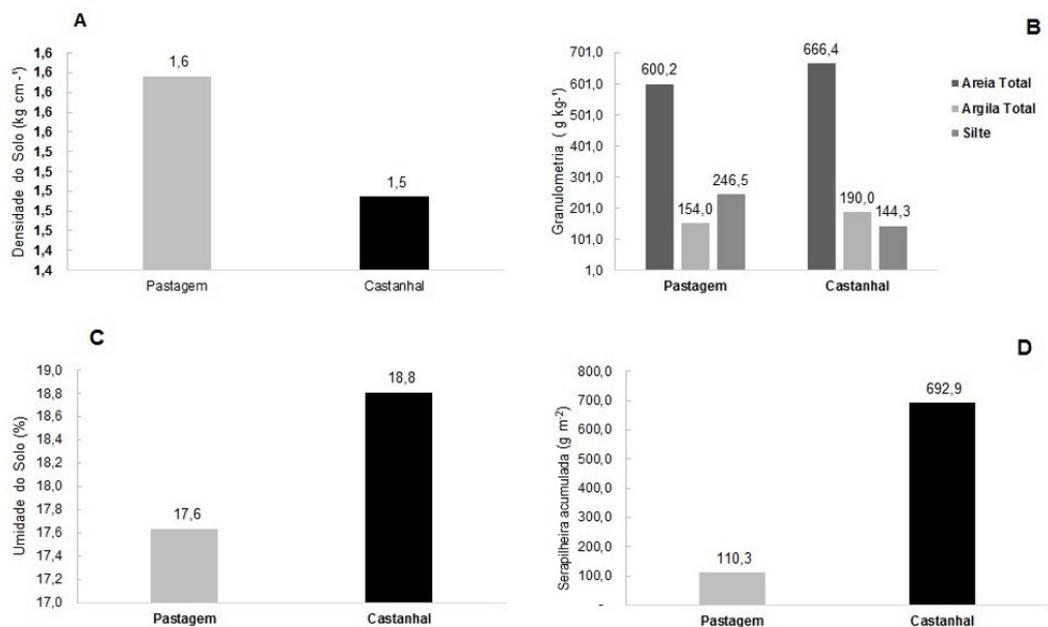


Figura 3. – Comparação entre as médias das variáveis do solo (A: densidade; B: granulometria; C: umidade do solo) e estoque de serapilheira acumulada (D) nas duas áreas de estudo (pastagem e castanhal). Ramal do Boa Vista, Estrada do BEC, Óbidos-PA.

A quantidade de serapilheira acumulada na área de castanhal foi muito maior que na área de pastagem, pois, a principal fonte serapilheira é a vegetação florestal. A substituição de uma densa floresta tropical com alta biomassa vegetal por uma pastagem dominada por vegetação rasteira, comporta uma produção de serapilheira muito baixa, evidenciada nos ambientes desmatados já aos primeiros anos (Luizão et al., 2009). Trabalhos em mata atlântica (Macabu, Rio de Janeiro) e florestas neblinas de Colômbia evidenciaram maior produção de serapilheira em florestas secundárias do que em pastagens também (Machado et al., 2008).

A produção de serapilheira é de suma importância para o funcionamento das florestas, pois é a principal fornecedora de matéria orgânica e de nutrientes para os organismos do solo (Andrade et al., 2003). Sua ausência ou baixa produção pode comprometer a produção de castanheiras em áreas desmatadas, uma vez que mineralogicamente os solos da Amazônia são pobres em nutrientes e, por isso, as plantas necessitam da ciclagem de nutrientes oriundos da camada de serapilheira (Luizão, 2007). Vale ressaltar que a serapilheira serve também como cobertura e proteção dos solos, diminuindo assim a incidência dos processos de compactação e erosão edafológica e conservando a umidade (Luizão, 2007).

O fato da pastagem apresentar solos com pouco teor de água poderá interferir na produtividade das castanheiras, uma vez que a água é necessária para a produção de fotossíntese e transportes de nutrientes nos vegetais. Estes resultados são semelhantes aos trabalhos desenvolvidos por Iori et al. (2012) e Oliveira et al. (2015), que obtiveram os maiores teores de umidade do solo nas áreas de florestas nativas em relação às áreas de pastagem adjacentes.

Dados dendrométricos e qualitativos de castanheiras

Todas as castanheiras inventariadas (n = 40) apresentaram DAP > 100 cm. O diâmetro da árvore não apresentou diferenças significativas entre as áreas de pastagem (DAP = 165,1 ± 30,1 cm) e floresta (DAP = 174,3 ± 51,6 cm) (Tabela 2, Teste-t, t = -0,68497; p = 0,49). Estes resultados são semelhantes aos trabalhos de Pereira et al. (2019) realizados na mesma região de estudo.

Tabela 2. Comparação das variáveis dendrométricas (média ± desvio padrão) e qualitativas das árvores monitoradas na área de pastagem e castanhal. Ramal do Boa Vista, Estrada do BEC, Óbidos-PA.

Variável	Pastagem	Castanhal	p-valor*
DAP (cm)	165,15 ± 29,36	174,3 ± 50,28	0,42
Área de Copa (cm)	301,42 ± 190,41*	525,93 ± 272,33	0,02
Índice de Forma da Copa (%)	71,25 ± 24,07*	97,5 ± 7,5	<0,00001
Distância da Castanheira mas próxima (m)	97,9 ± 78,27*	41,55 ± 26,35	0,0001
Presença de queimaduras nos troncos (%)	70,0%*	15,0%	0,0001
Rebrota de castanheira (%)	15,0%*	0,0%	0,06

Entretanto, a área média das copas das castanheiras na floresta (525,9 ± 279,4 m²) foi significativamente maior que a área de copa nas áreas de pastagem (301,4 ± 195,4) (Teste Mann-Whitney, U = 115; p = 0,02). A menor área de copa das árvores na área de pastagem se deve ao fato que as árvores de *B. excelsa* remanescentes sofrerem ao longo do tempo com constantes queimaduras como foi observado neste estudo, em que as árvores nas áreas de pastagem apresentaram um alto índice de presença de queimaduras. Adicionalmente, outros fatores como o maior impacto das tempestades e do vento nos galhos das copas, desprotegidos pela falta do dossel florestal também podem contribuir para a menor área de copa das árvores nas áreas de pastagens, assim como verificado por Bertwell et al. (2018), os quais destacaram que vento e fogo estão entre os principais responsáveis pela mortalidade de castanheiras em ambientes naturais. O que pode ser reforçado com os dados encontrados nesta pesquisa em que se verificou que nas áreas de pastagens há uma maior velocidade do vento (Tabela 1) e também um maior número de árvores com incidência de queimaduras (Tabela 2). Assim, as poucas árvores existentes nas áreas de pastagem apresentam copas incompletas, o que pode resultar em ausência ou baixa produtividade de frutos (Scoles et al.,

2016; Pereira et al., 2019). Alguns estudos de monitoramento interanuais de produção de frutos no estado do Acre (Wadt et al., 2005; Kainer et al., 2007) relacionaram positivamente a área de copa com a maior produtividade de frutos em castanheiras.

A distância entre a castanheira monitorada com a mais próxima diferiu entre as duas áreas (Teste Mann-Whitney, $U = 77$; $p = 0,001$), sendo que a área de pastagem ($97,9 \pm 80,3$ m) apresentou mais de duas vezes a distância em relação ao castanhal ($41,6 \pm 27,0$ m). (Tabela 2) A distância entre as árvores é associada indiretamente com a atividade dos polinizadores, pois quanto maior a distância entre estas árvores, menor deve ser a eficiência dos polinizadores que frequentam diariamente suas flores no período de floração. Em contraste, em plantações com alta densidade de árvores, a situação poderia ser contrária, de acordo com Cavalcante et al. (2012), quanto menor o número de árvores em uma determinada área, maior a chance dos polinizadores visitarem as árvores mais vezes, o que poderia favorecer a polinização.

Nos ambientes estudados (floresta fragmentada e pastagem), entre as razões que podem explicar esse comportamento, está o fato de que as abelhas ficam mais tempo na mesma copa, provocando maior incidência de autopolinização, o que resulta em aborto dos frutos (Wadt et al., 2015). Baseado nesses pressupostos, quanto maior a distância média entre as castanheiras monitoradas (ex. área de pastagem) piores são as condições para a polinização e, portanto, maiores dificuldades de frutificação. Ainda que as abelhas polinizadoras de *B. excelsa* são capazes de percorrer quilômetros de distância (Martins et al., 2018), Baldoni et al. (2017) no estudo de dispersão do pólen em castanheiras, evidenciou que a maior parte da polinização ocorre entre árvores vizinhas, com distâncias curtas entre elas. Destaca-se, também, que além da menor eficiência de polinização pelo maior distanciamento entre árvores, outro fator importante é o menor número de polinizadores existentes nas áreas desmatadas quando comparadas com áreas florestadas (Garibaldi et al., 2018).

A prática do fogo é comum na região de estudo para reforma de pastagem, mas não é incomum também a ocorrência de queimadas por práticas acidentais de agricultores próximos a áreas de pasto. O fogo provoca nas árvores queimadas efeitos primários (lesões e necrose dos tecidos externos e internos) e secundários (falhas fisiológicas especialmente no uso de carbono e transporte de água) que afetam tanto o tamanho como a funcionalidade do tronco e copa das árvores (Bär et al., 2019). Neste estudo, observou-se presença de queimaduras no tronco das árvores em cerca de 75% das castanheiras na área de pastagem e de 15% nas áreas de castanhal. As diferenças entre as duas áreas são altamente significativas (Teste Qui-quadrado, $p < 0,0001$). Esses resultados são semelhantes aos estudos de Pereira et al. (2019) que mostraram que 63,3% das castanheiras na área de pastagem do Ramal do Boa Vista apresentaram sinais de queimadura em seus troncos. Comparando temporalmente os dois estudos, é possível inferir que as queimadas nas árvores de *B. excelsa* da pastagem do Ramal do Boa Vista, vêm aumentando e agravando ainda mais a situação crítica dessa região em termos de impactos antrópicos, conforme alguns estudos anteriores já relataram (Scoles et al., 2016).

A rebrotação das castanheiras foi de 15% (3 árvores de um total de 20) na pastagem e inexistente no castanhal, resultado esperado pela menor incidência de perturbações nesta área. A diferença entre as duas áreas foi significativa (Teste Qui-quadrado, $p < 0,0001$). Estes resultados evidenciam que as castanheiras apresentaram uma razoável capacidade de rebrotação assim como já foi observado por Pereira et al. (2019) e Scoles & Gribel (2021) em áreas desmatadas e plantios experimentais respectivamente, confirmando que *B. excelsa* tem alta resiliência rebrotando vigorosamente após ataque de fogo, fato observado também em plantações experimentais com episódios acidentais de fogo. Não obstante esta adaptação ecológica de *B. excelsa*, se a escala da perturbação for mais alta (por maior intensidade, extensão e/ou frequência do distúrbio), a população de castanheira tem maior mortalidade e menor produção de frutos (Scoles et al., 2016).

Produção de frutos

No período de 2014 a 2016, a produção de frutos na área de pastagem foi muito menor se comparada a área de castanhal. (Figura 4). A produção média de frutos por árvore em 2016 foi

significativamente maior nas árvores localizadas na área de castanhal ($21,8 \pm 24,1$ frutos arv^{-1}) em relação as árvores na área de pastagem ($1,1 \pm 2,7$ frutos arv^{-1}) (Teste Mann-Whitney, $U = 70$; $p = 0,0002$).

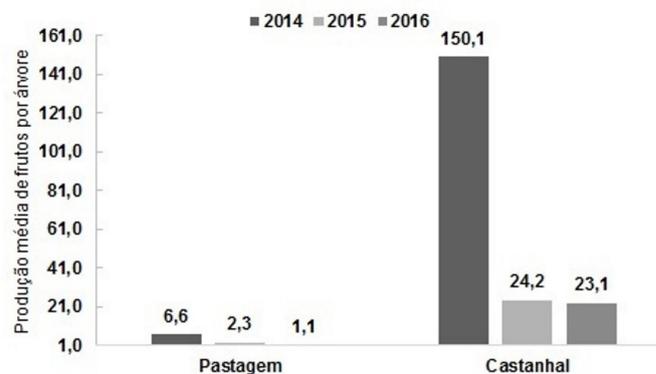


Figura 4 – Média da produção de frutos em duas áreas de estudo (pastagem e castanhal) no período de 2014 a 2016. Ramal do Boa Vista, Estrada do BEC, Óbidos-PA.

Estes resultados são semelhantes a outros estudos realizados na região (Scoles et al., 2016; Pereira et al., 2019) e se alinham com a tese de Kitamura e Muller (1984) que registraram baixa produtividade das populações de *B. excelsa* em áreas afetadas pelo desmatamento no sudeste do Pará décadas atrás. A menor produtividade nas áreas de pastagem pode estar relacionada às condições microclimáticas mais adversas nas áreas de pastagem, como por exemplo, menor umidade ambiental e edafológica assim como temperaturas máximas mais altas. Devido ao grande porte das árvores de castanheiras, a demanda de água é muito alta, assim, a menor disponibilidade hídrica no solo deve explicar parcialmente a menor produtividade destas árvores em ambientes desprotegidos da cobertura vegetal, não obstante plantios experimentais têm demonstrado que a espécie com alta resistência ao estresse hídrico (Schimpl et al., 2019).

Potenciais associações entre produção de frutos e variáveis dendrométricas e ambientais

Neste trabalho, observaram-se potenciais associações entre produção de frutos e algumas variáveis de estudo. Entre as características dendrométricas, destaca-se a área de copa, em média, maior nas castanheiras da área de floresta que na área de pastagem. Este resultado foi o esperado, pois grande parte das castanheiras localizadas na área de pastagem, possuem formas de copas incompletas e, portanto, uma área de copa menor que as castanheiras de florestas, provavelmente devido a perturbações antrópicas ou maior impacto das fortes tempestades. A associação positiva entre tamanho da copa das castanheiras e produção de frutos já foi demonstrada nos estudos de dinâmica populacional nos castanhais do Acre (Kainer et al., 2007; Kainer et al., 2014).

Na área de pastagem, os sinais de perturbação por fogo foram observados na maioria das árvores monitoradas, fato que não se observou na área de castanhal. Com isso, evidencia-se um maior grau de impacto ambiental (queimadas) nesse ambiente, comparados com um fragmento florestal próximo. Além disso, a distância mínima entre árvores foi significativamente maior na área de pastagem em relação à área de castanhal, o que poderia condicionar a eficiência da polinização feita por abelhas.

As características microclimáticas (maior temperatura, maior velocidade do vento), assim como maior incidência de fogo, maior densidade do solo e menor estoque de serapilheira sobre o solo o que reduz a conservação da umidade na área de pastagem. Adicionalmente a maior distância entre as árvores nas áreas de pastagem também pode contribuir para a menor produção de frutos porque influencia diretamente na eficiência de polinização como

demonstrado por Baldoni et al. (2017). Por último, menor tamanho das copas das castanheiras na área de pastagem influencia negativamente na produção de frutos conforme outros trabalhos já evidenciaram (Kainer et al., 2007). No estudo anterior feito na mesma região, Pereira et al. (2019) também evidenciou grandes diferenças de produção de frutos entre área florestal e área desmatada e as relacionou à maior compactação do solo e alta frequência de queimadas nas áreas de pastagem.

Conforme esperado, neste estudo, a produção de frutos na área de pastagem foi muito menor que na área de castanhal durante os três anos monitorados. Do conjunto de variáveis estudadas, algumas sobressaem como potenciais explicativas. Entre as variáveis dedndrométricas, o tamanho da copa está fortemente correlacionado com a produção de frutos, sendo que, neste trabalho, a área de copa na área de pastagem foi, em média, bem menor que na floresta. Entre os fatores ambientais, destacam-se a maior incidência de fogo na área de pastagem e, em geral, condições edafológicas e microclimáticas que causam estresse nas árvores. Além disso, a distância mínima entre árvores foi significativamente maior na área de pastagem em relação à área de castanhal, o que poderia condicionar a eficiência da polinização feita por abelhas.

Em relação ao solo, a área de pastagem apresentou os menores valores médios de umidade do solo (indicador de estresse hídrico) e os maiores valores de densidade do solo (indicador de compactação e perda de porosidade). Em contraste, a produção foi significativamente mais alta na área de castanhal que na área de pastagem o que poderia explicar indiretamente a maior produtividade das castanheiras em áreas florestadas, uma vez que, além de aporte nutricional, serve como proteção do solo contra erosão e compactação (pisoteio de animais, principalmente).

Pelo que se refere a condições microclimáticas, a área de pastagem, quando comparadas a área florestal próxima, apresentou indicadores causantes de estresse fisiológico em árvores tropicais altamente demandantes de água tais como temperatura mais elevada, maior velocidade do vento raso e baixa umidade específica do ar. Isso poderia também explicar indiretamente a interferência do microclima na produção de frutos em áreas desmatadas por fatores ligados a menor disposição da planta em investir em reprodução.

CONCLUSÃO

Neste estudo, evidenciou-se que os ambientes desmatados possuem condições microclimáticas mais adversas, densidade do solo mais elevada, menor produção, maior isolamento populacional (maiores distância entre as árvores) e maior recorrência de episódios de fogo, fatores todos estes, que somados e/ou interligados, devem inferir negativamente na capacidade produtiva de *B. excelsa*, motivo pelo qual, nestes ambientes alterados, a produção de frutos é menor que em florestas próximas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, E. J., Luizão, F., & Rodrigues, D. J. (2015). Produção de serrapilheira em florestas intactas e exploradas seletivamente no sul da Amazônia em função da área basal da vegetação e da densidade de plantas. *Acta Amazonica*, 45(2), 157-166. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392201402543>.
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711-728. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- Andrade, A. G., Tavares, S. R. L., & Coutinho, H. L. C. (2003). Contribuição da serapilheira para recuperação de áreas degradadas e para manutenção da sustentabilidade de sistemas agroecológicos. *Informe Agropecuário*, 24(220), 55-63.
- Andrade, N. L. R., Aguiar, R. G., Sanches, L., Alves, E. C. R. F., & Nogueira, J. S. (2009). Partição do saldo de radiação em áreas de floresta Amazônica e floresta de transição Amazônia-Cerrado. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 24(3), 346-355. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862009000300008>.
- Aragão, L. E. O. C., Anderson, L. O., Fonseca, M. G., Rosan, T. M., Vedovato, L. B., Wagner, F. H., Silva, C. V. J., Silva Junior, C. H. L., Arai, E., Aguiar, A. P., Barlow, J., Berenguer, E., Deeter, M. N., Domingues, L. G., Gatti, L., Gloor, M., Malhi, Y., Marengo, J. A., Miller, J. B., Phillips, O. L., & Saatchi, S. (2018). 21st

- Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. *Nature Communications*, 9(1), 536. PMID:29440640. <http://dx.doi.org/10.1038/s41467-017-02771-y>.
- Baldoni, A. B., Wadt, L. H. O., Campos, T., Silva, V. S., Azevedo, V. C. R., Mata, L. R., Botin, A. A., Mendes, N. O., Tardin, F. D., Tonini, H., Hoogerheide, E. S. S., & Sebbenn, A. M. (2017). Contemporary pollen and seed dispersal in natural populations of *Bertholletia excelsa* (Bonpl.). *Genetics and Molecular Research*, 16(3), 1-14. <http://dx.doi.org/10.4238/gmr16039756>.
- Bär, A., Michaletz, T., & Mayr, S. (2019). Fire effects on tree physiology. *The New Phytologist*, 223(4), 1728-1741. PMID:31032970. <http://dx.doi.org/10.1111/nph.15871>.
- Berenguer, E., Armenteras, D., Lees, A. C., Fearnside, P. M., Smith, C. C., Alencar, A., Almeida, C., Aragão, L., Barlow, J., Bilbao, B., Brando, P., Bynoe, P., Finer, M., Flores, B. M., Jenkins, C. N., Silva Junior, C. H. L., Souza, C., García-Villacorta, R., & Nascimento, N. (2021). *Drivers and ecological impacts of deforestation and forest degradation: report*. New York: United Nations Sustainable Development Solutions Network. Recuperado em 26 de maio de 2022, de <https://www.theamazonwewant.org/amazon-assessment-report-2021/>
- Bertwell, T. D., Kainer, K. A., Cropper Junior, W. P., Staudhammer, C. L., & Wadt, L. H. O. (2018). Are Brazil nut populations threatened by fruit harvest? *Biotropica*, 50(1), 50-59. <http://dx.doi.org/10.1111/btp.12505>.
- Biudes, M. S., Nogueira, J. S., Dalmagro, H. J., & Machado, N. G. (2012). Mudança no microclima provocada pela conversão de uma floresta de cambará em pastagem no norte do Pantanal. *Revista de Ciências Agro-Ambientais*, 10, 61-68.
- Cavalcante, M. C., Oliveira, F. F., Maués, M. M., & Freitas, B. M. (2012). Pollination requirements and the foraging behavior of potential pollinators of cultivated Brazil nut (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) trees in Central Amazon Rainforest. *Psyche*, 2012, 978019.
- Cherubin, M. R., Eitelwein, M. T., Fabbris, C., Weirich, S. W., Silva, R. F., Silva, V. R., & Basso, C. J. (2015). Qualidade física, química e biológica de um latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39(2), 615-625. <http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbc20140462>.
- Dalben, A. D., & Osaki, F. (2008). Atributos físicos de um Cambissolo Háplico sob floresta nativa e floresta plantada de *Pinus taeda*. *Revista Acadêmica. Ciências Agrárias e Ambientais*, 6(1), 29-37. <https://doi.org/10.7213/cienciaanimal.v6i1.10322>.
- Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias – EMBRAPA. (2017). *Manual de métodos de análise de solo* (3ª ed.). Brasília: Embrapa Solos.
- Erfanian, A., Wang, G., & Fomenko, L. (2017). Unprecedented drought over tropical South America in 2016: significantly under-predicted by tropical SST. *Scientific Reports*, 7(1), 5811. PMID:28724896. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-05373-2>.
- Falcão, R. M., Gavani, E., Lima, N. G. B., & Cruz, B. R.P. (2010). Análise da variação da umidade relativa do ar no Pico da Bandeira, Parque Nacional Alto Caparaó, Brasil. In *VI Seminário Latino-Americano de Geografia Física e II Seminário Ibero-Americano de Geografia Física*. Coimbra: Universidade de Coimbra.
- Fearnside, P. M. (2006). Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. *Acta Amazonica*, 36(3), 395-400. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672006000300018>.
- Fisch, G., Lean, J., Wright, I. R., & Nobre, C. A. (1997). Simulações climáticas do efeito do desmatamento na região Amazônica: estudo de um caso em Rondônia. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 12(1), 33-48. Recuperado em 26 de maio de 2022, de <http://mtc-m16b.sid.inpe.br>
- Garibaldi, L. A., Cunningham, S. A., Aize, M. A., Packer, L., & Harder, L. D. (2018). The potential for insect pollinators to alleviate global pollination deficits and enhance yields of Fruit and seed crops. In D. W. Roubik (Ed.), *The pollination of cultivated plants. a compendium for practitioners* (Vol. 1, pp. 35-53). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Gotelli, N. J., & Ellison, A. M. (2011). *Princípios de estatística em ecologia*. Porto Alegre: The Art of Medication.
- Homma, A. K. O., Carvalho, R. A., Ferreira, C. A. P., & Nascimento, J. D. N. (2000). *A destruição de recursos naturais: o caso da castanha-do-pará no sudeste paraense* (Documentos, No. 32). Belém: Embrapa Amazônia Oriental.
- Huber, R., & Souza, B. S. P. (2013). Estudo da fragilidade do relevo-solo através da resistência à penetração de estaca em Argissolos e Neossolos. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 14, 269-277. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v14i3.322>.
- Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. (2021). *Dados históricos das estações meteorológicas*. Recuperado em 20 de setembro de 2022, de <https://bdmep.inmet.gov.br>
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. (2021). *Desflorestamento nos municípios*. Recuperado em 26 de maio de 2022, de <http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php>

- Iori, P., Dias Júnior, M. S., & Silva, R. B. (2012). Resistência do solo à penetração e ao cisalhamento em diversos usos do solo em áreas de preservação permanente. *Bioscience Journal*, 28(1), 185-195. Recuperado em 26 de maio de 2022, de <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/13196>
- Kainer, K. A., Wadt, L. H. O., & Staudhammer, C. L. (2007). Explaining variation in Brazil nut fruit production. *Forest Ecology and Management*, 250(3), 244-255. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2007.05.024>.
- Kainer, K. A., Wadt, L. H. O., & Staudhammer, C. L. (2014). Testing a silvicultural recommendation: Brazil nut responses 10 years after liana cutting. *Journal of Applied Ecology*, 51(3), 655-663. <http://dx.doi.org/10.1111/1365-2664.12231>.
- Kitamura, P. C., & Muller, C. H. (1984). *Castanhais nativos de Marabá-Pa: fatores de depredação e bases para a sua preservação* (Documento, No. 30). Belém: Embrapa-CPATU.
- Lawrence, D., & Vandecar, K. (2015). Effects of tropical deforestation on climate and agriculture. *Nature Climate Change*, 5(1), 27-36. <http://dx.doi.org/10.1038/nclimate2430>.
- Lilliefors, H. (1967). On the Kolmogorov-Smirnov Test for normality with mean and variance unknown. *Journal of the American Statistical Association*, 318(68), 399-402. <http://dx.doi.org/10.1080/01621459.1967.10482916>.
- Lopes, E. S., Oliveira, D., Rodrigues, C. K., & Drinko, C. H. (2015). Compactação de um solo submetido ao tráfego do harvester e do *forwarder* na colheita de madeira. *Floresta e Ambiente*, 22(2), 223-230. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.046413>.
- Luizão, F. J. (2007). Ciclos de nutrientes na Amazônia: respostas às mudanças ambientais e climáticas. *Ciência e Cultura*, 59, 31-35. Recuperado em 26 de maio de 2022, de <http://cienciaecultura.bvs.br>
- Luizão, F. J., Fearnside, P. M., Cerri, C. E. P., & Lehmann, J. (2009). The maintenance of soil fertility in Amazonian managed systems. In M. Keller, P. S. Dias & J. Gash (Eds.), *Amazonia and global change* (pp. 315-340). Washington: American Geophysical Union. <http://dx.doi.org/10.1029/2008GM000742>.
- Machado, M. R., Piña Rodrigues, F. C. M., & Pereira, M. G. (2008). Produção de serapilheira como bioindicador de recuperação em plantio adensado de revegetação. *Revista Árvore*, 32(1), 143-151. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622008000100016>.
- Marengo, J. A., Souza Junior, C. M., Thonicke, K., Burton, C., Halladay, K., Betts, R. A., Alves, L. M., & Soares, W. R. (2018). Changes in climate and land use over the Amazon region: current and future variability and trends. *Frontiers of Earth Science*, 6, 228. <http://dx.doi.org/10.3389/feart.2018.00228>.
- Martins, K., Santos, R. S. O., Campos, T., & Wadt, L. H. O. (2018). Pollen and seed dispersal of Brazil nut trees in the southwestern Brazilian Amazon. *Acta Amazonica*, 48(3), 217-223. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392201800021>.
- Maués, M. M., Cavalcante, M. C., Santos, A. C., & Krug, C. (2018). Brazil nut in the Amazon. In D. W. Roubik (Ed.), *The pollination of cultivated plants: a compendium for practitioners* (pp. 220-225). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Mori, S. A., & Prance, G. T. (1990). Taxonomy, ecology, and economy botany of Brazil nut (*Bertholletia excelsa* Humb. e Bonpl.: lecythidaceae). *Advances in Economic Botany*, 8, 130-150.
- Mützenber, D. M. S. (2016). *Efeito da remoção de uma floresta de transição Amazônia-Cerrado no microclima* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.
- Nascimento, J. S. M., Aguiar, R. G., Webler, A. D., Fischer, G. R., Aguiar, L. J. G., & Ruezzen, C. B. (2016). Variáveis meteorológicas em áreas de floresta e pastagem na Amazônia Ocidental em anos de eventos extremos. *Ciência e Natura*, 38, 217-224. <http://dx.doi.org/10.5902/2179460X20185>.
- Nobre, A. D. (2014). *O futuro climático da Amazônia: relatório de avaliação científica*. São José dos Campos: INPE & INPA.
- Oliveira, B. S., Carvalho, M. A. C., Lange, A., Dallacort, R., & Silva, V. P. (2015). Resistência do solo à penetração em áreas sob o sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, na região amazônica. *Enciclopédia Biosfera*, 11(22), 3678-3689. http://dx.doi.org/10.18677/Enciclopedia_Biosfera_2015_255.
- Panachuki, E., Bertol, I., Alves Sobrinho, T., Vitorino, A. C. T., Souza, C. M. A., & Urchei, M. A. (2010). Rugosidade da superfície do solo sob diferentes sistemas de manejo e influenciada por chuva artificial. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34(2), 443-451. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000200018>.
- Pastana, D. N. B., Modena, E. S., Wadt, L. H. O., Neves, E. S., Martorano, L. G., Lira-Guedes, A. C., Souza, R. L. F., Costa, F. F., Batista, A. P. B., & Guedes, M. C. (2021). Strong El Niño reduces fruit production of Brazil-nut trees in the eastern Amazon. *Acta Amazonica*, 51(3), 270-279. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392202003702>.

- Pereira, A. J., Aragón, S., Beldini, T., & Scoles, R. (2019). Produção de flores e frutos de *Bertholletia excelsa* em ambientes florestais e desmatados do Noroeste do Pará, Brasil. *Biota Amazônia*, 9(3), 1-8. <http://dx.doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v9n3p1-8>.
- Sampaio, G., Nobre, C., Costa, M. H., Satyamurty, P., Soares-Filho, B. S., & Cardoso, M. (2007). Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. *Geophysical Research Letters*, 34(17), L17709. <http://dx.doi.org/10.1029/2007GL030612>.
- Santos, A. C., Silva, I. F., Lima, J. R. S., Andrade, A. P., & Cavalcante, V. R. (2001). Gramíneas e leguminosas na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características químicas de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25(4), 1063-1071. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832001000400028>.
- Santos, C. A. C., Wanderley, R. L. N., Araújo, A. L., & Bezerra, B. G. (2014). Obtenção do saldo de radiação em áreas de pastagem e Floresta na Amazônia (estação seca) através do sensor MODIS. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 29(3), 420-432. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620130591>.
- Schimpl, F. C., Ferreira, M. J., Jaquettia, K. R., Martins, S. C. V., & Goncalves, J. F. C. (2019). Physiological responses of young Brazil nut (*Bertholletia excelsa*) plants to drought stress and subsequent rewetting. *Flora (Jena)*, 252, 10-17. <http://dx.doi.org/10.1016/j.flora.2019.02.001>.
- Scoles, R., & Gribel, R. (2012). The regeneration of Brazil nut trees in relation to nut harvest intensity in the Trombetas River valley of northern Amazonia, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 265, 71-81. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2011.10.027>.
- Scoles, R., & Gribel, R. (2015). Human influence on the Regeneration of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*, Lecythidaceae) at Capanã Grande Lake, Manicoré, Amazonas, Brazil. *Human Ecology*, 43(6), 843-854. <http://dx.doi.org/10.1007/s10745-015-9795-4>.
- Scoles, R., & Gribel, R. (2021). Growth and survival over ten years of Brazil nut trees planted in three anthropogenic habitats in northern Amazonia. *Acta Amazonica*, 5(1), 20-29. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392202001462>.
- Scoles, R., Canto, M. S., Almeida, R. G., & Vieira, D. P. (2016). Sobrevivência e frutificação de *Bertholletia excelsa* Bonpl. em áreas desmatadas em Oriximiná, Pará. *Floresta e Ambiente*, 23(4), 555-564. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.132015>.
- Silva, C. S., Silva, L. M., Wadt, L. H. O., Miqueloni, D. P., Silva, K. E., & Pereira, M. G. (2021). Soil classes and properties explain the occurrence and fruit production of Brazil nut. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 45, e0200188. <http://dx.doi.org/10.36783/18069657rbcS20210001>.
- Verweij, P. A., Schouten, M., Beukering, P. V., Triana, J., Leeuw, K. V. D., & Hess, S. (2009). *Keeping the Amazon standing: a matter of values*. Netherlands: WWF-Netherlands.
- Wadt, L. H. O., Baldoni, A. B., Silva, V. S., Campos, T., Martins, K., Azevedo, V. C. R., Mata, L. R., Botin, A. A., Hoogerheide, E. S. S., Tonini, H., & Sebbenn, A. M. (2015). Mating system variation among populations, individuals and within and among fruits in *Bertholletia excelsa*. *Silvae Genetica*, 64(1-6), 248-259. <http://dx.doi.org/10.1515/sg-2015-0023>.
- Wadt, L. H. O., Kainer, K. A., & Gomes-Silva, D. A. P. (2005). Population structure and nut yield of a *Bertholletia excelsa* stand in Southwestern Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 211(3), 371-384. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2005.02.061>.
- Wadt, L. H. O., Kainer, K. A., Staudhammer, C. L., & Serrano, R. O. P. (2008). Sustainable forest use in Brazilian extractive reserves: natural regeneration of Brazil nut in exploited populations. *Biological Conservation*, 141(1), 332-346. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2007.10.007>.

Contribuição dos Autores: GSSC: Conceituação, curadoria dos dados, análise formal, investigação, metodologia, escrita-primeira redação. RS: Conceituação, análise formal, investigação, metodologia, validação, escrita-revisão e edição; SA: análise formal, metodologia, validação, escrita-revisão e edição.