

Produção de flores e frutos de *Bertholletia excelsa* Bonpl. em ambientes florestais e desmatados do Noroeste do Pará, Brasil

Amauri José Pereira¹, Susan Aragón², Troy Patrick Beldini³, Ricardo Scoles⁴

1. Biólogo (Universidade Federal do Pará, Brasil). Mestre em Biociências (Universidade Federal do Oeste do Pará, Brasil).

pereira.amaurijose@gmail.com

<http://lattes.cnpq.br/4382515767732952>

<http://orcid.org/0000-0001-5452-2099>

2. Bióloga (Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Peru). Doutora em Geografia (Clark University, Estados Unidos). Pós-doutoranda do PPGRNA da Universidade Federal do Oeste do Pará, Brasil.

saragongeo@yahoo.com

<http://lattes.cnpq.br/8649829404123806>

<http://orcid.org/0000-0002-7364-6094>

3. Doutor em Solos e Nutrição de Plantas (Auburn University, Estados Unidos). Professor da Universidade Federal do Oeste do Pará, Brasil.

tpbeldini@yahoo.com

<http://lattes.cnpq.br/4839442418020669>

<http://orcid.org/0000-0001-8024-8361>

4. Biólogo (Universitat de Barcelona, Espanha). Doutor em Biologia (Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Brasil). Professor da Universidade Federal do Oeste do Pará, Brasil.

ricardscoles@yahoo.es

<http://lattes.cnpq.br/2493446470913189>

<http://orcid.org/0000-0001-8483-6523>

RESUMO

A castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl) é uma espécie muito estudada principalmente no seu habitat natural, a floresta ombrófila densa, mas carece-se de informações mais precisas sobre a biologia destas árvores nas áreas desmatadas que auxiliem sua conservação e manejo. O objetivo desta pesquisa foi comparar a floração e a frutificação das castanheiras em duas áreas com diferente cobertura vegetal (florestada e desmatada) e relacionar com possíveis fatores ambientais explicativos. Foram monitoradas 120 castanheiras com DAP > 40 cm em dois sítios: Boa Vista (Óbidos/PA) e Nova Betel (Oriximiná/PA), no Noroeste do Pará. De cada árvore, coletaram-se as coordenadas geográficas, dados dendrométricos e espaciais, avaliou-se o estado vital e reprodutivo, marcas de perturbação e rebrotamento. A contagem de flores mostrou uma floração quatro vezes maior nas áreas florestais. A produção média de frutos foi baixíssima nas áreas desmatadas, mais de vinte vezes inferior a estimativa feita nas áreas florestais. Os solos das áreas desmatadas registraram condições mais altas de compactação e fertilidade que os das áreas florestais. Entre as variáveis não edafológicas, percentual de sinais de fogo das árvores foi a única que apresentou diferenças significativas entre as duas áreas (maior nas áreas desmatadas). Concluiu-se que a compactação do solo e fogo poderia explicar parcialmente a baixa produção de frutos das castanheiras em áreas desmatadas sem descartar outros fatores ambientais não avaliados nesta pesquisa. Dada a importância ecológica das castanheiras e o mandato de lei para sua conservação, sugerem-se medidas urgentes de manejo e conservação do solo nas áreas de pastagem para garantir a conservação das castanheiras nessa região assim como de reflorestamento para recompor a reserva legal nessas áreas desmatadas com ocorrência de castanheiras.

Palavras-chave: castanheira, compactação do solo, fogo.

Flowering and fruiting of *Bertholletia excelsa* Bonpl. in forested and deforested areas, northwest Pará, Brazil

ABSTRACT

The Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa* Bonpl) is a well-studied species, and most studies conducted on it have been done in its natural habitat, dense ombrophilous forest. However, there is a lack of information about the biology of this species in deforested areas, and such information would be useful for management and conservation. The objective of this research was to compare the flowering and fruiting of Brazil nut trees in two areas with different vegetation cover (forested and deforested) and to relate this to possible explanatory environmental factors. A total of 120 Brazil nut trees with DBH > 40 cm were monitored at two sites: Boa Vista (Óbidos/PA) and Novo Betel (Oriximiná/PA), in northwestern Pará State. For each stem the following measures were recorded: geographic coordinates, dendrometric and spatial data, stem state and reproductive capacity, and signs of perturbation and regrowth. Flower count showed a flowering rate 4 times greater in the forested areas than in the deforested areas, and extremely low incidence of fruiting in the deforested areas, more than 20 times lower than the estimate for the forested areas. The soils in the deforested areas had higher levels of compaction and fertility than in the forested areas. Among the non-edaphic variables, the percentage of fire damage on the stems had significant differences between the sites and was greater in the deforested areas. It is concluded that soil compaction and fire can partially explain the low fruit production of Brazil nut trees in deforested areas without ruling out other environmental factors not evaluated in this research. Since Brazil-nut trees may provide ecological services on the deforested landscapes and are protected by law, urgent soil management and conservation measures are suggested to be undertaken in the deforested pasture areas in order to guarantee the conservation of these trees in the region, together with reforestation measures in the adjacent legal reserve areas.

Keywords: Brazil nut tree; soil compaction; fire.

Introdução

Nas últimas quatro décadas, a Amazônia transformou-se numa nova fronteira agropecuária com a expansão de diferentes usos da terra que promoveu uma intensa perda da cobertura vegetal em extensas áreas do sul e leste da Amazônia. Desde 1970, 18% da área florestal original já foi desmatada na Amazônia Legal (INPE, 2016). Na maioria dos casos, estas áreas florestais foram substituídas por campos de pastagens e/ou agricultura intensiva (FEARNSIDE, 2010; DAVIDSON et al., 2012).

Esse processo intensificou-se nas margens de estradas e

ramais, facilitando o acesso a lugares preservados (FERREIRA et al., 2001). De fato, a correlação entre taxa de desmatamento e estradas na Amazônia é muito forte, aumentando exponencialmente quando diminui a distância das florestas com as estradas (FERREIRA et al., 2001; NEPSTAD et al., 2001).

Apesar de protegida por lei (BRASIL, 1994; 2006), a árvore de castanheira sofre com o corte ilegal para fins madeireiros e com queimadas repetidas nas áreas onde a floresta foi substituída por pastagens, como pode ser visto no Noroeste do Pará (SCOLES et al., 2016) e na região Sudeste do Pará, no município

de Marabá (HOMMA et al., 2000). O desmatamento desenfreado produz a diminuição preocupante das populações de castanheiras principalmente no Pará, um estado que, em termos históricos, teve sempre altas taxas de desmatamento (INPE, 2016).

O desmatamento gera numerosos efeitos negativos em termos ambientais como: erosão e compactação do solo, exaustão dos nutrientes, aumento da temperatura ambiental, diminuição da umidade ambiental e mudança nos balanços de energia e água do sistema (LUIZÃO et al., 2007; PHILLIPS et al., 2009; ARAÚJO et al., 2011; DAVIDSON et al., 2012; NOBRE, 2014). A situação biológica das árvores remanescentes em áreas desmatadas é claramente desfavorável, especialmente para árvores de grande porte como a castanheira, com altas demandas de água (NOBRE, 2014).

Numa área desmatada, desprotegida de vegetação, o ar aquece mais rápido, o solo fica mais exposto, seco, compacto e com alto risco de erosão (NEPSTAD et al., 2001; PHILLIPS et al., 2009; PHILLIPS et al., 2010). Além disso, a ciclagem de nutrientes do ecossistema fica comprometida pela diminuição da camada de liteira, aumento da lixiviação e diminuição da atividade dos decompositores pela redução da umidade do solo (LUIZÃO et al., 2007; FEARNSTIDE, 2010; DAVIDSON et al., 2012).

A região Amazônica apresenta grande potencial para a exploração de produtos extrativos não madeireiros (frutos, sementes, resinas, óleos, etc.). As sementes comestíveis da castanheira (as castanhas-do-pará) são o segundo produto florestal não madeireiro mais importante para a economia da região amazônica, perdendo em importância monetária apenas para o açaí (*Euterpe spp*) (IBGE, 2016). Na região do Oeste do Pará, a Castanha-do-pará (*Bertholletia excelsa* Bonpl) é considerada o produto florestal não madeireiro mais importante em termos econômicos (IDESP, 2011).

A castanheira é a única espécie do gênero *Bertholletia* da família de Lecythidaceae, grupo taxonômico dominado por árvores tropicais neotropicais (MORI; PRANCE, 1990). *B. excelsa* é uma árvore de grande porte que ocorre em florestas de terra firme e se distribui de forma desigual por toda a região Amazônica em áreas florestais de clima tropical úmido (MÜLLER et al., 1980; MORI; PRANCE, 1990).

A fertilização da castanheira ocorre predominantemente entre indivíduos diferentes (reprodução alógama), havendo mecanismos de autoincompatibilidade genética (SUJII et al., 2015). A flor é estruturada com uma câmara constituída de estaminódios congruentes que criam uma estrutura robusta (lígula), que esconde os estames e o estigma, essa característica restringe e seleciona os polinizadores em relação ao seu vigor físico e seu tamanho. Seus polinizadores são abelhas solitárias que pertencem à família Apidae, do gênero *Bombus* (Bombini), *Centris* e *Epicharis* (Centridini), *Eulaema* (Euglosini) e *Xylocopa* (Xylocopini) (MORI et al., 1978; MULLER et al., 1980; NELSON et al., 1985; MAUÉS, 2002; SANTOS; ABSY, 2010; CAVALCANTE et al., 2012).

O fruto da castanheira é constituído por um ouriço lenhoso do tipo arredondado que pesa entre 200 g a 1,5 kg; contem de 12 a 25 sementes, que pesam de 4 a 10 g cada amêndoa (MORI; PRANCE, 1990). Os ouriços não se abrem espontaneamente necessitando de agentes externos para que essa ação ocorra (MORI; PRANCE, 1990). O amadurecimento dos frutos dura 14 meses. O fruto cai maduro durante a estação chuvosa.

O presente estudo teve como objetivo comparar a floração e a frutificação das árvores de castanheiras em áreas desmatadas e florestais localizadas nos municípios de Oriximiná e Óbidos, Pará, assim como estudar variáveis ambientais que possam explicar a baixa produção de castanheiras observadas

em áreas desmatadas. Entre estas estudaram os fatores físicos do solo (compactação, densidade e umidade); fatores químicos do solo (pH em água, carbono, macronutrientes, capacidade de troca de cátions, saturação de alumínio, matéria orgânica). O fenômeno de rebrotação e observação de queimaduras nas árvores foram considerados indicadores de perturbação antrópica. Em definitiva, este estudo alveja contribuir a desvendar os diferentes fatores que podem estar atuando na baixa produção e declínio dos indivíduos de *B. excelsa* em áreas desmatadas.

Materiais e Métodos

Área de estudo

A pesquisa foi realizada na BR-163 conhecida como estrada do BEC (Batalhão de Engenharia e Construção), região pertencente aos municípios de Oriximiná e Óbidos, Pará. A estrada é toda de chão e inicia seu trajeto em direção setentrional na confluência das rodovias PA-439 e PA-254, no município de Oriximiná-PA, (01°34'52,8" S, 055°44'05,2" W). A coleta de dados das castanheiras foi realizada em dois sítios de propriedade particular situados na Estrada do BEC: Nova Betel (Oriximiná-PA) e Boa Vista (Óbidos-PA) (Figura 1).

Segundo informantes locais, Nova Betel foi desmatada na década de 1980, e Boa Vista na década de 2000, o que significa que ambas as áreas se diferenciam pelo número de anos em que ficaram desmatadas. Além disso, o sítio de Boa Vista tem atividade pecuária presente na área (com uso frequente do fogo como renovador do pasto), no entanto o sítio de Nova Betel tem sua área desmatada em desuso atualmente.

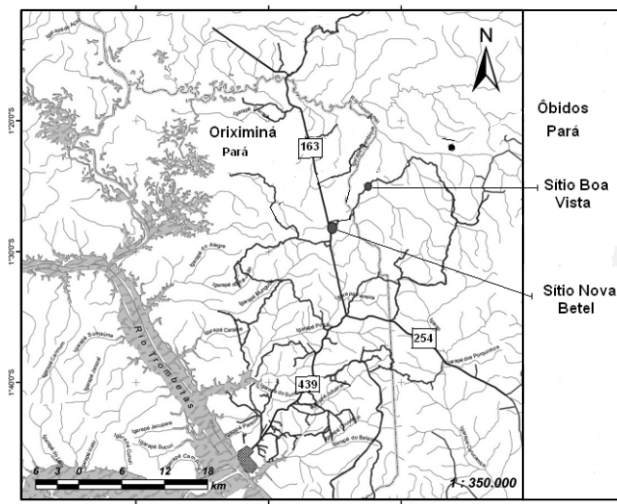


Figura 1. Área de estudo (Estrada do BEC) com a localização dos sítios de Nova Betel e Boa Vista. Mapa adaptado de Renato Glauber (SCOLES et al., 2016). / Figure 1. Study area (BEC Road) with the location of study sites of Nova Betel and Boa Vista. Map adapted from Renato Glauber (SCOLES et al., 2016).

Coleta de dados

Foram medidas 60 árvores em cada sítio, 30 por ambiente área desmatada e florestal, somando um total de 120 árvores monitoradas. As árvores foram selecionadas ao acaso, com uma distância mínima entre as castanheiras de 10 m. Todas as árvores selecionadas tinham evidências de floração e/ou frutificação. Para cada árvore foram feitas as seguintes ações, observações e medições: 1) emplacamento (código, numeração); 2) medição das coordenadas geográficas (latitude, longitude); 3) Circunferência à Altura do Peito (CAP, m), 1,3 m acima do solo; 4) Índice de forma da copa (*ic*): a) copa inteira, 1; b) $\frac{3}{4}$ partes de copa, 0,75; c) metade da copa, 0,5; d) uma $\frac{1}{4}$ parte da copa, 0,25; e) sem copa 5) medição da projeção de dois galhos da copa (90 graus, um do outro) (m), raios da área elíptica da copa (r_1 e r_2); 6) contagem de frutos (número de frutos/árvore); e flores no chão (número de flores /árvore); 7) distância de árvore de castanheira (m) mais próxima; 8) distância da borda de floresta (m); 9) evidências de perturbação (queimaduras,

ocorrência de rebrotação). Todas as medições e/ou observações foram registradas nos dois ambientes a exceção da oitava (8ª) variável na ordem supracitada.

Coleta das amostras de solo e mensuração da compactação

Foram coletadas 40 amostras de solo. O ponto de coleta foi determinado a 10 m metros de distância das árvores monitoradas em direção cardinal variável e aleatória. As amostras foram extraídas nas profundidades de 0-40 cm, com uso de trado holandês. Estas amostras foram misturadas com ajuda de balde e pá de jardineiro até ficarem bem homogêneas. As amostras foram analisadas pelo laboratório da Embrapa Amazônia Oriental (Belém) para análise de fertilidade e granulometria seguindo os métodos de EMBRAPA, (2011).

A coleta do solo para quantificar a umidade e densidade foi realizada nos mesmos pontos, nas profundidades 0-40 cm. As amostras destinadas para cálculo da umidade foram pesadas em campo com uma balança de precisão. Para densidade do solo foi usado um anel cilíndrico com volume conhecido. Após isso, as amostras de solo foram secas a 110°C por 50 minutos, com uso de estufa de marca Nova Técnica NT514, com aquecimento mínimo de 50° C e máximo de 240° C. O processo de secagem e pesagem foi realizado no Laboratório de química do campus universitário de Oriximiná (UFOPA).

As coletas de dados para mensuração da compactação do solo realizaram-se nos mesmos pontos que as amostras de solo (n=40). A penetração máxima foi de 60 cm de profundidade utilizando penetrômetro eletrônico (Beutler et al., 2007) cedido pela Embrapa Médio Amazonas (Santarém-PA).

Monitoramento fenológico reprodutivo

Nos dois sítios, as flores caídas no chão no dia de visita foram contadas no ápice da floração a cada semana de novembro/2014 a março/2015, totalizando 20 visitas, numa área equivalente à projeção da área da copa no chão. A diferenciação das flores que caíam no chão no dia da visita para as que caíram anteriormente foi feita pela coloração, tendo as caídas do mesmo dia uma coloração amarela esbranquiçada, enquanto as do dia anterior um amarelo ferrugem. Os frutos caídos no chão também foram contados de janeiro/2015 a maio de 2015, totalizando 20 visitas.

Análise de dados

Cálculos dendrométricos

O Diâmetro Altura do Peito (DAP) foi calculado a partir da circunferência medida em campo ($DAP = CAP/\pi$). Por sua vez, conforme metodologia de Scoles e Gribel (2011, 2012, 2015), a área de copa foi calculada multiplicando a superfície elíptica da coroa por um índice de forma de copa. Onde os galhos principais (r_1 e r_2) foram considerados os raios da elipse, (Equação 1).

$$\text{Área de copa} = ic * [\pi * (r_1 * r_2)] \quad (\text{Eq. 1})$$

Análise físico-química do solo

As amostras de solo foram secas e passadas em peneira fina de 2 mm de diâmetro. As partículas primárias foram divididas em três grupos de tamanho: areia (2,00-0,05 mm), silte (0,05-0,002 mm) e argila (< 0,002 mm) para o posterior cálculo das proporções granulométricas seguindo a metodologia de EMBRAPA (2011). As variáveis químicas analisadas foram: pH em água, carbono orgânico (matéria orgânica-M.O.), nutrientes (nitrogênio, cálcio, potássio, fósforo, magnésio), e alumínio trocável. Como principais variáveis mensuráveis da fertilidade do solo foi usada a Capacidade de Troca de Cátions (CTC) efetiva (somatório das concentrações de cátions trocáveis no solo) e a Saturação por bases (%) (EMBRAPA, 2011). Para calcular a

percentagem de umidade do solo em base seca foi utilizado a fórmula $Ug = (Mu - Ms) / Ms \times 100$. Onde: Ug é o conteúdo gravimétrico de água no solo (% de massa), Mu é a massa úmida da amostra (g), e Ms é a massa seca da amostra (g).

Testes estatísticos

Efetuar-se estatística descritiva das variáveis quantitativas estudadas em cada ambiente (área desmatada e área de floresta secundária). Em seguida, testou-se a normalidade das amostras com teste de Kolmogorov-Smirnov/Lilliefors (LILLIEFORS, 1967). As variáveis de estudos foram comparadas nos dois ambientes com uso de testes estatísticos de comparações de médias (teste t ou Mann Whitney dependendo do resultado do teste de normalidade). Além disso, analisaram-se correlações entre variáveis produtivas (flores e frutos) e possíveis variáveis explicativas (diâmetro do tronco, área de copa, distância mínima entre árvores e distância com borda de floresta). Para as variáveis binárias de observação (sinais de fogo, rebrotação), usou-se teste Qui-quadrado.

Para detectar os fatores que influenciam na produção de flores e frutos foram feitas regressões múltiplas e simples entre as duas variáveis dependentes do estudo (frutos e flores) e as variáveis independentes (DAP, área de copa). Estas regressões foram feitas usando os dados de todas as castanheiras monitoradas em cada ambiente a exceção da regressão com a variável de distância árvore-borda do castanhal que foi feita unicamente no ambiente desmatado. Quando alguma variável não cumpria normalidade, usou-se o teste de correlação de Spearman.

Resultados

Estrutura populacional e dendrometria

Das árvores monitoradas, 115 indivíduos apresentaram DAP > 1,0 m (95,8%), e 5 árvores DAP < 1,0 m (4,2%). A estrutura populacional de castanheiras evidencia um envelhecimento dessas populações com mais de 50% das árvores com DAP entre 1,3 e 2,0 m. Observa-se também que a grande maioria das castanheiras estão no intervalo contínuo de 1,0 a 2,2 m de DAP (89,2 %). O tamanho das árvores foi similar nos dois sítios, e, em cada sítio, não havendo diferenças significativas entre os dois ambientes.

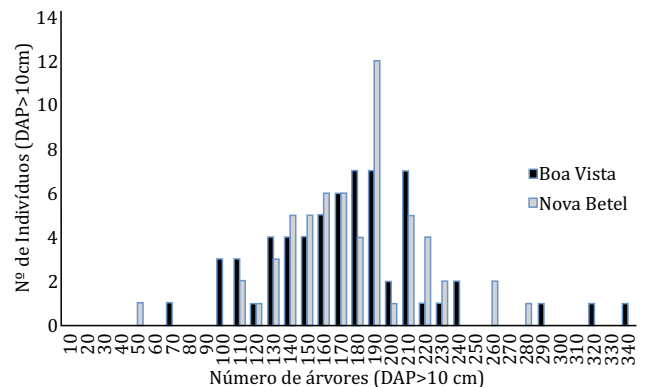


Figura 2. Distribuição de classes diamétricas das castanheiras em intervalos de 10 cm de DAP em Boa Vista (colunas pretas) e Nova Betel (colunas cinzas), Estrada do BEC, Noroeste do Pará. / Figure 2. Diametric distribution of Brazil nut trees in 10 cm DBH size class intervals at Boa Vista (black bars) and Nova Betel (gray bars), BEC Road, Northwest of Pará.

Distância entre castanheiras e da borda da floresta

No Boa Vista as distâncias mínimas entre castanheiras foi significativamente mais alta (teste t, $t=2,0$, $p=0,01$) na área aberta (média de $35,8 \pm 26,5$ m) que na área florestal (média de $21,4 \pm 13,8$ m) (tabela 1). Na Nova Betel as diferenças não foram significativas (área aberta: $33,4 \pm 23,5$ m; área florestal: $29,7 \pm 19,4$ m) (Tabela 1). Por último, a distância das árvores de castanheira com a borda de floresta foi em média maior no sítio de Boa Vista (41,6 m), do que no sítio de Nova Betel (28,5 m) (Tabela 1).

Tabela 1. Comparação das variáveis químicas (matéria orgânica, pH e fertilidade) e físicas do solo e morfométricas das castanheiras entre área aberta e florestal nos sítios Boa Vista e Nova Betel, Estrada do BEC, Noroeste do Pará. / **Table 1.** Comparison of soil chemical (organic matter, pH and fertility) and physical variables, and morphometric measurements between open and forested area in Boa Vista and Nova Betel, BEC Road, Northwest of Pará.

| | Sítio Boa Vista | | Sítio Nova Betel | |
|---|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| | Área aberta | Floresta secundária | Área aberta | Floresta secundária |
| DAP (m) | 1,7±0,34 (2,35; 0,91) a | 1,7±0,6 (3,37; 0,63) a | 1,7±0,4 (2,55; 1,01) c | 1,6±0,3 (2,74; 0,46) c |
| Área da Copa (m ²) | 554,9 ± 291,6 (1182,31; 27,45) a | 524,1 ± 275,7 (994,1; 16,3) a | 588,3 ± 278,5 (1133,4; 84,1) c | 580,0 ± 264,5 (1104,9; 142,4) c |
| Distância mínima entre castanheiras (m) | 35,8 ± 26,4 (3; 80) a | 21,4 ± 13,7 (5; 60) b | 33,4 ± 23,4 (8; 116) c | 29,6 ± 19,3 (6; 100) c |
| Distância mínima com a floresta (m) | 41,6 ± 33,9 (5; 150) a | -- a | 28,7 ± 35,1 (5; 168) c | -- c |
| Umidade (%) | 49,1 ± 24,2 (97,4; 20) a | 47,1 ± 42,1 (134; 4) a | 34,6 ± 23,6 (77; 8) c | 43,1 ± 15,4 (72; 20) c |
| Concentração de areia total (g/Kg) | 600,2 ± 119(775; 388) a | 666,4 ± 26,9(703; 632) a | 694,8 ± 68,5(821; 594) c | 593,3 ± 179,7(752; 328) c |
| Concentração de argila total (g/Kg) | 154 ± 26,7 (200; 120) a | 190 ± 31,6 (240; 140) b | 170 ± 64,1 (240; 20) c | 128 ± 42,3 (220; 60) c |
| Matéria orgânica (g/Kg) | 19,1 ± 7,5 (38,3; 12,4) a | 19,4 ± 5,3 (32,7; 13,8) a | 17,6 ± 13,9 (22,5; 12,0) c | 23,2 ± 8,3 (37,3; 13,5) c |
| pH | 5,04 ± 0,4 (5,8; 4,5) a | 4,9 ± 0,1 (5,2; 4,7) a | 5,2 ± 0,6 (7; 4,7) c | 4,8 ± 0,2 (5,3; 4,5) c |
| Fósforo | 4,8 ± 1,9 (10; 4) a | 6,5 ± 1,4 (8; 4) a | 15,2 ± 30 (95; 4) c | 5,1 ± 1,7 (7,2) d |
| N % | 0,7 ± 0,2 (1,2; 0,5) a | 0,7 ± 0,1 (0,9; 0,6) a | 0,6 ± 0,1 (0,8; 0,4) c | 0,8 ± 0,2 (1,2; 0,5) d |
| Ca+Mg (cmolc/dm ³) | 1,2 ± 0,8 (2,5; 0,3) a | 0,4 ± 0,3 (0,7; 0,2) b | 1,26 ± 1,1 (4; 0,3) c | 1 ± 0,2 (1,4; 0,6) c |
| H+Al (Cmolc/dm ³) | 3,9 ± 1,2 (5,45; 1,82) a | 4,5 ± 0,7 (6,27; 3,8) a | 2,8 ± 1,0 (3,8; 0,8) c | 4,7 ± 2,0 (7,9; 2,6) d |
| CTC/Efetiva (Cmolc/dm ³) | 2,7 ± 0,6(3,6; 1,9) a | 1,9 ± 0,2(2,3; 1,49) b | 2,3 ± 0,7(4,2; 1,56) c | 3,2 ± 1,6(5,52; 1,7) c |
| Saturação base (V%) | 26,9 ± 13,5 (53,4; 8,5) a | 10,1 ± 1,6 (12,59; 6,73) b | 33,2 ± 24,0 (70,52; 9,05) c | 21,4 ± 7,8 (32,79; 9,09) c |
| Saturação Al (m%) | 47,2 ± 25,3 (83,91; 8,7) a | 73,22 ± 4,4 (80,77; 65,04) b | 42,96 ± 32,4 (78,84; 2,4) c | 56,88 ± 19,3 (85,27; 30,9) c |
| Tipo de textura | Franco arenoso | Franco arenoso | Franco arenoso | Franco argilo arenosa |

Nota: Valores médios e seu desvio padrão, em parêntese as mínimas e as máximas. Letras diferentes entre tratamentos indicam diferença significativa (p<0,05): Boa Vista (a,b) e Nova Betel (c,d).

Fatores físicos do solo

Os solos das áreas abertas foram mais compactados que as áreas florestais (Boa Vista, teste de Mann Whitney U=24, p=0,02; Nova Betel teste de Mann Whitney U=31,5; p=0,06, Figura 2). O maior grau de compactação do solo foi registrado na área aberta do sítio Boa Vista (resistência a penetração de 10.928,3±6.558 kPa/mm). Neste local, a resistência de penetração foi em média quase quatro vezes superior a área aberta de Nova Betel (2.779±4.300 kPa/mm) e mais de cinco vezes superior as resistências registradas nas duas áreas florestais (Figura, 3).

A densidade do solo foi maior na área aberta que na área de floresta, tanto no Boa Vista como em Nova Betel (Figura 3). A diferença de densidade do solo entre os dois ambientes foi significativa unicamente no sítio Boa Vista (Figura, 2). A umidade do solo variou de 34% a 49%. Não tiveram diferenças significativas entre os dois ambientes. (Tabela 1).

A textura dos solos mostrou maior presença de areia (60±59,3%), seguido pela fração de argila (15,4±26%) (Tabela 1). Não foram detectadas diferenças significativas de concentração de areia entre as áreas desmatadas e florestais para ambos os sítios. A concentração de argila variou em média de 128 g/Kg (área florestal, Nova Betel) até 190 g/Kg (área flores-

tal, Boa Vista). Comparando os dois ambientes, as diferenças de concentração de argila foram significativas em Boa Vista (mais argila na área florestal, teste t, t=2,1, p=0,132).

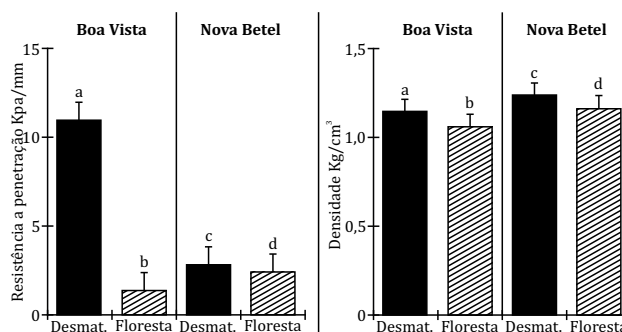


Figura 3. Comparação da resistência a penetração e densidade entre área aberta e florestal, nos sítios Boa Vista e Nova Betel Estrada do BEC, BR-163, Noroeste do Pará. Valores representam médias ± erro padrão da média. Letras diferentes entre tratamentos indicam diferença significativa (p<0,05). / **Figure 3.** Comparison of penetration resistance and density between open area and forest, in the Boa Vista and Nova Betel Estrada do BEC, BR-163, Northwest of Pará. Values represent means ± standard error of the mean. Different letters between treatments indicate a significant difference (p < 0,05).

Fatores químicos do solo

Em relação às propriedades químicas do solo, os resultados das análises mostraram que no sítio Boa Vista a concentração de matéria orgânica é muito parecida entre os dois ambientes,

ao contrário do de Nova Betel em que a concentração de matéria orgânica foi superior na área de floresta ($23,2 \pm 8,3$ gr/Kg) em relação a área aberta ($17,7 \pm 8,3$ gr/Kg) (Tabela 1), diferenças não significativas estatisticamente, mas que revelam uma tendência a diferenciação. Em termos gerais, os solos das áreas desmatadas foram levemente menos ácidos (pH de 5,01 e 5,25) comparados com os solos das áreas florestais (pH, 4,81 e 4,97) mas as diferenças não foram significativas (Tabela 1).

Não teve diferenças significativas entre os ambientes para fósforo (Tabela 1). O percentual de nitrogênio apresentou diferenças significativas no sítio Nova Betel a favor da área de floresta e a concentração de cálcio e magnésio no sítio Boa Vista, desta vez a favor da área aberta (tabela 1). Entretanto, quando se comparou a concentração de alumínio e hidrogênio nos dois sítios de estudo, as áreas de floresta registram maiores teores destes elementos, especialmente no sítio Nova Betel (teste t, $t=2,1$, $p=0,02$, Tabela 1). No sítio Boa Vista a CTC foi significativamente superior na área desmatada em relação a área florestada (teste $t=2,1$, $p<0,001$), por contra, no sítio Nova Betel a área florestada apresentou teores mais altos de CTC ainda que as diferenças não foram significativas (Tabela 1). Por último, as duas áreas desmatadas registraram maior saturação por bases e menor saturação por alumínio em relação a suas respectivas áreas de floresta (Tabela 1).

Fatores de perturbação externa: Sinais de fogo e rebrotação nos sítios inventariados

O percentual de árvores com sinais de queimadura no tronco foi significativamente mais alto nas áreas desmatadas que nas áreas florestais nos dois sítios: Boa Vista (área desmatada: 63,3%; área florestada: 23,3%, Qui Quadrado, $p=0,0017$) e Nova Betel (área desmatada: 26,7%; área florestada: 6,7 teste Qui-Quadrado, $p=0,0373$). No sítio de Boa Vista, a rebrotação não mostrou diferenças significativas entre os dois ambientes (20% das árvores com rebrota na área desmatada por 10% na área florestal). Em Nova Betel, a rebrotação foi quase insignificante nos dois ambientes, com uma única árvore com rebrote na área desmatada (3,3%).

Variáveis produtivas: Flor e fruto

A produção de flores foi significativamente maior (mais de 4 vezes) nas áreas florestadas nos dois sítios estudados (teste t, $t=1,98$; $p<0,001$; Figura 4). De igual forma, o número de frutos na área desmatada foi significativamente menor que na área florestada nos dois sítios (teste t, $t=2,0$, $p<0,0001$, figura 4). Em média, a produção de frutos na área de floresta foi 21 vezes maior que na área desmatada no sítio Boa Vista e 24 vezes maior no sítio da Nova Betel.

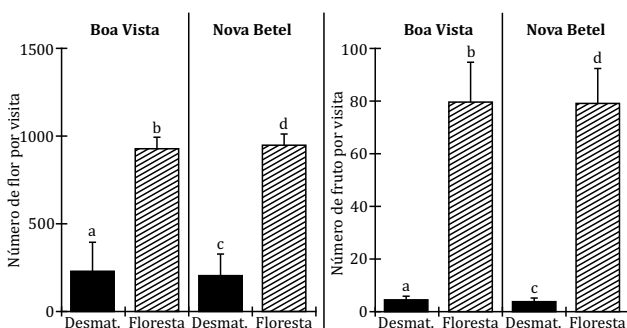


Figura 4. Comparação da produção de flores e frutos entre a área aberta e florestal nos sítios Boa Vista e Nova Betel, Estrada do BEC, Noroeste do Pará. Valores representam médias \pm erro padrão da média. Letras diferentes entre tratamentos indicam diferença significativa ($p<0,05$). / **Figure 4.** Comparison of flowers production and fruits, between open and forest area at Boa Vista and Nova Betel, BEC Road, Northwest of Pará. Values represent means \pm standard error of the mean. Different letters between treatments indicate a significant difference ($p<0,05$).

Discussão

Estrutura populacional e dendrometria

A estrutura populacional das castanheiras monitoradas na

Estrada do BEC nos indica que a população de castanheiras vivas na área de estudo está envelhecida, com domínio das classes diamétricas com DAP > 1 m nos dois sítios e nos ambientes. Além disso, a estrutura populacional é dominada por classes de árvores nos intervalos de diâmetro de 1,3 e 2,0 m, com pouca presença de árvores com tamanho de diâmetro < 1 m., fato que já foi observado na mesma área de estudo (SCOLES et al., 2016) e em outros locais próximos com ocorrência abundante de castanheiras (SALOMÃO, 2009; SCOLES; GRIBEL, 2012). A baixa regeneração tem sido registrada na região do rio Trombetas, situação que parece ser mais crítica em áreas intensamente transformadas como as deste estudo (SCOLES; GRIBEL, 2012; SCOLES et al., 2016). Nesta pesquisa, a população de castanheiras nos dois ambientes apresentou características dendrométricas parecidas (tamanho da árvore e área de copa), descartando assim que as diferenças de produção entre os dois ambientes seja causada por estes fatores. Não se detectou diferenças significativas de tamanho de diâmetro entre a área aberta e área florestal nos dos sítios pesquisados (Tabela 1). Da mesma forma, as variações de área de copa não foram significativas entre os dois tratamentos comparados (intervalos médios entre 524 e 588 m² de área de copa por árvore, Tabela 1).

Distância entre castanheiras e da borda da floresta

A distância mínima entre castanheira foi significativamente maior na área desmatada unicamente no sítio de Boa Vista, o que mostra, neste local, um maior isolamento das árvores, ou seja, as árvores estão mais distantes umas das outras quando comparadas às das áreas florestais adjacentes. Maior distanciamento entre árvores poderia influenciar negativamente na polinização da castanheira já que nestes casos se pressupõe uma maior permanência das abelhas na mesma árvore dificultando assim a fecundação cruzada da planta (MULLER et al., 1980; MAUÉS, 2002). Ainda assim, precisa-se relativizar estes resultados comparativos, pois a distância média mínima foi de 35 metros na área desmatada em Boa Vista, recorrido potencialmente baixo para os padrões voadores das abelhas polinizadores da castanheira (JANZEN, 1971; MAUÉS, 2002) e dos valores de dispersão média de pólen registrados no Acre (945 m para floresta, 422 m para pastagem; Silva, 2014).

Fatores físicos do solo

Os solos da área de estudo são arenosos e não apresentam diferenças significativas de textura entre os dois ambientes. Os resultados mostram claramente que as áreas de pastagens apresentaram maior grau de compactação que as áreas de florestas. Os dados registrados nesse estudo corroboram com outros trabalhos em que área de pastagem apresentou maior grau de compactação do que as áreas de florestas (MULLER et al., 2001; MARTINEZ; ZINCK, 2004). Esta maior compactação do solo dificultaria a ação radicular das plantas em áreas degradadas e de pastagem (MULLER et al., 2001; ARAÚJO, 2011), e também o fluxo de água e nutrientes que poderia contribuir a um aumento de erosão do solo e uma redução nas atividades biológicas das árvores neste ambiente.

Neste estudo, a diferença na resistência a penetração foi mais acentuada na área desmatada do sítio Boa Vista, isso, provavelmente, se explica por ser uma área de intensa pastagem, com frequente pisoteio do gado e não apresentar cobertura vegetal (LANZANOVA, 2005). Entretanto, no sítio Nova Betel as atividades pecuárias diminuíram muito nos últimos anos explicando a menor compactação do solo e menores diferenças com área florestal próxima. Estas diferenças de compactação entre ambientes repetem-se na densidade do solo, ainda que neste caso as diferenças somente foram significativas no sítio Boa Vista (maior densidade em áreas desmata-

das). Novamente, os resultados desta pesquisa coincidem com de outros trabalhos que mostram maior compactação e densidade de solos em áreas desmatadas em relação a áreas florestais e sugerem que aumentos de compactação comportam também incrementos da densidade e diminuição da porosidade dos solos (MULLER et al., 2001; SOUZA et al., 2004; REICHERT et al., 2007).

O trabalho não evidenciou diferenças de umidade de solo entre as duas áreas comparadas (desmatado e floresta), possivelmente porque a coleta de solo foi feita durante a estação chuvosa do ano, outros estudos também não encontraram diferenças significativas no teor de umidade entre áreas queimadas e não queimadas (MEIRELLES, 1990).

Fatores químicos do solo

Em relação a estrutura química do solo os teores de matéria orgânica mostraram similitudes entre os dois ambientes, as áreas de floresta tiveram concentrações maiores de matéria orgânica só em Nova Betel. Na floresta a produção de matéria orgânica é maior e encontra-se em condições apropriadas de temperatura e umidade típicas da região; diferente da área desmatada de pastagem com menor produção de liteira (matéria orgânica morta) e onde o fogo consome toda a matéria orgânica. Não obstante, em ambos os casos, estas diferenças não foram significativas, sugerindo que a matéria orgânica é altamente móvel da floresta à área desmatada ou que as áreas de pastagem têm uma cobertura arbustiva capaz de suprir a matéria orgânica, fato já observado na Amazônia (MORENO et al., 2012). Além disso, é comum ver aumentos de matéria orgânica em pastos derivados de floresta derrubada na Amazônia (NEILL et al., 1997, CERRI et al., 2003, CERRI et al., 2004, ARAÚJO et al., 2011) devido à grande capacidade do capim acrescentar matéria orgânica ao solo através das raízes.

Neste estudo, os solos das áreas de floresta tiveram indicadores de fertilidade mais baixos que nas áreas desmatadas: maiores percentuais de saturação de alumínio, menor capacidade de troca catiônica, menor concentração de cálcio e magnésio e menor saturação de bases. Ainda assim, as diferenças de fertilidade entre os dois ambientes foram significativas unicamente no sítio Boa Vista. Neste, a maior concentração de cálcio e magnésio nas áreas desmatadas ocorre pela mineralização desses nutrientes devida a ação do fogo (MORENO et al., 2012), fato que não se repete no sítio de Nova Betel, onde não houve diferença significativa entre os dois ambientes.

O nitrogênio apresentou diferença significativa no Sítio Nova Betel, com valores maiores na floresta. Entende-se que na floresta esses macronutrientes depende essencialmente da reciclagem interna da floresta e a liteira fina representa a sua maior entrada para o ecossistema florestal (LUIZÃO et al., 2007). Por contra, no Sítio Boa Vista não houve diferença significativa de nitrogênio entre os dois ambientes, provavelmente as áreas desmatadas mais velhas tenham perdido mais nitrogênio no decorrer do tempo devido à ausência de uma camada de liteira na superfície do solo, embora esta não foi quantificada neste estudo. Em contraste, nos dois sítios, a concentração de fósforo disponível foi baixa (<10 mg/dm³, CRAVO et al., 2007) sem registrar diferenças significativas entre os dois ambientes. Estes resultados são esperados em solos ácidos e arenosos da região da Amazônia, pois geralmente este macronutriente é limitante nestes ambientes (KOERSELMAN; MEULEMAN, 1996; NOVAIS; SMITH, 1999).

Os solos analisados podem ser considerados como ácidos (pH entre 4,5-5,4; RIBEIRO et al., 1999) com pH ligeiramente superior nas áreas desmatadas, devido provavelmente pelos compostos básicos presentes nas cinzas que corrigem esse pH, e aumenta a concentração de nutrientes (MORENO et al., 2012). Entretanto, estas diferenças de acidez edáfica não foram

significativas. Em contraste, a concentração de H + Al, no sítio de Nova Betel, foi significativamente maior na área de floresta que na área desmatada de pastagem, o que apontaria que é efetivamente a ação do fogo que causa a correção do pH, resultante do aumento da concentração de bases presentes nas cinzas (ULERY et al., 1993). Neste estudo, os solos das duas áreas tropicais podem ser classificados de muito pobres, pois a saturação de alumínio (m%) foi > 50% (RONQUIM, 2010). Ainda que a saturação por alumínio seja significativamente menor nas áreas desmatadas que nas florestadas, a fertilidade continua sendo considerada baixa nos dois ambientes, pois os limites de saturação por bases está muito abaixo do mínimo recomendado que é V%≥50 (CRAVO et al., 2007; RONQUIM, 2010).

Em geral, os solos de pastagem (áreas desmatadas) e com uso frequente do fogo como é o caso do sítio Boa Vista têm a capacidade de disponibilizar nutrientes no solo através da mineralização e por isso apresentam características químicas menos desfavoráveis em termos de fertilidade quando comparados aos solos florestais tropicais (FEARNSIDE; LEAL FILHO, 1993; KNICKER, 2007; MORENO et al., 2012). Além disso, a presença de gado nestas áreas favorece a fertilização do solo mediante deposição de grandes quantidades de excrementos.

Entretanto, ainda que as condições de fertilidade dos solos florestais possam ser mais desfavoráveis que em áreas desmatadas, nesses ecossistemas, a entrada de nutrientes é garantido mediante a decomposição rápida de matéria orgânica na camada de "serapilheira" ou liteira, feita pela microbiota existente em condições ambientais favoráveis (umidade e temperatura alta). No entanto, nas áreas de pastagem o solo pouco fértil, com médias de 27% (sítio Boa Vista) e 33% (sítio Nova Betel) de saturação de bases, ainda que mais fértil que o solo florestal, não tem a quantidade de liteira que tem a floresta (embora esta não fosse quantificada neste estudo) e a perda de nutrientes deve ser mais rápida pela alta exposição dos solos a lixiviação devido ao tipo de solo que apresenta textura arenosa (FEARNSIDE; LEAL FILHO, 1993; LUIZÃO et al., 2007).

Em resumo, quando se compara as variáveis físicas e químicas dos solos tropicais em áreas florestais e desmatadas (com uso mais ou menos frequente do fogo), as diferenças mais fortes são em relação as variáveis físicas (compactação, densidade e umidade), mais desfavoráveis em geral nos solos de áreas desmatadas. Já as variáveis químicas foram mais semelhantes e inclusive mais favoráveis nas áreas desmatadas e com uso de fogo que disponibiliza esses nutrientes para o solo, principalmente quando as queimadas são frequentes. O solo menos ácido e mais rico em nutrientes se explica em função das cinzas possuírem alta concentração de alguns desses macronutrientes, por exemplo, N, P, K, Ca e Mg (SOARES, 1990; KNICKER, 2007).

Fatores de perturbação externa

O fogo age sobre o estrato arbóreo, influenciando, sobretudo na redução do porte das árvores (RAMOS; ROSA, 1996) e da composição florística e estrutura da vegetação (LOPES et al., 2009). Neste estudo, a frequência de árvores queimadas foi significativamente maior em áreas desmatadas nos dois sítios, resultado do uso do fogo para limpeza da vegetação rasteira em áreas de pastagens. As castanheiras localizadas nas áreas desmatadas mostraram razoável capacidade de rebrotar, o que evidencia capacidade de resistência desta espécie às perturbações antrópicas, corroborando observações e resultados de outros trabalhos da literatura (PAIVA et al., 2011; COLES et al., 2011, 2014).

Produção de flores e frutos

As diferenças de produção de flores e frutos foram altamen-

te significativas nos dois sítios (Boa Vista e Nova Betel) em favor das áreas florestais. A baixa produção de castanheiras em áreas degradadas comparadas com populações de castanheiras em áreas florestais adjacentes confirma trabalhos anteriores em Marabá (KITIMURA; MULLER, 1984) e Estrada do BEC (Oriximiná/Óbidos; SCOLES et al., 2016). Tem sido propostas várias hipóteses para explicar a baixa produção das castanheiras em áreas desmatadas à maioria delas supõe que existe uma ineficiência quantitativa ou qualitativa das visitas dos polinizadores (KITIMURA; MULLER, 1984; VAISSIÈRE et al., 2009). Recentes estudos têm mostrado que os potenciais polinizadores da castanheira estão presentes em ambientes desmatados (WADT et al., 2016) o que deixaria em aberto a possibilidade de ser outros fatores ambientais os que explicassem a baixa produção da castanheira nesses locais. Neste estudo, não foram observadas correlações significativas entre produção de flores ou frutos e as duas variáveis dendrométricas mensuradas (tamanho da árvore e área da copa). Tão pouco observou-se associações significativas entre a distância mínima entre castanheira com a produção de flores ou de frutos em nenhuma das duas áreas de paisagem pesquisada (não obstante em um sítio a população de castanheira em área desmatada tem a vizinhança mais distante, veja ressalva no item 4,2). Igualmente não houve correlação entre produção de flores e frutos em nenhum dos ambientes e sítios. Entretanto 100% das árvores de castanheiras nas áreas desmatadas apresentaram flores, destas 88,33% apresentaram frutos confirmando a ocorrência da polinização. Os resultados corroboram com estudos de que ocorre polinização nas populações de castanheiras em áreas desmatadas (CAVALCANTE, 2008; SILVA, 2014; WADT et al., 2016).

No Estado do Acre, Wadt et al. (2008) e Kainer et al. (2007) comprovaram uma relação positiva entre área de copa com produção de frutos, fato não confirmado neste estudo. Entretanto, neste trabalho foi possível relacionar tamanho da árvore (DAP) com produção de frutos na área de floresta, mas não na área desmatada. Ou seja, o tamanho da árvore não se mostra determinante em áreas desmatadas para a produção de frutos, provavelmente porque variáveis ambientais são mais importantes e limitam a produção em áreas desmatadas. Destaca-se também que a produção de frutos contabilizada nas áreas florestais deste estudo foi muito similar as médias produtivas de 140 árvores monitoradas durante sete anos no Estado do Acre, 71,3 ($\pm 74,4$) frutos por árvore (WADT et al., 2005; KAINER et al., 2007).

Quais fatores ambientais poderiam explicar a baixa produção das castanheiras nas áreas desmatadas? Esse trabalho registrou duas causas importantes que poderiam explicar as diferenças de produção da castanheira entre as áreas desmatadas e florestais adjacentes: grau de compactação do solo e sinais de perturbação antrópica repetida (fogo) corroborando o encontrado em outros estudos (FEARNSIDE; BARBOSA, 1998; MULLER et al., 2001; 2004; REICHER et al., 2007; NEPSTAD et al., 2011). É importante destacar que isso ocorre apesar dos solos das áreas desmatadas terem apresentado maior fertilidade que os solos florestais. Ou seja, a compactação do solo e as queimadas repetidas devem debilitar de tal forma as plantas florestais nas áreas de pastagem, que estas acabam não se beneficiando desse maior teor de macronutrientes (MULLER et al., 2001; ARAÚJO, 2011).

Fica irresoluto o motivo de não correlação entre produção de frutos e flores na área de floresta, pois supostamente nos ambientes florestais a presença e visita dos polinizadores deveriam estar garantidas, mas muitas espécies tropicais têm a estratégia reprodutiva de produzir muito mais flores que frutos de tal modo a atrair a maior quantidade de polinizadores e segurar o sucesso reprodutivo através da exportação de pólen (AUSPURGER, 1983; MONTALVO; ACKERMAN, 1987; SUTHERLAND 1987).

Contudo, sugerem-se novas pesquisas sobre este assunto que objetivem relacionar a baixa produção de flores e frutos de castanheiras em áreas desmatadas estudando outros fatores ambientais (variações microclimáticas), monitorando respostas fisiológicas das árvores provocadas pelo estresse ambiental (perturbações frequentes, solo compactado, ambiente mais seco e quente, etc.) e pesquisando o comportamento dos polinizadores nas áreas desmatadas e florestais adjacentes.

A castanheira é uma espécie protegida por lei (BRASIL, 2006), por isso é uma feição proeminente das áreas de pastagens, as vezes sendo a única árvore no meio da vegetação rasteira. Embora sobrevivam em um ambiente desfavorável, árvores isoladas cumprem várias funções ecológicas: área de refúgio para pássaros e insetos, doador de pólen para castanheiras próximas, manutenção da diversidade gênica em nível da paisagem e sombra para o gado, entre outros serviços ambientais (GUEVARA et al., 1992; HARVEY; HAVER, 1999; MANNING et al., 2006), o que justifica tomar medidas de manejo que garantam sua preservação. Entre estas medidas sugerem-se: 1) maior e mais eficiente fiscalização da área por parte dos órgãos públicos competentes para evitar a derrubada ilegal da castanheira; 2) políticas públicas e assistência técnica (serviço de extensão) aos proprietários e usuários da área, para beneficiar-se das castanheiras que incentive a conservação delas dentro da pastagem; 3) adoção de práticas de manejo do solo e uso restrito do fogo nas áreas de ocorrência da castanheira com a finalidade de descompactar o solo e evitar as queimadas repetidas; 4) maior rotação do gado nas áreas ativas de pastagem 5) incentivo para que a recomposição de áreas de reserva legal e preservação permanente sejam designadas preferencialmente em áreas com castanheiras remanescentes.

Conclusão

Os resultados mostrados nesse estudo comparativo com castanheiras localizadas em dois ambientes diferentes (área desmatada e área florestal) confirmaram que a produção de frutos e flores foi significativamente menor nas áreas desmatadas. Como potenciais agentes causadores destas diferenças, relevaram-se duas variáveis em áreas desmatadas: 1) maior compactação do solo; 2) maior frequência de perturbação pelo fogo.

Estes resultados não excluem a importância de outros aspectos ecológicos não estudados nesta pesquisa como polinização escassa ou ineficiente das árvores isoladas ou piores condições microclimáticas (menor disponibilidade de água, maior temperatura ambiente). Por último, destaca-se a necessidade de práticas de manejo de solo e medidas ativas de proteção das castanheiras em áreas desmatadas com a finalidade de assegurar a sobrevivência e reprodução das árvores remanescentes em áreas que provêm importantes serviços ecológicos.

Agradecimentos

Os mais sinceros agradecimentos à comunidade de Nova Betel, Sr. Fabiano e família, Sr. Adílio e a todos os servidores do campus de Oriximiná. Somos gratos também a Universidade Federal do Oeste do Pará e o Núcleo de Apoio a Pesquisa e Transferência de Tecnologias do Médio Amazonas da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Amazônia Oriental pelo apoio técnico e logístico à coleta de campo. Por último, Amauri José Pereira agradece à Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA) pela bolsa de mestrado e Susan Aragón agradece a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de pós-doutorado (PNPD).

Referências Bibliográficas

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; MENDOÇA, E. S.; SILVA, I. R. Impacto da conversão floresta - pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. *Acta Amazônica*, v. 41, n. 1, p. 103-114, 2011.

- AUGSPURGER, C. K. Phenology, Flowering Synchrony, and Fruit Set of Six Neotropical Shrubs. **Biotropica**, v. 15, p. 257-267, 1987.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SILVA, A. P. Comparação de penetrômetro na avaliação da compactação de Latossolos. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 1, p. 146-151, 2007.
- BRASIL. Decreto Federal n. 1.228, de 19 de outubro de 1994 [online]. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF (1994 out 20), 1994. Disponível em: <http://presrepublica.jusbrasil.com.br/legislacao/109608/decreto-1282-94>.
- BRASIL. Decreto n. 5.975, de 30 de novembro de 2006. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF (2006 dez 01); Sec. 1, p.1-3, 2004.
- CAVALCANTE, M. C. **Visitantes florais e polinização da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H.&B.) em cultivo na Amazônia central**. Dissertação (mestrado) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 36, 2008.
- CAVALCANTE, M. C.; OLIVEIRA, F. F.; MAUES, M. M.; FREITAS, B. M. Pollination Requirements and the Foraging Behavior of Potential Pollinators of Cultivated Brazil Nut (*Bertholletia excelsa* Bonpl.). Trees in Central Amazon Rainforest. **Psyche a Journal of Entomology**, v. 2012, Article ID 978019, p. 1-9, 2012.
- CERRI, C. E. P.; COLEMAN, K.; JENKINSON, D. S.; BERNOUX, M.; VICTORIA, R.; CERRI, C. C. Modeling soil carbon from forest and pasture ecosystems of Amazon, Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 67, p. 1879-1887, 2003.
- CERRI, C. E. P.; PAUSTIAN, K.; BERNOUX, M.; VICTORIA, R. L.; MELLILO, J.M.; CERRI, C. C. Modelling changes in soil organic matter in Amazon forest to pasture conversion, using the Century model. **Global Change Biology**, v. 10, p. 815-832, 2004.
- CRAVO, M. S.; VIEGAS, I. J. M.; BRASIL, E. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental. 1ª edição, v. 01, 2007, 262p, 2007.
- DAVIDSON, E. A.; ARAÚJO, A. C.; ARTAXO, P.; BALCH, J. K.; BROWN, I.F.; BUSTAMANTE, M. M. C. et al. The Amazon basin in transition. **Nature**, v. 481, p. 321-328, 2012.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias, **Manual de Métodos de Análise de Solo**: 1-212. 3ª edição, Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 2011.
- EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias, **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**: Brasília, DF: Embrapa Solos, 270 p, 2011.
- FEARNSIDE, P. M.; LEAL FILHO, N.; FERNANDES, F. M. Rainforest burning and the global carbon budget: Biomass, combustion efficiency and charcoal formation in the Brazilian Amazon. **Journal Geophysical Research: Atmospheres**, v. 98, n. D9, p. 16733-16743, 1993.
- FEARNSIDE, P. M.; BARBOSA, R. I. Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 108, p. 147-166, 1998.
- FEARNSIDE, P. M. Consequências do desmatamento da Amazônia. **Scientific American**. Brasil Especial Biodiversidade, p. 54-59, 2010.
- FERREIRA, L. V. **Identificação de áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade por meio da representatividade das unidades de conservação e tipos de vegetação nas ecorregões da Amazônia brasileira**. In: CAPOBIANCO JPR. (editor). Biodiversidade na Amazônia brasileira: avaliação e ações prioritárias para a conservação, uso sustentável repartição de benefícios. São Paulo: Instituto Socioambiental, p. 268-286, 2001.
- GUEVARA, S.; MEAVE, J.; MORENO-CASASOLA, P.; LABORDE, J. Floristic composition and structure of vegetation under isolated trees in neotropical pastures. **Journal of Vegetation Science**, v. 3, p. 655-664, 1992.
- HARVEY, C. A.; HABER, W. A. Remnant trees and the conservation of biodiversity in Costa Rican pastures. **Agroforestry Systems**, v. 44, p. 37-68, 1999.
- HOMMA, A. K. O. Cemitério das castanheiras. **Ciência Hoje**, v. 34, n. 202, p. 60-63, 2004.
- HOMMA, A. K. O.; CARVALHO, R. A.; FERREIRA, C. A. P.; NASCIMENTO, J. D. N. **A destruição de recursos naturais: o caso da castanha-do-pará no sudeste paraense**. Belém: EMBRAPA Amazônia Oriental, 74 p. (Documentos 32). 2000.
- INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, SOCIAL E AMBIENTAL DO PARÁ (IDESP). **Cadeias de comercialização de produtos florestais não madeireiros na Região de Integração Baixo Amazonas, estado do Pará: relatório técnico**. Belém, PA: IDESP. 211. 221 p, 2011.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE), 2016. **Sistema Integrado de Dados Ambientais. Plataforma de Coleta de Dados**. Disponível em: <http://.....>. Acesso em: 03/09/2016.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Produção de extração vegetal e da silvicultura**. Rio de Janeiro, RJ: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Brasil. Vol. 31, 54 p, 2016.
- JANZEN, D. H. Euglossine bees as long-distance pollinators of tropical plants. *Science* 171: 203-205. <https://doi.org/10.1126/science.171.3967.203>, 1971.
- KAINER, K. A.; WADT, O. H. L.; STAUDHAMMER, C. L. Explaining variation in Brazil nut fruit production. **Forest Ecology and Management**, Melbourne, n. 250, p. 244-255, 2007.
- KITIMURA, P. C.; MÜLLER, C. H. **Castanhas nativas de Marabá-Pa: fatores de depreciação e bases para a sua preservação**. Belém, EMBRAPA-CPATU. 32 p. (EMBRAPA-CPATU. Documentos 30). 1984.
- KNICKER, H. How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon? A review. **Biogeochemistry, Dordrecht**, v. 85, n. 11, p. 91-118, 2007.
- KOERSELMAN, W.; MEULEMAN, A. F. M. The vegetation N:P ratio: a new tool to detect the nature of nutrients limitation. **Journal of Applied Ecology**, London, v. 33, n. 6, p. 1441-1450, 1996.
- LANZANOVA, M. E. **Atributos físicos do solo em sistemas de culturas sob plantio direto na integração lavoura-pecuária**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 125p. (Dissertação de Mestrado). 2005.
- LILLIEFORS, H. W. On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. **Journal of the American Statistical Association**, v. 62 n. 318, p. 399-402, 1967.
- LOPES, S. F.; DO VALE, V. S.; SCHIAVINI, E. I. Efeito de queimadas sobre a estrutura e composição da comunidade vegetal lenhosa do cerrado sentido restrito em Caldas Novas, GO. **Revista Arvore**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 695-704, 2009.
- LUIZÃO, F. J. Ciclos de nutrientes na Amazônia: respostas às mudanças ambientais e climáticas. **Ciência e Cultura**, n. 59, p. 31-35, 2007.
- MANNING, A. D.; FISCHER, J.; LINDENMAYER, D. B. Scattered trees are keystone structures - implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 132, p. 311-321, 2006.
- MARTINEZ, L. J.; ZINCK, J. A. Temporal variation of soil compaction and deterioration of soil quality in pasture areas of Colombian Amazonia. *Soil and Tillage Research*, v. 3, p. 252-263, 2004.
- MAUÉS, M. M. **Reproductive phenology and pollination of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.) in eastern Amazonia**. In: KEVAN, P.; IMPERATRIZ FONSECA, V. L. (Eds.). Pollinating bees: the conservation link between agriculture and nature. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p. 245-254, 2002.
- MEIRELLES, M. L. Efeito do fogo sobre a umidade do solo em área de campo sujo de cerrado. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 42, n. 7, p. 359-360, 1990.
- MONTALVO, A. M.; ACKERMAN, J. D. Limitations to Fruit Production in *Lonopsis utricularioides* (Orchidaceae). **Biotropica**, v. 19, p. 24-31, 1987.
- MORENO, A. DE LIMA, et al. Emissão de CO₂ de solos de florestas primária e secundária em regeneração espontânea após corte e queima no sudoeste da Amazônia brasileira. XIX Reunião Brasileira de Manejo e conservação do solo e da água. Lages-SC, 2012.
- MORI, S. A.; PRANCE, G. T. Taxonomy, ecology, and economic botany of the Brazil nut (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.: Lecythidaceae) **Advances in Economic Botany**, v. 8, p. 130-150, 1990.
- MORI, S. A.; PRANCE, G. T.; BOLTEN, A. B. Additional notes on the floral biology of tropical Lecythidaceae. **Brittonia**, v. 30, p. 113-130, 1978.
- MÜLLER, M. M. L.; GUIMARÃES, M. F.; DESJARDINS, T.; MARTINS, P. F. S. Degradação de pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 36, n. 11, p. 1409-1418, 2001.
- MÜLLER, C. H.; RODRIGUES, I. A.; MÜLLER, A. A.; MÜLLER, N. R. N. Castanheira-do-Brasil: Resultados de pesquisa. Belém: EMBRAPA, CPATU, 25 p. (Miscelânea, 2). 1980.
- NELSON, B. W.; ABSY, M. L.; BARBOSA, E. M.; PRANCE, G. T. Observation on flower visitors to *Bertholletia excelsa* H. & B. K. and *Couratari tenuicarpa* A. S. SM (Lecythidaceae). **Acta Amazonica** (supl.), v. 15, p. 225-234, 1985.
- NEILL, L. C.; CERRI, J.; MELILLO, B. J.; FEIGL, P. A.; STEUDLER, J. E. L.; MORAES, AND M. C. PICCOLO. **Stocks and dynamics of soil carbon following deforestation for pasture in Rondonia**, p. 9-28. In R. Lal et al. (ed.) Soil processes and the carbon cycle. CRC Press, Boca Raton, FL, Raton, FL, 1997.
- NEPSTAD, D.; CARVALHO, G.; BARRROS, A. C.; ALENCAR, A. Capobianco JP; Bishop J. et al. Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests. **Forest Ecology Management**, v. 154, p. 395-407, 2001.
- NEPSTAD, D. C.; MCGRATH, D. G.; SOARES-FILHO, B. Systemic Conservation, REDD, and the Future of the Amazon Basin. **Conservation Biology**, v. 25, p. 1113-1116, 2011.
- NOBRE, C. D. **O futuro climático da Amazônia**. Relatório de Avaliação Científica. Articulação Regional Amazônica, 2014.
- NOVAIS, F. R.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 399 p, 1999.
- PAIVA, P. M.; GUEDES, M. C.; FUNI, C. Brazil nut conservation through shifting cultivation. **Forest Ecology and Management**, v. 261, p. 508-514, 2011.
- PHILLIPS, O. L.; ARAGÃO, LEOC.; LEWIS, S. L.; FISHER, J. B.; LLOYD, L.; LOPEZ-GONZÁLEZ, G., et al. Drought Sensitivity of the Amazon Rainforest. **Science**, v. 323, p. 1344-1347, 2009.
- PHILLIPS, O. L.; HEIJDEN, G. V.; LEWIS, S. L.; LOPEZ-GONZÁLEZ, G.; ARAGÃO, LEOC.; LLOYD, L., et al. Drought-mortality relationships for tropical forests. **New Phytologist**, v. 187, p. 631-646, 2010.
- RAMOS, A. E.; ROSA, C. M. M. **Impacto das queimadas**. In: DIAS, B. F. de S. (Coord.). Alternativas de desenvolvimento dos Cerrados: manejo e conservação dos recursos naturais renováveis. Brasília: Fundação Pró-Natureza, p. 34-38, 1996.
- REICHERT, J. M.; SUZUKI, SAEL.; REINERT, J. D. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação, **Tópicos Ci. Solo**, v. 5, p. 49-134, 2007.
- RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. *Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite. 1ª edição. Pag 9, 2010.*
- SALOMÃO, R. P. Densidade, estrutura e distribuição espacial da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H. & B.) em dois platôs de floresta ombrófila densa na Amazônia setentrional brasileira. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Naturais**, v. 4, n. 1, p. 11-25, 2009.
- SCOLES, R.; GRIBEL, R. Population structure of Brazil nut (*Bertholletia excelsa*, Lecythidaceae) stands in two areas with different occupation histories in the Brazilian Amazon. **Human Ecology**, v. 39, p. 455-464, 2011.
- SCOLES, R.; GRIBEL R. The regeneration of Brazil nut trees in relation to nut harvest intensity in the Trombetas River valley of Northern Amazonia, Brazil. **Forest Ecology Management**, v. 265, n.1, p. 71-81, 2012.
- SCOLES, R.; GRIBEL, R. Human influence on the Regeneration of Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*, Lecythidaceae) at the Capanã Grande Lake, Manicoré, Amazonas, Brazil. **Human Ecology**, v. 43, n. 6, p. 843-854, 2011.
- SCOLES, R.; CANTO, M. S.; ALMEIDA, R. G.; VIEIRA, D. P. Sobrevivência e frutificação de *Bertholletia excelsa* Bonpl. em áreas desmatadas, Oriximiná, Pará. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 4, p. 555-564, 2016.
- SCOLES, R.; KLEIN, G. N.; GRIBEL, R. Crescimento e sobrevivência de castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) em diferentes condições ambientais na região do rio Trombetas, Oriximiná, Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, v. 6, n. 3, p. 273-293, 2011.
- SCOLES, R.; KLEIN, G. N.; GRIBEL, R. Crescimento e sobrevivência de castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl., Lecythidaceae) plantada em diferentes condições de luminosidade após seis anos de plantio na região do rio Trombetas, Oriximiná, Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, v. 9, n. 2, p. 321-336, 2014.
- SILVA, V. S. **Sistema reprodutivo e diversidade genética de *Bertholletia excelsa* em diferentes ambientes no Estado do Acre**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 59, 2014.
- SOARES, R. V. **Effects of pine plantation prescribed burning on soil chemical properties in the savanna region of Minas Gerais state, Brasil**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FOREST FIRE RESEARCH, 1990, Coimbra. Proceedings. Coimbra: Universidade de Coimbra, p. 06 09, 1990.
- SOUZA, Z. M. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 51-58, 2004.
- SUJII, P. S.; MARTINS, K.; WADT, L. H. O.; AZEVEDO, V. C. R. et al. Genetic structure of *Bertholletia excelsa* populations from the Amazon at different spatial scales. **Conservation Genetics**, v. 116, p. 955-964. <https://doi.org/10.1007/s10592-015-0714-4>, 2015.
- SUTHERLAND, S. Why hermaphroditic plants produce many more flowers than fruits: experimental tests with *Agave mckelveyana*. **Evolution**, v. 41, p. 750-759, 1987.
- ULERY, A. L.; GRAHAM, R. C.; AMRHEIN, C. Wood-ash composition and soil pH following intense burning. **Soil Science**, Madison, v. 156, n. 5, p. 358-364, 1993.
- VAISSIÈRE, B.; FREITAS, B.; GEMIL-HERREN, B. Protocol to detect and assess pollination deficits in crops. Roma: FAO. 26 p, 2009.
- WADT, L. H. O.; KAINER, K. A.; GOMES-SILVA, D. A. P. Population structure and nut yield of a *Bertholletia excelsa* stand in Southwestern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 211, p. 371-384, 2005.
- WADT, L. H. O.; KAINER, K. A.; STAUDHAMMER, C AND SERRANO, R. Sustainable forest use in Brazilian extractive reserves: Natural regeneration of Brazil nut in exploited populations. **Biological Conservation**, v. 141, p. 332-346. <https://doi.org/10.1016/j.bioc.2008>.
- WADT, L. H. O.; SILVA, V. S. Sistema Reprodutivo e Diversidade Genética de *Bertholletia excelsa* em diferentes ambientes no Estado do Acre. EMBRAPA, 2016.