

Artigo

Desenvolvimento vegetativo e índices de clorofila de clones-copa de *Bertholletia excelsa* Bonpl., em Roraima

Reila Ferreira dos Santos ^{1,*}, Cássia Ângela Pedrozo ², Karine Dias Batista ³, Igor Ivison Almeida Ferreira ⁴, Marcos Miguel Mayer ⁵

¹ Bióloga, Doutoranda em Agronomia, Universidade Federal de Roraima, Av. Cap. Ene Garcês, n. 2413, Bairro Aeroporto, Boa Vista - RR, ORCID 0000-0002-0661-5482, reilaferreirasantos@outlook.com

² Eng. Agrônoma, Pesquisadora, Embrapa-Roraima, Rodovia BR 174, Km 8, SN, Boa Vista - RR, ORCID 0000-0002-0474-263X, cassia.pedrozo@embrapa.br

³ Eng. Agrônoma, Pesquisadora, Embrapa-Roraima, Rodovia BR 174, Km 8, SN, Boa Vista - RR, ORCID 0000-0002-8938-4877, Karine.batista@embrapa.br

⁴ Biólogo, Doutorando em Ciências da Saúde, Universidade Federal Fluminense, Niterói-RJ, ORCID 0000-0002-2279-7386, ivison13@gmail.com

⁵ Biólogo, Professor da Carreira de Magistério da Educação Básica, Secretaria de Estado da Educação e Desporto -SEED, Boa Vista - RR, ORCID 0000-0002-4842-1846, marcosmyguelmayer@gmail.com

* Correspondência: reilaferreirasantos@outlook.com

Abstract: The objective of this work was to determine the vegetative development and chlorophyll indices of six Amazon nut tree canopy clones, in different periods after grafting by bubbling in plaque, in Mucajaí - RR. The design used was randomized blocks, with four replications, with the treatments arranged in a split-plot scheme in time, with 6 canopy-clones in the plots and 4 evaluation periods (19; 25; 31 and 37 months after grafting) in the subplots. Plants were evaluated for half-yearly average increments in height and stem diameter. Chlorophyll indices and nitrogen content in the leaves were also obtained. The data were subjected to analysis of variance and the means of treatments compared by Tukey's test. Pearson's correlation between variables was also obtained. There were no significant differences in the development of canopy clones in any of the evaluated periods. The increments in height and diameter, as well as chlorophyll indices and nitrogen content in the leaves, were higher at 37 months after grafting, which coincides with one of the evaluated dry seasons. The positive correlation between growth variables and nitrogen content and chlorophyll indices explain the good development of the trees.

Keywords: Amazon nut; Propagation; Genetic improvement.

Citação: Santos, R.F.dos.; Pedrozo, C.A.; Batista, K.D.; Ferreira, I.I.A.; Mayer, M.M. Desenvolvimento vegetativo e índices de clorofila de clones-copa de *Bertholletia excelsa* Bonpl., em Roraima. *RBCA* 2023, 12, 2. p.17-27

Editor de Seção: Karen Janones da Rocha

Recebido: 02/02/2023

Aceito: 11/05/2023

Publicado: 30/05/2023

Nota do editor: A RBCA permanece neutra em relação às reivindicações jurisdicionais em sites publicados e afilições institucionais.



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Resumo: Este trabalho teve como objetivo determinar o desenvolvimento vegetativo e índices de clorofila de seis clones-copa de castanheira-da-amazônia, em diferentes períodos após a enxertia por borbúlia em placa, em Mucajaí - RR. O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados, com quatro repetições, sendo os tratamentos arranjados em esquema de parcela subdividida no tempo, com 6 clones-copa nas parcelas e 4 períodos de avaliação (19; 25; 31 e 37 meses após a enxertia) nas sub-parcelas. As plantas foram avaliadas quanto aos incrementos médios semestrais em altura e diâmetro do caule. Também foram obtidos índices de clorofila e teor de nitrogênio nas folhas. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Tukey. A correlação de Pearson entre as variáveis também foi obtida. Não houve diferenças significativas no desenvolvimento dos clones-copa em nenhum dos períodos avaliados. Os incrementos em altura e diâmetro, bem como os índices de clorofila e o teor de nitrogênio nas folhas, foram mais elevados aos 37 meses após a enxertia, que coincide com uma das estações secas avaliadas. A correlação positiva entre variáveis de crescimento e teor de nitrogênio e índices de clorofila, explicam o bom desenvolvimento das árvores.

Palavras-chave: Castanheira-da-amazônia; Propagação; Melhoramento genético.

1. Introdução

A castanheira-da-amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) é considerada uma espécie de grande importância ambiental, social e econômica para a região amazônica (Tonini & Pedrozo, 2014). A espécie apresenta predominância de fecundação cruzada (O'Malley *et al.*, 1988; Cavalcante *et al.*, 2012; Wadt *et al.*, 2015), dependendo de polinizadores específicos (abelhas de médio a grande porte) para que haja a produção de frutos (Moritz, 1984; Maués, 2002). A árvore pode medir até 60,0 m de altura e mais de 3,0 m de diâmetro na base do tronco (Donadio, 2002; Martins *et al.*, 2008).

A castanheira é conhecida por apresentar múltiplos usos: 1) o fruto pode ser utilizado na fabricação de peças de artesanato e para produção de carvão; 2) as amêndoas são consumidas *in natura*, utilizadas para preparo de alimentos processados e para extração de óleo e do "leite" de castanha, que é muito apreciado na culinária regional; e 3) o resíduo da extração desses subprodutos pode ser aproveitado para produção de farinha ou ração animal (Müller, 1981; Locatelli *et al.*, 2005; Souza *et al.*, 2008). Apesar de a madeira ser de boa qualidade, podendo ser aproveitada na construção naval e civil (Cardarelli & Oliveira, 2000), o corte de árvores em florestas naturais é proibido pela Lei nº 6.895, de 1º de agosto de 2006.

Dentre todas as possíveis formas de aproveitamento da castanheira, a que proporciona maior rentabilidade é a comercialização de suas castanhas, as quais apresentam considerável importância para a indústria alimentícia e de cosméticos, estando entre os produtos de destaque da biodiversidade amazônica brasileira (Picanço & Costa, 2019; Faostat, 2022).

A produção mundial de castanha-da-amazônia é, em grande parte, obtida de forma extrativista em castanhais naturais (Homma *et al.*, 2014; Wadt *et al.*, 2008). Entretanto, no Brasil, a partir da década de 90, a produção dessa castanha, vem sofrendo oscilações (Faostat, 2022), sendo os períodos de menor produção explicados, em parte, pela dizimação de castanhais nativos por ações antrópicas, pelas mudanças climáticas e pelo provável envelhecimento dos castanhais (Scoles *et al.*, 2016; Nogueira & Santana, 2018).

As oscilações na produção da castanha oriunda do extrativismo, aliadas à grande valorização do produto (Faostat, 2022), tanto no mercado interno, quanto externo, apontam para a necessidade de estímulos à implantação de castanhais cultivados, seja na forma de áreas de enriquecimento, seja na forma de sistemas consorciados, principalmente os sistemas agroflorestais - SAF's, os quais vêm sendo amplamente difundidos na região amazônica (Homma *et al.*, 2014; Santana *et al.*, 2017).

O sucesso no cultivo da castanheira dependerá, dentre outros fatores, da disponibilidade de material genético selecionado (Wadt & Kainer, 2009; Pedrozo *et al.*, 2015), bem como de métodos eficientes de propagação vegetativa, para permitir a redução do período juvenil e do porte das plantas e, também, para fixar características genéticas de interesse (Almeida *et al.*, 2020).

Desde a década de 80, o método da enxertia por borbullia em placa vem sendo utilizado para propagação vegetativa da castanheira (Müller, 1995). A porcentagem de pagamento obtida por este método varia de acordo com as condições edafoclimáticas e com os genótipos utilizados como enxertos (Müller *et al.*, 1995; Almeida *et al.*, 2020), variando de cerca de 70 a 90%. Apesar desse conhecimento em relação às taxas de pagamento, de forma geral, há escassez de informações relacionadas ao desenvolvimento vegetativo e reprodutivo dos enxertos, em condições de campo.

Informações sobre o comportamento vegetativo de determinada espécie, sob condições de plantio, podem auxiliar na seleção de genótipos mais adaptados a estas condições,

colaborando, assim, para o melhoramento da espécie. Neste contexto, o objetivo deste estudo foi determinar o desenvolvimento vegetativo de clones-copa de castanheira-da-amazônia, em diferentes períodos após a enxertia pelo método da borbulhia em placa, em ambiente de transição floresta - cerrado, em Roraima.

2. Materiais e Métodos

O experimento foi instalado no Campo Experimental Serra da Prata, o qual pertence à Embrapa Roraima e está localizado no município de Mucajaí - RR, a uma distância de 62 km da capital Boa Vista (02° 23' 23,3" N e 60° 58' 59,8" W). A vegetação local é caracterizada por floresta ombrófila aberta e o solo é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo. Na região predomina o clima do tipo Aw (Köppen), com período seco de 4 meses por ano, precipitação média anual de 1800 mm e temperatura média de 28 °C (Barbosa, 1997; Mourão et al., 2003).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com os tratamentos arranjados em esquema de parcela subdivida no tempo, onde as parcelas retratam seis clones-copa (SJB-136; ITA-P0104; ITA-P0128; ITA-P0242; SJB-119 e ITA-P02108) selecionados por Pedrozo et al. (2015), e as subparcelas quatro períodos de avaliação (19; 25; 31 e 37 meses após a enxertia). Cada parcela experimental foi representada por uma planta enxertada.

Os porta-enxertos, os quais foram produzidos de sementes dos próprios genótipos selecionados, foram plantados em junho de 2014, em área previamente preparada com destoca, aração e nivelamento do solo. Também foi realizada correção da acidez do solo com aplicação de calcário dolomítico. Antes da abertura da área experimental, o solo encontrava-se sob vegetação secundária de aproximadamente 10 anos.

No momento do plantio, as mudas apresentavam aproximadamente 8 meses de idade. O plantio foi feito no espaçamento de 7 x 7m, em cova circular de 40 cm de diâmetro e 40 cm de profundidade, preparada com 5 litros de esterco bovino e 100 g de superfosfato triplo. A adubação de cobertura foi realizada duas semanas após o plantio, com 50 g de ureia, 25 g de FTE e 30 g de KCl por planta. Aos 12, 24 e 36 meses após o plantio, cada planta foi adubada com 25 g de FTE e 100 g de NPK 08:28:20. Além disso, foi realizada nova correção da acidez do solo, com aplicação de calcário dolomítico, entre os anos de avaliação.

O manejo pós-plantio consistiu de limpeza da área com roçadeira tratorizada, coramento das plantas com roçadeira manual, controle de formigas cortadeiras e irrigação de salvação, quando necessário, até os três anos de plantio. Visando controlar a emergência de plantas espontâneas e proteger e melhorar a disponibilidade de nitrogênio do solo, foi plantado estilosantes Campo Grande [*Stylosanthes capitata* (80%) e *Stylosanthes macrocephala* (20%)] nas entrelinhas de plantio das mudas de castanheira.

Cerca de dois anos e meio após o plantio dos porta-enxertos, realizou-se a coleta de hastes dos seis genótipos selecionados, em área nativa, para realização da enxertia. O método de enxertia utilizado foi o da borbulhia em placa, conforme descrito por Müller *et al.* (1995) e adaptado por Corvera-Gomringer *et al.* (2010).

Aos 19, 25, 31 e 37 meses após a enxertia, no período da manhã, as plantas foram avaliadas quanto ao comprimento da brotação principal (CBP; m); diâmetro da brotação principal (DBP; cm) à 10 cm da região onde foi realizado o enxerto e índices de clorofila *a* e *b* (IChla, IChlb, respectivamente). Os índices de clorofila foram obtidos pelo uso do Clorofilog modelo Falker 1030 e, de posse dos valores, foram calculados o índice de clorofila total (IChlab) e a razão do índice de clorofila *a/b* (IChla/b). Em seguida, as folhas onde foram feitas as leituras com o clorofilômetro foram coletadas para a determinação do teor de nitrogênio, o qual foi realizado através da digestão sulfúrica, seguida do método Kjeldahl (Embrapa, 2008).

A fim de analisar e comparar o desenvolvimento das plantas ao longo dos dois anos de avaliação, os dados de CBP e DBP foram utilizados para calcular os incrementos médios semestrais para estas variáveis (ICBP e IDBP, respectivamente). Durante a execução do experimento, foram coletados, na área experimental, dados de temperatura

(°C) (Figura 1) e precipitação (mm) (Figura 2), usando, para isso, uma estação climática da marca Hobbo.

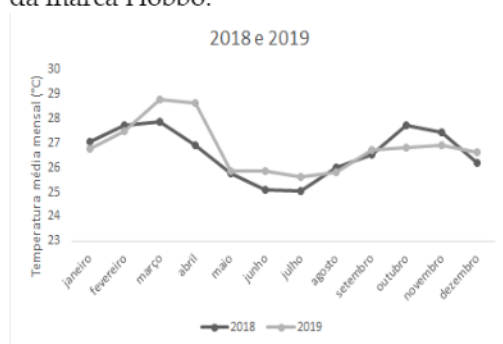


Figura 1. Temperatura média mensal (°C) registrada no Campo experimental Serra da Prata, nos anos de 2018 e 2019.

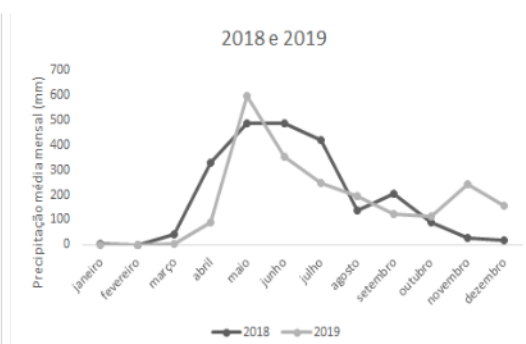


Figura 2. Precipitação média mensal (mm) registrada no Campo experimental Serra da Prata, nos anos de 2018 e 2019.

Os dados obtidos foram avaliados quanto à normalidade, pelo teste de Lilliefors e, posteriormente, submetidos à análise de variância, a 5% de probabilidade. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Foram realizadas, análises de correlação de Pearson entre as variáveis avaliadas nos quatro períodos de avaliação mencionados. Os programas Genes (Cruz, 2006) e Sisvar (Ferreira, 2011) foram utilizados nas análises estatísticas.

3. Resultados e Discussão

Os dados de incremento semestral do crescimento da brotação principal (ICBP) não seguiram distribuição normal e foram transformados pela equação \sqrt{x} . Houve significância ($p \leq 0,05$) quanto ao fator período de avaliação para ICBP e para o incremento do diâmetro da brotação principal (IDBP). Não foram observadas diferenças significativas entre os clones-copa para nenhuma das duas variáveis (dados de análise de variância não apresentados). A falta de significância para a interação entre clones-copa e períodos de avaliação indica independência entre estes fatores, tanto para o ICBP, quanto para o IDBP. Os coeficientes de variação oscilaram de moderados a elevados, sendo de maiores magnitudes para o fator período de avaliação (42,30% e 25,06% para ICBP e IDBP, respectivamente).

As médias do ICBP aos 25, 31 e 37 meses após a enxertia foram 0,69; 0,37 e 0,96 m e, do IDBP foram 1,15; 0,69 e 1,88 cm, respectivamente, conforme podem ser observadas na Figura 3 (A e B).

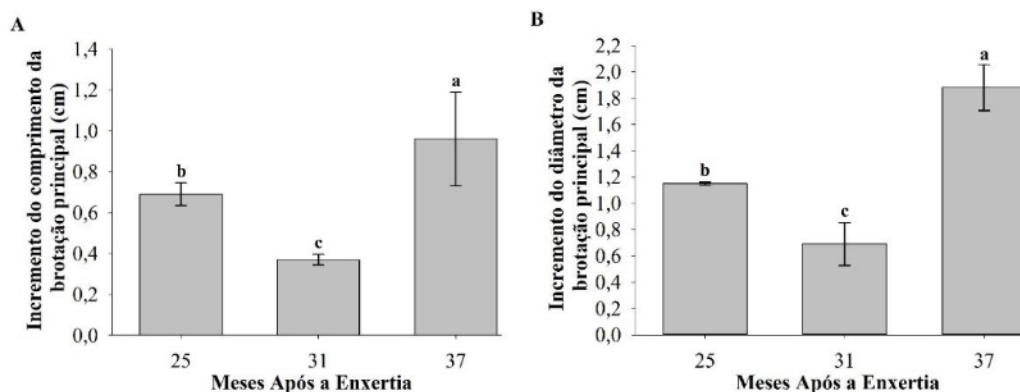


Figura 3. Incrementos semestrais médios do comprimento da brotação principal (ICBP) (Figura 3 A) e do diâmetro da brotação principal (IDBP) (Figura 3 B), aos 19, 25, 31 e 37 meses após a enxertia, de clones de castanheira-da-amazônia obtidos via enxertia por borbulhia em placa. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os resultados de incremento para altura e diâmetro das castanheiras enxertadas foram comparáveis aos obtidos por Scoles *et al.* (2011), Salomão *et al.* (2014), Vieira *et al.* (2002) e Almeida *et al.* (2020), em plantios de pé-franco, sob diferentes condições de plantio, no Pará, Amazonas e Roraima. A similaridade de crescimento entre as plantas provenientes de diferentes formas de propagação (sexuada e vegetativa via enxertia) mostram que, apesar de ser conhecido que a enxertia é capaz de reduzir o porte das plantas em espécies frutíferas (Ribeiro *et al.*, 2005), os resultados obtidos no presente estudo demonstram que, pelo menos nos primeiros anos, as castanheiras enxertadas apresentam crescimento similar às castanheiras provenientes de mudas de sementes.

Tanto para ICBP, quanto para IDBP, os menores valores em incremento foram observados aos 31 meses após a enxertia (0,37 m e 0,69 cm, respectivamente). O período mencionado compreende os meses de janeiro a julho de 2019, que engloba grande parte da época chuvosa na região de estudo. Estes resultados diferem daqueles obtidos por Botosso e Veter (1991), os quais observaram que, em algumas espécies arbóreas tropicais da Amazônia, o crescimento das árvores é sensivelmente elevado durante o período chuvoso, tornando-se, em geral, muito baixo durante os períodos mais secos. Segundo os mesmos autores, esta retração no crescimento é variável entre as espécies e dentro da mesma espécie, podendo durar, no geral, de 1 a 4 meses, dependendo, também, do vigor das árvores e do ano de avaliação. Entretanto, de acordo com Zanon e Finger (2010), tanto a insuficiência, quanto o excesso de água disponível no solo causam decréscimo na taxa fotossintética, refletindo na diminuição do crescimento das plantas.

Segundo Antezana-Vera (2017), a precipitação foi o fator climático que mais influenciou o incremento médio em diâmetro (IMD) em várias espécies arbóreas na Amazônia Central, sendo que, sete espécies apresentaram maiores valores de IMD em meses de alta taxa de precipitação, enquanto que, para três espécies (*Scleronema micranthum* - cardeiro, *Eschweilera collina* - ripeiro e *Minquartia guianensis* - acariquara) o aumento na quantidade de chuva influenciou negativamente o IMD. Assim como no presente estudo, Spathelf *et al.* (2000) também mostraram que o excesso de água no solo e, não o déficit hídrico, influenciou o crescimento diamétrico de árvores de canela-lageana (*Ocotea pulchella*).

A redução no crescimento do diâmetro das árvores durante a estação chuvosa pode ocorrer devido à asfixia temporária das raízes, causada pela saturação dos solos em água (Détienne & Barbier, 1988). Este fator pode ter colaborado para os menores incrementos obtidos para a castanheira na estação chuvosa, visto que de janeiro a julho de 2019 foram quantificados 1.292,42 mm de precipitação. Por outro lado, os maiores valores de incremento observados aos 37 meses após a enxertia, que compreende os meses entre agosto e dezembro de 2019, podem ser explicados pelo prolongamento do período chuvoso no ano considerado, bem como pela calagem realizada na área experimental naquele período, fazendo com que as plantas se tornassem mais vigorosas. Além da correção da acidez do solo, a calagem fornece, dentre outros nutrientes, cálcio e magnésio para as plantas, os quais, de acordo com Schroth *et al.* (2015) e Costa *et al.* (2017), são altamente demandados pela castanheira.

Scoles *et al.* (2011) mostraram que o incremento em altura, para castanheiras cultivadas em condição de capoeira, e o incremento em diâmetro para condições de capoeira e de roçado, foram maiores em meses de estiagem, corroborando os resultados obtidos no presente estudo e levantando a hipótese de que essa periodicidade de crescimento, de acordo com o índice de precipitação, pode ser característica da espécie. Entretanto, segundo os mesmos autores mencionados, castanheiras cultivadas em roçado apresentaram maior incremento em altura, na época chuvosa, indicando que o crescimento depende, também, da situação ambiental onde as plantas são cultivadas.

Os dados da razão do índice de clorofila *a/b* (IChla/*b*) não apresentaram distribuição normal e foram transformados pela equação $\log_{10}(x)$. Porém, não foi observada significância para os fatores isolados (clones-copa e períodos de avaliação) e nem para a interação entre os fatores. Para as variáveis teor de N e índices de clorofila *a*, *b* e total (IChla, IChlb e IChlab, respectivamente), observaram-se diferenças significativas ($p \leq 0,05$) para

períodos de avaliação, mas não para clones-copa e nem para a interação entre os dois fatores. Os coeficientes de variação foram elevados para o fator período de avaliação, considerando o IChlb e IChla/b (31,46 e 29,46 % respectivamente), porém, baixos para os demais casos (abaixo de 12,50 %).

Na Figura 4 (A, B, C e D) são apresentadas as médias do teor de N (g.kg^{-1}), IChla, IChlb e IChla/b nos diferentes períodos de avaliação. Com exceção do IChla, onde as maiores médias foram encontradas aos 25 e aos 37 meses após a enxertia, para as demais variáveis, as maiores médias foram observadas apenas aos 37 meses. Os maiores valores médios obtidos neste último período de avaliação também podem ser explicados pelo bom regime e calagem do solo da área experimental, fazendo com que os nutrientes contidos no solo se tornassem disponíveis para absorção pelas raízes das plantas.

Segundo Malavolta *et al.* (1997), os teores foliares de nitrogênio considerados adequados para as espécies florestais variam de 12 a 35 g.kg^{-1} , sendo os teores observados nos diferentes períodos para as castanheiras enxertadas (16,28; 17,66; 16,58 e 19,64 g.kg^{-1} aos 19, 25, 31 e 37 meses após a enxertia, respectivamente; Figura 4A) enquadrados dentro dessa faixa. Os valores obtidos neste estudo também se aproximam de valores obtidos por Corrêa (2013), em castanheiras jovens e submetidas a alguns tratamentos de fertilização com macro e micronutrientes, e por Camargos e Muraoka (2007), em castanheiras cultivadas em solução nutritiva completa, ambas provenientes de mudas de sementes.

O maior teor de N foliar, observado aos 37 meses após a enxertia, deve ter colaborado para os maiores incrementos em altura e diâmetro da brotação do enxerto, observados no mesmo período (Figura 4A), já que essa variável é fortemente correlacionada com a capacidade fotossintética e outras variáveis fotossintéticas importantes, sendo aproximadamente 60% do nitrogênio total da folha encontrado nos cloroplastos, formando, principalmente, parte de enzimas da fotossíntese, como a Rubisco (Hikosaka, 2004).

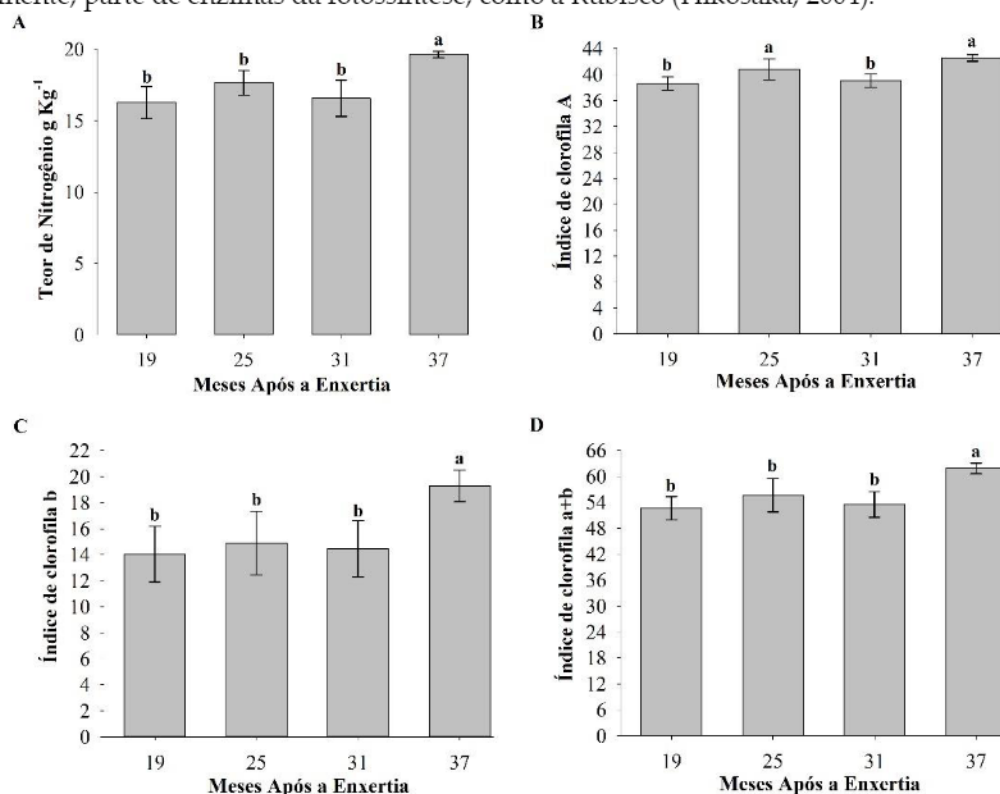


Figura 4. Teor de N foliar (g.kg^{-1}) (A); índice de clorofila a (B); índice de clorofila b (C) e índice de clorofila total (D) de clones de castanheira-da-amazônia obtidos via enxertia por borbulhia em placa e avaliados em campo, aos 19, 25, 31 e 37 meses após a enxertia, em Roraima. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Clorofilômetros têm sido amplamente utilizados na agricultura, pelo fato de estimarem, de forma rápida, o conteúdo de clorofila presente nas folhas (Brito *et al.*, 2011). Vários

estudos relatam relação entre a concentração de pigmentos fotossintéticos e as leituras disponibilizadas pelos clorofilômetros (Argenta *et al.*, 2001; Brito *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2019; Lacerda *et al.*, 2020; Wenneck *et al.*, 2021)

As análises que visam quantificar a concentração absoluta de clorofila através de métodos destrutivos, com o uso de solventes, além de dispender muito tempo, possuem custo elevado (Uddling *et al.*, 2007). Com isso, o uso de clorofilômetros torna-se mais vantajoso, pois proporciona, de forma rápida, de baixo custo e não destrutiva, a geração de um conjunto de dados que indiquem o teor relativo de clorofila presente no tecido foliar (Sant'ana *et al.*, 2010; Klooster *et al.*, 2012).

Os valores de IChla observados neste estudo, aos 19, 25, 31 e 37 meses após a enxertia foram, respectivamente, 38,64; 40,79; 39,07; 42,58 e de clorofila b 14,04; 14,89; 14,45; 19,3. Estes pigmentos (clorofila a e b) estão distribuídos na natureza na proporção 3:1, respectivamente (Streit *et al.*, 2005). Com exceção do último período de avaliação, onde a proporção foi de 2:1, as proporções obtidas nos demais períodos foram próximas a 3:1. De forma geral, os índices IChla, IChlb e IChlab foram maiores no último período de avaliação, explicando o maior incremento, tanto em altura, quanto em diâmetro do caule, obtidos nesse período, já que plantas com elevada quantidade de clorofilas são capazes de captar mais energia e potencializar a taxa fotossintética (Afonso *et al.*, 2017)

Na Tabela 1 são apresentados os resultados referentes aos coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis nos quatro períodos de avaliação. Segundo classificação de Cohen (1988), correlações elevadas, positivas e significativas ($p \leq 0,05$) foram obtidas para as combinações CBP x DBP; teor de N x IChla; teor de N x IChlb; teor de N x IChlab; IChla x IChlb; IChla x IChlab; IChlb x IChlab; IChlb x IChla/b e IChlab x IChla/b. Com exceção das correlações da variável IChla/b com CBP, DBP, teor de N e IChla, as quais foram negativas, todas as demais combinações foram positivas e moderadas.

Tabela 1. Coeficientes de correlação de Pearson para as variáveis comprimento da brotação principal (CBP), diâmetro da brotação principal (DBP), teor foliar de nitrogênio (teor de N), índice de clorofila a (IChla), clorofila b (IChlb), clorofila a+b (IChlab) e razão do índice de clorofila a/b (IChla/b) de clones de castanheira-da-amazônia obtidos via enxertia e avaliados, em campo, aos 19, 25, 31 e 37 meses após a enxertia, em Roraima

	DBP	teor de N	IChla	IChlb	IChlab	IChla/b
CBP	0,87*	0,38*	0,43*	0,49*	0,49*	-0,43*
DBP		0,32*	0,37*	0,41*	0,42*	-0,34*
Teor de N			0,65*	0,66*	0,70*	-0,55*
IChla				0,76*	0,91*	-0,58*
IChlb					0,95*	0,88*
IChlab						0,81*

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

A elevada correlação positiva entre DBP e CBP (0,87) é desejável, uma vez que, dependendo do porte da planta, o diâmetro é uma variável muito mais fácil de ser mensurada do que a altura, não necessitando de muito tempo, nem de equipamentos custosos e sofisticados. Além disso, segundo Wadt *et al.* (2005), quanto maior o diâmetro do tronco, melhor a posição sociológica e a forma da copa, e maior a produção de castanha.

As correlações obtidas entre as variáveis de crescimento CBP e DBP e as variáveis IChla, IChlb, IChlab podem prever como estão os ajustes fotossintéticos das plantas em relação ao ambiente de crescimento (Engel & Poggiani, 1991). Essas correlações elevadas indicam que, quanto mais clorofila, mais energia e maior o crescimento da planta (Thiesen *et al.*, 2017). As correlações entre estes dois grupos de variáveis (crescimento e índices de clorofila) podem ser aumentadas em virtude de maior demanda nutricional, em especial o nitrogênio, que nas folhas são integrantes de enzimas que estão associadas aos cloro-

plastos (Salisbury & Ross, 2012). Segundo Schroth *et al.* (2015), conforme as plantas crescem em altura, a biomassa da parte aérea tende a diminuir, enquanto outras partes lenhosas como galhos e caule tendem a aumentar.

A concentração de clorofila é afetada por muitos fatores, incluindo a concentração de nitrogênio (Brito *et al.*, 2011). Sendo assim, a presença de correlação positiva entre teor de nitrogênio foliar e conteúdo de clorofila, medida por meio de clorofilômetros, tem sido amplamente utilizada para determinação rápida do teor de nitrogênio na planta (Brito *et al.*, 2011; Zuffo *et al.*, 2012). O nitrogênio é parte de uma série de compostos indispensáveis ao desenvolvimento das plantas, inclusive das moléculas de clorofila (Taiz *et al.*, 2017), o que explica as elevadas correlações obtidas entre o teor de N e as variáveis IChla, IChlb e IChlab.

Os resultados obtidos são importantes no sentido de elucidar o crescimento e desenvolvimento inicial de castanheiras enxertadas, em condições de monocultivo. Entretanto, por se tratar de espécie perene e de ciclo longo, o desenvolvimento das castanheiras precisa ser monitorado por períodos de longa duração, já que, segundo Tonini *et al.* (2008), o crescimento inicial da espécie pode não caracterizar o potencial da espécie para cultivos.

4. Conclusões

- Os clones-copa considerados no estudo apresentaram desenvolvimento similar, em todos os períodos avaliados;
- Aos 37 meses após a enxertia, que representa uma das estações secas estudadas, os incrementos em altura e diâmetro, bem como os índices de clorofila e o teor de nitrogênio nas folhas, foram mais elevados do que nos demais períodos avaliados;
- A presença de correlação positiva entre variáveis de crescimento e teor de N e índices de clorofila, explicam o desenvolvimento das plantas em diferentes períodos de avaliação.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem à Embrapa, pelo apoio financeiro e técnico, à Capes pela bolsa de Pós-Graduação concedida ao primeiro e quarto autor e ao CNPq pela bolsa de iniciação científica concedida ao quinto autor.

6. Referências bibliográficas

- Afonso, M. V., Martinazzo, E. G., Aumonde, T. Z., & Villela, F. A. (2017). Parâmetros fisiológicos de mudas de *Albizia niopoides* produzidas em diferentes composições de substrato. *Ciência Florestal*, 27, 1395-1402. <https://doi.org/10.5902/1980509830221>
- Almeida, I. I., dos Santos, R. F., Mayer, M. M., da Silva, J. Z., Alcoforado, A. T. W., & Pedrozo, C. (2020). Porta-enxertos e enxertia de castanheira-do-brasil pelo método da borbulhia em placa. *Revista de Ciências Agrárias - Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 63, 1-9.
- Antezana-Vera, S.A. (2017). Fluxo de seiva e crescimento de árvores em função das variáveis climáticas em espécies arbóreas na amazônia central – (Doutorado em Botânica). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Amazonas, 2017. 113f.
- Argenta, G., Silva, P. R. F. D., Bortolini, C. G., Forsthofer, E. L., & Strieder, M. L. (2001). Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 13, 158-167. <https://doi.org/10.1590/S0103-31312001000200005>
- Barbosa, R. I. 1997. Distribuição das chuvas em Roraima. In: Barbosa, R.I.; Ferreira, E.J.G.; Castellon, E. G. (eds.), Homem, Ambiente e Ecologia no Estado de Roraima. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus. pp. 325-335.
- Botosso, P. C., Vetter, R. E. (1991). Alguns aspectos sobre a periodicidade e taxa de crescimento em oito espécies arbóreas tropicais de floresta de terra firme (Amazônia). *Revista do Instituto Florestal*, 3(2), 163-180.
- Brito, G. G., Sofiatti, V. S., Brandão, Z. N., Silva, V. B., Silva, F. M., & Silva, D. A. (2011) Non-destructive analysis of photosynthetic pigments in cotton plants. *Acta Scientiarum Agronomy*, 33(4), 671-678. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i4.10926>
- Camargos, S. L., & Muraoka, T. (2007). Teores, acúmulo e redistribuição de macronutrientes em castanheira-do-brasil. *Revista Agricultura Tropical*, 10, 72-83.

- Cardarelli, H. R.; Oliveira, A. J. Conservação do leite de castanha-do-brasil. *Scientia Agrícola*, v.57, p. 617- 622, 2000.
<https://doi.org/10.1590/S0103-90162000000400004>
- 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. <https://doi.org/10.1155/2012/978019>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale, NJ. 579 p.
- Corvera-Gomringer, R., Del Castillo Torres, D., Suri Palomino, W., Cusi Auca, E., & Canal Zamora, A. (2010). *La castaña amazónica (Bertholletia excelsa) manual de cultivo*. Madre de Dios: Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana, Peru, 74p.
https://repositorio.iiap.gob.pe/bitstream/20.500.12921/139/1/Corvera_libro_2010.pdf
- Costa, M. G., Tonini, H., & Mendes, P. (2017). Atributos do solo relacionados com a produção da castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa*). *Floresta e ambiente*, 24, 1-10. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.004215>
- Cruz, C. D. (2006). *Programa Genes - Análise multivariada e simulação*. Editora UFV, Viçosa, 175 p.
- Donadio, L. C. Frutas nativas potenciais. (2008) CAP. 1. IN: Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas / editores técnicos, Ana Christina Sagebin Albuquerque, Aliomar Gabriel da Silva. - Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica.
- Détienne P, Barbier C, Ayphassorho H & Bertin F. (1988). Rythmes de croissance de quelques essences de Guyane Française. *Revue Bois et Forêts des Tropiques* 217: 63–76.
- Embrapa. (2008). Análise de nitrogênio total em aparelhagem de vidro para destilação de nitrogênio. Embrapa Roraima, 20 p.
- Engel, V. L., & Poggiani, F. (1991). Estudo da concentração de clorofila nas folhas e seu espectro de absorção de luz em função do sombreamento em mudas de quatro espécies florestais nativas. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 3(1), 39-45.
- Faostat. Statistical Database. (2022). Disponível em: <http://faostat.fao.org>
- Ferreira, D. F. (2011). Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e agrotecnologia*, 35, 1039-1042.
<https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>
- Ferreira, L. M. M., & Tonini, H. (2009). Comportamento da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) e da cupiúba (*Goupia glabra*) em sistema agrosilvicultural na região da Confiança, Cantá-Roraima. *Acta Amazonica*, 39, 835-841.
- Hikosaka, K. (2004). Interspecific difference in the photosynthesis–nitrogen relationship: patterns, physiological causes, and ecological importance. *Journal of Plant Resource*. 117, 481–494. <https://doi.org/10.1007/s10265-004-0174-2>
- Homma, A. K. O., Menezes, A. J. E. A., Maués, M. M. (2014). Castanheira-do-pará: os desafios do extrativismo para plantios agrícolas. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais*, 9(2), 293-306.
- Klooster, W. S., Cregg, B. M., Fernandez, R. T., & Nzokou, P. (2012). Growth and physiology of deciduous shade trees in response to controlled-release fertilizer. *Scientia Horticulturae*, 135, 71-79. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.12.009>
- Lacerda, E. G., de Jesus Sanches, L. F., Queiroz, J. O., & da Silva, C. P. (2020). Adubação nitrogenada no vigor das mudas, concentração de aminoácidos e proteínas totais e no teor de clorofila no feijão-de-corda (*Vigna unguiculata*). *Agri-Environmental Sciences*, 6, 01-11. <https://doi.org/10.36725/agries.v6i0.1413>
- Malavolta, E., Vitti, G. C., & Oliveira, S. A. D. (1997). *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Piracicaba, 319p.
- Martins, L., Silva, G., & Silveira, B. C. Produção e comercialização da castanha do brasil (*Bertholletia excelsa*, HBK) no Estado do Acre-Brasil, 1998- 2006. In: Congresso da sociedade brasileira de economia, administração e sociologia rural. Anais. 2008.
- Maués, M. M. (2002). Reproductive phenology and pollination of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl. Lecythidaceae) in Eastern Amazonia. In: Kevan, P; Imperatriz Fonseca, Y. L. (Eds.). *Pollinating beesthe conservation link between agriculture and nature*. Ministério do Desenvolvimento. Brasília. p. 245-254
- Moritiz, A. (1984). Estudos biológicos da Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* HBK) EMBRAPA - Centro de Pesquisa Agropecuário de Trópico Úmido. Documentos 29: 1–82.

- Mourão Jr. et al. Precipitação pluviométrica em áreas de transição savana-mata de Roraima: campos experimentais Serra da Prata e Confiança. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2003 (Comunicado técnico).
- Müller, C. H. (1995). *A cultura da castanha-do-brasil*. Belém, Embrapa-CPATU, 65p.
- Müller, C.H. (1981). *Castanha-do-brasil: estudos agronomicos*. Belém, Embrapa-CPATU, 24p.
- Nogueira, A. K. M., & de Santana, A. C. (2018). Influência das chuvas na oferta de castanha-do-brasil e o impacto no benefício socioeconômico e ambiental, no Oeste do estado do Pará. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 45, 215-230. <http://dx.doi.org/10.5380/dma.v45i0.50562>
- O'Malley, D. M., Buckley, D. P., Prance, G. T., & Bawa, K. S. (1988). Genetics of Brazil nut (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.: Lecythidaceae). *Theoretical and Applied Genetics*, 76(6), 929-932.
- Pedrozo, C. Â., Tonini, H., Resende, M. D. V., & Jordão, S. M. S. (2015). Repeatability of fruits and seeds production and selection of Brazil nut genotypes in native populations in Roraima. *Revista Árvore*, 39, 863-871. <https://doi.org/10.1590/0100-67622015000500009>
- Picanço, C. A. S., & Costa, R. C. (2019). Análise da cadeia produtiva da castanha-do-brasil coletada na reserva biológica do Rio Trombetas, Oriximiná, Pará. *Brazilian Journal of Development*, 5(10), 194 60-19483. <https://doi.org/10.34117/bjdv5n10-170>
- Ribeiro, G. D., Costa, J. N. M., Vieira, A. H., Santos, M. R. A. (2005). Enxertia em Fruteiras. Embrapa. (Recomendações Técnicas, 92), ISSN 1415-0891.
- Salisbury, F. B., & Ross, C. W. (2012). *Fisiologia das plantas*. Editora Cengage Learning, Wadsworth, Belmont. 792p.
- Salomão, R. de P., de Santana, A. C., Júnior, S. B., de Araújo Rosa, N., & Precinoto, R. S. (2014). Crescimento de *Bertholletia excelsa* Bonpl.(castanheira) na Amazônia trinta anos após a mineração de bauxita. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais*, 9(2), 307-320. <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v9i2.527>
- Sant'Ana, E. V. P., Santos, A. B. D., & Silveira, P. M. D. (2010). Adubação nitrogenada na produtividade, leitura SPAD e teor de nitrogênio em folhas de feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 40, 491-496. <https://doi.org/10.1590/S1983-40632010000400012>
- Schroth, G., da Mota, M. D. S. S., & de Assis Elias, M. E. (2015). Growth and nutrient accumulation of Brazil nut trees (*Bertholletia excelsa*) in agroforestry at different fertilizer levels. *Journal of forestry research*, 26(2), 347-353. <https://doi.org/10.1007/s11676-015-0037-9>
- 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, 555-564. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.132015>
- Scoles, R., Klein, G. N.; Gribel, R (2011). Crescimento e sobrevivência de *Bertholletia excelsa* Bonpl. (castanheira) em diferentes condições ambientais na região do rio Trombetas, Oriximiná, Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais*, 6(3), 273-293. <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v6i3.610>
- Silva, T. M. M., Costa, B. R. S., Oldoni, H., Salviano, A. M., & Bassoi, L. H. (2019). Estimativa de teores foliares de clorofila em vinhedo por meio de clorofilômetro portátil. In: Simpósio nacional de instrumentação agropecuária, 4, 2019, São Carlos. Anais. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2019.
- Spathelf, P., Fleig, F. D., Vaccaro, S., & Esber, L. M. (2000). Análise dendroecológica de *Ocotea pulchella* nees et mart. ex nees (canela lageana) na Serra Geral de Santa Maria, RS, Brasil. *Ciência Florestal*, 10, 95-108. <https://doi.org/10.5902/19805098398>
- Streit, N. M., Canterle, L. P., Canto, M. W. D., & Hecktheuer, L. H. H. (2005). As clorofilas. *Ciência Rural*, 35, 748-755. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782005000300043>
- Taiz L., Zeiger E., Møller IM., & Murphy A. (2017). *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. Editora Artmed, Porto Alegre, 847p.
- Thiesen, L. A., Pinheiro, M. V. M., Holz, E., Fontana, D. C., & dos Santos, J. (2017). Correlação de Pearson entre pigmentos fotossintetizantes e fitomassa de plantas de *Aloysia triphylla*. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 02(03), 249-257. <https://doi:10.24221/jeap.2.3.2017.1450.249-257>

- Tonini, H., & Pedrozo, C. Â. (2014). Variações anuais na produção de frutos e sementes de castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl., Lecythidaceae) em florestas nativas de Roraima. *Revista Árvore*, 38, 133-144. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000100013>
- Tonini, H., Oliveira Junior, M. M. C. D., & Schwengber, D. (2008). Crescimento de espécies nativas da Amazônia submetidas ao plantio no estado de Roraima. *Ciência Florestal*, 18, 151-158. <https://doi.org/10.5902/19805098453>
- Uddling, J., Gelang-Alfredsson, J., Piikki, K., & Pleijel, H. (2007). Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. *Photosynthesis research*, 91(1), 37-46. <https://doi.org/10.1007/s11120-006-9077-5>
- Vieira, A. H., Locatelli, M., & Souza, V. F. (2002). Crescimento de castanha-do-brasil em sistema consorciado e monocultivo em solos de baixa fertilidade. *Embrapa (Circular Técnica, 57)*, 4p. ISSN 0103-9334.
- Wadt, L. D. O., & Kainer, K. A. (2009). Domesticação e melhoramento de castanha. In: Borém, M. T. G. L.; Charles, R. C. (Ed.) *Domesticação e melhoramento: espécies amazônicas*. Viçosa, 2009. p. 297-318.
- Wadt, L. D. O., Baldoni, A. B., Silva, V. S., Campos, T. D., Martins, K., Azevedo, V. C. R. & 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. <https://doi.org/10.1515/sg-2015-0023>
- 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. <https://doi:10.1016/j.biocon.2007.10.007>
- Wadt, L. H., Kainer, K. A., & Gomes-Silva, D. A. (2005). Population structure and nut yield of a *Bertholletia excelsa* stand in Southwestern Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 211(3), 371-384. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.02.061>
- Wenneck, G. S., Villa, V., Saath, R., Rezende, R., Pereira, G. L., & Mondanez, B. M. C. (2021). Pigmentos foliares na cultura da ervilha: relação entre índice spad e conteúdo de clorofila. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, 15(3), 391-400. <https://doi.org/10.18011/bioeng2021v15n3p391-400>
- Zanon, M. L. B., Finger, C. G. (2010). Relação de variáveis meteorológicas com o crescimento das árvores de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em povoamentos implantados. *Ciência Florestal*, 20(3), 467-476. <https://doi.org/10.5902/198050982061>