

Crescimento de *Bertholletia excelsa* Bonpl. (castanheira) na Amazônia trinta anos após a mineração de bauxita

Growth of *Bertholletia excelsa* Bonpl. (Brazil nut) in Amazonia thirty years after bauxite mining

Rafael de Paiva Salomão^I, Antônio Cordeiro de Santana^{II}, Silvio Brienza Júnior^{III},
Nélson de Araújo Rosa^I, Raíza Salomão Precinoto^{IV}

^IMuseu Paraense Emílio Goeldi/MCTI. Belém, Pará, Brasil

^{II}Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém, Pará, Brasil

^{III}Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Amazônia Oriental. Belém, Pará, Brasil

^{IV}Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil

Resumo: *Bertholletia excelsa* é uma espécie com ampla distribuição na Amazônia, testada e recomendada na recuperação de áreas degradadas pela atividade minerária. Em 1984, em uma área de restauração florestal da Floresta Nacional de Saracá-Taquera, implantou-se um reflorestamento em 19,4 ha, com mudas de castanheira e outras 66 espécies. Foi monitorado o crescimento em diâmetro de 416 castanheiras em um período de dez anos. Os diâmetros médios encontrados foram de 19,2 ± 10,0 cm, 21,1 ± 10,7 cm, 23,2 ± 11,4 cm, 24,9 ± 11,9 cm e 28,2 ± 12,7 cm, respectivamente aos 20, 22, 24, 26 e 30 anos de idade. Os incrementos do crescimento foram significativos em todos os períodos analisados. A altura média aos 20 anos foi de 15,6 ± 4,8 m (0,78 m ano⁻¹). O incremento médio anual do diâmetro à altura do peito (DAP) foi praticamente constante em todos os períodos monitorados (0,96 cm ano⁻¹). Foi proposto um modelo de tendência de crescimento do diâmetro em função do tempo (R² = 0,99). Aos 30 anos de idade, foram selecionadas 18 árvores, que deveriam servir como porta-sementes para produção de mudas e plantio nas áreas anuais de restauração florestal, em função de apresentarem incremento do DAP superior a 2 cm ano⁻¹.

Palavras-chave: Crescimento do diâmetro e altura. Taxa de crescimento. Recuperação de área degradada. Restauração ecológica. Amazônia.

Abstract: *Bertholletia excelsa* is a species widely distributed across Amazonia tested and recommended in the recovery of areas degraded by mining activity. In 1984, in an area under forest restoration within the Saracá-Taquera National Forest, a 19.4 ha reforestation patch was implemented with Brazil nuts seedlings planted along with those of 66 other species. We monitored the diameter growth of 416 Brazil nut trees over a ten-year period. The mean diameters observed for each time period were 19.2 ± 10.0 cm, 21.1 ± 10.7 cm, 23.2 ± 11.4 cm, 24.9 ± 11.9 cm and 28.2 ± 12.7 cm at 20, 22, 24, 26 and 30 years of age respectively. Growth increments were significant analyzed time periods. Mean height at 20 years was 15.6 ± 4.8 m (0.78 m yr⁻¹). The Mean Annual Increment (MAI) of the diameter at breast height (DBH) was almost constant in all monitored periods (0.96 cm yr⁻¹). A geometric growth rate model for diameter growth was proposed (R² = 0.99). Eighteen trees of 30 years of age were selected to serve as seed-producing trees for seedling production and for annual forest restoration areas planting as they show an annual increment of 2 cm in DBH.

Keywords: Diameter and height growth. Growth rate. Recovery of degraded areas. Ecological restoration. Amazonia.

SALOMÃO, R. P., A. C. SANTANA, S. BRIENZA JÚNIOR, N. A. ROSA & R. S. PRECINOTO, 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. Autor para correspondência: Rafael de Paiva Salomão. Museu Paraense Emílio Goeldi/MCTI. Coordenação de Botânica. Av. Perimetral, 1901 – Terra Firme. Belém, PA, Brasil. Caixa Postal 399. CEP 66040-170 (salomao@museu-goeldi.br).

Recebido em 27/08/2013

Aprovado em 31/07/2014

Responsabilidade editorial: Toby A. Gardner



INTRODUÇÃO

A restauração florestal em áreas de minas a céu aberto tem preocupado pesquisadores e técnicos há décadas. Inicialmente, com ênfase na necessidade da revegetação para o controle de erosão e para atender aspectos estéticos, passou a visar, a partir dos anos de 1980, além da recuperação da produção primária líquida (biomassa), ao incremento da biodiversidade nessas áreas restauradas (Griffith, 1980).

Atualmente, na Amazônia, após a lavra do minério, inicia-se o processo de restauração florestal por meio do reflorestamento heterogêneo (média de 80 espécies), concomitantemente à incorporação e espalhamento de solo superficial (camada de 10-20 cm, horizontes A0 e A1), que, além de contribuir na estruturação do solo, disponibiliza seu rico banco de sementes que influi positivamente e decisivamente na sucessão ecológica.

A restauração de paisagens tropicais degradadas demanda a necessidade urgente de intervenções para restaurar a biodiversidade e o fornecimento de bens e serviços ecológicos anteriormente utilizados por comunidades rurais pobres (Lamb *et al.*, 2005). Plantações tradicionais de espécies madeireiras forneceram apenas contribuições menores para cumprir a maioria desses outros objetivos. De acordo com os autores, novas abordagens para reflorestamento estão emergindo com potencial tanto para a superação da degradação florestal como para combater a pobreza rural, incluindo os produtos florestais não madeireiros, como a castanha do Brasil, na Amazônia.

A restauração de ecossistemas florestais tropicais sustentáveis em áreas de mineração é um desafio formidável, que exige a integração de técnicas de recuperação comprovadas e estratégias de reflorestamento apropriadas às condições específicas do local, incluindo os padrões de biodiversidade da paisagem (Parrotta & Knowles, 2001). Restauradores que trabalham na maioria dos ambientes tropicais são geralmente prejudicados pela falta de informações básicas sobre a grande variedade de espécies de árvores nativas que caracterizam as florestas pré-perturbação, bem como pela insuficiente

compreensão da ecologia da perturbação e recuperação natural para projetar programas de recuperação eficazes. O uso de um grande número de espécies florestais é muito importante para o sucesso da restauração de longo prazo (SER, 2004), pois limitações em processos de recuperação naturais inibem a dispersão de sementes e a subsequente colonização de muitas espécies florestais, como *Bertholletia excelsa*, que apresentam crescimento durante séculos.

A restauração ecológica envolve o atendimento a, no mínimo, nove atributos listados pela SER (2004). Entre estes, destaca-se que o ecossistema restaurado deva conter um conjunto característico de espécies-chave que ocorram no ecossistema de referência, fornecendo uma estrutura apropriada de comunidade, e também que seja constituído do maior número possível de espécies nativas. A seleção de espécies inadequadas, sobretudo em relação ao estágio sucessional, a adaptabilidade da espécie ao novo ecossistema artificial formado e a resistência aos predadores herbívoros, entre outros, são fatores indispensáveis de serem observados. Salomão *et al.* (2012, 2013) desenvolveram um modelo baseado em análise multivariada que envolveu seis variáveis quantitativas (abundância, frequência, dominância, biomassa, valor comercial da madeira e quantidade de produtos florestais não madeireiros – PFNM) e igual número de variáveis qualitativas dessas mesmas variáveis, para a determinação das espécies-chave de uma comunidade florestal e do respectivo número de mudas a plantar.

Os plantios de alta densidade, aliados à indução da regeneração natural, têm sido as práticas mais recomendadas para a recuperação de fragmentos degradados, podendo ainda, segundo Rodrigues & Gandolfi (2000), ser utilizados em áreas muito degradadas e que não conservam nenhuma das características bióticas da formação original, que é o caso das áreas de mineração a céu aberto. Vieira *et al.* (2009) citam, entre outros métodos de restauração ativa, o Plantio Adensado de Árvores, em que se planta um grande número de árvores (> 1.000 ind. ha⁻¹), majoritariamente de espécies pioneiras, criando assim, rapidamente, um ambiente adequado para o estabelecimento de espécies

das fases tardias da sucessão, propiciando um aumento da diversidade (Reay & Norton, 1999). As espécies escolhidas devem ser tolerantes ao ambiente do local de plantio, potencialmente atrativas a dispersores, ou se reproduzir rapidamente (Lamb & Gilmour, 2003).

Quantificar a taxa de crescimento das árvores das florestas da Amazônia é essencial para o manejo florestal e para a compreensão do seu papel em relação aos serviços ecossistêmicos, sobretudo no ciclo do carbono. Usando a datação por radiocarbono e medição direta do incremento em diâmetro para documentar as taxas de crescimento, Vieira *et al.* (2005) surpreenderam-se com o incremento médio anual de apenas 1 mm ano⁻¹ para as árvores da Amazônia central. Os autores estimaram que 17-50% das árvores com diâmetro a 1,30 m do solo (DAP) > 10 cm têm idades superiores a 300 anos. Todavia, muitas espécies de árvores emergentes que compõem a fração majoritária da biomassa crescem mais rápido do que as pequenas árvores – que são mais abundantes e crescem mais lentamente –, atingindo idades de centenas de anos.

Geralmente se aceita que as árvores da floresta tropical têm baixa longevidade, raramente ultrapassando 400 anos. No entanto, Chambers *et al.* (1998) fizeram datação através de ¹⁴C em 20 árvores de 13 espécies emergentes da Amazônia central e, ao contrário de visões convencionais, estimaram uma idade de até 1.400 anos em um exemplar de *Cariniana micrantha* Ducke, da mesma família da castanheira (Lecythidaceae). Algumas árvores muito grandes foram estimadas por Pires (1976) como tendo mais de 1.000 anos. As castanheiras são emergentes de vida longa e, em casos extremos, árvores muito velhas provavelmente possam sustentar uma produção de frutos por mais de 800 anos (Peres *et al.*, 2003). Camargo *et al.* (1994), através de datação radiocarbônica, estimaram uma idade de 440 ± 60 anos para uma castanheira de 233 cm de DAP, ou seja, incremento médio anual do diâmetro de 0,53 cm ano⁻¹. Salomão (2009) extrapolou esse resultado para nove castanheiras com diâmetros entre 305 e 387 cm, registradas na Floresta Nacional (FLONA) de Saracá-Taquera (Pará), estimando idades entre 576 a 731 anos.

Estudos abordando o incremento anual do crescimento em diâmetro das árvores, desenvolvidos na Amazônia, foram apresentados por diversos autores (Heinsdijk, 1965; Veillon *et al.*, 1976; Moraes, 1970; Pires, 1976; Oliveira & Silva, 1995; Chambers *et al.*, 1998; Vieira, 2003; Leão *et al.*, 2005; Salomão *et al.*, 2007, 2013). No entanto, até a presente data inexistem estudos para a Amazônia que tenham avaliado a dinâmica das espécies, incluindo *B. excelsa*, na restauração florestal de áreas intensamente impactadas pela mineração.

Em uma unidade de conservação de uso sustentável, a FLONA de Saracá-Taquera, a Mineração Rio do Norte (MRN) promove a lavra da bauxita a céu aberto desde 1979. Após a extração do minério, as áreas entram em processo de restauração florestal, em um ciclo anual contínuo que envolve o reflorestamento com espécies nativas concomitantemente à incorporação de uma camada de solo superficial. No ano de 1984, foi implantado um reflorestamento heterogêneo em áreas que foram mineradas anteriormente e que originalmente eram cobertas pela floresta ombrófila densa submontana com emergentes. Em uma área de 19,4 ha, foram plantadas árvores de castanheira juntamente com dezenas de outras espécies. Este trabalho objetiva analisar o crescimento, em diâmetro e altura, de exemplares de *B. excelsa* plantadas em reflorestamentos destinados à recuperação de áreas afetadas por atividades de mineração recente. Será testada também a hipótese de que as taxas de crescimento dessa espécie podem ser afetadas nesses tipos de áreas perturbadas, utilizando-se, para isso, comparações com dados obtidos em outras áreas, onde foram empregados diferentes tipos de manejos, e também por meio da comparação com o crescimento das demais espécies associadas a *B. excelsa* nesses reflorestamentos.

MATERIAL E MÉTODOS

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na FLONA de Saracá-Taquera (1° 47' 02,56" S, 56° 31' 49,00" W), com altitude média de 180 m, no distrito de Porto Trombetas, município

de Oriximiná, estado do Pará. Na FLONA, existem 23 platôs com extensões variadas de terrenos planos ou pouco ondulados, elevados, cortados por vales neles encaixados, com ocorrência de minério no subsolo, onde a MRN desenvolve um projeto mínero-industrial de bauxita (Lapa, 2000). Esses platôs são bem definidos, têm os topos planos achatados, com altitudes entre 150 e 200 m, estando inseridos na região da floresta ombrófila densa, sub-região dos baixos platôs da Amazônia no domínio da floresta densa submontana, cuja fitofisionomia se refere à floresta localizada principalmente nos platôs terciários e terraços antigos e recentes, apresentando-se em dois estratos distintos: um emergente e outro uniforme (RADAMBRASIL, 1976). As principais espécies que caracterizam o estrato emergente são: *Dinizia excelsa* Ducke ('angelim-pedra'), *B. excelsa* ('castanheira') e *Cedrelinga cateniformis* Ducke ('cedrorana'). O estrato uniforme é caracterizado por espécies dos gêneros *Manilkara* Adans. ('maçarandubas'), *Protium* Burm. f. ('breus') e *Pouteria* Aubl. ('abius').

O clima da região é Af (tropical úmido), de acordo com a classificação climática de Köppen (Peel *et al.*, 2007), com médias anuais de temperatura, precipitação pluviométrica, umidade relativa e insolação de, respectivamente, 26 °C, 2.197 mm, 81% e 2.026 horas (INMET, s. d.).

Na FLONA, a lavra do minério é feita a céu aberto e em faixas com escavação mecânica dos materiais (estéril e minério). A bauxita encontra-se entre 4 e 10 m de profundidade, em área coberta pela floresta ombrófila densa. Sucintamente, as operações de lavra nas minas de bauxita consistem no desmatamento, decapeamento, extração e transporte do minério e posterior restauração florestal das áreas mineradas. Antes da operação de desmatamento, a empresa tem de proceder à avaliação qualitativa e quantitativa da vegetação florestal para, entre outras atividades, possibilitar o aproveitamento de toda a madeira comercial, a valoração dos produtos florestais não madeireiros, bem como a subsidiar as ações de restauração florestal das áreas mineradas e daquelas provenientes da infraestrutura necessária para a produção minerária.

Nas áreas do reflorestamento de 1984, analisado neste trabalho, o solo superficial não foi espalhado superficialmente no terreno, como se faz desde 1985 até os dias atuais. Naquele ano, o solo superficial foi misturado ao volume de solo através de um equipamento denominado 'motoscaper'. Foram plantadas 2.500 mudas ha⁻¹, de um total de 67 espécies, no espaçamento de 2 x 2 m (2 m entre linhas e 2 m na linha de plantio); o espaçamento de *B. excelsa* foi variável, uma vez que a mistura das espécies nas caixas de plantio era também variável; entretanto, havia a recomendação de se procurar plantar 50 mudas ha⁻¹ (10 x 50 m). A adubação foi feita somente no plantio e era constituída de uma mistura homogeneizada por 10 minutos em betoneira, composta por quatro carros de mão de terra preta, três carros de mão de esterco de gado curtido, 450 g de NPK 4-14-8, 150 g de Yoorin® (termofosfato magnésiano) e 45 g de FTE BR 12® (fertilizante com micronutrientes Zn = 9%, Mn = 2%, B = 1,8%, Mo = 0,1%, Cu = 0,8%, Fe = 3%). Por ocasião do plantio, em cada cova foram colocados 40 g dessa mistura de fertilizantes, com mais 40 g de calcário dolomítico (Poder Relativo de Neutralização Total – PRNT – do calcário = 95%; CaO = 32% e MgO = 14%).

COLETA DE DADOS NAS UNIDADES AMOSTRAIS

As árvores de *B. excelsa* monitoradas pertencem ao reflorestamento de 1984, quando foram usadas mudas de 67 espécies, incluindo a castanheira, plantadas no espaçamento de 2 x 2 m (2.500 mudas ha⁻¹). Em uma área de 19,4 ha, localizada no Platô Saracá, foram monitoradas 416 árvores de *B. excelsa* no período de dez anos, com cinco medições plurianuais nos anos de 2003/2005/2007/2009/2013. Todos os indivíduos de castanheira, independentemente do DAP, foram registrados, plaqueados, identificados, tiveram o DAP mensurado, além de, somente no ano 1 do monitoramento, ter sido estimada a altura do fuste e da copa. Dessa forma, tais variáveis e o volume comercial de madeira foram analisados somente para o ano de 2003.

DESCRITORES CALCULADOS E ANALISADOS

Foram avaliados o crescimento em diâmetro e altura, a densidade de plantio, o incremento periódico anual (IPA) e o incremento médio anual (IMA) de todas as árvores de *B. excelsa* que estavam presentes no ano 0 (2003) e assim permaneceram até o ano 10 (2013). Essas variáveis, com distribuição normal, foram dispostas em classes cujas amplitudes foram calculadas em função da média e do desvio padrão da respectiva variável.

O incremento periódico anual da variável em análise refere-se ao crescimento para qualquer período específico, dividido pelo número de anos do período. O incremento médio anual refere-se ao crescimento dividido pela idade.

TAXA DE CRESCIMENTO DO DIÂMETRO

Para avaliar o crescimento das árvores de *B. excelsa* do reflorestamento de 1984, foi calculada a taxa de crescimento anual média do diâmetro em cada ano do monitoramento. Posteriormente, as médias foram transformadas em logaritmos naturais, visando melhorar o ajuste das equações, pois o uso dos valores logaritimizados proporciona uma dispersão mais homogênea dos dados ao longo das curvas estimadas pelas equações (Condit *et al.*, 1993; Scolforo *et al.*, 2008).

O valor da taxa anual de crescimento do DAP r foi obtido pela equação $r = (\text{antln } b - 1) * 100$, em que r é a taxa anual de crescimento estimada (ou simplesmente taxa anual de crescimento – TAC). O parâmetro b da equação foi estimado pelo método dos Mínimos Quadrados Ordinários

(MQO), por gerar as melhores estimativas lineares e não tendenciosas. Uma vez obtidas as estimativas de b , por meio da equação da espécie, foi testada a significância estatística da estimativa de b , adotando-se uma confiabilidade de pelo menos 95%. Para efeito de projeção, deve-se considerar o nível de 99% de confiabilidade. A aferição dessa significância foi realizada por meio das estatísticas t de Student e F de Snedecor. De posse dessa taxa, pode-se estimar o valor provável do diâmetro para períodos futuros. Por exemplo, o diâmetro da espécie, em 2020, pode ser obtido como a seguir: $DAP_{2020} = DAP_{2013} (1 + r)^7$.

O teste das médias de crescimento do DAP de *B. excelsa* foi calculado para intervalos de dois e quatro anos, analisando-se sempre dois períodos sucessivos de crescimento.

RESULTADOS

Foram analisados os dados de monitoramento de 416 árvores de *B. excelsa* que estavam presentes no ano 0 (2003) e assim permaneceram até o ano 10 (2013), implicando uma densidade de 21,4 árvores ha⁻¹.

ALTURA E VOLUME DE MADEIRA

A altura total média (média ± DP) foi de 15,6 ± 4,8 m, com uma amplitude variando de 3 a 35 m (Tabela 1). O incremento médio anual da altura total aos 20 anos de idade foi de 0,78 m ano⁻¹. No ano de 2003, o volume total de madeira com casca de *B. excelsa* foi estimado em 124,26 m³; média de 6,41 m³ ha⁻¹ aos 20 anos de idade (2003).

Tabela 1. Altura média e volume médio de madeira aos 20 anos e diâmetro médio entre 20 e 30 anos de idade de *B. excelsa* em área sob restauração florestal após mineração na FLONA de Saracá-Taquera (Pará). Entre parênteses tem-se o número de árvores de castanheira.

Parâmetro	Altura (m) aos 20 anos				Volume (m ³) 2003	Diâmetro (cm)				
	Fuste 2003	Copa 2003	Total 2003	IMA (m ano ⁻¹)		DAP 2003	DAP 2005	DAP 2007	DAP 2009	DAP 2013
Média (X)	10,3	5,3	15,6	0,78	0,30	19,2	21,1	23,2	24,9	28,2
Desvio Padrão (DP)	± 3,5	± 2,6	± 4,8	± 0,24	± 0,29	± 10,0	± 10,7	± 11,4	± 11,9	± 12,7
X + 1 DP	13,8 (79)	7,8 (72)	20,4 (59)	1,02 (59)	0,59 (60)	29,2 (64)	31,8 (62)	34,6 (62)	36,7 (61)	40,9 (65)
X + 2 DP	17,3 (5)	10,4 (13)	25,2 (10)	1,26 (10)	0,89 (28)	39,2 (19)	42,5 (20)	46,0 (21)	48,6 (21)	53,6 (16)
X + 3 DP	20,7 (0)	13,0 (4)	30,1 (1)	1,50 (2)	1,18 (19)	49,2 (4)	53,2 (3)	57,4 (3)	60,5 (3)	66,3 (3)



DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA (DAP)

O diâmetro médio das 416 árvores de *B. excelsa* no período de dez anos de monitoramento é demonstrado na Tabela 1. A taxa anual de crescimento do DAP variou de 5,6%, em 2003, a 3,6% em 2013, ou seja, o crescimento está ocorrendo em taxas decrescentes. Respectivamente, o menor diâmetro mensurado em 2003 e 2013 foi de 3,0 cm e 6,5 cm, enquanto o maior foi de 61,6 cm e 81,5 cm.

Considerando o diâmetro comercial como sendo de 45 cm, observou-se um total de 8, 15, 23, 30 e 44 árvores de castanheiras, nos respectivos períodos de monitoramento, como atendendo a esse critério. Esses valores, em termos de abundância por hectare, resultaram em 0,4, 0,8, 1,2, 1,5 e 2,3 árvores ha⁻¹, ou seja, em média, a partir dos 20 anos de idade é recrutada 0,2 árvore ha⁻¹ ano⁻¹ a partir daquele limite de DAP.

Adotando-se a amplitude de classe de 9,9 cm do DAP, observou-se que (Figura 1): (i) a classe modal (com maior ocorrência de indivíduos) foi a de 10-19,9 cm nos anos de 2003 a 2009 e, a partir de 2013, passou a ser a de 20-29,9 cm, ou seja, mantendo-se essa tendência, a cada seis anos a classe subsequente será a mais abundante;

(ii) até o ano de 2007 (idade de 24 anos), nenhuma castanheira apresentou DAP superior a 70 cm; somente em 2009 é que foi registrada uma (com 74,8 cm aos 26 anos de idade) e, em 2013 (30 anos), além de outras três árvores com 70,9 cm, 71,8 cm e 81,5 cm.

EVOLUÇÃO DO CRESCIMENTO EM DIÂMETRO

A análise dos valores médios calculados indica que, até a idade de 24 anos, o IPA evoluiu a taxas crescentes e, a partir daí, as taxas são decrescentes (Tabela 2). No período de dez anos, o IPA decresceu 14,4%, tendo o desvio padrão da média apresentado comportamento semelhante, com decréscimo de 16,7%, em consequência de uma maior homogeneidade dos valores individuais do DAP das 416 castanheiras. Considerando-se o IPA médio somado a um, dois e três valores positivos do desvio padrão, foram enquadradas 69, 13 e cinco castanheiras, respectivamente, aos 30 anos de idade.

O incremento médio anual foi praticamente constante em todos os cinco períodos analisados (0,96 cm ano⁻¹; praticamente 1,0 cm ano⁻¹). No entanto, o desvio padrão da média foi 16% inferior no período de dez anos

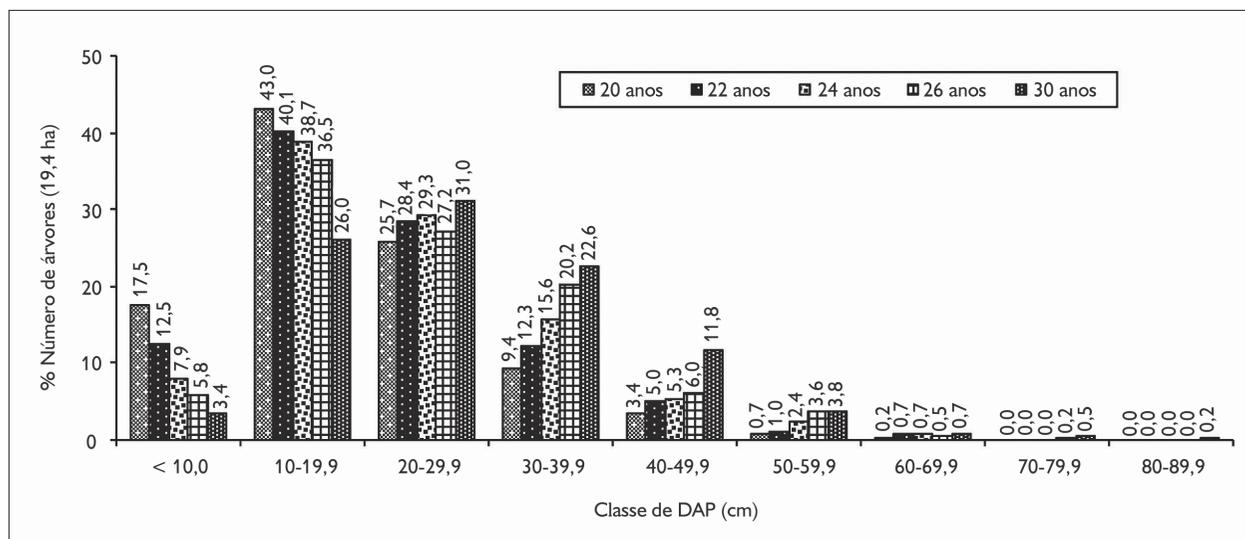


Figura 1. Distribuição diamétrica do número de árvores de castanheira (*B. excelsa*) no período de dez anos de monitoramento (2003-2013), em área sob restauração florestal, FLONA de Saracá-Taquera (Pará).

Tabela 2. Incremento periódico anual e incremento médio anual do DAP, entre 20 e 30 anos de idade de *B. excelsa* em área sob restauração florestal, FLONA de Saracá-Taquera (Pará).

Parâmetros	Incremento periódico anual (IPA) do DAP (cm ano ⁻¹)				Incremento médio anual (IMA) do DAP (cm ano ⁻¹)				
	2003-2005	2005-2007	2007-2009	2009-2013	1984-2003	1984-2005	1984-2007	1984-2009	1984-2013
Média (X)	0,97	1,01	0,85	0,83	0,96	0,96	0,97	0,96	0,94
Desvio padrão (DP)	± 0,60	± 0,62	± 0,58	± 0,50	± 0,50	± 0,49	± 0,48	± 0,46	± 0,42
> Valor IPA e IMA	4,55	3,35	3,45	3,40	3,08	2,95	2,91	2,88	2,72
< Valor IPA e IMA	0,00	-0,05	-0,50	0,00	0,15	0,20	0,23	0,25	0,22

– pelo mesmo motivo do IPA. No caso de se desejar fazer uma seleção de matrizes para coleta de amêndoas, com vistas à produção das mudas a serem plantadas nas áreas anuais de restauração florestal, de acordo com valor médio do IMA em 2013, somado a um, dois e três valores de desvio padrão da média, respectivamente, 1,36, 1,79 e 2,21 cm ano⁻¹, seria possível selecionar 65, 16 e três árvores de castanheira. Uma seleção baseada no incremento médio anual do DAP de 1,8 cm ano⁻¹ permitiria estabelecer um plantel com 18 árvores matrizes (Tabela 3). Observe-se que, neste plantel, existe uma castanheira com DAP, medido em 2013, de 81,5 cm, com praticamente 10 cm a mais do que a segunda de maior diâmetro (71,8 cm).

ÁREA BASAL E BIOMASSA

Durante os anos do monitoramento, a área basal evoluiu, respectivamente, de 0,79 m² ha⁻¹ (20 anos) para 0,94 m² ha⁻¹ (22 anos), 1,12 m² ha⁻¹ (24 anos), 1,28 m² ha⁻¹ (26 anos), chegando a 1,61 m² ha⁻¹ aos 30 anos de idade. Analogamente, a evolução da biomassa aérea, em peso seco, foi de 7,94, 9,82, 12,0, 13,94 e 18,11 t ha⁻¹.

Como observado na distribuição diamétrica (Figura 1), de 2003 a 2007 (20 a 24 anos de idade) as castanheiras ocorreram em apenas sete classes diamétricas, já aos 26 anos outra classe foi adicionada e mais uma aos 30 anos. Obviamente, com o passar do tempo, o crescimento diamétrico irá ocupar classes maiores. Todavia, ao se analisar o IPA (Tabela 4) por classe diamétrica, observou-se que, no período de 20 a 30 anos, os maiores incrementos

do diâmetro ocorreram no intervalo entre 40,0 a 59,9 cm, quando se considera o número mínimo de indivíduos (n) igual ou superior a dez.

TESTE DE MÉDIA DE CRESCIMENTO DO DAP

A estatística *t* de Student indicou que todos os resultados (valor *p*) foram diferentes de zero, ou seja, os crescimentos do DAP em todos os períodos analisados foram significativos a 1% de probabilidade, exceto no período de 2007-2009, que foi significativo a 2% (Tabela 5).

EQUAÇÃO DE CRESCIMENTO DO DAP

A taxa anual de crescimento *r*, ou simplesmente TAC, que permite prognosticar o valor provável do diâmetro de *B. excelsa* para períodos futuros, foi calculada através da equação genérica de crescimento do diâmetro – $DAP_t = DAP_0 (1 + 0,038853)^t$ –, sendo estimada em 3,8853% ao ano. As estimativas do coeficiente *b*, associado à tendência da equação da espécie quando teve testada a significância estatística a 99%, demonstraram que foi significativo ($F = 250,9961$; 0,0005 com 3 gl), sendo o coeficiente de determinação (R^2) de 0,9881.

De posse dessa taxa, pode-se estimar o valor provável do diâmetro da espécie para períodos futuros em condições semelhantes às deste estudo. Por exemplo, o diâmetro da espécie, em 2020, pode ser estimado, considerando que a média do DAP, em 2013, foi de 28,2 cm, como a seguir: $DAP_{2020} = DAP_{2013} (1 + r)^t \rightarrow DAP_{2020} = 28,2 (1 + 0,038853)^7 = 36,8$ cm.



Tabela 3. Características dendrométricas e de crescimento das 18 árvores porta-sementes ($\text{IMA} \geq 1,8 \text{ cm ano}^{-1}$) passíveis de seleção para produção de mudas e plantio nas áreas anuais de restauração florestal após mineração, na FLONA de Saracá-Taquera (Pará). Legendas: IPA = incremento periódico anual; IMA = incremento médio anual; Vol = volume de madeira com casca; AS = área seccional do tronco a 1,30 m do solo; BIOM = biomassa aérea peso seco; DAP = diâmetro do tronco a 1,30 m do solo.

Número da árvore	Altura (m)				Vol 2003 (m^3)	AS 2013 (m^2)	BIOM 2003 (t/ árvore)	DAP (cm)				IPA do DAP (cm ano^{-1})				IMA do DAP (cm ano^{-1})													
	Fuste 2003	Copa 2003	Total 2003	IMA (m ano^{-1})				2003	2005	2007	2009	2013	2003-2005	2005-2007	2007-2009	2009-2013	1984-2003	1984-2005	1984-2007	1984-2009	1984-2013								
175	15,0	10,0	25,0	1,25	2,43	0,5217	2,915	54,3	63,4	69,9	74,8	81,5	4,6	3,3	2,5	1,7	2,7	2,9	2,9	2,9	2,9	2,7	2,7	2,9	2,9	2,9	2,9	2,7	
83	1,9	16,0	17,9	0,90	0,40	0,4049	3,838	61,6	64,8	67,8	69,6	71,8	1,6	1,5	0,9	0,6	3,1	2,9	2,9	2,8	2,7	2,6	2,4	2,4	2,9	2,9	2,8	2,7	2,4
143	15,0	13,0	28,0	1,40	2,81	0,3948	3,417	58,4	61,5	65,2	66,8	70,9	1,6	1,9	0,8	1,0	2,9	2,8	2,7	2,7	2,6	2,4	2,4	2,4	2,9	2,8	2,7	2,6	2,4
70	7,0	15,0	22,0	1,10	0,92	0,3147	2,324	49,0	52,5	55,8	57,7	63,3	1,8	1,7	1,0	1,4	2,5	2,4	2,3	2,2	2,2	2,1	2,1	2,1	2,9	2,8	2,7	2,6	2,4
375	16,0	12,0	28,0	1,40	1,34	0,2951	1,393	39,0	43,9	50,5	54,9	61,3	2,5	3,3	2,2	1,6	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,0	2,0	2,9	2,8	2,7	2,6	2,4
34	15,0	12,0	27,0	1,35	1,95	0,2932	2,282	48,6	51,7	55,3	57,5	61,1	1,6	1,8	1,1	0,9	2,4	2,4	2,3	2,2	2,2	2,1	2,0	2,0	2,9	2,8	2,7	2,6	2,4
152	13,0	10,0	23,0	1,15	1,27	0,2771	1,656	42,1	47,6	52,7	55,3	59,4	2,8	2,6	1,3	1,0	2,1	2,2	2,2	2,2	2,1	2,1	2,0	2,0	2,9	2,8	2,7	2,6	2,4
69	12,0	9,0	21,0	1,05	1,24	0,2669	1,764	43,3	46,6	50,5	53,6	58,3	1,7	2,0	1,6	1,2	2,2	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,0	2,0	2,9	2,8	2,7	2,6	2,4
64	14,0	6,0	20,0	1,00	1,78	0,2642	2,231	48,1	50,5	53,4	56,1	58,0	1,2	1,5	1,4	0,5	2,4	2,3	2,2	2,2	2,2	2,1	2,0	2,0	2,9	2,8	2,7	2,6	2,4
383	15,0	12,0	27,0	1,35	1,13	0,2615	1,235	37,0	40,1	46,8	50,6	57,7	1,6	3,4	1,9	1,8	1,9	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	2,9	2,8	2,7	2,6	2,4
101	14,0	8,0	22,0	1,10	1,44	0,2588	1,755	43,2	48,0	52,5	55,7	57,4	2,4	2,3	1,6	0,4	2,2	2,2	2,2	2,2	2,1	2,1	2,0	2,0	2,9	2,8	2,7	2,6	2,4
412	16,0	3,0	19,0	0,95	1,54	0,2579	1,629	41,8	45,7	50,3	51,6	57,3	2,0	2,3	0,7	1,4	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,0	2,0	2,9	2,8	2,7	2,6	2,4
447	7,0	15,0	22,0	1,10	0,53	0,2552	1,235	37,0	41,5	46,6	51,4	57,0	2,3	2,6	2,4	1,4	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,9	2,8	2,7	2,6	2,4
379	14,0	6,0	20,0	1,00	1,42	0,2463	1,737	43,0	46,8	50,4	52,8	56,0	1,9	1,8	1,2	0,8	2,2	2,1	2,1	2,1	2,1	2,0	2,0	2,0	2,9	2,8	2,7	2,6	2,4
328	12,0	12,0	24,0	1,20	1,07	0,2463	1,492	40,2	44,1	47,5	50,8	56,0	2,0	1,7	1,7	1,3	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,9	2,8	2,7	2,6	2,4
87	13,0	7,0	20,0	1,00	1,82	0,2376	2,474	50,4	53,1	53,3	53,8	55,0	1,4	0,1	0,3	0,3	2,5	2,4	2,4	2,2	2,1	2,1	2,0	2,0	2,9	2,8	2,7	2,6	2,4
172	15,0	10,0	25,0	1,25	1,39	0,2223	1,569	41,1	43,5	47,2	49,4	53,2	1,2	1,9	1,1	1,0	2,1	2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,8	1,8	2,9	2,8	2,7	2,6	2,4
180	12,0	7,0	19,0	0,95	1,21	0,2206	1,719	42,8	45,1	48,3	50,2	53,0	1,2	1,6	1,0	0,7	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,0	1,9	1,8	2,9	2,8	2,7	2,6	2,4
Média	12,6	10,2	22,8	1,1	1,43	0,2911	2,037	45,6	49,5	53,6	56,3	60,5	1,9	2,0	1,4	1,1	2,3	2,2	2,2	2,2	2,1	2,0	2,0	2,0	2,9	2,8	2,7	2,6	2,4
Desvio (\pm)	3,7	3,6	3,3	0,2	0,59	0,0766	0,734	7,0	7,3	7,1	7,1	7,3	0,8	0,8	0,6	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2



Tabela 4. Número de árvores de *B. excelsa* e incremento periódico anual do diâmetro (IPA), por classe de DAP no período de 10 anos. Os números em negrito referem-se ao maior valor do IPA no período considerado; os valores sombreados em cinza referem-se aos valores do IPA com número de indivíduos (n) inferior a 10.

Classe DAP (cm)	Número de árvores (n)					Incremento periódico anual do DAP (cm ano ⁻¹)			
	20 anos	22 anos	24 anos	26 anos	30 anos	22 anos	24 anos	26 anos	30 anos
< 10,0	73	52	33	24	14	0,42	0,46	0,31	0,20
10,0-19,9	179	167	161	152	108	0,73	0,71	0,64	0,47
20,0-29,9	107	118	122	113	129	1,20	1,17	0,88	0,90
30,0-39,9	39	51	65	84	94	1,35	1,40	1,17	0,98
40,0-49,9	14	21	22	25	49	1,73	1,54	1,15	1,23
50,0-59,9	3	4	10	15	16	1,46	1,92	1,33	0,92
60,0-69,9	1	3	3	2	3	2,57	1,68	0,85	1,30
70,0-79,9	-	-	-	1	2	-	-	2,45	0,79
80,0-89,9	-	-	-	-	1	-	-	-	1,68

Tabela 5. Resultados do teste de média do crescimento do diâmetro (DAP) de *B. excelsa* em períodos distintos, FLONA de Saracá-Taquera (Pará).

Período (ano _t – ano _{t+1})	DAP médio (cm)		Estatística t de Student		
	dap _t – dap _{t+1}	DAP _t	DAP _{t+1}	Stat t	Valor-p
4 anos					
2003–2007		19,19	23,16	5,34	6E-08
2005–2009		21,13	24,86	4,76	1E-06
2009–2013		24,86	28,17	3,87	6E-05
2 anos					
2003–2005		19,19	21,13	2,71	0,003
2005–2007		21,13	23,16	2,65	0,004
2007–2009		23,16	24,86	2,11	0,017

DISCUSSÃO

Em áreas não mineradas, tal como em Machadinho d'Oeste (Rondônia), o crescimento em altura nos plantios experimentais de *B. excelsa* apresentou incremento de 1,2 m ano⁻¹ (Yared *et al.*, 1993) e, em Cantá (Roraima), de 1,6 m ano⁻¹ (Tonini *et al.*, 2008). Scoles *et al.* (2011) estimaram em 1,0 ± 0,6 m o crescimento em altura, aos dois anos de idade, de mudas da espécie em áreas de roçado com alta luminosidade em Porto Trombetas (Pará). Os autores acrescentaram que, analisando o desempenho em altura das castanheiras com maior rendimento desses plantios, foi estimado um incremento de 1,5 m ano⁻¹. Neste estudo, aos 20 anos de idade, o incremento médio em altura de

B. excelsa foi de 0,78 ± 0,24 m ano⁻¹. O maior valor observado foi de 1,75 m ano⁻¹ e o menor, de 0,15 m ano⁻¹.

Relativamente ao crescimento do diâmetro em áreas não mineradas, Scoles *et al.* (2011) estimaram em 2,04 cm ano⁻¹ o incremento médio anual do diâmetro ao nível do colo, aos dois anos de idade, das mudas de *B. excelsa* nas áreas de roçado com alta luminosidade em Porto Trombetas. Esse valor foi muito próximo ao dos plantios experimentais de Rondônia (2,07 cm ano⁻¹), relatado por Yared *et al.* (1993), e superior aos de Roraima (1,67 cm ano⁻¹), informados por Tonini *et al.* (2008), e de plantios com 11 anos de idade no Amazonas (1,20 cm ano⁻¹), segundo Souza *et al.* (2008). Para o mesmo estado, também

Fernandes & Alencar (1993) observaram incremento de 1,39 cm ano⁻¹ nos plantios com dez anos de idade.

O incremento médio anual estimado neste trabalho para as áreas mineradas da FLONA referente às 416 árvores de castanheiras aos 20, 22, 24, 26 e 30 anos foi de praticamente 0,96 cm ano⁻¹. Os incrementos relatados por Scoles *et al.* (2011) e Yared *et al.* (1993) são mais do que o dobro daqueles observados para quaisquer dos anos de monitoramento deste trabalho, enquanto, em relação aos resultados de Roraima e Amazonas, foram superiores entre 25 e 74%. Esse fato pode ser explicado pela alta instabilidade do solo do reflorestamento de 1984 onde foram plantadas as mudas de castanheira. Sendo esses solos oriundos de área de mineração onde houve supressão total da vegetação e revolvimento de todo o volume de solo em uma profundidade média de 10 m para extração do minério (bauxita), todas as suas propriedades físicas, químicas, biológicas e ecológicas foram profundamente alteradas ou destruídas (Salomão *et al.*, 2013). Outro fato a se considerar refere-se à idade de *B. excelsa* em todos os estudos desses autores: somente naquele relatado por Yared *et al.* (1993) o plantio tinha mais de 30 anos, como o verificado neste estudo.

Veillon *et al.* (1976) publicaram um estudo pioneiro que trata do crescimento de árvores amazônicas de florestas tropicais das terras baixas, implantado em 1971, com medições anuais (DAP \geq 10 cm), na Reserva Florestal de Imataca, na Venezuela. O crescimento médio de todos os indivíduos, de 1971 a 1976, independentemente da classe diamétrica, foi de 0,27 cm ano⁻¹; já na classe de 60-79,9 cm foi estimado o maior incremento (0,50 cm ano⁻¹), e na classe de 80-99,9 cm o menor (0,10 cm ano⁻¹). Essa conclusão sugere, em termos gerais, que existe diferença na taxa de crescimento de indivíduos de uma mesma espécie em intervalos de classes distintas. Todavia, ao se analisar o incremento periódico anual por classe diamétrica (Tabela 4), observou-se que, no período de 20 a 30 anos, os maiores incrementos do diâmetro ocorreram no intervalo entre 40,0 a 59,9 cm, quando se considera o número mínimo de indivíduos (n) igual ou superior a dez.

Em solos de baixa fertilidade, mas que não foram minerados, tal como em Machadinho d'Oeste, Souza *et al.* (2008) observaram que, no monocultivo de *B. excelsa*, a média da altura foi de 12,25 m e do diâmetro, de 21,08 cm, enquanto que, consorciado com cupuaçu, banana e pimenta-do-reino, foram de, respectivamente, 12,95 m e 20,72 cm, aos 13 anos de idade. Neste trabalho, em área minerada, aos 20 anos de idade, as médias da altura e do diâmetro foram de 15,6 m e 19,2 cm, respectivamente. Observou-se, naquele estudo, que os incrementos em altura e diâmetro foram de 0,94 m ano⁻¹ e 1,62 cm ano⁻¹ (monocultivo), e de 1,0 m ano⁻¹ e 1,59 cm ano⁻¹ (consórcio), enquanto neste, foram de, respectivamente, 0,78 m ano⁻¹ e 0,96 cm ano⁻¹. Essa diferença se deve, provavelmente, às condições ambientais de degradação a que os espécimes deste trabalho foram submetidos, certamente muito mais extremas do que aquelas do estudo de Souza *et al.* (2008).

Visando ao reflorestamento com fins madeireiros, Locatelli *et al.* (2005) avaliaram os dados de plantios homogêneos e consorciados de castanheira em diferentes espaçamentos e com diferentes idades em Machadinho d'Oeste. Aos 18 anos, o diâmetro estimado foi de 44,3 cm, com tendência a estabilizar a partir dos 32 anos, segundo os autores. Neste estudo, acima de 45 cm foi observado um total de oito árvores de castanheira aos 20 anos de idade e 44 aos 30 anos; esses valores, em termos de abundância, resultaram em 0,4 e 2,3 árvores ha⁻¹, ou seja, em média, a partir dos 30 anos de idade são recrutadas 2,3 árvores ha⁻¹ ano⁻¹.

Os resultados do crescimento de *B. excelsa* deste trabalho demonstram que a espécie é efetivamente indicada para, entre outros usos, o plantio em áreas intensamente degradadas da Amazônia. As características silviculturais da castanheira, de acordo com Yared *et al.* (1993), qualificam-na como uma das espécies nativas mais promissoras para emprego em reflorestamento em áreas alteradas na Amazônia, considerando-se seu crescimento, forma, derrama natural, produção de biomassa (volume de madeira), ausência de problemas fitossanitários e ampla base genética para o estabelecimento de plantações. Esses fatos,

aliados à alta longevidade das árvores (Camargo *et al.*, 1994) e ao mercado de suas amêndoas, consolidado nacional e internacionalmente (Peres *et al.*, 2003), tornam a espécie um dos recursos mais valiosos da fitodiversidade amazônica.

Neste estudo, foram detectadas 19 árvores de castanheira que estão apresentando crescimento diamétrico igual ou superior a 2 cm ano⁻¹ e que devem servir como matrizes de produção de sementes para geração de mudas da espécie a serem plantadas nos reflorestamentos anuais da empresa, sobretudo nas áreas de restauração do Platô Almeidas, onde Salomão (2009) registrou um total de 1.140 castanheiras, dez das quais tinham mais de 300 cm de DAP, em diversos castanhais produtivos ali existentes e que foram suprimidos pela atividade minerária.

Salomão *et al.* (2013) desenvolveram um índice fitossociológico e socioeconômico (IFSE), para seleção de espécies-chave nos trabalhos de restauração florestal da FLONA, baseado em uma função de seis variáveis quantitativas e igual número de variáveis qualitativas, expressas pelas respectivas variáveis *dummy* (abundância, frequência, área basal, biomassa, valor comercial da madeira e produtos florestais não madeireiros da espécie). Para o Platô Almeidas, foram identificadas 25 espécies-chave entre as 493 espécies arbóreas ocorrentes no platô; *B. excelsa* foi considerada uma das principais espécies-chave para o sucesso da restauração florestal.

Neste trabalho, a equação de crescimento apresentou alto coeficiente de determinação ($R^2 = 0,9881$) e estatística F significativa para o crescimento médio dos diâmetros das árvores de castanheira, atestando a especificação do modelo. Esse fato pode ser explicado devido à baixa variância das taxas de crescimento da espécie nesse ecossistema artificial e comportamento contínuo e próximo do geométrico. Para as árvores de *B. excelsa*, a taxa de crescimento do diâmetro foi adequadamente estimada pelo modelo de regressão log-linear. Considerando ainda a alta longevidade da espécie, é importante frisar que o modelo utilizado se deve à estimação do crescimento em um dado período, que corresponde à fase de crescimento inicial da árvore.

Para espécies da floresta tropical úmida do Panamá, Condit *et al.* (1993) desenvolveram uma metodologia para estimar curvas de crescimento extrapolando os registros de crescimento de curto prazo, visto que essas espécies não possuíam anéis de crescimento. Um dos métodos consistia em encontrar a taxa de crescimento anual das árvores em diferentes classes diamétricas e depois calcular o tempo que uma árvore levaria para alcançar as classes de diâmetros sucessivas, mantendo-se a mesma taxa de crescimento. Os autores utilizaram o conceito do método de movimentação de diâmetros, junto com análise de regressão, para ajustar estimativas de crescimento como uma função contínua de DAP. De acordo com Scolforo *et al.* (2008), a utilização da técnica de regressão facilitaria o trabalho com amostras menores, podendo eliminar flutuações irregulares de crescimento nessas amostras; outra vantagem do método é que também se poderiam calcular taxas de crescimento para classes de diâmetro onde faltam dados. Todavia, o método proposto por Condit *et al.* (1993) foi modificado por Scolforo (2006), que substituiu o modelo parabólico pelo da exponencial negativa, no qual a variável independente é o diâmetro. Com essa substituição, observaram que se obtêm estimativas mais coerentes, não se detectando taxas de crescimento negativas (o que é incoerente do ponto de vista biológico), propiciadas pelas equações de Condit *et al.* (1993).

Na Estação Experimental Confiança, no município do Cantá, Tonini *et al.* (2005) avaliaram os dados de 21 árvores de *B. excelsa* plantadas em parcelas de 180 m² no espaçamento de 2,5 x 2 m, em cuja área registrou-se uma precipitação anual média de 1.900 mm e o solo é classificado como argissolo vermelho amarelo distrófico. Nesse mesmo estudo, foram também avaliadas *Carapa guianensis* Aubl. (andiroba), *Tabebuia avellanedae* Lorentz ex Griseb. (ipê roxo) e *Hymenaea courbaril* L. (jatobá). Aos sete anos, entre todas as espécies, *B. excelsa* foi a que apresentou maiores valores de incremento médio anual em diâmetro (1,9 cm ano⁻¹), de altura (1,6 m ano⁻¹) e de volume comercial (14,6 m³ ha⁻¹ ano⁻¹).

A equação hipsométrica de Prodan apresentou melhor ajuste para todas as espécies. As equações de volume de

simples e dupla entrada testadas apresentaram ajustes semelhantes, sendo que a melhor equação para a castanheira foi a de Spurr.

Os incrementos do diâmetro e da altura observados por Tonini *et al.* (2005) foram praticamente o dobro dos observados neste trabalho (0,96 cm ano⁻¹ e 0,78 m ano⁻¹, respectivamente). Dois fatores certamente estão influenciando esses valores: naquele estudo, os dados referem-se às castanheiras com sete anos de idade, enquanto, neste, dizem respeito a 30 anos, e o solo é estruturado naquele e instável neste; a precipitação apresentou valores bem próximos em ambos os locais.

Objetivando selecionar espécies para reflorestamento de áreas degradadas, Tonini & Arco-Verde (2005) avaliaram um plantio experimental de castanheira em Roraima, através de análise das relações entre os principais índices morfométricos da copa, como diâmetro, área e profundidade, concluindo se tratar, devido aos valores superiores quando comparados com outras espécies, de um indicativo de que *B. excelsa* desenvolve copas maiores e mais vigorosas, necessitando de maiores espaçamentos. Neste estudo, foi verificado que a área média por muda de castanheira foi de, aproximadamente, 500 m², enquanto, naquele, foi de 5 m².

Tonini *et al.* (2008) desenvolveram modelo da curva cumulativa de crescimento em diâmetro e em altura de castanheira, obtida pelo ajuste da função de Chapman-Richards, utilizada na modelagem de fenômenos biológicos devido à sua acuracidade e flexibilidade, sendo, por isso, muito utilizada em estudos de crescimento na área florestal. Os autores concluíram que a função permitiu boas estimativas de crescimento em altura e diâmetro para *B. excelsa*, estimando que se pode esperar incremento do diâmetro superior a 2 cm ano⁻¹, mediante à adoção de espaçamentos e programas de desbastes adequados. Neste estudo, em áreas mineradas, o espaçamento foi variável, todavia tentou-se plantar em linhas equidistantes de 10 m e de 50 m na linha – plantio em quincôncio.

O incremento periódico anual do diâmetro basal médio de 34 espécies plantadas nos reflorestamentos da

FLONA de Saracá-Taquera variou de 3,22 cm ano⁻¹ (*Senna multijuga* (Rich.) H.S. Irwin & Barneby) a 0,16 cm ano⁻¹ (*Clarisia racemosa* Ruiz & Pav.) (Salomão *et al.*, 2006). Entre aquelas espécies, apenas dez apresentaram IPA superior a 1,0 cm ano⁻¹, praticamente o mesmo incremento de *B. excelsa*; de acordo com essa classificação, a espécie pode ser considerada como de boa aptidão.

Em área antropizada, mas que não foi minerada, Leão *et al.* (2005) estimaram o crescimento em diâmetro de 29 espécies plantadas em um banco de germoplasma no município de Tucuruí. Os maiores crescimentos diamétricos observados, para um período de 15 anos, foram de 48,8 cm e 42,0 cm em exemplares de *Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don e *Virola surinamensis* (Rol. ex Rottb.) Warb. respectivamente, enquanto os menores foram de 6,7 cm e 6,4 cm para *Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) K. Schum. e *Rheedia gardneriana* Planch. & Triana. Considerando-se o diâmetro médio da castanheira em áreas mineradas como sendo de 19,4 cm aos 20 anos, observou-se que apenas seis espécies do banco de germoplasma apresentaram valores superiores a este.

Nas áreas de mineração de superfície, como é o caso da bauxita, a vegetação é totalmente suprimida (corte raso) e todo o volume de solo (superficial e estéril) é retirado para se proceder à lavra do minério. Posteriormente, esse solo é novamente depositado na área já lavrada, para que se iniciem os processos de restauração florestal. Decorridos 30 anos, a análise das taxas de crescimento de *B. excelsa* demonstrou que, naquelas áreas que foram intensamente degradadas pela atividade minerária, os incrementos foram geralmente inferiores, chegando algumas vezes a 50% dos valores observados para as florestas secundárias antropizadas pela agricultura ou pecuária na Amazônia. Raramente as taxas de crescimento diamétrico das áreas mineradas foram superiores às das áreas de agropecuária.

A castanheira tem destaque relevante, considerando-se os serviços ecossistêmicos, sobretudo o ciclo de carbono e a produção de biomassa, quando se analisa sua taxa de crescimento anual aliada à sua longevidade de séculos.

CONCLUSÃO

O crescimento em diâmetro e altura de *B. excelsa* é inferior, podendo chegar à metade em áreas de mineração, quando comparado ao de outras áreas sob diferentes tipos de manejo.

B. excelsa é uma espécie com bom potencial de crescimento em diâmetro quando se considera incremento periódico anual de 1 cm ano⁻¹ para uso na restauração florestal de áreas mineradas.

AGRADECIMENTOS

Expressamos nossos sinceros agradecimentos à Mineração Rio do Norte S.A., financiadora desta pesquisa; ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, pela autorização e estímulo à pesquisa na FLONA Saracá-Taquera; e a Vítor Hugo Freitas Gomes, doutorando em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Pará, pela presteza e inestimável auxílio na elaboração deste artigo.

REFERÊNCIAS

CAMARGO, P. B., R. P. SALOMÃO, S. TRUMBORE & L. A. MARTINELLI, 1994. How old are large Brazil-nut trees (*Bertholletia excelsa*) in the Amazon? **Scientia Agricola** 51(2): 389-391.

CHAMBERS, J. Q., N. HIGUCHI & J. P. SCHIMMEL, 1998. Ancient trees in Amazonia. **Nature** 391: 135-136.

CONDIT, R., S. P. HUBBEL & R. B. FOSTER, 1993. Identifying fast-growing native trees from the Neotropics using data from a large, permanent census plot. **Forest Ecology and Management** 62(1-4): 123-143.

FERNANDES, N. P. & J. C. ALENCAR, 1993. Desenvolvimento de árvores nativas em ensaios de espécies. 4. Castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H. B. K.), dez anos após o plantio. **Acta Amazonica** 23(2-3): 191-198.

GRIFFITH, J. J., 1980. **Recuperação conservacionista de superfícies mineradas**: uma revisão de literatura. Sociedade de Investigações Florestais/ Universidade Federal de Viçosa (Boletim Técnico, 2), Viçosa. Disponível em: <<http://geografiaambiental.files.wordpress.com/2010/12/recuperac3a7c3a3o-degradadas.pdf>>. Acesso em: 26 junho 2013.

HEINSDIJK, D., 1965. **A distribuição dos diâmetros nas florestas brasileiras**: 1-56. Ministério da Agricultura, Departamento de Recursos Naturais Renováveis, Divisão de Silvicultura (Boletim, 11), Rio de Janeiro.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET), s. d. **Meteorologia do INMET**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo.php?QTzMg==>. Acesso em: 29 maio 2012.

LAMB, D. & D. GILMOUR, 2003. **Rehabilitation and restoration of degraded forests**: 1-122. IUCN/WWF, Gland/Cambridge.

LAMB, D., P. D. ERSKINE & J. A. PARROTTA, 2005. Restoration of degraded tropical forest landscapes. **Science** 310(5754): 1628-1632.

LAPA, R. P., 2000. A bauxita e o rejeito da bauxita. In: R. L. BOZELLI, F. A. ESTEVES & F. ROLAND (Eds.): **Lago Batata**: impacto e recuperação de um ecossistema amazônico: 27-35. IB-UFRJ/SBL, Rio de Janeiro.

LEÃO, N. V. M., S. T. OHASHI, I. C. G. VIEIRA & R. GHILARD JÚNIOR, 2005. **Ilha de germoplama de Tucuruí**: uma reserva da biodiversidade para o futuro: 1-232. ELETRONORTE, Brasília.

LOCATELLI, M., A. H. VIEIRA, M. M. B. GAMA, M. G. R. FERREIRA, E. P. MARTINS, E. P. SILVA FILHO, V. F. SOUZA & R. S. MACEDO, 2005. **Cultivo da castanha-do-brasil em Rondônia**. EMBRAPA-CPAF (Sistemas de Produção, 7), Porto Velho. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Castanha/CultivodaCastanhadoBrasilRO/index.htm>>. Acesso em: 26 junho 2013.

MORAES, V. H. F., 1970. Periodicidade de crescimento do tronco em árvores da floresta amazônica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 5: 315-320.

OLIVEIRA, L. C. & J. N. M. SILVA, 1995. Dinâmica de uma floresta secundária no Planalto de Belterra, Santarém – Pará. **Anais do Simpósio/Workshop Internacional Manejo e Reabilitação de Áreas Degradadas e Florestas Secundárias na Amazônia**: 122-135.

PARROTTA, J. A. & O. H. KNOWLES, 2001. Restoring tropical forests on lands mined for bauxite: examples from the Brazilian Amazon. **Ecological Engineering** 17(2-3): 219-239.

PEEL, M. C., B. L. FINLAYSON & T. A. MCMAHON, 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences** 11: 1633-1644.

PERES, C. A., C. BAIDER, P. A. ZUIDEMA, L. H. WADT, K. A. KAINER, D. A. P. GOMES-SILVA, R. P. SALOMÃO, L. L. SIMÕES, E. R. N. FRANCIOSI, F. CORNEJO VALVERDE, R. GRIBEL, G. H. SHEPARD JR., M. KANASHIRO, P. COVENTRY, D. W. YU, A. R. WATKINSON & R. P. FRECKLETON, 2003. Demographic threats to the sustainability of Brazil nut exploitation. **Science** 302(5653): 2112-2114.

PIRES, J. M., 1976. Aspectos ecológicos da floresta amazônica. **Anais do Congresso Brasileiro de Florestas Tropicais** 2(65): 235-287.



- RADAMBRASIL, 1976. **Folha SA.21 – Santarém**: 10: 310-414. Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional da Produção Mineral, Rio de Janeiro.
- REAY, S. D. & D. A. NORTON, 1999. Assessing the success of restoration plantings in a temperate New Zealand forest. **Restoration Ecology** 7(3): 298-308.
- RODRIGUES, R. R. & S. GANDOLFI, 2000. Conceitos, tendências e ações para recuperação de florestas ciliares. In: R. R. RODRIGUES & H. F. LEITÃO FILHO (Eds.): **Matas ciliares: conservação e recuperação**: 235-248. USP/FAPESP, São Paulo.
- SALOMÃO, R. P., 2009. Densidade, estrutura e distribuição espacial de castanheira-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** 4(1): 11-25.
- SALOMÃO, R. P., N. A. ROSA, A. CASTILHO & K. C. MORAIS, 2006. Castanheira-do-brasil recuperando áreas degradadas e provendo alimento e renda para comunidades na Amazônia Setentrional. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais** 1(2): 65-78.
- SALOMÃO, R. P., N. A. ROSA & K. A. C. MORAIS, 2007. Dinâmica da regeneração natural de árvores em áreas mineradas na Amazônia. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais** 2(2): 85-139.
- SALOMÃO, R. P., S. BRIENZA JÚNIOR & A. C. SANTANA, 2012. Análise da florística e estrutura de floresta primária visando a seleção de espécies-chave, através de análise multivariada, para a restauração de áreas mineradas em unidades de conservação. **Revista Árvore** 36(6): 989-1007.
- SALOMÃO, R. P., A. C. SANTANA & S. BRIENZA JÚNIOR, 2013. Seleção de espécies da floresta ombrófila densa e indicação da densidade de plantio na restauração florestal de áreas degradadas na Amazônia. **Ciência Florestal** 23(1): 139-151.
- SCOLES, R., R. GRIBEL & G. N. KLEIN, 2011. 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** 6(3): 273-293.
- SCOLFORO, J. R. S., 2006. **Biometria florestal: modelos de crescimento e produção florestal**: 1-393. UFLA/FAEPE, Lavras.
- SCOLFORO, J. R. S., A. C. FERRAZ FILHO, C. P. C. SILVA, C. R. THIERSCH & M. Z. FERREIRA, 2008. Trajetórias de crescimento de espécies de florestas semidecíduais. In: J. R. SCOLFORO, J. M. MELO & C. P. C. SILVA (Eds.): **Inventário florestal de Minas Gerais: floresta estacional semidecidual e ombrófila – florística, estrutura, diversidade, similaridade, distribuição diamétrica e de altura, volumetria, tendências de crescimento e áreas aptas para manejo florestal**: 633-647. Editora UFLA, Lavras.
- SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION (SER), 2004. **Princípios da SER International sobre a restauração ecológica**. Disponível em: <www.ser.org/docs/default-document-library/ser-primer-portuguese.pdf>. Acesso em: 4 outubro 2010.
- SOUZA, C. R., R. M. B. LIMA, C. P. AZEVEDO & L. M. B. ROSSI, 2008. Desempenho de espécies florestais para uso múltiplo na Amazônia. **Scientia Forestalis** 36(77): 7-14.
- TONINI, H. & M. F. ARCO-VERDE, 2005. Morfologia da copa para avaliar o espaço vital de quatro espécies nativas da Amazônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 40(7): 633-638.
- TONINI, H., M. F. ARCO-VERDE & S. P. P. SÁ, 2005. Dendrometria de espécies nativas em plantios homogêneos no estado de Roraima: andiroba (*Carapa guianensis* Aubl), castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), ipê-roxo (*Tabebuia avellanedae* Lorentz ex Griseb) e jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). **Acta Amazonica** 35(3): 353-362.
- TONINI, H., M. M. C. OLIVEIRA JUNIOR & D. SCHWENGBER, 2008. Crescimento de espécies nativas da Amazônia submetidas ao plantio no estado de Roraima. **Ciência Florestal** 18(2): 151-158.
- VEILLON, J. P., V. W. KONRAD & N. GARCIA, 1976. Estudio de la masa forestal y su dinamismo en parcelas de diferentes tipos ecológicos de bosques naturales de las tierras bajas venezuelanas. **Revista Forestal Venezolana** 19(26): 73-106.
- VIEIRA, S. A., 2003. **Mudanças globais e taxa de crescimento arbóreo na Amazônia**: 1-133. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba. Disponível em: <<https://webfiles.uci.edu/setrumbo/LBA/Tese%20Simone%20Vieira.pdf>>. Acesso em: 4 outubro 2012.
- VIEIRA, I. C. G., J. B. VEIGA, J. A. G. YARED, R. P. SALOMÃO, S. T. OHASHI & S. BRIENZA JÚNIOR, 2009. **Bases técnicas e referenciais para o Programa de Restauração Florestal do Pará**: um bilhão de árvores para a Amazônia: 1-103. Instituto de Desenvolvimento Econômico, Social e Ambiental do Pará (Pará Desenvolvimento, 2), Belém.
- VIEIRA, S., S. TRUMBORE, P. B. CAMARGO, D. SELHORST, J. Q. CHAMBERS, N. HIGUCHI & L. A. MARTINELLI, 2005. Slow growth rates of Amazonian trees: consequences for carbon cycling. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America** 102(51): 18502-18507.
- YARED, J. A. G., M. KANASHIRO, L. M. VIANA, T. C. A. CASTRO & J. R. S. PANTOJA, 1993. Comportamento silvicultural de castanheira (*Bertholletia excelsa* H. & B.) em diversos locais da Amazônia. **Anais do Congresso Florestal Panamericano** 1(2): 416-418.