

CÁTIA CARDOSO DA SILVA

**MANEJO DE TECA PARA PRODUÇÃO DE MADEIRA DE QUALIDADE E
ENTRADA PRECOCE DE GADO NO SISTEMA SILVIPASTORIL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Geraldo Gonçalves dos Reis

Coorientadores: Maria das Graças Ferreira Reis
Maurel Behling

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2022**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

S586m
2022
Silva, Cátia Cardoso da, 1991-
Manejo de teca para produção de madeira de qualidade e
entrada precoce de gado no sistema silvipastoril / Cátia Cardoso
da Silva. – Viçosa, MG, 2022.
1 tese eletrônica (82 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Geraldo Gonçalves dos Reis.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Engenharia Florestal, 2022.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2022.778>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Pastagens mistas. 2. Teca (Árvore) - Cultivo.
3. Brachiaria brizantha - Cultivo. 4. Gêssos. 5. Adubos.
6. Desrama. 7. Animais - Migração. I. Reis, Geraldo Gonçalves
dos, 1949-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Engenharia Florestal. Programa de Pós-Graduação em Ciência
Florestal. III. Título.

GFDC adapt. CDD 634.92681

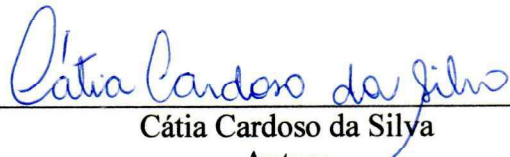
CÁTIA CARDOSO DA SILVA

**MANEJO DE TECA PARA PRODUÇÃO DE MADEIRA DE QUALIDADE E
ENTRADA PRECOCE DE GADO NO SISTEMA SILVIPASTORIL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 27 de junho de 2022.

Assentimento:


Cátia Cardoso da Silva
Autora


Geraldo Gonçalves dos Reis
Orientador

Dedico

Com imensa gratidão:
a Deus, à minha família e aos meus amigos,
companheiros de missão....

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida, proteção e auxílio às minhas escolhas e por guiar meus passos.

Aos meus pais Catarina e Izaías que são meus exemplos de vida, por todo amor e cuidado, e por sempre serem meus maiores incentivadores. Obrigada por terem me dado a liberdade e o apoio para seguir os caminhos que escolhi. Mesmo distante vocês se fizeram presente no meu cotidiano, sendo minha fonte de força e coragem.

Às minhas queridas irmãs, Keila e Keiteli, e aos meus cunhados Valdenir e Rivailton fonte de amor e alegria em minha vida, pela compreensão da minha ausência e por sempre incentivarem e apoiarem o meu aperfeiçoamento acadêmico.

Ao Mateus, pela dedicação, amor, apoio e compreensão aos momentos de ausência. Por todos os momentos agradáveis ao seu lado, que me ajudaram a vencer mais esta etapa da vida.

Às minhas amadas avós Francisca Maria e Zeuza (*in memorian*) e avô Expedito (*in memorian*) pelos preciosos conselhos e apoio durante minha jornada acadêmica.

Ao Professor Dr. Geraldo Gonçalves dos Reis e Professora Dra. Maria das Graças Ferreira Reis, pela orientação, amizade e aprendizado pessoal e profissional, e por serem exemplos de pessoas e cientistas.

Ao Pesquisador da Embrapa Agrossilvipastoril, Dr. Maurel Behling pelas oportunidades de crescimento pessoal e profissional, pela orientação e contribuições valiosas na área de fertilidade dos solos e silvicultura da teca, e por ser um exemplo de profissional a ser seguido.

Ao professor Dr. Hélio Garcia Leite, pela atenção, conselhos, sugestões e esclarecimentos, que foram muito importantes para o desenvolvimento da tese.

Aos professores Dra. Ana Paula Leite de Lima e Dr. Marco Antonio Monte pelas correções e contribuições indispensáveis na melhoria deste trabalho.

À equipe de estudantes do Laboratório de Ecologia e Fisiologia Florestal do Departamento de Engenharia Florestal, pela amizade, em especial ao Rennan e Ana Laura, e, aos que passaram por este laboratório: Filipe, Jônio, Diogo e Thales.

Ao Engenheiros Florestais, Gerson, Jairo, Diego Camargo, Flávia, Ana, Fabrício e Amanda pelo tempo que disponibilizaram para me ajudar durante a implantação e execução dos experimentos.

Ao grupo de amigos “Os Originais”, pela amizade, brincadeiras e por fazer meus dias mais leve em Viçosa. Em especial à Gabi, Aline, Júlia, Fernanda, Ivaldo, Jiane, Jadson, Lucas, Gustavo e Bruna, por todo suporte técnico e apoio.

As minhas amigas Gerusa, Madu e Eliene por estarem sempre presente na minha vida, principalmente em Viçosa, e por me tornarem meus dias em fora da Universidade especiais e coloridos.

Aos amigos e irmãos da Congregação Cristã no Brasil, pelos almoços juntos e por todo o apoio durante o período que estive em Viçosa. Em especial a Cris, Joyce, Davi, Nadiel, Daniel, João Paulo, Salatieli, Cleyson, André, Thiago, Emily e Adriana.

Aos secretários do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal Alexandre e Dilson, pela amizade e por sempre facilitarem a minha vida como acadêmica.

À Embrapa Agrossilvipastoril e à Fazenda Bacaeri pela oportunidade de executar o projeto que originou essa tese de doutorado.

Ao Engenheiro Florestal Marcos Demicheli pela amizade e ajuda na execução do trabalho no campo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), pelo apoio à realização do presente trabalho – Código de Financiamento 001.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão da bolsa de doutorado.

À Rede ILPF e ao Departamento de Engenharia Florestal (UFV) por viabilizarem as viagens até a Fazenda Bacaeri.

À Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT *campus* Sinop, especialmente aos professores: Adilson Pacheco e Andréa Carvalho, pela minha formação como engenheira florestal e mestre, por me apresentarem a pesquisa e a ciência e pela amizade e apoio durante os anos que passei na UFMT.

Minha gratidão e meu reconhecimento a todos vocês que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, muito obrigada!

“Os que se encantam com a prática sem a ciência são como os timoneiros que entram no navio sem timão nem bússola, nunca tendo certeza do seu destino”.

Leonardo da Vinci

BIOGRAFIA

Cátia Cardoso da Silva, filha de Catarina Cardoso da Silva e Izaias José da Silva, nasceu em Juara, Mato Grosso, em 27 de dezembro de 1991.

Em agosto de 2010, iniciou o curso de Engenharia Florestal, pela Universidade Federal de Mato Grosso, em Sinop, graduando-se em março de 2015.

Em março de 2015 iniciou o curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, na área de biodiversidade, na Universidade Federal de Mato Grosso, *campus* Sinop, tendo obtido o título de *Magister Scientiae* em fevereiro de 2017.

Em março de 2017, iniciou curso de Pós-Graduação em Ciência Florestal, na área de silvicultura, na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, concluindo os requisitos indispensáveis para a obtenção do título de *Doctor Scientiae* em junho de 2022.

RESUMO GERAL

SILVA, Cátia Cardoso, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2022. **Manejo de teca para produção de madeira de qualidade e entrada precoce de gado no sistema silvipastoril.** Orientador: Geraldo Gonçalves dos Reis. Coorientadores: Maria das Graças Ferreira Reis e Maurel Behling.

O objetivo desse estudo foi analisar os efeitos da aplicação de gesso, de boro (B) e de superfosfato simples (SS) e, de desrama em diferentes intensidades e intervalos, para promover maior produção de madeira de qualidade e, maior taxa de crescimento em altura e diâmetro para antecipar a entrada de animais na pastagem, em SSP com teca (*Tectona grandis* L. f) e braquiarião (*Urochloa brizantha* cv. Marandu). Foram implantados dois experimentos na área de plantio comercial de teca com braquiarião, no arranjo de 20 x 3 m, na Fazenda Bacaeri, município de Alta Floresta, MT. O experimento 1 consistiu em cinco doses de gesso em blocos casualizados com quatro repetições. O experimento 2 foi implantado em blocos casualizados, em esquema de parcelas sub-subdivididas, incluindo: diferentes doses de SS e de B e, intensidades de desfolha, no início da primeira estação seca e, desrama, a partir de um ano de idade. A aplicação de gesso aumentou a sobrevivência, o crescimento e a produção de teca em SSP. O diâmetro e o volume individual não variaram com as doses de gesso. O incremento médio anual do volume (IMAv), aos 105 meses, foi maior com aplicação de 6 000 kg ha⁻¹ de gesso (14,62 m³ ha⁻¹), seguido pela aplicação de 3 000 kg ha⁻¹. O gesso promoveu aumento de teores de enxofre no solo (S) em profundidade e de magnésio (Mg) na camada superficial. O maior crescimento em altura da teca na fase de estabelecimento, com a aplicação de gesso permitiu antecipar a entrada do gado no SSP, em até quatro meses. A adubação com SS e B aumentou a sobrevivência, o crescimento e a produção da teca. Sem SS, a desrama mais intensa afetou negativamente o crescimento e a produção da teca. Com a adubação com 300 g SS planta⁻¹ e 2 g B planta⁻¹, os sintomas de seca de ponteiro foram reduzidos. O efeito positivo da aplicação de SS, de B e da desrama, no crescimento e produção da teca em SSP, além de permitir a produção de madeira de maior qualidade, favoreceu a antecipação da entrada do gado em até três meses. Os resultados indicam que deve ser feita a aplicação de até 6000 kg ha⁻¹ de gesso e, ou, pelo menos 300 g de SS planta⁻¹ e 2 g de B planta⁻¹ para favorecer o crescimento da teca e, a desrama em plantas mais jovens e com maior frequência, para produção de maior proporção de madeira limpa.

Palavras-chave: Gesso Agrícola. Adubação. Desrama Artificial.

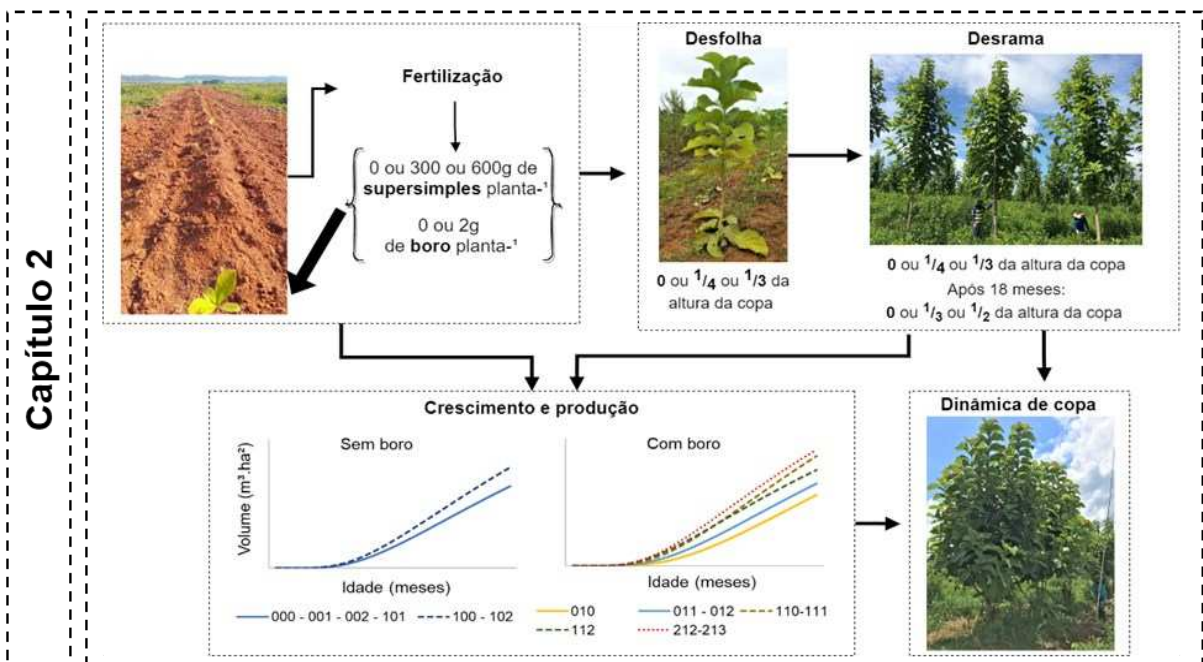
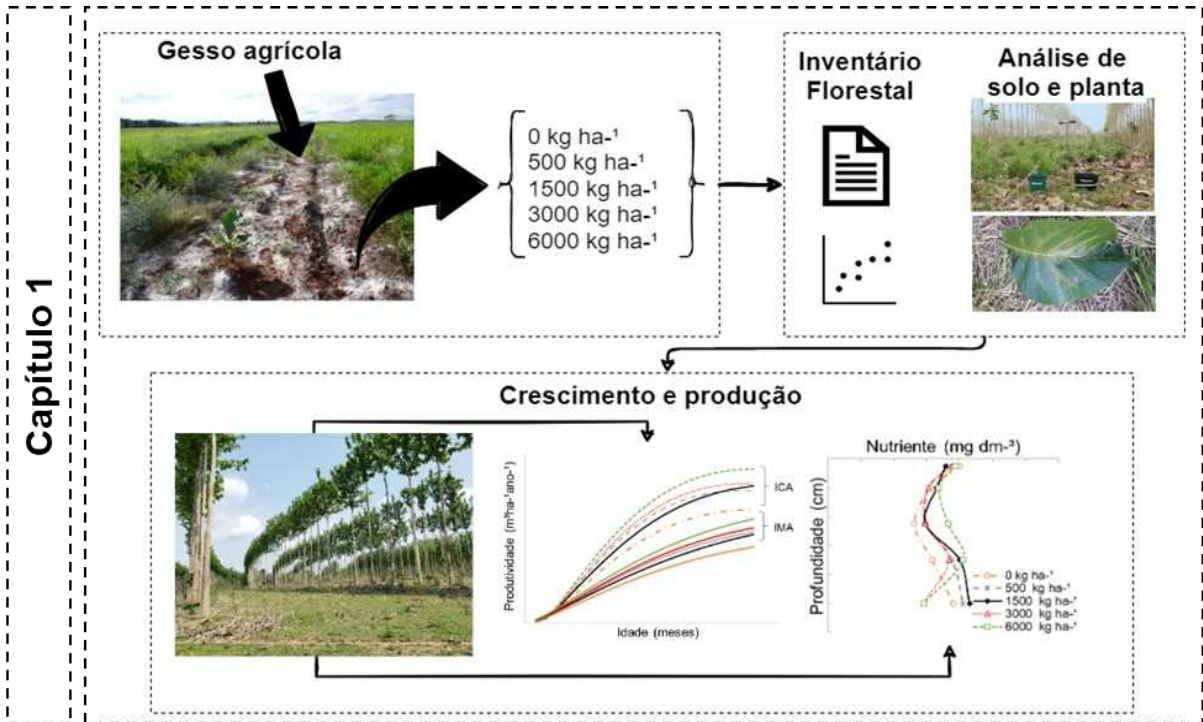
ABSTRACT

SILVA, Cátia Cardoso, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2022. **Teak management for quality wood production and early cattle entry into the silvipastoral system.** Adviser: Geraldo Gonçalves dos Reis. Co-advisers: Maria das Graças Ferreira Reis and Maurel Behling.

The objective of this study was to analyze the effects of gypsum, boron (B) and simple superphosphate (SS) and, pruning at different intensities and intervals, to promote greater production of quality wood and, growth rate in height and diameter to raise cattle in SPS with teak (*Tectona grandis* L. f.) and braquiarião (*Urochloa brizantha* cv. Marandu). Two experiments were carried out in commercial plantation of teak with braquiarião, in the arrangement of 20 x 3 m, at Fazenda Bacaeri, municipality of Alta Floresta, MT. Experiment 1 was implemented in randomized blocks with four replications and consisted of five doses of gypsum. Experiment 2 consisted of randomized blocks, in a split-plot scheme, with different doses of SS and B and, defoliation intensities, at the beginning of the first dry season and, pruning, after one year of age. Gypsum application increased survival, growth, and teak production in SSP. The average annual volume increment (MAIv) at 105 months was the highest with the application of 6,000 kg ha⁻¹ of gypsum (14.62 m³ ha⁻¹), followed by application of 3,000 kg ha⁻¹. The diameter and individual volume did not vary with gypsum doses. Gypsum promoted an increase in soil sulfur (S) in depth and in magnesium (Mg) in the soil surface layer. Due to the greater initial teak growth in height and diameter, the gypsum application allowed the anticipation of four months for the entrance of cattle into the SPS. Fertilization with SS and B increased the survival, growth, and production of teak. High pruning intensity negatively affected teak growth and production without SS. By adding 300 g SS plant⁻¹ and 2 g B plant⁻¹, the dieback symptoms reduced substantially. The positive effect of the application of SS, B and pruning on the growth and production of teak in SPS, allows obtaining high wood quality and anticipation of four months for the entry of cattle in the system. It is necessary to apply up to 6000 kg ha⁻¹ of gypsum and, or at least 300 g of SS plant⁻¹ and 2 g of B plant⁻¹ to favor teak growth. It also is recommended pruning at younger ages and at short intervals, to produce a greater proportion of high value clearwood.

Keywords: Gypsum. Fertilization. Pruning.

RESUMO GRÁFICO



SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	13
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15
CAPÍTULO I.....	17
CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE TECA EM SISTEMA SILVIPASTORIL NO CENTRO-OESTE DO BRASIL: EFEITO RESIDUAL DA APLICAÇÃO DE GESSO	17
1 INTRODUÇÃO.....	19
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	20
2.1 Localização e caracterização da área de estudo	20
2.2 Coleta e análise de dados	22
2.2.1 Crescimento e produção	22
2.2.2 Amostragem de solo e folhas.....	24
3 RESULTADOS	25
3.1 Crescimento e produção de teca em sistema silvipastoril.....	25
3.1.1 Distribuição de diâmetros	28
3.2 Nutrientes na planta e no solo	30
3.2.1 Nutrientes no solo	30
3.2.2 Nutrientes nas folhas.....	30
4 DISCUSSÃO.....	33
4.1 Produtividade de teca em sistemas silvipastoris	33
4.2 Efeito do gesso na fertilidade do solo em sistemas silvipastoris	35
4.3 Efeito do gesso nos nutrientes foliares da teca.....	36
5 CONCLUSÃO.....	36
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
CAPÍTULO II.....	41
APLICAÇÃO DE FÓSFORO, BORO E DESRAMA DA TECA EM SISTEMA SILVIPASTORIL PARA ANTECIPAR A ENTRADA DE GADO E PRODUZIR MADEIRA DE QUALIDADE	41
1 INTRODUÇÃO.....	43
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	44

2.1	Localização e caracterização da área	44
2.2	Instalação do experimento.....	46
2.3	Coleta e análise de dados	49
3	RESULTADOS	53
3.1	Sobrevivência e seca de ponteiro	53
3.2	Crescimento e produção	55
3.2.1	Distribuição de diâmetros	60
3.3	Dinâmica de copa da teca em sistema silvipastoril.....	62
4	DISCUSSÃO	69
4.1	Efeito da adubação e da desrama no crescimento inicial da teca.....	69
4.2	Efeito da adubação e desrama na dinâmica de copa	73
5	CONCLUSÕES	74
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
	CONCLUSÕES GERAIS	81

INTRODUÇÃO GERAL

A teca é nativa das florestas tropicais decídua do sudeste asiático, de ocorrência natural na Índia, Mianmar (ou Birmânia), Tailândia e Laos (MIDGLEY et al., 2015). Possui madeira de alta qualidade física e estética, de fácil trabalhabilidade e com resistência a pragas e doenças (KOLLERT; CHERUBINI, 2012; NORDAHLIA et al., 2014; ZAHABU et al., 2015). A área com teca é de cerca de 29 milhões de hectares em floresta nativa no sudeste asiático e 6,9 milhões de hectares em florestas plantadas, na Ásia (83%), na África (11%), na América Central e do Sul (6%) (KOLLERT; CHERUBINI, 2012).

No final da década de 60, a teca foi introduzida no Brasil, no Estado do Mato Grosso (TSUKAMOTO FILHO et al., 2003) e, devido às condições edafoclimáticas favoráveis à adaptação da espécie e os tratamentos silviculturais intensos, o ciclo de produção da teca reduziu de 80 anos, na região de origem, para 25 anos em áreas plantadas (BEHLING, 2009; MEDEIROS et al., 2015; TEWARI; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ; GARCÍA, 2014). Os povoamentos de teca têm sido estabelecidos em altas densidades iniciais, por exemplo, 2x2, 3x2, 3x3 e 4x2 (2 500 a 1 111 árvores ha⁻¹) (SILVA et al., 2016; MEDEIROS et al., 2018; PACHAS et al., 2019). E, são implantados e manejados no sentido de obter toras de grandes dimensões e de alta qualidade para serraria. Em monocultivo, a taxa média de crescimento da teca, é entre 15-20 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ em uma rotação de 20-25 anos (JEREZ-RICO, MAURICIO; COUTINHO, 2017; KOLLERT; CHERUBINI, 2012). Há plantios clonais no Brasil e no México com produtividade superior a 32 m³ ha⁻¹ ano⁻¹. Mesmo com alta produtividade, o volume com casca raramente ultrapassa 2,5 m³ por árvore (50 cm de dap e 20 m de fuste) (JEREZ-RICO, MAURICIO; COUTINHO, 2017).

A demanda internacional por produção agropecuária com maior responsabilidade ambiental (JOSE; DOLLINGER, 2019) e a possibilidade de diversificar a fonte de renda têm motivado o produtor rural brasileiro a utilizar os sistemas silvipastoris (SSP's). A implantação da teca em sistemas silvipastoris, no Brasil, teve início no ano 2000, no Estado de Mato Grosso, e atualmente estima-se que exista acima de 4 000 ha da espécie implantada nesse sistema, com densidades variando de 111 a 333 árvores ha⁻¹. A Estância Anna Sophia; Fazenda Bacaeri, Fazenda Gamada e a Fazenda e Haras Terraboa são propriedades pioneiras no sistema silvipastoril com a teca como componente arbóreo (Behling - comunicação pessoal, 7 de julho de 2022). A preferência pela teca se dá pelo alto valor agregado no mercado internacional, principalmente, por suas excelentes qualidades tecnológicas, que confere boa trabalhabilidade da madeira, além de produtividade elevada e menor rotação em relação às espécies nativas (BEHLING et al., 2014; MEDEIROS et al., 2015).

No sistema silvipastoril com teca, é recomendada a introdução do gado bovino de corte, de menor porte, quando as árvores atingem a altura de 3 m (UGALDE ARIAS, 2013) e *dap* de 3 a 4 cm, para reduzir os danos às árvores. Essa condição pode ocorrer entre 6 e 18 meses após o plantio das árvores, pois, depende de diversos fatores tais como o manejo do componente arbóreo e a qualidade do sítio. A teca é implantada em pastagens que, em sua maioria, apresentam algum nível de degradação, com alta compactação e baixa fertilidade (ROCHA JUNIOR et al., 2022; VENDRAME et al., 2010) com deficiência principalmente em Ca e P. Além disso, a ocorrência de seca de ponteiros subsequente ao plantio causa a perda de dominância apical da teca, aumentando ainda mais o tempo demandado para a entrada dos animais no sistema.

Então, para melhorar o crescimento e a produção da teca em sistema silvipastoril é importante, o uso de mudas clonais (SANTOS, 2015), e, a adubação (BEHLING et al., 2014; FERNÁNDEZ-MOYA et al., 2017), especialmente com P, Ca e B (ZHOU et al., 2012, 2017). Também, é necessária a aplicação de tratamentos silviculturais tais como o preparo do solo (BRICEÑO-ELIZONDO et al., 2016), controle de plantas daninhas (DOMINGOS JÚNIOR; COELHO, 2018), espaçamento adequado (MEDEIROS et al., 2017; PACHAS et al., 2019), desrama e desbaste (BUDIADI; WIDIYATNO; ISHII, 2017; RADÍO; DELGADO, 2014; VÍQUEZ; PÉREZ, 2005). Ainda assim, para a adoção de sistemas silvipastoris com teca é preciso aumentar os estudos sobre manejo silvicultural intensivo no sentido de aumentar e consolidar o crescimento e a produção de madeira de alta qualidade para serraria.

Esse trabalho foi desenvolvido com o objetivo de obter maior crescimento e produção de madeira de qualidade e, de reduzir o tempo para a entrada de animais em sistema silvipastoril com *T grandis* e *U. brizantha*, com a aplicação de gesso agrícola, de supersimples e de boro, em adição à desfolha e desrama precoce em diferentes intensidades e frequência de aplicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEHLING, M. **Nutrição, partição de biomassa e crescimento de povoamentos de teca em Tangará da Serra - MT**. 2009. 176 f. Tese (Doutorado em Fertilidade do solo e nutrição de plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.
- BEHLING, M. et al. Eficiência de utilização de nutrientes para formação de raízes finas e médias em povoamento de teca. **Revista Árvore**, v. 38, n. 5, p. 837–846, 2014.
- BRICEÑO-ELIZONDO, E. et al. Effects of high intensity tillage applications to improve productivity on established teak (*Tectona grandis*) plantations in specific site conditions in northern Costa Rica. **Journal of Agriculture and Life Sciences**, v. 3, n. 2, p. 2375–4222, 2016.
- BUDIADI; WIDIYATNO; ISHII, H. Response of a Clonal teak plantation to thinning and pruning in Java, Indonesia. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 29, n. 1, p. 44–53, 2017.
- DOMINGOS JÚNIOR, F. A.; COELHO, L. Effect of brachiaria grass on vegetative development of teak. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 4, p. 6, 2018.
- FERNÁNDEZ-MOYA, J. et al. N-P-K fertilisation of teak (*Tectona grandis*) plantations: a case study in Costa Rica. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 29, n. 4, p. 417–427, 2017.
- JEREZ-RICO, MAURICIO; COUTINHO, S. DE A. Planted Teak Forests. In: KOLLERT, W.; KLEINE, M. (Eds.). **The Global Teak Study: Analysis, Evaluation and Future Potential of Teak Resources**. Vienna: International Union of Forest Research Organization (IUFRO) World Series, 2017. p. 49–70.
- JOSE, S.; DOLLINGER, J. Silvopasture: a sustainable livestock production system. **Agroforestry Systems**, v. 93, n. 1, p. 1–9, 2019.
- KOLLERT, W.; CHERUBINI, L. Teak Resources and Market Assessment 2010. **FAO Planted Forests and Trees Working Paper FP/47/E, Rome, v. 206, 2012**.
- MEDEIROS, R. et al. Idade técnica do primeiro desbaste de povoamentos de teca em diferentes espaçamentos. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 116, p. 705–716, 2017.
- MEDEIROS, R. A. et al. Análise silvicultural e econômica de plantios clonais e seminais de *Tectona grandis* L. f., em sistema Taungya. **Revista Árvore**, v. 39, n. 5, p. 893–903, 2015.
- MEDEIROS, R. A. et al. Growth and yield of teak stands at different spacing. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 10, p. 1109–1118, 2018.
- MIDGLEY, S. et al. Planted teak: global production and markets, with reference to Solomon Islands. Australian Centre for International Agricultural Research, **ACIAR Technical Reports Series**, n. 85, 92 p, 2015.
- NORDAHLIA, A. S. et al. Wood properties of selected plantation species: *Tectona grandis* (teak), *Neolamarckia cadamba* (kelempayan/laran), *Octomeles sumatrana* (binuang) and *Paraserianthes falcataria* (batai). **Timber Technology Bulletin**, v. 54, p. 1-4, 2014.

PACHAS, A. N. A. et al. Initial spacing of teak (*Tectona grandis*) in northern Lao PDR: Impacts on the growth of teak and companion crops. **Forest Ecology and Management**, v. 435, p. 77–88, 2019.

RADÍO, M. I. L.; DELGADO, D. M. Management of young teak plantations in Panama-effect of pruning and thinning. n. 229, p. 102, 2014.

ROCHA JUNIOR, P. R. DA et al. Physical attributes and organic material in pastures of *Brachiaria brizantha* at degradation levels. **Bioscience Journal**, v. 38, p. e38008–e38008, 16 fev. 2022.

SANTOS, M.L. **partição de biomassa e nutrientes em plantios clonais e seminais de teca**. 2015, Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), UFV, Viçosa, 60p.

SILVA, R. S. et al. Desempenho silvicultural de *Tectona grandis* L. f. em diferentes espaçamentos em Cáceres, MT. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 3, p. 397–405, 2016.

TEWARI, V. P.; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J. G.; GARCÍA, O. Developing a dynamic growth model for teak plantations in India. **Forest Ecosystems**, v. 1, n. 9, p. 10, 2014.

TSUKAMOTO FILHO, A. A. et al. Análise econômica de um plantio de teca submetido a desbastes. **Revista Árvore**, v. 27, n. 4, p. 487–494, 2003.

UGALDE ARIAS, L. A. **Teak: new trends in silviculture, commercialization and wood utilization**. (Ed.) Cartago, C.R: International Forestry and Agroforestry, ISBN 978-9968-47-716-1, 552 pp.

VENDRAME, P. R. S. et al. Fertility and acidity status of latossolos (oxisols) under pasture in the Brazilian Cerrado. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 82, n. 4, p. 1085–1094, 2010.

VÍQUEZ, E.; PÉREZ, D. Effect of pruning on tree growth, yield, and wood properties of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. **Silva Fennica**, v. 39, n. 3, p. 381–390, 2005.

ZAHABU, E. et al. Effect of spacing regimes on growth, yield, and wood properties of *Tectona grandis* at Longuza Forest plantation, Tanzania. **International Journal of Forestry Research**, v. 2015, p. 1–6, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/469760>

ZHOU, Z. et al. Effects of calcium, boron and nitrogen fertilization on the growth of teak (*Tectona grandis*) seedlings and chemical property of acidic soil substrate. **New Forests**, v. 43, n. 2, p. 231–243, 2012.

ZHOU, Z. et al. Growth and mineral nutrient analysis of teak (*Tectona grandis*) grown on acidic soils in south China. **Journal of Forestry Research**, v. 28, n. 3, p. 503–511, 2017.

CAPÍTULO I

CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE TECA EM SISTEMA SILVIPASTORIL NO CENTRO-OESTE DO BRASIL: EFEITO RESIDUAL DA APLICAÇÃO DE GESSO

RESUMO

O objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito residual de doses de gesso agrícola sobre o crescimento e a produção da teca (*Tectona grandis* L. f), aos 105 meses após a aplicação de gesso, em sistema silvipastoril com braquiarião (*Urochloa brizantha* cv. Marandu). Foram aplicadas cinco doses de gesso (0, 500, 1500, 3000 e 6000 kg ha⁻¹) na linha de plantio. A teca foi estabelecida no arranjo de 20 x 3 m, em quatro blocos casualizados, e as parcelas de medição foram constituídas de uma linha com 15 árvores de teca. A sobrevivência no tratamento testemunha, aos 105 meses, foi 68% e, acima de 85% para os demais tratamentos de gesso. O crescimento em altura, diâmetro, área basal, volume por planta e a produção por hectare foram modelados de acordo com Chapman-Richards. As maiores estimativas de altura (m), área basal (m² ha⁻¹) e volume (m³ ha⁻¹) foram observadas com a aplicação de 6000 kg ha⁻¹ de gesso, com IMAv (incremento médio anual do volume) de 14,62 m³ ha⁻¹, aos 105 meses. O crescimento em diâmetro e em volume por planta não diferiram (p>0,05) entre as doses de gesso. A maior disponibilidade de Cálcio (Ca) no solo resultou em maior teor de Ca nas folhas. A aplicação do gesso aumentou (p<0,05) os teores no solo de enxofre (S), em profundidade, e de magnésio (Mg), na camada superficial. Conclui-se que o gesso influencia no crescimento e produção de teca e, em razão da maior altura e diâmetro das plantas na fase inicial de estabelecimento, antecipa a entrada do gado bovino de corte no sistema silvipastoril.

Palavras-chave: Antecipação de entrada de gado em SSP. Condicionador de solo. Fertilidade do solo.

CHAPTER I

**GROWTH AND PRODUCTION OF TEAK IN A SILVIPASTORAL SYSTEM
IN THE CENTRAL-WESTERN REGION OF BRAZIL: RESIDUAL EFFECT OF
GYPSUM APPLICATION**

ABSTRACT

This study evaluated the residual effect of agricultural gypsum doses on teak (*Tectona grandis* L. f) growth and production, at 105 months after gypsum application, in a silvopastoral system (SPS) with *Urochloa brizantha* cv. Marandu, in the Central-Western Region of Brazil. Five doses of gypsum were applied (0, 500, 1,500, 3,000 and 6,000 kg ha⁻¹) in the teak planting row. Teak was established in an arrangement of 20 x 3 m, in four randomized blocks and, the measuring plots consisted of a row with 15 teak trees. Survival at 105 months was 68% in the control treatment and above 85% for the other gypsum treatments. Growth in height, diameter, basal area, volume per plant and yield per hectare were modeled according to Chapman-Richards. The highest estimates of height (m), basal area (m² ha⁻¹) and volume (m³ ha⁻¹) were observed with the application of 6,000 kg ha⁻¹ of gypsum, with MAIv 14.62 m³. ha⁻¹ at 105 months. The growth curves in diameter and in individual volume (m³ tree⁻¹) did not differ (p>0.05) among gypsum doses. The leaf calcium (Ca) content increased linearly with the increase of gypsum doses in the soil, indicating that a greater availability of Ca in the soil promote its absorption by the plant. The application of gypsum favored the increase (p<0.05) of the soil sulfur (S) contents, in depth, and the soil magnesium (Mg) contents, at the soil surface layer. In conclusion, gypsum influences the growth and production of teak, and, due to the higher plant height and diameter at the initial phase of establishment, it anticipated the entry of cattle into the teak SPS.

Keywords: Anticipation of cattle entry in SSP. Soil conditioner. Soil fertility.

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas silvipastoris (SSP's) são formados pela integração de árvores, forrageiras e animais, na mesma área (NAIR, 2014). E, em razão dos inúmeros benefícios proporcionados pelo SSP, destacando-se o conforto térmico e ganho de peso animal e, o incremento de renda (JOSE; WALTER; KUMAR, 2019; OLIVEIRA et al., 2022; PACIULLO et al., 2011, 2021; SARABIA-SALGADO et al., 2020), o estabelecimento destes sistemas tem atraído a atenção de pecuaristas e empreendedores florestais. É possível produzir madeira sólida de maiores dimensões com qualidade, através do manejo da desrama artificial, no SSP (FONTAN et al., 2011), além de proporcionar atividade de bovinocultura de forma lucrativa para atender ao crescente consumo de carne (ALMEIDA et al., 2013; PEZO et al., 2018). Ainda, a qualidade da pastagem e o conforto animal são melhorados principalmente pela redução de ventos e da amplitude térmica, em comparação com o sistema de pastagem sem árvores (PACIULLO et al., 2011; BALISCEI et al. 2013; VIEIRA *et al.*, 2019).

O Brasil é um dos maiores produtores de carne bovina do mundo e, nas últimas décadas, tem sido desafiado a otimizar o uso da terra de forma a ter altos níveis de produção e, também, garantir o conforto animal e a proteção ambiental (GIL; GARRETT; BERGER, 2016; GIL; SIEBOLD; BERGER, 2015). Os sistemas silvipastoris têm sido indicados como alternativa de intensificação de produção. Dentre os componentes arbóreos exóticos utilizados nos SSPs, destacam-se o eucalipto, a acácia e, a teca, que, é uma das espécies com maior área plantada (68 mil ha) no Mato Grosso, em monocultivo (ALMEIDA et al., 2013; MICHETTI et al., 2022).

O plantio de teca em pastagens, no Mato Grosso, iniciou no ano 2000, com 150 ha, e atualmente, tem cerca de 4 000 ha de área plantada em SSP's. Na Fazenda Bacaeri, uma das pioneiras no plantio clonal de teca em SSP's, desde 2008, são testados vários espaçamentos (15 x 2 m, 15 x 4 m, 15 x 6 m, 18 x 3 m, 20 x 2,5 m, 20 x 3 m e 22 x 3 m), sendo o espaçamento 20 x 3 m o mais adotado nos plantios comerciais. A madeira de teca produzida nesse sistema é exportada principalmente para a Europa e Ásia, e tem obtido valores competitivos, comparáveis aos de madeira de lei de espécies nativas (ÂNGELO et al., 2009; BEZERRA et al., 2011).

A produtividade da teca na América do Sul varia de 10 a 27 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, em rotações de 20 a 30 anos (KOLLERT; CHERUBINI, 2012). O genótipo (SCHUHLI; PALUDZYSZYN FILHO, 2010), as características climáticas (KAOSA-ARD, 1989; TANAKA; HAMAZAKI; VACHARANGKURA, 1998) e, principalmente, as propriedades químicas e físicas do solo (ALVARADO; FALLAS, 2004; MOLLINEDO et al., 2005), são fatores importantes para a produção de madeira de teca.

Como cerca-viva, a produtividade média anual da teca é de $15,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ aos 15 anos, em sítios de alta qualidade (densidade de $160 \text{ árvores ha}^{-1}$) (CAÑADAS-L et al., 2018). No Brasil, em plantios clonais, a teca (densidade de $200 \text{ árvores ha}^{-1}$) apresenta rápido crescimento inicial, com altura entre 6 e 7 m e *dap* entre 8 e 9 cm (UGALDE ARIAS, 2013). Entretanto, os sistemas silvipastoris têm sido implantados em solos degradados e ácidos (ALMEIDA et al., 2013), em condições de pastagens de baixa produtividade, ou seja, maiores produtividades podem ser atingidas com manejo adequado do SSP.

O manejo do solo com a aplicação de nutrientes ao longo do seu perfil pode aumentar a produção florestal e a produção forrageira (ZAMBROSI; ALLEONI; CAIRES, 2007; ZANDONÁ et al., 2015). O gesso agrícola ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), por ser um condicionador de solo, já é utilizado na agricultura brasileira, isolado ou misturado ao calcário, como uma alternativa para reduzir a toxicidade do Al em solos muito intemperizados (FAGERIA; NASCENTE, 2014; NEIS et al., 2010; VICENSI et al., 2019; ZAMBROSI; ALLEONI; CAIRES, 2007) para o plantio da teca. O gesso tem efeitos positivos no crescimento de culturas agrícolas e florestais, uma vez que promove o crescimento das raízes (BAKKER, 1999; MACANA et al., 2020; ZOCCA; PENN, 2017) e aumenta os níveis de Ca^{2+} e SO_4^{2-} no subsolo, diminuindo a saturação de Al^{3+} em todo o perfil do solo (ARAÚJO et al., 2016).

É importante que a teca em sistemas silvipastoris apresente rápido crescimento inicial para que a entrada do gado no sistema ocorra no menor tempo possível. Em SSP's com teca é recomendado a entrada do gado bovino, de pequeno porte, após as árvores apresentarem, no mínimo, 3 m de altura (UGALDE ARIAS, 2013) e 3 cm de *dap*, para reduzir os danos as árvores.

O objetivo desse estudo foi avaliar o efeito residual da aplicação de gesso agrícola no crescimento e na produção da teca, em sua fase inicial de crescimento bem como a longo prazo, em sistema silvipastoril tendo a *Urochloa brizantha* cv. Marandu (braquiarião) como forrageira.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área de estudo

O estudo foi desenvolvido na Fazenda Bacaeri no município de Alta Floresta, Mato Grosso ($9^{\circ}59' 6,82'' \text{ S}$ e $56^{\circ}55'6,30'' \text{ W}$, altitude de 222 m). O clima da região, segundo Köppen, é Aw - tropical quente e úmido, com estação chuvosa (outubro a abril) e seca (maio a setembro) bem definidas. As temperaturas médias mensais variam entre 24 e 26°C e a precipitação média anual acumulada está entre 2.000 e 2.100 mm (SOUZA et al., 2013). O relevo varia de suave a

forte ondulado. O solo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média a argilosa, de baixa fertilidade e elevada acidez (SANTOS et al., 2011).

As características físicas e químicas do solo na área experimental, antes do estabelecimento do sistema (Tabela 1), indicaram a necessidade de correção do solo: os teores de Ca, Mg, K, P, Al, M.O, a saturação por base ($V < 50\%$) e o pH estavam inadequados para obtenção de alta produtividade de teca (ALVARADO, 2015; JEREZ-RICO, MAURICIO; COUTINHO, 2017).

As mudas de teca do clone A₃ (procedente das Ilhas Salomão), foram implantadas em fevereiro de 2012, no arranjo espacial 20 x 3 m, em área de pastagem com braquiário, manejada com gado para corte desde a década de 90. As linhas de plantio da teca foram implantadas em nível e, sempre que possível, no sentido Leste-Oeste, de modo a manter níveis elevados de transmitância da radiação solar no sistema (Figura 1). A desrama artificial foi aplicada anualmente, conforme procedimentos da empresa.

Tabela 1. Caracterização química e física do solo antes da instalação do experimento na área com aplicação de doses de gesso, em sistema silvipastoril, em Alta Floresta, MT

Prof.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K	Al ³⁺	H+Al	Areia	Silte	Argila
cm	H ₂ O	----- cmol _c dm ⁻³ -----				----- g.kg ⁻¹ -----			
0-20	5,64	2,21	1,08	0,13	0,01	3,87	553,40	120,40	326,20
20-40	5,30	0,99	0,61	0,12	0,38	3,51	433,20	110,80	456,00
Prof.	P	S	Cu	Zn	Fe	Mn	B	M.O	V
cm	mg dm ⁻³	----- mg kg ⁻¹ -----				g dm ⁻³		%	
0-20	1,00	13,02	1,34	1,88	211,60	55,12	0,54	26,40	46,66
20-40	0,46	8,14	0,72	2,40	124,20	17,90	0,45	14,60	34,66

pH em H₂O – relação 1:2,5; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ - extrator KCL 1,0 M; H+Al – extrator Acetato de Ca 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0; S - extrator Ca(H₂PO₄)₂ 0,01 M; P, K, Cu, Zn, Fe e Mn - extrator Mehlich 1; B - extrator BaCl₂ 0,125% a quente; M.O (matéria orgânica) – extrator Na₂Cr₂O₇.2H₂O + H₂SO₄. Areia, Silte e Argila – extrator NaOH 0,1 M

O preparo do solo consistiu no uso de grade aradora mantendo uma faixa limpa de 4 m, e, no centro dessa faixa foi feita a subsolagem a 60 cm de profundidade para o plantio da teca. Após o plantio, as plantas invasoras nesta faixa foram controladas com glifosato e coroamento manual em torno das mudas de teca até seis meses. Após esta idade, foram feitas roçadas mecânicas numa faixa de 1 m de cada lado da linha de plantio até os 12 meses (idade em que o gado foi introduzido no sistema). Foram introduzidas 2 u.a. ha⁻¹ de gado bovino de corte com até 220 kg, aproximadamente.

Foram aplicadas, 30 dias após o plantio das mudas, cinco doses de gesso agrícola: 0, 500, 1500, 3000 e 6000 kg ha⁻¹ distribuídas, a lanço (Figura 1), em toda extensão da faixa arada (4 m). Cada parcela experimental era composta de uma linha de 15 árvores (45 m) e uma faixa

de pastagem de 20 m, conforme a Figura 1. O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições.

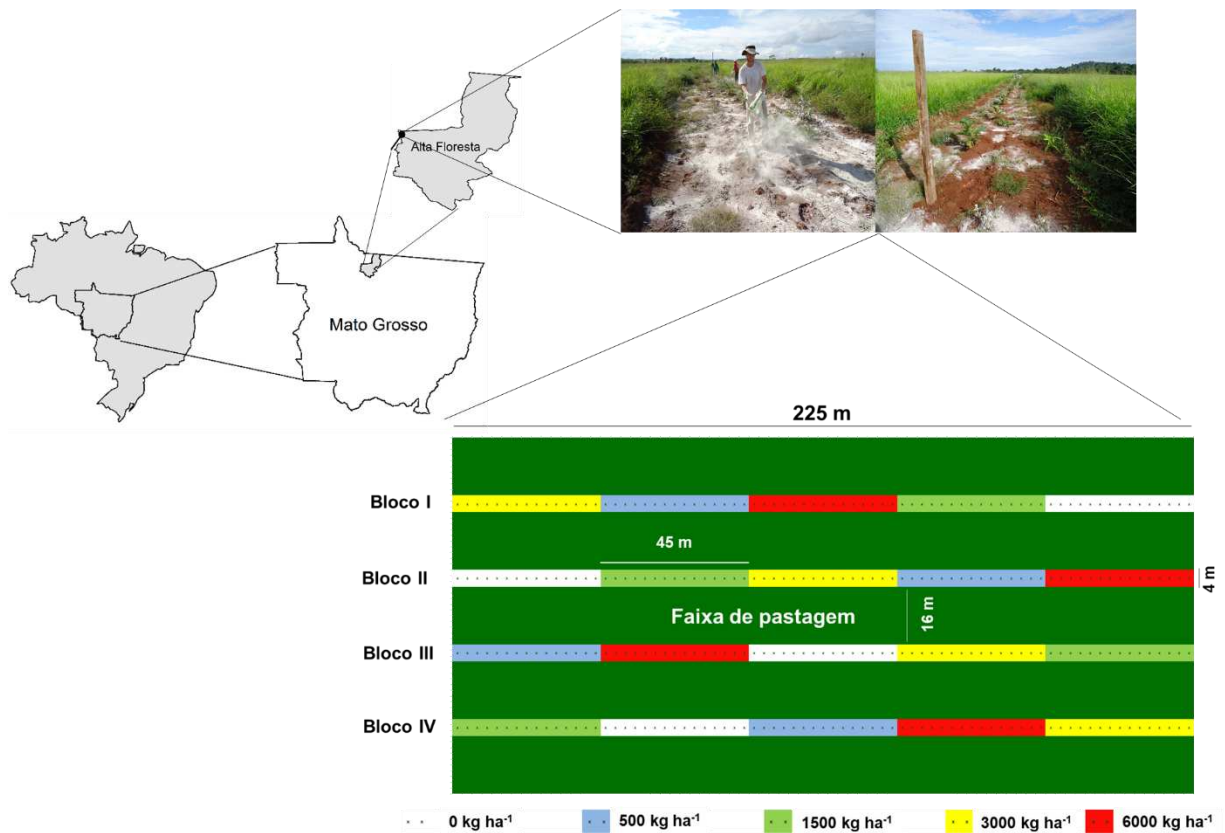


Figura 1. Croqui do experimento com aplicação de gesso agrícola a lanço, em sistema silvipastoril com teca, em Alta Floresta, MT

A necessidade de gesso (NG) foi determinada com base no teor de argila do solo pela fórmula: $NG \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} = 75 \times \text{teor de argila (\%)}$, conforme recomendado para o Cerrado (SOUZA; LOBATO, 2004).

2.2 Coleta e análise de dados

2.2.1 Crescimento e produção

Para determinar o efeito da aplicação de gesso na sobrevivência das árvores de teca, foi considerado duas idades: 5 e 105 meses, que são respectivamente, antes da entrada do gado no sistema e a última coleta de dados. A altura total (*ht*) e o diâmetro a 1,3 m de altura (*dap*) foram medidos aos 5 (à exceção do *dap*), 18, 30, 75, 95 e 105 meses de idade.

Para calcular o volume total foram cubadas 20 árvores (em pé) com base na distribuição de diâmetro, medidos aos 95 meses de idade. Os diâmetros (variando entre 15,5 cm e 34,5 cm) foram agrupados em cinco centros de classes com intervalo de 4 cm. Foram cubadas de 2 a 8

árvores, em cada centro de classe. As medidas de diâmetros foram tomadas a 0,3 m; 0,7 m; 1,30 m e 2 m de altura, com a fita métrica e, a partir desse ponto, de dois em dois metros, até a altura em que o diâmetro fosse de 10 cm (h_{10}), com o Criterion RD 1000. A altura h_{10} das árvores amostradas variou de 13,4 m a 17,9 m. A partir de h_{10} foi assumido um cone de altura $h_t - h_{10}$. O volume individual de cada árvore foi calculado pela fórmula de Smalian, conforme Campos; Leite (2017). Para estimar o volume com casca foi ajustado o modelo de Schumacher e Hall (1):

$$\ln v = \beta_0 + \beta_1 \ln dap + \beta_2 \ln ht + \varepsilon \quad (1)$$

em que: v é o volume com casca (m^3), β_i são os parâmetros do modelo, onde i : 0, 1 e 2; dap o diâmetro a 1,3 m (cm), h_t a altura total (m), e ε o erro aleatório.

A ht , dap , área basal (B) e os volumes individual e total (v e v_{ha}) até a idade de 105 meses foram estimados com equações obtidas a partir do ajuste do modelo Chapman-Richards (2). Esse modelo foi ajustado para cada tratamento e, posteriormente, foram aplicados testes de identidade para modelos não lineares (REGAZZI; SILVA, 2010), visando comparar as tendências médias de crescimento e produção e para verificar a possibilidade de uso de uma equação comum a todos os tratamentos.

$$y = \beta_0(1 - e^{-\beta_1 I})^{\beta_2} + \varepsilon \quad (2)$$

em que: y é a variável dependente (ht , dap , B , v e v_{ha}) em cada ajuste, I é a idade (variável preditora ou independente), β_i , $i = 0, 1, 2$ são os parâmetros do modelo e ε o erro aleatório. β_0 é a assíntota e $\ln(\beta_2)/\beta_1$ é a idade de máxima taxa de crescimento, ou seja, a idade com aceleração do crescimento nula.

Os ajustes do modelo de Schumacher-Hall e de Gompertz foram feitos utilizando o algoritmo Livenberg-Marquardt (LEVENBERG, 1944; MARQUARDT, 1963) no *software* R Core Team (2019). O ajuste foi avaliado utilizando o coeficiente de correlação entre os valores observados e aqueles estimados ($r_{y\hat{y}}$) e o erro padrão residual (S_{yx}) (CAMPOS; LEITE, 2017).

Para a distribuição de diâmetros por tratamento e idade, foi utilizada a função densidade de probabilidade Weibull (fdp) de dois parâmetros (3), sem truncamentos à direita e à esquerda (MURTHY; XIE; JIANG, 2004):

$$f(x) = \left\{ \frac{\gamma}{\beta} \left(\frac{x}{\beta} \right)^{\gamma-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta} \right)^{\gamma}} \right\} \quad (3)$$

A forma acumulativa $F(X)$ desta função (4) é:

$$F(X) = \int_{\alpha}^{\infty} f(x)dx = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^{\gamma}} \quad (4)$$

em que: $F(X)$ é a proporção de árvores com $dap \leq X$; γ o parâmetro de forma; β o parâmetro de escala, e centro da classe de dap , sendo $x \geq 0$, $\beta > 0$ e $\gamma > 0$

A função 3 foi ajustada pelo método da máxima verossimilhança, para cada tratamento e idade. A aderência foi avaliada com o teste de Kolmogorov-Smirnov, na qual comparou-se a distribuição observada com a estimada pela fdp. O nível de significância utilizado foi de 1%.

2.2.2 Amostragem de solo e folhas

A amostragem do solo para as análises química e física foi feita aos 77 meses, em zigzague, na faixa de 4 m. Em cada tratamento, foram coletadas uma amostra composta de solos em cada profundidade: 0-5; 5-15; 15-30; 30-40; 40-60 cm. Para cada amostra composta, até a profundidade de 30 cm, foram coletadas 20 amostras simples, para cada camada e, 10 amostras simples de solo na profundidade de 30-40 cm. A amostra composta na profundidade de 40-60 cm foi obtida a partir de cinco amostras simples por tratamento apenas no bloco I.

O pH em água, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, zinco, ferro, manganês, cobre, boro, acidez trocável (Al^{3+}), acidez potencial ($H+Al$) e matéria orgânica (M.O) foram determinados em amostras seca ao ar. Os métodos utilizados foram: IAC (RAIJ *et al.*, 2001): pH em água (extrator: H_2O 2,5:1 de solo), S (extrator: $Ca(H_2PO_4)_2$ 0,01 M), B (extrator $BaCl_2$ 0,125% a quente), Areia, Silte e Argila: (extrator $NaOH$ 0,1M); Embrapa (SILVA *et al.*, 1998; DONAGEMA *et al* 2011): Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} (extrator KCL 1,0 M), $H+Al$ (extrator $Ca(OAc)_2$ 0,5 mol L^{-1} pH 7,0), P, K, Cu, Zn, Fe e Mn (extrator Mehlich 1), M.O (extrator $Na_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O + H_2SO_4$).

Para a análise foliar de nutrientes, foram coletadas folhas sadias das três primeiras árvores da parcela útil, de cada tratamento, aos 77 meses de idade. Foi cortado um galho do terço médio da copa, e coletadas folhas recém maduras, evitando-se folhas velhas ou muito jovens. Essas folhas foram secas em estufa a 65°C até peso constante. Após moídas e pesadas, determinou-se o teor de N nas folhas, pela digestão sulfúrica. A extração de P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn foi feita pela mistura dos ácidos nítrico e perclórico. O teor de B foi determinado por incineração.

Os dados foram verificados quanto à presença de outliers (análises gráficas e estatísticas descritivas), normalidade (Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (Bartlett). A ANOVA foi realizada com nível de significância de 5%. Os dados coletados dos solos foram analisados em

DBC, com quatro repetições. Quando os resultados do teste F foram significativos, o teste Tukey, a 5% de significância, foi realizado para comparar as médias entre as doses de gesso. Para os dados de nutrientes foliares, foram ajustadas regressões lineares ou quadráticas, a fim de determinar a melhor dose de gesso agrícola.

3 RESULTADOS

A mortalidade das árvores de teca nos tratamentos com a aplicação de gesso foi menor do que no tratamento testemunha (Tabela 2). Com a aplicação de 6000 kg ha⁻¹ de gesso a sobrevivência das árvores atingiu a média de 98% e foi 30% superior ao do tratamento testemunha, aos 105 meses.

Tabela 2. Sobrevivência de plantas de teca aos 5 meses (antes da entrada do gado) e aos 105 meses (após a entrada do gado) sob diferentes doses de gesso agrícola (kg ha⁻¹), em sistema silvipastoril, em Alta Floresta, MT

Gesso kg ha ⁻¹	5 meses			105 meses		
	Min	Média	Max	Min	Média	Max
0	93%	97%	100%	40%	68%	93%
500	100%	100%	100%	80%	87%	100%
1500	100%	100%	100%	73%	85%	100%
3000	100%	100%	100%	87%	93%	100%
6000	100%	100%	100%	93%	98%	100%

Min: mínima; Max: máxima

3.1 Crescimento e produção de teca em sistema silvipastoril

As equações de altura total, diâmetro, área basal, volume individual e por hectare, até a idade de 105 meses, apresentaram correlações ($r_{y\hat{y}}$) positivas, superiores a 0,87 (Tabela 3). As tendências de crescimento para altura, diâmetro e volume, que não diferiram ($p>0,05$) entre tratamentos, quando submetidas ao teste de identidade de modelos, foram agrupadas (Tabela 3).

Devido a maior heterogeneidade no crescimento em altura e diâmetro no tratamento testemunha, observa-se maior erro (S_{yx}) e menores correlações ($r_{y\hat{y}}$) para todas as variáveis avaliadas (Tabela 3).

Os valores assintóticos (parâmetro β_0) (Tabela 3) do modelo de Chapman-Richards ocorrem em idade tendendo ao infinito, o que dificulta a comparação direta entre tratamentos. Desta forma, foi fixada a idade de 105 meses, idade da última coleta de dados, para a comparação entre os tratamentos, em relação às variáveis ht , dap , B , v e v_{ha} .

Tabela 3. Estimativa dos parâmetros do modelo de Chapman-Richards ajustado para as variáveis altura, diâmetro, área basal e volume, para teca sob diferentes doses de gesso agrícola (kg ha^{-1}), em sistema silvipastoril, em Alta Floresta, MT

Doses de gesso (kg ha^{-1})	β_0	β_1	β_2	S_{yx}	$r_{y\hat{y}}$
Altura total (m)					
0	23,7157	0,0121	0,8440	1,0480	0,9866
500	23,5697	0,0128	0,8535	0,8527	0,9908
1500 - 3000	27,6091	0,0086	0,7945	0,8342	0,9911
6000	30,0972	0,0071	0,7517	0,8441	0,9910
Diâmetro (cm)					
0	48,5896	0,0103	1,1275	2,3510	0,9718
500-1500-3000	50,1716	0,0091	1,0910	1,5750	0,9860
6000	48,7508	0,0097	1,1002	1,4290	0,9887
Área basal ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$)					
0	18,1282	0,0126	2,4700	1,9110	0,8798
500	22,6812	0,0120	2,4114	0,5061	0,9930
1500	24,2702	0,0107	2,3314	0,5261	0,9918
3000	24,1338	0,0117	2,3725	0,4294	0,9953
6000	25,1621	0,0121	2,4018	0,6046	0,9921
Volume com casca individual (m^3)					
0	3,2323	0,0079	2,4060	0,1046	0,9502
500	3,1675	0,0078	2,4129	0,0658	0,9771
1500-3000	2,4329	0,0095	2,5424	0,0723	0,9712
6000	2,7675	0,0086	2,4503	0,0660	0,9774
Volume com casca ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)					
0	331,6768	0,0088	2,491811	20,9400	0,8832
500	350,6482	0,0097	2,554024	5,1110	0,9942
1500	471,3038	0,0075	2,406197	5,6950	0,9923
3000	376,6356	0,0095	2,534251	4,9050	0,9951
6000	441,5790	0,0089	2,482746	6,6330	0,9925

Onde: β_0 ; β_1 ; β_2 são os parâmetros do modelo de Chapman-Richards na forma $Y = \beta_0(1 - e^{-\beta_1 t})^{\beta_2} + \varepsilon$; S_{yx} = erro padrão residual; $r_{y\hat{y}}$ coeficiente de correlação linear entre valores observados e preditos.

A altura total das árvores, pelo teste de identidade de modelos, diferiu ($p < 0,05$) em função das doses de gesso (Figura 2). As doses de 1500 e 3000 kg de gesso, que foram iguais entre si ($p > 0,05$), foram representadas por uma única equação. O maior valor assintótico para altura média foi obtido com a aplicação de 6000 kg ha^{-1} de gesso e o menor no tratamento testemunha.

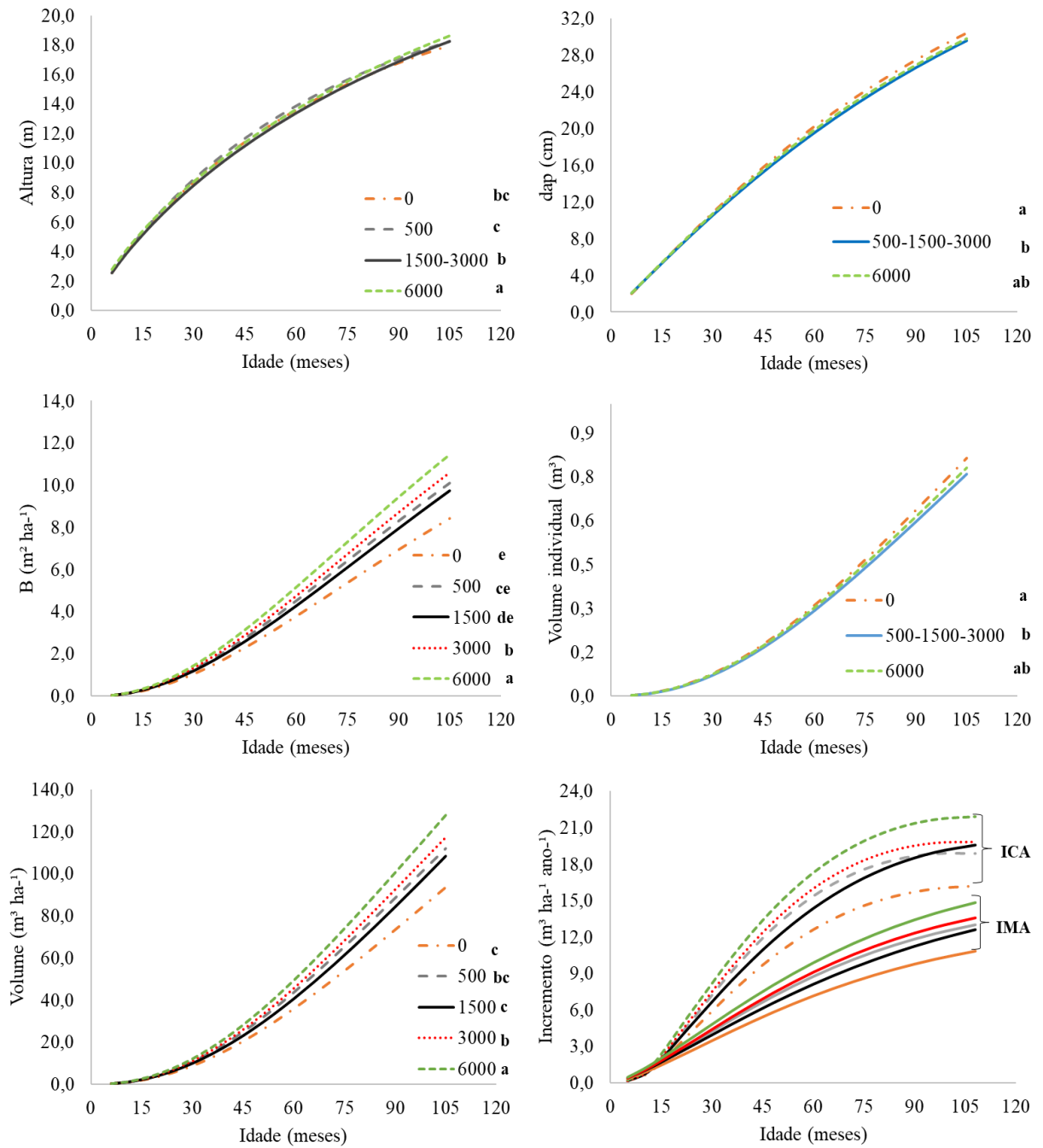


Figura 2. Crescimento (*ht* e *dap*), produção ($v_{\acute{a}rv}$, v_{ha} e B) e incrementos médio e corrente anual (IMA e ICA) das árvores de teca sob diferentes doses de gesso agrícola (kg ha⁻¹), em sistema silvipastoril, em Alta Floresta, MT. Nas legendas: mesma letra, indica igualdade entre as equações ($p > 0,05$), pelo teste identidade de modelos.

As maiores estimativas de *dap* (cm) foram observadas sem a aplicação de gesso e com a aplicação de 6000 kg ha⁻¹. A aplicação de 500, 1500 ou 3000 kg ha⁻¹ não diferiram entre si ($p > 0,05$), tendo sido representadas por uma única equação (Figura 2, Tabela 3).

A área basal foi influenciada pela aplicação de gesso ($p < 0,05$) (Tabela 3, Figura 2). Com a aplicação de 6000 kg ha⁻¹ de gesso, obteve-se maior valor de *B* (11,4 m² ha⁻¹), enquanto sem a aplicação de gesso a área basal foi a menor (8,4 m² ha⁻¹), em consequência do menor número de árvores sobreviventes, nesse tratamento.

O volume individual não diferiu ($p > 0,05$) entre o tratamento testemunha e a aplicação de 6000 kg ha⁻¹ de gesso. Os tratamentos com 500, 1500 e 3000 kg ha⁻¹ de gesso, não diferiram entre si, sendo representadas por uma única equação ($p > 0,05$) (Figura 2, Tabela 3). Os volumes aos 105 meses, foram 0,8141, 0,7596 e 0,7804 m³ para os tratamentos 0, 500-1500-3000 e 3000 kg ha⁻¹ de gesso, respectivamente.

O volume por área (m³ ha⁻¹) foi influenciado ($p < 0,05$) pela aplicação de gesso. A produção foi 27% maior com a aplicação de 6000 kg ha⁻¹ de gesso, em relação à testemunha (Figura 2), tendo proporcionado aumento na produção em volume em 3,9 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ (IMA) e ICA de 4,4 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, em relação à testemunha, aos 105 meses.

Foi feita comparação de crescimento e produção entre as doses de 3000 e 6000 kg ha⁻¹ de gesso. Nas idades iniciais (até 12 meses) a aplicação de 6000 kg ha⁻¹ de gesso, promoveu o aumento em 6% na altura e 2% no *dap* em relação aos tratamentos 1500-3000 kg ha⁻¹ e 500-1500-3000 kg ha⁻¹, respectivamente. A aplicação de 6000 kg ha⁻¹ de gesso para as variáveis *B*, *v_{árv}* e *v_{ha}*, promoveu o aumento em 6%, 10% e 13% em relação a aplicação de 3000, 500-1500-3000 e 3000 kg ha⁻¹, respectivamente. Aos 105 meses essas diferenças foram de 2%, 1%, 7%, 3% e 8% para a *ht*, *dap*, *B*, *v_{árv}* e *v_{ha}*, respectivamente.

3.1.1 Distribuição de diâmetros

Todos os ajustes da função Weibull resultaram em aderência pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ($p > 0,05$).

A aplicação de gesso influenciou na distribuição de diâmetro, pois a frequência de árvores foi maior e mais homogênea com a aplicação de gesso. O menor número de árvores no tratamento testemunha se deve, a maior mortalidade em função da entrada do gado aos 12 meses (Figura 3). Nesse tratamento, ocorreu maior heterogeneidade no desenvolvimento das árvores pois a mortalidade promoveu distribuição irregular das árvores nas parcelas, resultando em maior número de classes e menor número de árvores nas classes centrais de diâmetro.

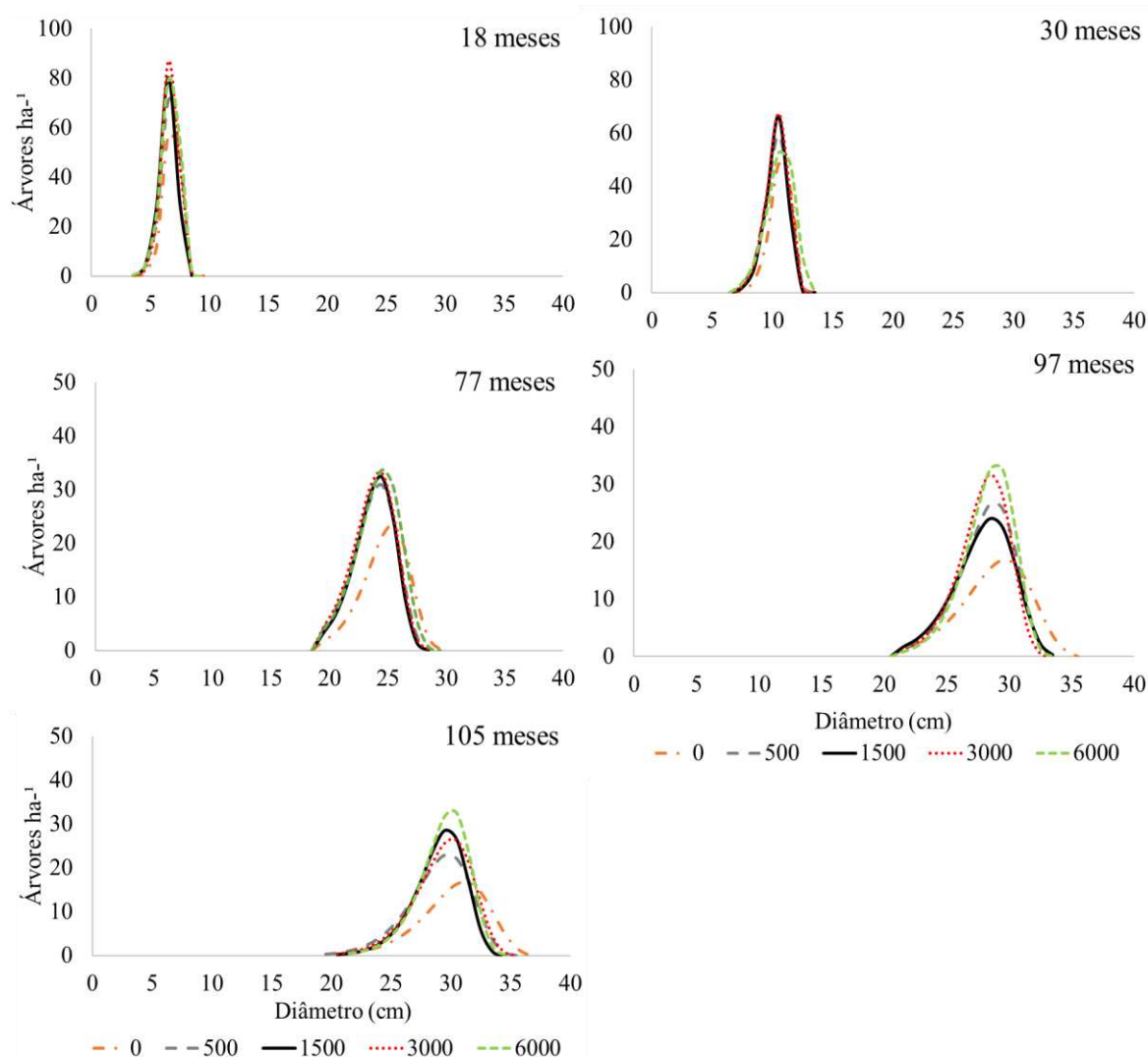


Figura 3. Distribuição de diâmetros de teca aos 18, 30, 77, 95 e 105 meses, sob diferentes doses de gesso agrícola (kg ha^{-1}), em sistema silvipastoril, em Alta Floresta, MT

Verifica-se, por meio da distribuição diamétrica o deslocamento (crescimento) do diâmetro ao longo do tempo. Aos dezoito meses de idade, a frequência de árvores de teca foi maior na classe de diâmetro 7 cm e, aos 30 meses, foi de 11 cm para todos os tratamentos (Figura 3). A partir de 30 meses houve diferenciação do crescimento em diâmetro entre tratamentos.

A partir dos 77 meses, a distribuição de diâmetro abrangeu maiores classes de diâmetro (acima de 15 cm), causando o achatamento das curvas. O tratamento testemunha apresentou maior amplitude da distribuição de diâmetros, indicando, maior heterogeneidade no crescimento entre os seus indivíduos. As distribuições de diâmetros se deslocaram para a direita ao longo das idades, ou seja, houve aumento do número de árvores nas maiores classes de diâmetro e redução nas de menores classes de diâmetro. Também, foi observado achatamento

das curvas, com o aumento da idade, indicando maior abrangência de classes de diâmetro (Figura 3).

3.2 Nutrientes na planta e no solo

3.2.1 Nutrientes no solo

Os dados de macronutrientes, micronutrientes e os atributos do solo, são apresentados de acordo com as doses de gesso, em cada profundidade, aos 76 meses após a aplicação. O aumento das doses de gesso agrícola elevou os teores de $S-SO_4^{2-}$ no solo até a profundidade de 50 cm. A aplicação de 6000 kg ha^{-1} aumentou significativamente o teor de SO_4 no solo nas camadas 15-30 e 30-40 cm ($p < 0,05$). O teor de Mg no solo na camada superficial, foi maior ($p < 0,05$) no tratamento sem a aplicação de gesso (Figura 4). Os teores de macronutrientes (Ca, P e K) e micronutrientes no solo não foram influenciados ($p > 0,05$) pela aplicação do gesso agrícola.

A aplicação de gesso no solo, também, não influenciou ($p > 0,05$) no pH do solo, na capacidade de trocas catiônicas (CTC), na saturação por bases (V%) e na matéria orgânica (MO), aos 76 meses após a aplicação. Ou seja, os tratamentos não diferiram entre si, nas diferentes profundidades do solo.

3.2.2 Nutrientes nas folhas

O gesso alterou ($p < 0,05$) os teores foliares de N, Ca, B e Fe da teca aos 76 meses após a sua aplicação no solo. Houve efeito linear simples para os teores de Ca e efeito quadrático para os demais nutrientes (N, B e Fe) (Tabela 4).

A aplicação de gesso não alterou os teores foliares de P, K, Mg, S, Cu, Mn, Zn. Entretanto, reduziu o teor de N em $0,6 \text{ g kg}^{-1}$ para cada tonelada de gesso aplicado no solo. Os teores de Ca aumentaram com a dose de gesso aplicada no solo, proporcionando um acréscimo de $1,44 \text{ g kg}^{-1}$ por tonelada de gesso aplicada. Os teores foliares de B, e Fe apresentaram relação quadrática, sendo a dose ótima para esses nutrientes $3.683,24$ e $3.160,62 \text{ kg ha}^{-1}$ de gesso.

Os teores foliares de macronutrientes são, em ordem decrescente, $N > Ca > K > Mg > P > S$, para os tratamentos com aplicação de gesso inferiores a 1500 kg ha^{-1} e, para as maiores doses de gesso no solo (3000 e 6000 kg ha^{-1}), os teores de Ca na folha são superiores aos de N. Os teores foliares de micronutrientes são $Mn > Fe > B > Zn > Cu$, para os tratamentos testemunha e 1500 kg ha^{-1} de gesso, e, para os demais, os teores de Zn foram superiores aos de B.

Tabela 4. Teor foliar de macro e micronutrientes de árvores de teca, sob aplicação de diferentes doses de gesso agrícola (kg ha⁻¹), aos 77 meses, em sistema silvipastoril, em Alta Floresta, MT

Nutrientes	0	500	1500	3000	6000	Média	Equação	R ²
kg ha ⁻¹								
Macronutrientes (g kg ⁻¹)								
N*	22,41a	21,71a	20,31ab	19,61ab	18,56b		y=21,8620-0,000610x	0,8932
P	1,52	1,52	1,52	1,50	1,54	1,52		
K	10,15	9,35	9,43	11,08	10,13	10,03		
Ca*	13,18b	18,05ab	17,66ab	20,18a	23,51a		y=15,3592 + 0,00144x	0,8399
Mg	1,67	2,00	2,19	2,35	1,87	2,02		
S	1,11	1,11	1,03	1,08	1,06	1,08		
Micronutrientes (mg kg ⁻¹)								
B*	26,98a	17,17b	20,38ab	17,15b	19,17ab		y=23,8256-0,0040x +5,43E ⁻⁷ x ²	0,6836
Cu	12,70	10,26	9,69	10,41	11,31	10,87		
Fe*	105,68ab	85,63b	88,50b	125,98a	91,83ab		y=91,0613+0,0122x-1,93E ⁻⁶ x ²	0,4724
Mn	157,26	186,58	198,29	216,85	215,74	194,94		
Zn	19,20	19,94	19,09	19,74	22,34	20,06		

*Médias seguidas de letras iguais, na linha, não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

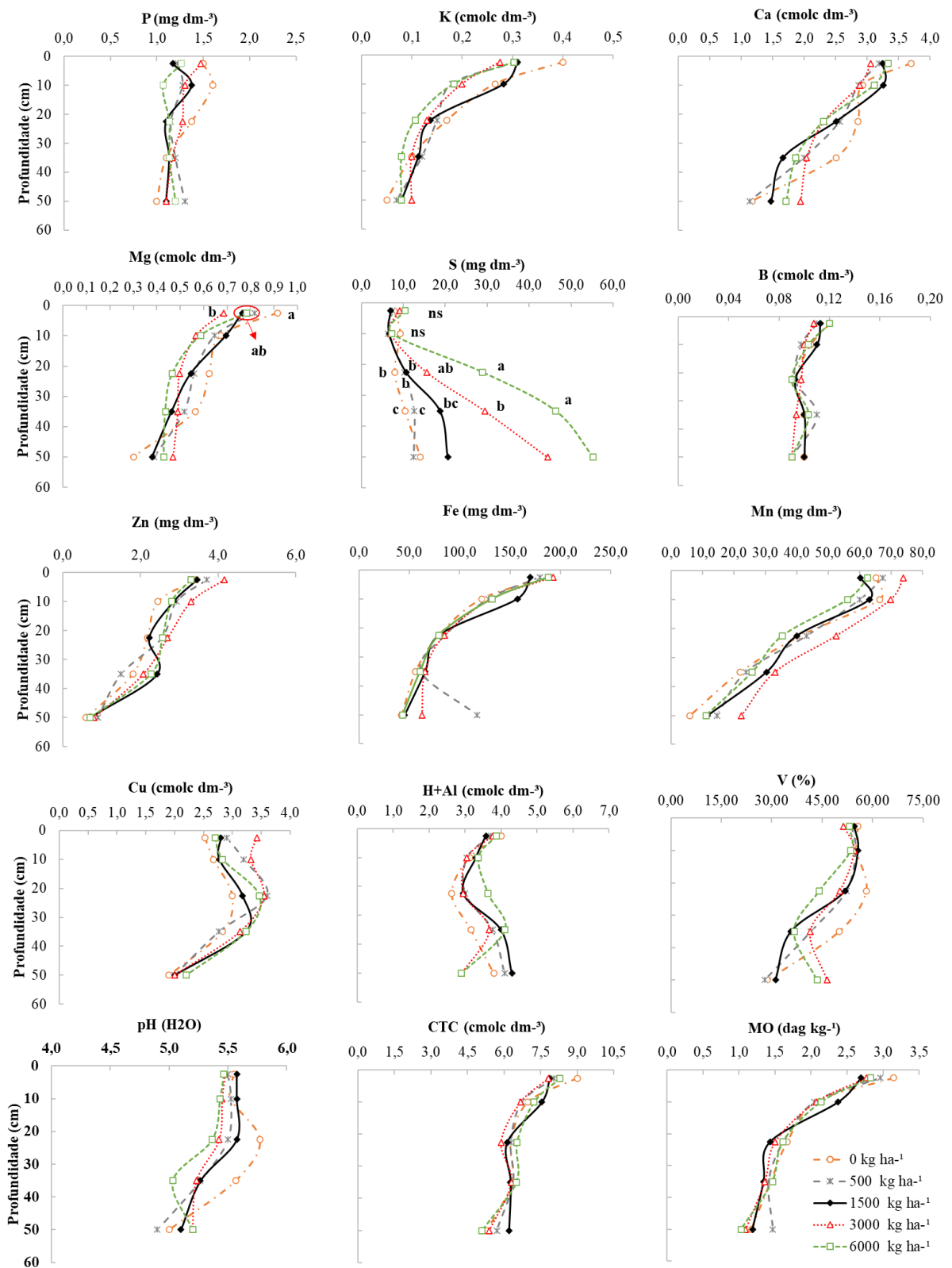


Figura 4. Teores de macronutrientes, micronutrientes e características químicas do solo 76 meses após a aplicação de gesso agrícola em sistema silvipastoril com teca, em Alta Floresta, MT. Letras minúscula indicam diferenças, pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, entre os tratamentos por profundidade

4 DISCUSSÃO

4.1 Produtividade de teca em sistemas silvipastoris

A maior sobrevivência de plantas de teca nos tratamentos com doses de gesso indica que houve favorecimento no crescimento, mesmo após a inserção do gado no sistema. A aplicação de gesso influencia na uniformização do crescimento e produção, provavelmente por disponibilizar nutrientes importantes para o crescimento da teca.

Os diâmetros da teca nos tratamentos testemunha e de 6000 kg ha⁻¹ de gesso foram similares, provavelmente, em consequência do re-espacamento entre as árvores devido à alta mortalidade das árvores no tratamento testemunha. O crescimento em diâmetro e em altura é influenciado, principalmente, pela densidade inicial de plantas no povoamento. Em maiores espaçamentos (< 200 árvores ha⁻¹), o diâmetro individual é maximizado, enquanto, para a altura, o maior crescimento ocorre em menores espaçamentos (maior densidade de árvores) (PACHAS et al., 2019; PAULA et al., 2013). Nos maiores espaçamentos, há menor competição pelas plantas por recursos de crescimento (luz, água e nutrientes) e, por espaço para crescimento radicular e aéreo, na qual proporciona o maior crescimento em diâmetro (PACHAS et al., 2019; PAULA et al., 2013; VERA et al., 2022).

Apesar das árvores de teca no tratamento testemunha apresentarem diâmetros semelhante ($p > 0,05$) ao do tratamento com a aplicação de 6000 kg ha⁻¹ de gesso, a B (m² ha⁻¹) e o v_{ha} , foram menores devido à menor densidade do povoamento e as menores alturas. O crescimento em dap (cm), ht (m), B (m² ha⁻¹) e volume individual (m³), no tratamento testemunha, mostrou-se heterogêneo, implicando em aumento do tempo para a entrada do componente animal no sistema e consequentemente reduz os benefícios econômicos desse consórcio. Já, a aplicação de maiores doses de gesso uniformizou o crescimento e a produção da teca no SSP, provavelmente por melhorar o ambiente radicular e disponibilizar nutrientes importantes para o seu crescimento, tais como Ca⁺² e SO₄⁻², possibilitando as raízes das plantas explorarem maior volume de solo (RAMOS et al., 2013; SERAFIM et al., 2012).

Em *Quercus petraea*, a aplicação de 1,4 t h⁻¹ de gesso, incrementou em 40% o diâmetro das plantas desde o primeiro ano após a gessagem da área (BAKKER; NYS; PICARD, 1999). Em povoamento com o híbrido *Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis*, a aplicação de 1,6 t h⁻¹ de gesso, aos 46 meses após o plantio, aumentou a produção em volume (m³ ha⁻¹) em até 21% (MACANA et al., 2020). A resposta à aplicação de gesso sobre o crescimento em diâmetro pode ser atribuída à disponibilidade no solo das quantidades necessárias de Ca) e Enxofre (S)

às plantas (FERREIRA et al., 2020). No entanto, a aplicação de gesso no solo facilita o crescimento imediato em diâmetro das plantas, desde o primeiro ano após sua aplicação (BAKKER; NYS; PICARD, 1999).

Atualmente, a recomendação para a entrada do componente animal em SSP com teca é a partir do momento que as árvores apresentem altura total mínima de 3 a 4 m (UGALDE ARIAS, 2013). Ou seja, quando o componente arbóreo apresenta um desenvolvimento capaz de suportar o impacto com a entrada dos animais. Por isso, o maior crescimento inicial das plantas possibilita a entrada precoce de animais, principalmente os de menor porte, nos sistemas silvipastoris, com redução de danos às árvores. Nesse estudo, a aplicação de 6000 kg ha⁻¹ de gesso possibilitou antecipar a entrada dos animais (gado bovino de pequeno porte) no sistema, para 8 meses com a redução de 15% no tempo de entrada dos animais, em relação ao tratamento testemunha. Em outros talhões da Fazenda Bacaeri, a idade da introdução dos animais nos SSPs varia entre 18 e 24 meses, principalmente, devido ao crescimento desuniforme das árvores, com maior concentração de árvores em classes menores de diâmetro.

O maior volume individual de teca observados no tratamento sem aplicação de gesso (0 kg ha⁻¹) se deve ao espaçamento mais amplo neste tratamento, visto que, houve maior mortalidade das árvores neste tratamento, proporcionando maior espaço de crescimento para as árvores sobreviventes. Para o clone de *E. camaldulensis* Paula et al., (2013) observaram que o volume individual com 370 árvores ha⁻¹ foi 155% superior ao $v_{\text{árv}}$ com 1.111 árvores ha⁻¹. Por outro lado, o volume por área (v_{ha}) foi maior com a aplicação de 6000 kg ha⁻¹ de gesso, com produção de madeira 27% superior ao tratamento testemunha.

A produção de madeira com aplicação de 6000 kg ha⁻¹ de gesso, aos 105 meses, foi de 14,8 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ (IMA). Na Nigéria, a teca apresentou IMA de 15,5 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, aos 96 meses de idade, em espaçamento mais adensado (3,6 x 3,6 m) (ADEKUNLE et al., 2011). No Equador, cerca viva de teca em SSP (25 x 2,5 m) apresentou IMA de 15,3 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, aos 15 anos (CAÑADAS-L et al., 2018). Já, em Laos, o IMA da teca foi de 5,1 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, aos 9,3 anos, com 159 árvores ha⁻¹ (PACHAS et al., 2019). Embora a aplicação de gesso tenha promovido baixo ganho no crescimento em *dap*, *ht* e $v_{\text{árv}}$, verifica-se que, devido a maior sobrevivência, houve ganho em relação à área basal e ao volume total.

Nos sistemas silvipastoris, o maior crescimento inicial das plantas possibilita a entrada precoce de animais, principalmente os de menor porte, com redução de danos às árvores. Além disso, a entrada precoce de animais no SSP, proporciona maior rentabilidade econômica do sistema. Todavia, a viabilidade é dependente de práticas silviculturais que minimize a desuniformidade de crescimento do povoamento e aumente o crescimento em *ht* e *dap*.

4.2 Efeito do gesso na fertilidade do solo em sistemas silvipastoris

A aplicação em superfície de gesso libera Ca e SO_4^{2-} que podem se mover através do perfil do solo, influenciado pela umidade do solo (ZOCA; PENN, 2017). Entretanto, nesse estudo, a aplicação de gesso não aumentou os teores de Ca no solo, aos 76 meses. Em solos com bom manejo de resíduos orgânicos e sem a presença de camadas subsuperficiais com elevado teor de Al^{3+} e, ou, baixo teor de Ca^{2+} , o potencial de resposta ao gesso é muito pequeno (TIECHER et al., 2018).

O teor de S aumentou em quatro vezes, com a aplicação de 6000 kg ha^{-1} gesso no solo, nas camadas de 15-60 cm, aos 76 meses após sua aplicação. No cerrado, também, foi observado o aumento em quatro vezes do teor de S- SO_4^{2-} na camada de 40-60 cm, aos 50 meses após a aplicação do gesso (ARAÚJO; FIGUEIREDO; SOUSA, 2017). Isso ocorre, porque o gesso favorece o aumento do teor de S em profundidade, que pode atuar sobre a força iônica da solução do solo, de maneira que haja liberação do sal para a solução por longos períodos (SHAINBERG et al., 1989; ZOCA; PENN, 2017). O gesso agrícola apresenta maior mobilidade no perfil do solo, por apresentar maior solubilidade, cerca de 150 vezes a do calcário (PRNT = 100%), bem como por apresentar ânion de base forte, isto é, o SO_4^{2-} ligado ao cálcio (VITTI; PRIORI, 2009).

Apesar da aplicação de gesso no solo aumentar o teor de Ca e S em profundidade, há a possibilidade de remover Mg da superfície e, lixiviar P e K, principalmente quando há altas doses de gesso (PAULETTI et al., 2014; SHAINBERG et al., 1989; SOUZA et al., 2012). No entanto, nesse estudo não houve lixiviação desses nutrientes com o aumento das doses de gesso.

A maior concentração dos nutrientes Ca, Mg e K nas camadas superiores do solo (< 15 cm), no presente estudo, pode ser devido à ciclagem de nutrientes no povoamento, pois a taxa de liberação de nutrientes da serrapilheira de teca segue a ordem decrescente: $\text{K} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{P} > \text{N}$ (CAVALCANTE et al., 2020). Nesse sentido, a desrama anual realizada nesse SSP com teca acelera o retorno de maior quantidade de nutrientes ao solo através da ciclagem, pois, há maior decomposição da serrapilheira no período das chuvas (HENRIQUE; MALTONI; FARIA, 2022). Além disso, as folhas desramadas são mais novas, portanto, mais nutrientes retornam ao solo mais cedo. Ainda, a produção e decomposição de serrapilheira em sistemas silvipastoris tem o potencial de manter ou aumentar os parâmetros de qualidade do solo (pH, P, K, Ca e MO) (MARTÍNEZ et al., 2014).

Aos 76 meses, após a aplicação de gesso, os teores de Ca, K, Al, S, pH, CTC e matéria orgânica nos solos são adequados para a obtenção de produtividade entre 10 e $14,99 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$

ano⁻¹ para teca (JEREZ-RICO, MAURICIO; COUTINHO, 2017). Porém, os teores de Mg e P no solo são considerados baixos. No entanto, é importante destacar que o teor de P no solo antes da aplicação de gesso variou entre 0,46 e 1,0 mg dm⁻³ com aumento após a gessagem para 1,0 e 1,5 mg dm⁻³, respectivamente.

A aplicação de gesso não alterou o pH, pois o gesso não é considerado um corretivo da acidez do solo (SHAINBERG et al., 1989; ZOCCA; PENN, 2017). No entanto, os maiores valores de pH na camada superficial do solo (até 30 cm) estão relacionados aos maiores teores de bases no solo (Ca, Mg e K), pois, quanto maior a soma de bases, menor a atividade de íons H⁺, medida pelo pH (PROCHNOW; CASSARIN; STIPP, 2009).

4.3 Efeito do gesso nos nutrientes foliares da teca

O teor de Ca na folha aumentou linearmente com a dose de gesso, indicando que, quanto maior a disponibilidade de Ca no solo, maior a absorção pela planta. Em Tangará da Serra, foram observados teores foliares de Ca de 32,2 g kg⁻¹, em plantios de teca aos 7,5 anos, em monocultivo (BEHLING, 2009). Isso, ocorreu devido o teor de Ca neste solo ser superior (3 a 10 cmol_c dm⁻³) ao do presente estudo. A maior absorção de Ca do solo se deve ao fato da teca ser uma espécie calcícola (FERNANDEZ MOYA et al., 2013; ZECH; DRECHSEL, 1991).

5 CONCLUSÃO

O gesso agrícola aumenta os teores de Ca e S em profundidade até os 76 meses após a aplicação, em sistema silvipastoril. E, até os 105 meses a aplicação de 6000 kg ha⁻¹ aumenta o crescimento da teca em altura, diâmetro, área basal e volume por hectare. Além da maior sobrevivência das árvores, a aplicação de gesso permite a introdução do gado de pequeno porte no sistema, a partir dos 8 meses.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, R. G. et al. Brazilian agroforestry systems for cattle and sheep. **Tropical Grasslands-Forrajés Tropicales**, v. 1, p. 175–183, 2013.
- ALVARADO, A. Plant nutrition in tropical forestry. Em: **Tropical Forestry Handbook**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2015. p. 1–91.
- ALVARADO, A.; FALLAS, J. L. La saturación de acidez y el encalado sobre el crecimiento de la teca (*Tectona grandis* L.f.) en suelos ácidos de Costa Rica Agronomía. **Agronomía Costarricense**, v. 28, n. 1, p. 81–87, 2004.
- ÂNGELO, H. et al. Aspectos financeiros da produção de teca no estado de Mato Grosso. **FLORESTA**, v. 39, n. 1, p. 23–32, 27 mar. 2009.
- ARAÚJO, L. G. et al. Influence of gypsum application on sugarcane yield and soil chemical properties in the brazilian Cerrado. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 11, p. 1557–1563, 2016.
- ARAÚJO, L. G.; FIGUEIREDO, C. C.; SOUSA, D. M. G. Gypsum application increases the carbon stock in soil under sugar cane in the Cerrado region of Brazil. **Soil Research**, v. 55, n. 1, p. 38–46, 2017.
- BAKKER, M. R. The effect of lime and gypsum applications on a sessile oak (*Quercus petraea* (M.) Liebl.) stand at La Croix-Scaille (French Ardennes) II. Fine root dynamics. **Plant and Soil**, v. 206, p. 109–121, 1999.
- BAKKER, M. R.; NYS, C.; PICARD, J. F. The effects of liming and gypsum applications on a sessile oak (*Quercus petraea* (M.) Liebl.) stand at La Croix-Scaille (French Ardennes) I. Site characteristics, soil chemistry and aerial biomass. **Plant and Soil**, v. 206, n. 1, p. 99–108, 1999.
- BEHLING, M. Nutrição, partição de biomassa e crescimento de povoamentos de teca em Tangará da Serra-MT. **Tese (Doutorado) Universidade Federal de Viçosa-MG**, p. 156, 2009.
- BEZERRA, A. F. et al. Análise da viabilidade econômica de povoamentos de *Tectona grandis* submetidos a desbastes no Mato Grosso. **CERNE**, v. 17, n. 4, p. 583–592, dez. 2011.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas**. 5ª ed. Editora UFV, 2017.
- CAÑADAS-L, Á. et al. Growth and yield models for teak planted as living fences in coastal ecuador. **Forests**, v. 9, n. 2, p. 1–14, 2018.
- CAVALCANTE, V. S. et al. Clonal teak litter in tropical soil: decomposition, nutrient cycling, and biochemical composition. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, p. 200071, 25 nov. 2020.
- FAGERIA, N. K.; NASCENTE, A. S. Management of soil acidity of south american soils for sustainable crop production. In: **Advances in Agronomy**. Elsevier, 2014. v. 128p. 221–275.
- FERNANDEZ MOYA, J. et al. Nutrient concentration age dynamics of teak (*Tectona grandis* L.f.) plantations in Central America. **Forest Systems**, v. 22, n. 1, p. 123, 1 abr. 2013.

- FERREIRA, C. F. et al. Dendrometric analysis of early development of *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* with gypsum use under subtropical conditions. **Floresta e Ambiente**, v. 27, n. 1, p. 1–10, 2020.
- FONTAN, I. C. I. et al. Growth of pruned eucalypt clone in an agroforestry system in southeastern Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 83, n. 2, p. 121–131, 2011.
- GIL, J. D. B.; GARRETT, R.; BERGER, T. Determinants of crop-livestock integration in Brazil: Evidence from the household and regional levels. **Land Use Policy**, v. 59, p. 557–568, 2016.
- GIL, J.; SIEBOLD, M.; BERGER, T. Adoption and development of integrated crop–livestock–forestry systems in Mato Grosso, Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 199, p. 394–406, jan. 2015.
- HENRIQUE, N. S.; MALTONI, K. L.; FARIA, G. A. Litterfall decomposition of coffee shaded with *Tectona grandis* or in full sun. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 2, p. 91–96, fev. 2022.
- JEREZ-RICO, MAURICIO; COUTINHO, S. DE A. Planted teak forests. In: KOLLERT, W.; KLEINE, M. (Eds.). **The Global Teak Study: Analysis, Evaluation and Future Potential of Teak Resources**. Vienna: International Union of Forest Research Organization (IUFRO), 2017. p. 49–70.
- JOSE, S.; WALTER, D.; KUMAR, B. M. Ecological considerations in sustainable silvopasture design and management. **Agroforestry Systems**, v. 93, n. 1, p. 317–331, 6 fev. 2019.
- KAOSA-ARD, A. Teak (*Tectona grandis* Linn. f) its natural distribution and related factors. **Natural History Bulletin of the Siam Society**, v. 29, p. 55–74, 1989.
- KOLLERT, W.; CHERUBINI, L. **Teak resources and market assessment 2010: (Tectona grandis Linn. F.) Forestry Department FAO UN Planted forests and Trees Working Paper Series: Planted Forests and Trees**. Rome, Italy: 2012.
- LEVENBERG, K. A method for the solution of certain non-linear problems in least squares. **Source: Quarterly of Applied Mathematics**, v. 2, n. 2, p. 164–168, 1944.
- MACANA, Y. A. M. et al. Soil fertility and fine root distribution after gypsum application in Eucalyptus plantations with different tolerance to water deficit. **New Forests**, v. 51, n. 6, p. 1039–1054, 2020.
- MARQUARDT, D. W. An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. **Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics**, v. 11, n. 2, p. 431–441, 1963.
- MARTÍNEZ, J. et al. Silvopastoral systems enhance soil quality in grasslands of Colombia. **Applied and Environmental Soil Science**, v. 2014, p. 1–8, 2014.
- MICHETTI, M. et al. **Mapeamento da produção silvicultural em Mato Grosso**. Cuiabá, MT: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.arefloresta.org.br/uploads/downloads/Mapeamento-da-Producao-Silvicultural-em-MT-IMEA-2021.pdf>>. Acesso em: 13 jul. 2022.

MOLLINEDO, M. et al. Relación suelo-árbol y factores de sitio, en plantaciones jóvenes de teca (*Tectona grandis*), en la zona oeste de La Cuenca del canal de Panamá. **Agronomia Costarricense**, v. 29, n. 1, p. 67–75, 2005.

MURTHY, D. N. P.; XIE, M.; JIANG, R. **Weibull Models**. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2004.

NAIR, P. K. R. Agroforestry: practices and systems. In: ALFEN, N. K. VAN (Ed.). **Encyclopedia of Agriculture and Food Systems**. San Diego: Elsevier, 2014. p. 270–282.

NEIS, L. et al. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 409–416, 2010.

OLIVEIRA, A. F. DE et al. Pasture traits and cattle performance in silvopastoral systems with *Eucalyptus* and *Urochloa*: systematic review and meta-analysis. **Livestock Science**, v. 262, p. 104973, 1 ago. 2022.

PACHAS, A. N. A. et al. Initial spacing of teak (*Tectona grandis*) in northern Lao PDR: Impacts on the growth of teak and companion crops. **Forest Ecology and Management**, v. 435, p. 77–88, mar. 2019.

PACIULLO, D. S. C. et al. Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. **Livestock Science**, v. 141, n. 2–3, p. 166–172, 2011.

PACIULLO, D. S. C. et al. Pasture and animal production in silvopastoral and open pasture systems managed with crossbred dairy heifers. **Livestock Science**, v. 245, p. 104426, 2021.

PAULA, R. R. et al. Eucalypt growth in monoculture and silvopastoral systems with varied tree initial densities and spatial arrangements. **Agroforestry Systems**, v. 87, n. 6, p. 1295–1307, 25 dez. 2013.

PAULETTI, V. et al. Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 6, p. 495–505, 2014.

PEZO, D. et al. **Silvopastoral systems for intensifying cattle production and enhancing forest cover: the case of Costa Rica**. Washington DC: [s.n.]. Disponível em: <www.worldbank.org>. Acesso em: 19 mar. 2021.

RAMOS, B. Z. et al. Doses de gesso em cafeeiro: influência nos teores de cálcio, magnésio, potássio e ph na solução de um latossolo vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 4, p. 1018–1026, ago. 2013.

REGAZZI, A. J.; SILVA, C. H. O. Testes para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear em dados de experimento com delineamento em blocos casualizados. **Revista Ceres**, v. 57, n. 3, p. 315–320, 2010.

SANTOS, H. G. DOS et al. **O novo mapa de solos do Brasil**: legenda atualizada. EMBRAPA, 67 p. 2011.

SARABIA-SALGADO, L. et al. Increase in milk yield from cows through improvement of forage production using the N₂-Fixing legume *Leucaena leucocephala* in a Silvopastoral System. **Animals** 2020, vol. 10, page 734, v. 10, n. 4, p. 734, 23 abr. 2020.

SCHUHLLI, G. S.; PALUDZYSZYN FILHO, E. O cenário da silvicultura de teca e perspectivas para o melhoramento genético. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 63, p. 217–230, 2010.

SERAFIM, M. E. et al. Alterações físico-químicas e movimentação de íons em latossolo gibbsítico sob doses de gesso. **Bragantia**, v. 71, n. 1, p. 75–81, 29 mar. 2012.

SHAINBERG, I. et al. Use of gypsum on soils: a review. **Advances in soil science**, v. 9, p. 1–111, 1989.

SOUZA, A. P. et al. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. **Nativa**, v. 1, n. 1, p. 34–43, 2013.

SOUZA, D. M. G. DE; LOBATO, E. Correção da acidez do solo. Em: SOUZA, D. M. G. DE; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado: Correção do Solo e Adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 81–96.

SOUZA, F. R. DE et al. Efeito do gesso nas propriedades químicas do solo sob dois sistemas de manejo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 5, p. 1717–1732, 30 out. 2012.

TANAKA, N.; HAMAZAKI, T.; VACHARANGKURA, T. Distribution, growth and site requirements of teak. **Japan Agricultural Research Quarterly**, v. 32, n. 1, p. 65–77, 1998.

TIECHER, T. et al. Crop response to gypsum application to subtropical soils under no-till in Brazil: A systematic review. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 42, p. 1–17, 2018.

UGALDE ARIAS, L. A. **Teak: new trends in silviculture, commercialization and wood utilization**. (Ed.) Cartago, C.R: International Forestry and Agroforestry, ISBN 978-9968-47-716-1, 552 pp.

VERA, D. E. et al. Crescimento e forma do eucalipto em função da densidade de plantio. **Ciência Florestal**, v. 32, n. 1, p. 504–522, 17 jun. 2022.

VICENSI, M. et al. Gypsum rates and splitting under no-till: soil fertility, corn performance, accumulated yield and profits. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, n. 2, p. 690–702, 2019.

VITTI, G. C.; PRIORI, J. C. Calcário e gesso: os corretivos essenciais ao plantio direto. **Visão Agrícola**, n. 9, p. 30–34, 2009.

ZAMBROSI, F. C. B.; ALLEONI, L. R. F.; CAIRES, E. F. Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 37, n. 1, p. 110–117, 2007.

ZANDONÁ, R. R. et al. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 2, p. 128–137, 2015.

ZECH, W.; DRECHSEL, P. Relationships between growth, mineral nutrition and site factors of teak (*Tectona grandis*) plantations in the rainforest zone of Liberia. **Forest Ecology and Management**, v. 41, n. 3–4, p. 221–235, 1991.

ZOCA, S. M.; PENN, C. An important tool with no instruction manual: a review of gypsum use in agriculture. **Advances in Agronomy**, v. 144, p. 1–44, 2017.

CAPÍTULO II

APLICAÇÃO DE FÓSFORO, BORO E DESRAMA DA TECA EM SISTEMA SILVIPASTORIL PARA ANTECIPAR A ENTRADA DE GADO E PRODUZIR MADEIRA DE QUALIDADE

RESUMO

A adubação favorece o crescimento da teca (*Tectona grandis* L. f) em sistema silvipastoril (SSP), enquanto a desrama favorece a produção de madeira limpa (sem nós), o que agrega valor à madeira. O rápido crescimento em altura e diâmetro pode antecipar a inserção do gado no SSP, em idades precoces, promovendo maior retorno econômico. Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da aplicação de superfosfato simples (SS) e boro e, da desfolha e desrama no crescimento e produção de teca, em um SSP com *Urochloa brizantha* cv. Marandu (braquiarião). A teca foi implantada em arranjo de 20 x 3 m, em blocos casualizados, com três repetições, em esquema de parcelas sub-subdivididas, com duas linhas de 12 plantas cada, em Alta Floresta, MT, Brasil. Foi aplicado 0 ou 300 g planta⁻¹ de SS, 0 ou 2 g planta⁻¹ de boro e, 0, ¼ ou ⅓ de desfolha e 0, ¼, ⅓ ou ½ desrama da altura da copa viva da árvore, em diferentes idades. Aos 12 meses, foram adicionados dois tratamentos com aplicação de 300 g de SS nesta idade em adição à aplicação de SS e Boro no plantio, totalizando 600 g planta⁻¹ de SS (300 + 300) e 2 g planta⁻¹ de boro, com aplicação de desrama de ½ da altura da copa viva, a cada seis meses, iniciando-se aos 13 e 24 meses. A sobrevivência, o crescimento e a produtividade das plantas foram maiores nos tratamentos com SS e boro e, foram menores nos tratamentos sem SS, boro e desrama. A adubação com 300 g SS planta⁻¹ e boro no plantio preveniu os sintomas de seca de ponteiro até a idade de 34 meses de idade. A elevada intensidade de desrama afetou negativamente o crescimento e a produção nos tratamentos sem SS. A remoção de alta proporção da copa viva aumentou a intensidade de rebrota de galhos ao longo do fuste limpo, exigindo sua remoção na desrama subsequente. O efeito positivo da aplicação de 300 ou 600 g SS planta⁻¹, 2 g boro planta⁻¹ e a desrama permitem antecipar a entrada do gado no SSP e a obtenção de maior produção de madeira de melhor qualidade. Os resultados indicam que a aplicação de pelo menos 300 g de SS planta⁻¹ e 2 g de boro planta⁻¹ é necessária para o crescimento uniforme e adequado da teca. A desrama deve começar em idades mais precoces e deve ser aplicada em intervalos curtos para obter maior proporção de madeira limpa.

Palavras-chave: Crescimento de teca. Seca de ponteiros. Dinâmica de copa.

CHAPTER II

APPLICATION OF PHOSPHORUS, BORON, AND PRUNING IN TEAK IN SILVOPASTORAL SYSTEM AIMING TO ANTICIPATE THE ENTRANCE OF CATTLE AND TO PRODUCE HIGH QUALITY WOOD

ABSTRACT

Fertilization favors the growth of teak (*Tectona grandis* L. f) in silvopastoral system (SSP), while pruning favors clearwood production (with no knots), adding value to the wood. With the increase in height and diameter, cattle can enter in the system at younger ages, anticipating economic return. This study aimed to evaluate the effects of simple superphosphate (SS) and boron application and, of defoliation and pruning, on teak growth and production, in a SPS with *Urochloa brizantha* (Hochst ex A. Rich). Teak was established in a 20 x 3 m arrangement, in randomized blocks, with three repetitions, in a split-split-plot design with two rows of 12 plants each, in Alta Floresta, MT, Brazil. It was applied 0 or 300 g plant⁻¹ of SS, 0 or 2 g plant⁻¹ of boron and, defoliation and pruning with removal of 0, ¼, ½ and or ½ of the tree live crown height, at different ages. At the age of 12 months, two treatments, were added by applying 300 g plant⁻¹ of SS at this age in addition to the SS and boron applied at planting time, totaling 600 g plant⁻¹ of SS (300 + 300) and 2 g plant⁻¹ of boron, with removal of ½ of the tree live crown height, at six months interval, starting at 13 and 24 months. Plant survival, growth and yield were the highest in the SS and boron treatments and, it was the lowest in the treatments without SS, boron and pruning. Fertilization with 300 g SS plant⁻¹ and boron prevented dieback drought symptoms up to the age of 34 months. High pruning intensity had a negative effect on growth and production in the treatments without SS. Removal of a high proportion of the live crown increases branch regrowth intensity along the clean stem, requiring its removal in the subsequent pruning. The positive effect of application of 300 or 600 g SS plant⁻¹, 2 g boron plant⁻¹ and, pruning allow anticipation of cattle entrance into the SPS, up to three months, and, higher production of better quality wood. The results indicate that the application of at least 300 g SS plant⁻¹ and 2 g of boron plant⁻¹ is required for adequate teak growth in the study conditions. Pruning should start at earlier ages and should be applied at short intervals to obtain a great proportion of clear wood.

Keywords: Teak growth. Dieback. Canopy dynamics.

1 INTRODUÇÃO

A previsão de demanda do mercado mundial de madeira tropical nobre em 2050 é de 136 milhões de $\text{m}^3 \text{ano}^{-1}$, sendo que as florestas tropicais naturais sob manejo sustentável suprirão apenas 36 milhões de $\text{m}^3 \text{ano}^{-1}$ (KEOGH, 2009). Assim, os 100 milhões de $\text{m}^3 \text{ano}^{-1}$ podem ser obtidos principalmente com os plantios de espécies nobres, a exemplo da teca. O mercado internacional de toras da teca é consolidado e movimenta cerca de US\$ 600 milhões por ano, mas representa apenas 3% do mercado global de toras (KOLLERT; WALOTEK, 2015). Contudo, é necessário que a madeira produzida atenda aos padrões de qualidade internacional para que os ganhos sejam otimizados.

A classificação de qualidade da madeira de teca segue as regras internacionais, que estabelecem padrões rígidos tais como, número, frequência, diâmetro, e regularidade dos nós. Na madeira “especial” não é permitida a presença de nós; na madeira de primeira qualidade (grau 1) é permitido um nó por metro linear, com diâmetro máximo de 1,25 cm e, na de qualidade inferior (grau 3) são permitidos três nós de 3,81 cm de diâmetro por metro linear (UGALDE ARIAS, 2013). O valor da madeira de teca é influenciado por atributos da árvore tais como, diâmetro, retidão, comprimento do fuste limpo e ausência de defeitos (KUMI et al., 2021; MOYA; PEREZ, 2008). As intervenções silviculturais como a desrama e o desbaste são essenciais para se alcançar esse padrão de qualidade (JAYAWARDHANE et al., 2016; UGALDE ARIAS, 2013; VÍQUEZ; PÉREZ, 2005).

A produção de madeira de teca com alta qualidade para serraria demanda ciclos longos e, em razão do alto custo da terra, há necessidade de se adotar técnicas de manejo que aumentem a eficiência do sistema de produção. Apesar da distância entre o Estado de Mato Grosso e os portos de Santos (São Paulo) e Paranaguá (Paraná), o valor elevado da madeira de teca tem despertado o interesse para a sua exportação, principalmente, para a Índia. O Estado possui a maior área de plantio de teca, com 68 144 ha (MICHETTI et al., 2022) e produtividade de até $19 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ (SILVA; WOJCIECHOWSKI; MORAIS, 2021). Os SSP com teca, bem manejados, têm proporcionado retornos da ordem de R\$ 3,70 para cada R\$ 1,00 investido no sistema, considerando o ciclo de 20 anos (FARIA, 2018). Assim, o SSP com teca consiste em excelente alternativa de produção para as áreas de pecuária da região Amazônica (ANSOLIN et al., 2020).

Em SSP's, devido ao maior espaçamento entre as árvores, a teca apresenta desenvolvimento de galhos grossos na base da copa, além de bifurcações que podem comprometer as propriedades da madeira. No entanto, com a desrama, esses galhos grossos podem ser retirados com as árvores ainda jovens, fazendo com que os nós e os defeitos

advindos da cicatrização do ferimento de desrama fiquem restritos a um núcleo nodoso central (MONTAGU; KEARNEY; SMITH, 2003; POLLI et al., 2006). Contudo, ainda é um desafio conciliar as intensidades e as idades de realização de modo que não tenha efeito negativo significativo sobre o crescimento da planta, principalmente, em diâmetro, para aumentar a extensão de madeira limpa (BUDIADI; WIDIYATNO; ISHII, 2017; FONTAN et al., 2011; LIMA, 2003; POLLI et al., 2006; PULROLNIK et al., 2005).

O estabelecimento da teca em consórcio com pastagem tem ocorrido em solos compactados e pouco férteis, resultando em crescimento desuniforme das árvores e perda da dominância apical mesmo em plantios clonais. A perda de dominância apical nos plantios de teca está associada principalmente à ocorrência de seca de ponteiros. O reduzido crescimento inicial da teca implica em aumento do tempo demandado para a entrada dos animais no sistema, uma vez que as plantas devem ter, no mínimo, 3 m de altura para a introdução de gado bovino de pequeno porte, de modo a evitar danos às árvores (UGALDE ARIAS, 2013). A fim de, aumentar as taxas de crescimento das árvores e melhorar a qualidade da madeira para usos mais nobres, são aplicadas técnicas silviculturais em plantios florestais, tais como o preparo adequado do solo, a adubação e a desrama (FORRESTER, 2013; FORRESTER et al., 2010; POLLI et al., 2006).

Deste modo, o objetivo desse estudo foi avaliar o efeito da adubação com fósforo e boro e da desfolha/desrama no crescimento e produção de teca em sistema silvipastoril, em consórcio com braquiário, visando o aumento do crescimento das plantas e, conseqüentemente, a entrada precoce do gado bovino no sistema.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área

O estudo foi estabelecido no município de Alta Floresta, MT, na empresa Bacaeri Florestal (latitude 9°59' 6,82" S e longitude 56°55'6,30"W, altitude de 222 m) (Figura 1).

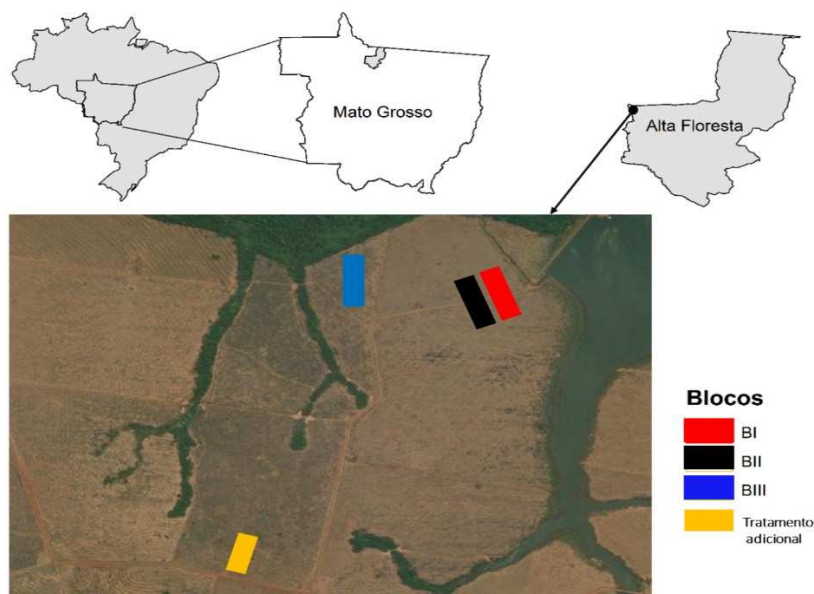


Figura 1. Localização da área de estudo e croqui do experimento na empresa Bacaeri Florestal, Alta Floresta, MT

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Aw - tropical quente e úmido, com duas estações bem definidas: a chuvosa (outubro a abril) e a seca (maio a setembro), com temperaturas médias mensais entre 24 e 26°C, e precipitação média anual acumulada entre 2.000 a 2.100 mm (SOUZA et al., 2013). Considerando os dados para o período de 2017 a 2020, a temperatura média máxima foi de 36°C, tendo atingido valores de 35,5°C em agosto, com precipitação anual de 2061 mm e déficit hídrico anual de 299,7 mm, no período de maio a outubro (Figura 2). A topografia é suave ondulada com predominância de Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos (SANTOS et al., 2011).

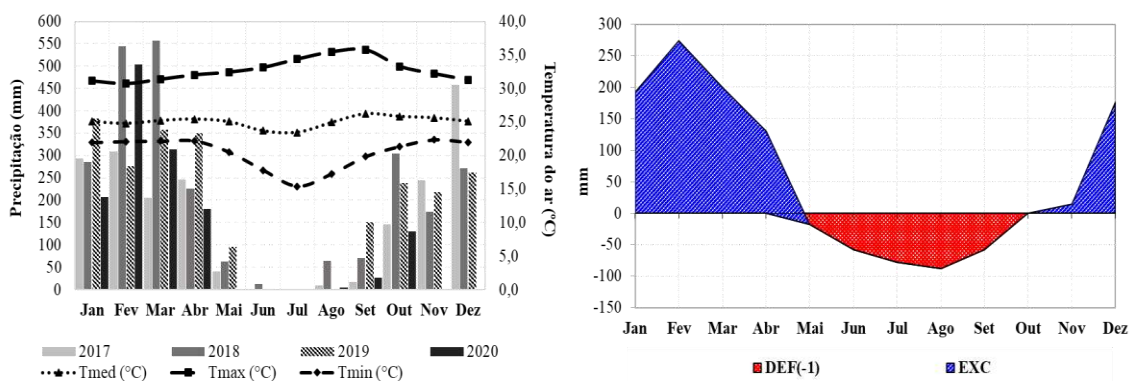


Figura 2. Precipitação mensal (mm) para os anos 2017, 2018, 2019 e 2020 e temperatura máxima, média e mínima (°C) e balanço hídrico (médias do período 2017-2020), para a estação meteorológica automática (INMET) de Alta Floresta, MT

As características físicas e químicas do solo na área experimental, antes do estabelecimento do sistema (Tabela 1), indicaram a necessidade de correção do solo: os teores

de Ca, Mg, K, P, Al, M.O, a saturação por base ($V \leq 50\%$) e o pH estavam inadequados para obtenção de alta produtividade de teca (ALVARADO, 2015; JEREZ-RICO, 2017).

Tabela 1. Caracterização química e física do solo antes da instalação do experimento em sistema silvipastoril com teca e braquiária

Prof.	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K	Al ³⁺	H+Al	Areia	Silte	Argila	
cm	H ₂ O	----- cmol _c dm ⁻³ -----					----- g.kg ⁻¹ -----			
0-20	5,35	1,52	0,42	0,09	0,12	3,85	676,60	96,90	226,50	
20-40	5,30	1,13	0,29	0,03	0,16	2,83	507,20	100,20	392,60	
40 - 60	5,35	0,69	0,43	0,02	0,25	2,13	453,30	101,25	445,45	
Prof.	P	S	Cu	Zn	Fe	Mn	B	M.O	V	
cm	----- mg dm ⁻³ -----					----- % -----				
0-20	1,13	12,94	1,35	1,80	129,85	64,23	0,39	2,15	34,46	
20-40	0,46	10,31	2,05	0,30	115,50	26,60	0,38	0,81	34,13	
40 - 60	0,37	10,23	1,85	0,35	85,05	13,20	0,39	0,47	32,58	

pH em H₂O – relação 1:2,5; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ - extrator KCL 1,0 M; H+Al – extrator Acetato de Ca 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0; S - extrator Ca(H₂PO₄)₂ 0,01 M; P, K, Cu, Zn, Fe e Mn - extrator Mehlich 1; B - extrator BaCl₂ 0,125% a quente; M.O (matéria orgânica) – extrator Na₂Cr₂O₇.2H₂O + H₂SO₄. Areia, Silte e Argila – extrator NaOH 0,1 M

O plantio das mudas de teca, clone A3, foi realizado em novembro de 2017, em arranjo 20 x 3 m, no sentido norte-sul, em área de pastagem de braquiária (*Urochloa brizantha* cv. marandu (braquiarão)) manejada com pecuária de corte desde 1999. O preparo do solo foi feito com grade aradora em uma faixa de 6 m para supressão da braquiária e subsolagem na linha de plantio à profundidade de 70 cm, com formação de camalhões de 15 cm de altura, na área central dessa faixa.

As plantas daninhas foram controladas com herbicida pós-emergente (2 meses após o plantio das mudas), coroamento manual (4 meses após o plantio) e roçada mecânica na linha de plantio após 13 meses.

2.2 Instalação do experimento

O delineamento foi em blocos casualizados (DBC) com três repetições, em parcelas sub-subdivididas, constituídas de duas linhas de 12 plantas no arranjo de 20 x 3 m, com 20 plantas úteis (Figura 3). Os tratamentos envolveram a aplicação de diferentes doses de supersimples (SS) (0; 300) e de boro (0 e 2 g planta⁻¹) e, desfolha/desrama da altura da copa viva (*hcv*) das plantas (0, ¼, ½ e, ou ½), totalizando 12 tratamentos (Tabela 2). Aos 12 meses após o plantio, foram adicionados 2 tratamentos (212 e 213), implantado em DBC com três repetições totalizando 14 tratamentos (Tabela 2).

A primeira aplicação de 300 g de SS planta^{-1} , foi feita, após o plantio, em três covetas à 15 cm da muda. O SS – $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + 2\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – contém 18% de fósforo (P_2O_5); 18% de Cálcio (Ca) e 8% de enxofre (S) (LOPES, 1998).

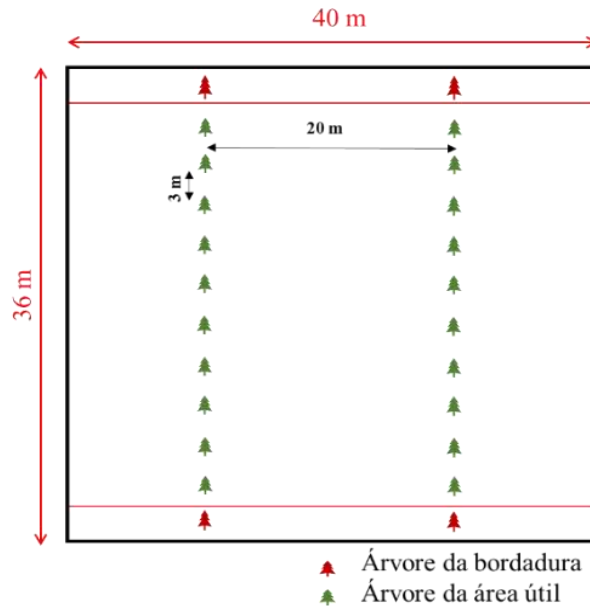


Figura 3. Unidade experimental (sub-subparcela), constituída de duas linhas e doze plantas, por linha, de teca em sistema silvipastoril, em arranjo 20 x 3 m, em Alta Floresta, MT

Aos seis meses após o plantio, em maio de 2018 (final do primeiro período chuvoso), foram aplicadas 20 g planta^{-1} de borogran (10% boro) em coveta à 30 cm da planta, o que corresponde a 2 g de boro por planta, nos tratamentos de 4 a 6 e 10 a 14 (Tabela 2).

Aos 12 meses, foram adicionados os tratamentos 13 e 14 (Tabela 2), que consistiram na aplicação adicional de 300 g de SS, totalizando 600 g planta^{-1} de SS (300 + 300) e 2 g planta^{-1} de boro, com intensidade de desrama de $\frac{1}{2}$ da altura da copa viva, a cada seis meses, com início aos 13 e aos 18 meses (212 e 213, respectivamente).

A teca, em seu primeiro ano, é caracterizada pela inserção da folha diretamente no tronco (Figura 4), razão da denominação de desfolha na interferência na planta aos seis meses (maio de 2018). Nessa idade, foram aplicadas três intensidades de desfolha para manter reduzida a superfície de transpiração das plantas durante o período de déficit hídrico (Tabela 2), a saber:

D₀ - sem desfolha - testemunha;

D₁ - desfolha de $\frac{1}{4}$ da altura da copa viva (*hcv*);

D₂ - desfolha de $\frac{1}{3}$ da *hcv*.

Aos 13 meses (dezembro de 2018), as plantas já apresentavam a formação de galhos e foi realizada a desrama, mantendo-se a proporção da *hcv* ($\frac{1}{4}$ e $\frac{1}{3}$ nos tratamentos D₁ e D₂, respectivamente), conforme utilizado na desfolha. Nesta idade, foi realizada, também, a primeira desrama no tratamento D₃ (remoção de $\frac{1}{2}$ da *hcv*). A *hcv* foi definida com base na altura da copa de cada planta.

Tabela 2. Doses de supersimples e boro e intensidade de desfolha/desrama da copa viva em árvores de teca em sistema silvipastoril, em Alta Floresta, MT

Trat.	SS ¹	Boro ²	Sigla		Desfolha ³	Desrama ⁴			
	g. planta ⁻¹				6 meses	13 meses	18 meses	26 meses	34 meses
1	0	0	D ₀	000	-	-	1m + GG	-	-
2	0	0	D ₁	001	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$ + GG	$\frac{1}{3}$ + GG	$\frac{1}{3}$ + GG
3	0	0	D ₂	002	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$ + GG	$\frac{1}{2}$ + GG	$\frac{1}{2}$ + GG
4	0	2	D ₀	010	-	-	1m + GG	-	-
5	0	2	D ₁	011	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$ + GG	$\frac{1}{3}$ + GG	$\frac{1}{3}$ + GG
6	0	2	D ₂	012	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$ + GG	$\frac{1}{2}$ + GG	$\frac{1}{2}$ + GG
7	300	0	D ₀	100	-	-	1m + GG	-	-
8	300	0	D ₁	101	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$ + GG	$\frac{1}{3}$ + GG	$\frac{1}{3}$ + GG
9	300	0	D ₂	102	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$ + GG	$\frac{1}{2}$ + GG	$\frac{1}{2}$ + GG
10	300	2	D ₀	110	-	-	1m + GG	-	-
11	300	2	D ₁	111	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$ + GG	$\frac{1}{3}$ + GG	$\frac{1}{3}$ + GG
12	300	2	D ₂	112	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$ + GG	$\frac{1}{2}$ + GG	$\frac{1}{2}$ + GG
13	300+300	2	D ₃	212	-	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
14	300+300	2	D ₄	213	-	-	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$

¹SS: superfosfato simples; ²Fonte de boro: borogran; ³Desfolha: 0, $\frac{1}{4}$ ou $\frac{1}{3}$ da *hcv*, aos seis meses de idade; ⁴Desrama: 0, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$ ou $\frac{1}{2}$ da *hcv*, após 13 meses de idade. Para facilitar a identificação dos tratamentos foi utilizado siglas com 3 números (e. g. 000); onde o primeiro número representa a dose de SS (0, 1 ou 2), o segundo, boro (0 ou 1) e, o terceiro representa a intensidade de desfolha/desrama (0, 1, 2 ou 3).

No final da estação chuvosa, aos dezoito meses (maio de 2019), foram aplicadas as seguintes intensidades de desrama: **D₀** - sem desrama – testemunha, sendo que houve uma remoção de galhos até a altura de 1 m, com retirada de alguns galhos com mais de 2 cm de diâmetro acima dessa altura, para facilitar o controle de plantas daninhas; **D₁** - remoção de $\frac{1}{3}$ da *hcv* + galhos grossos (≥ 2 cm de diâmetro); **D₂**, **D₃** e **D₄** - remoção de $\frac{1}{2}$ da *hcv* + galhos grossos. O D₃ e o D₄ correspondem à primeira aplicação de desrama nos tratamentos 212 e 213, iniciando-se aos 13 e 18 meses, respectivamente, que receberam dose adicional de SS (300 g planta⁻¹), aos 13 meses. Aos 26 e 34 meses foram mantidas as intensidades de desrama ($\frac{1}{3}$ ou $\frac{1}{2}$ da *hcv*) utilizadas aos 18 meses.

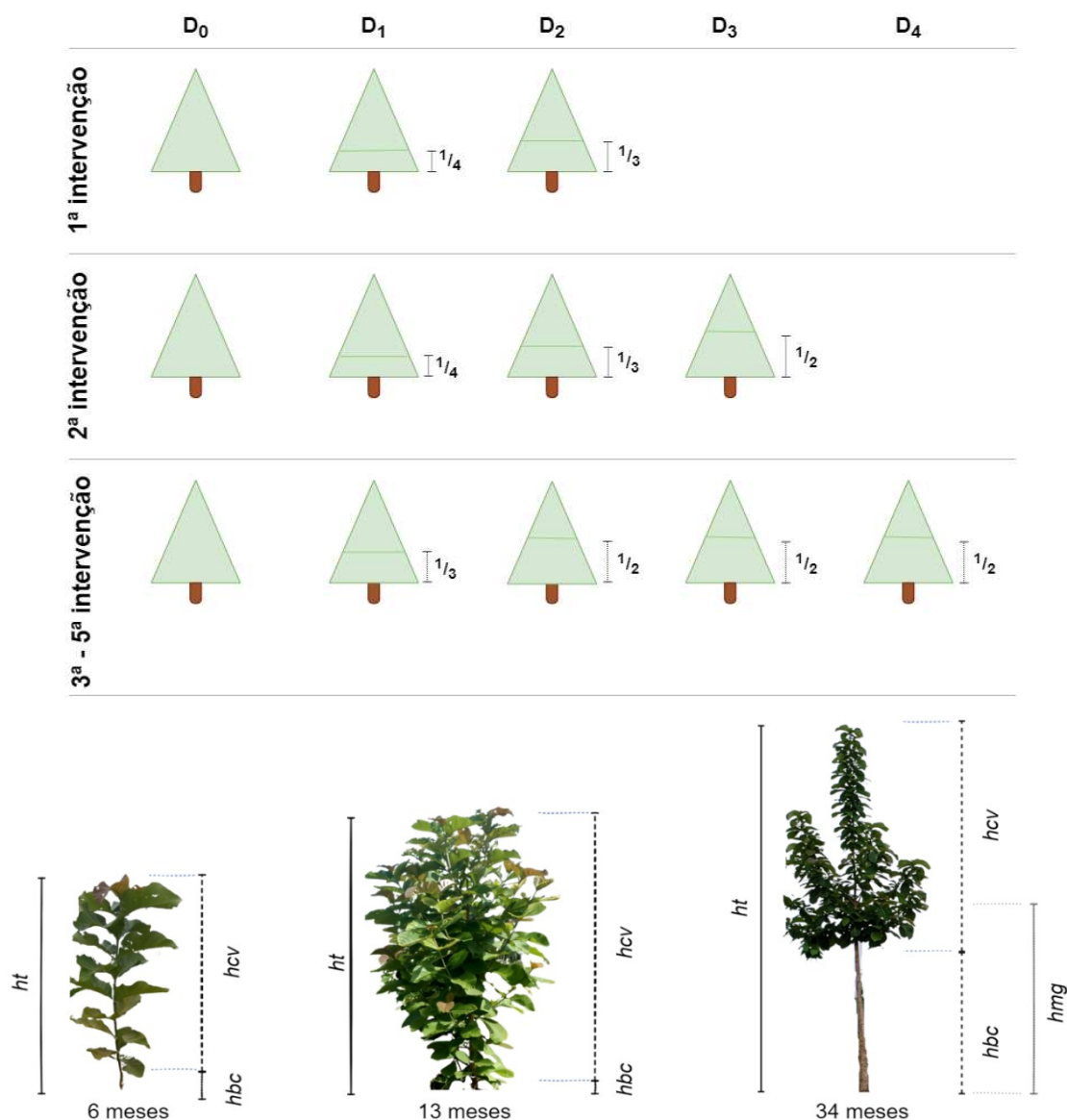


Figura 4. Croqui dos tratamentos de desrama em diferentes proporções da altura da copa viva aplicados às árvores de teca em sistema silvipastoril, em Alta Floresta, MT. D₀: sem desfolha ou desrama; D₁ - D₄: intensidade de desfolha/desrama de $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$ e $\frac{1}{2}$ da *hcv*. *ht*: altura total; *hbc*: altura de base da copa; *hmg*: altura máxima de galhos.

2.3 Coleta e análise de dados

A sobrevivência das árvores de teca (%) foi determinada para avaliar a sua relação com a aplicação dos tratamentos (SS, boro e desfolha/desrama) aos 13, 26 e 34 meses, que são respectivamente, idades em que foram coletados dados de todos os tratamentos.

As medições da altura total das plantas (*ht*) e do diâmetro à altura de 1,3 m (*dap*) foram realizadas aos 6 (exceto o *dap*), 10, 13, 18, 24 e 34 meses após o plantio. As medições de *ht* e *dap* iniciaram aos 13 meses, nos tratamentos 13 e 14, após ter recebido a segunda aplicação de SS. A altura da copa viva (*hcv*) foi medida a partir dos seis meses.

O comprimento e a largura das folhas foram medidos apenas na ocasião da desfolha, aos seis meses, pelo método não-destrutivo. Essas medidas foram feitas em todas as folhas nas três primeiras plantas, da primeira linha (Figura 3) de cada tratamento. A área foliar calculada com base na equação (1) de Silva et al. (2020) e a área foliar total foi determinada a partir da soma de AF, por planta.

$$AF = 0,5776 C * L \quad (1)$$

Onde, AF: área foliar (cm²), C: comprimento (cm) e L: largura da folha (cm)

A *hcv* foi determinada com base na diferença entre a altura de base da copa (*hbc*) e a *ht* de cada planta (Figura 4). A altura da copa afetada pela seca de ponteiros (*hsp*) foi avaliada aos 10, 13 e 18 meses de idade, quando as plantas já haviam sido submetidas ao período de deficiência hídrica que se estende de maio a outubro (Figura 2).

A seca de ponteiros foi caracterizada pela murcha e posterior perda das folhas da porção superior da copa das árvores (Figura 5), terminando com a morte daquela porção da planta. A proporção da copa afetada com seca de ponteiros foi determinada com base na diferença entre a *hcv* e a altura de início da copa afetada com os sintomas de seca de ponteiro (SP) (Figura 4). Após identificar as plantas com SP, foi realizada a recondução da planta, o que consistiu na eliminação de brotos dominados, permanecendo apenas um broto líder em cada planta. Essa recondução foi realizada apenas nas plantas com altura mínima de 0,5 m.



Figura 5. Aspecto da seca de ponteiros em plantas de teca, aos 10 meses de idade, no final do período seco, em Alta Floresta, MT

Antes de cada intervenção de desrama, foi determinado o diâmetro da copa (*dc*) e o diâmetro dos galhos (*dg*), nas três primeiras plantas da primeira linha, de cada parcela. O *dc* foi medido na linha e na entrelinha. O diâmetro de galho foi medido na parte inferior (*dgb*), média (*dgm*) e superior (*dga*) da copa.

A copa da teca é composta por folhas inseridas diretamente no tronco (parte superior) e de galhos (Figura 6), por isso, foi determinada a altura máxima de galhos (hmg). A hbc foi medida até o ponto de inserção do galho mais baixo da copa (Figura 4). Então, a emissão de novos galhos (rebrotas), na extensão do tronco desramado, foi determinada com base na diferença da hbc da coleta atual e a anterior (que se refere à altura até a base da copa após desrama anterior) ($c_1, c_2, \dots c_n$). A proporção de fuste limpo foi determinada com base na relação entre hbc pós desrama e a altura total da teca (Figura 4).



Figura 6. Caracterização da copa de teca em sistema silvipastoril, a partir dos 13 meses de idade, com a presença de folhas inseridas diretamente no tronco (parte superior da copa) e, de galhos, deste ponto até a base da copa

O crescimento inicial em dap e ht foi estimado com equações obtidas a partir do ajuste do modelo Gompertz. Esse modelo foi ajustado para cada tratamento e, posteriormente, foram aplicados testes de identidade para modelos não lineares (REGAZZI; SILVA, 2010), visando comparar as tendências médias de crescimento e produção e, para verificar a possibilidade de uso de uma equação comum a todos os tratamentos.

Os volumes individuais (v_{cc}) foram obtidos a partir da cubagem rigorosa de 30 árvores (em pé), selecionadas com base na distribuição de diâmetros, aos 35 meses. Os diâmetros (variando entre 2,5 cm e 15,5 cm) foram agrupados em centros de classes com intervalo de 2 cm. Foram cubadas de 2 a 10 árvores em cada centro de classe. As medidas de diâmetros foram tomadas a 0,3 m; 0,7 m; 1,30 m e 2 m com a fita diamétrica e, a partir desse ponto, a cada 1 metro ao longo do fuste da árvore até o diâmetro mínimo de 2 cm, quando possível, utilizando o Criterion RD 1000. A partir do último ponto de medição, para obtenção do volume total, utilizou-se o volume do cone, considerando o comprimento dessa seção até a altura total da árvore. O volume individual de cada árvore foi calculado pela fórmula de Smalian, conforme

Campos; Leite (2017). Para estimar o volume individual com casca (v_{cc}) de teca utilizou-se o modelo volumétrico não-linear de Schumacher; Hall (1933) (Eq.1):

$$V_{cc} = \beta_0 dap^{\beta_1} ht^{\beta_2} + \varepsilon \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que: V_{cc} é o volume com casca (m^3), β_i são os parâmetros do modelo, onde i : 0, 1 e 2; dap o diâmetro a 1,3 m (cm), ht a altura total (m), e ε o erro aleatório.

O modelo Exponencial modificado ($y = \beta_0 e^{-\beta_1/t}$) (Schumacher) foi ajustado para as variáveis em nível de povoamento: área basal (B) e volume total (v_{ha}). Todos os ajustes do modelo Gompertz e Exponencial modificado foram feitos utilizando o algoritmo Livenberg-Marquardt (LEVENBERG, 1944; MARQUARDT, 1963) com o software R Core Team (2019), utilizando o pacote ‘minpack.lm’.

A distribuição de diâmetros na fase inicial de crescimento (até 34 meses) foi analisada utilizando a função densidade de probabilidade (fdp) Weibull de dois parâmetros, sem truncamentos à direita e à esquerda (MURTHY; XIE; JIANG, 2004). Optou-se pelo ajuste da função Weibull para permitir a comparação das tendências médias por tratamento, utilizando uma função contínua com as densidades de probabilidade. A função Weibull foi ajustada pelo método da máxima verossimilhança para cada tratamento e idade (BABACAN; KAYA, 2020). A aderência foi avaliada com o teste de Kolmogorov-Smirnov, no software Excel, na qual, comparou-se a distribuição observada com a estimada pela fdp. O nível de significância utilizado foi de 1%.

Os dados de área foliar e de dinâmica de copa foram verificados quanto à presença de *outliers* (análises gráficas e estatísticas descritivas), e da normalidade (Shapiro - Wilk) e homocedasticidade (Bartlett) dos resíduos. Foram analisados através do teste F da ANOVA a 5% de significância, em DBC com os fatores arranjados em parcela sub-subdividida. E o efeito do tratamento, quando significativo, foi avaliado através de comparações de médias pelo teste de Tukey, a 5% de significância. Os efeitos dos tratamentos adicionais de SS ($300 + 300 \text{ g SS planta}^{-1}$) e desrama (D_3 e D_4) foram analisados através de contrastes ortogonais.

3 RESULTADOS

3.1 Sobrevivência e seca de ponteiro

Aos 10 meses de idade, todas as plantas de teca haviam perdido todas as folhas devido ao período seco, mas ainda não havia ocorrido morte de plantas. Até a idade de 13 meses (dezembro/2018) a sobrevivência média das plantas de teca manteve-se elevada ($\geq 95\%$) para todos os tratamentos (Tabela 3). Nesta idade, as plantas haviam sido submetidas a um período de déficit hídrico entre maio e outubro e temperaturas elevadas (Figura 2). A sobrevivência diminuiu até a idade de 34 meses, com mais intensidade nos tratamentos sem SS, com e sem boro, após as plantas terem sido submetidas a dois períodos de seca. Nos tratamentos sem SS e sem boro, a sobrevivência foi menor no tratamento sem desrama (000) e no tratamento com a maior intensidade de desrama (002).

Tabela 3. Sobrevivência de plantas de teca aos 13, 26 e 34 meses, sob diferentes doses de SS, boro e intensidades de desrama, em sistema silvipastoril, em Alta Floresta, MT

Trat ⁽¹⁾	Min	Média	Max	Min	Média	Max	Min	Média	Max
	13 meses			26 meses			34 meses		
000	90 %	95 %	100 %	70 %	87 %	100 %	70 %	87 %	100 %
001	95 %	97 %	95 %	95 %	97 %	100 %	90 %	93 %	95 %
002	95 %	98 %	100 %	95 %	97 %	100 %	80 %	88 %	100 %
010	100%	100 %	100 %	90 %	93 %	100 %	85 %	88 %	90 %
011	100 %	100 %	100 %	95 %	97 %	100 %	95 %	97 %	100 %
012	95 %	98 %	100 %	85 %	93 %	100 %	85 %	93 %	100 %
100	95 %	98 %	100 %	95 %	98 %	100 %	95 %	98 %	100 %
101	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
102	95 %	98 %	100 %	95 %	98 %	100 %	95 %	98 %	100 %
110	95 %	97 %	100 %	95 %	97 %	100 %	95 %	97 %	100 %
111	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	95 %	98 %	100 %
112	95 %	98 %	100 %	95 %	98 %	100 %	95 %	98 %	100 %
212	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	90 %	97 %	100 %
213	90 %	97 %	100 %	90 %	95 %	100 %	90 %	95 %	100 %

⁽¹⁾Trat: o primeiro número representa 0 (0), 300 (1) e 600 (2) g de SS planta⁻¹ e, o segundo, 0 (0) e 2 (1) g de boro planta⁻¹. O terceiro número, representa 0 (0), 1/4 (1) e 1/3 (2) da hcv para desfolha aos 6 meses e desrama aos 13 meses, e 0 (0), 1/3 (1) e 1/2 (2) nos tratamentos com 0 e 300 g de SS planta⁻¹ a partir dos 18 meses e, 1/2 de desrama da copa viva, iniciando-se aos 13 (212), ou 18 (213) meses, com aplicação de 600 g SS planta⁻¹. Min: mínima; Max: máxima

Após a completa queda das folhas da teca (no período seco), foi feita a avaliação das plantas que apresentaram seca de ponteiro (SP) aos 10 (início dos sintomas de seca de ponteiro), 13 e 18 meses (Figura 7). A aplicação de 300 g de SS e 2 g de boro evitou a SP até os 34 meses. Os demais tratamentos apresentaram 0 a 5% de plantas com SP, aos 10 meses de idade e, ainda, não havia ocorrido mortalidade de plantas nesta ocasião. Aos 13 meses, no

início da estação chuvosa, plantas que não receberam boro, com ou sem SS, apresentaram 9 a 20% de SP e, nos tratamentos com 2g de boro, sem SS, a SP variou de 3 a 5%. Após esta avaliação houve recondução das plantas com SP que apresentavam mais de 0,5 m de altura, visando favorecer o desenvolvimento do ponteiro dominante.

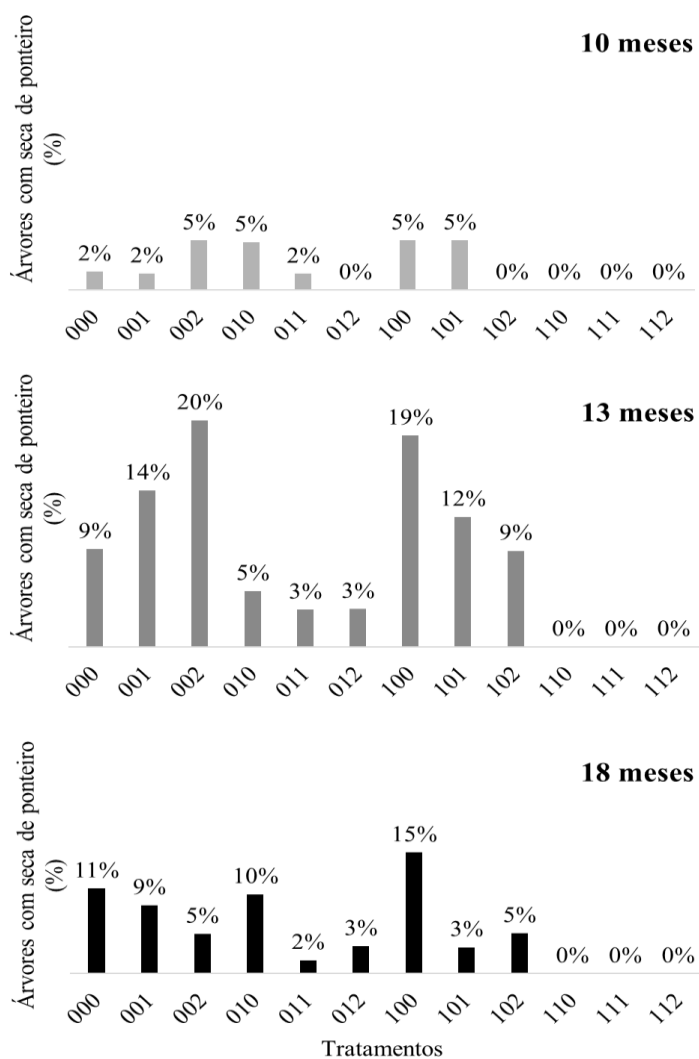


Figura 7. Porcentagem de árvores de teca com sintomas de seca de ponteiro aos 10, 13 e 18 meses, sob diferentes doses de supersimples (SS), boro e desrama, em sistema silvipastoril, em Alta Floresta, MT. Em que, nos tratamentos, o primeiro número representa: 0 (0) e 300 (1) g de SS planta⁻¹ e o segundo representa 0 (0) e 2 (1) g de boro planta⁻¹. O terceiro número, representa 0 (0), 1/4 (1) e 1/3 (2) da *hcv* para desfolha aos 6 meses e desrama aos 13 meses

Aos 18 meses, final da estação chuvosa, ainda existiam árvores com SP, exceto nos tratamentos com aplicação de boro e SS que não apresentaram SP. Parte das árvores com SP estavam com seca aos 13 meses, mas apresentavam menos de 0,5 m de altura e não foram reconduzidas. Após essa avaliação, as plantas apresentando SP com altura superior a 0,5 m foram, também, reconduzidas para crescimento do ponteiro dominante.

3.2 Crescimento e produção

As equações ajustadas do modelo de Gompertz para a estimativa e tendência de crescimento (*ht* e *dap*) em função da idade, apresentaram, na sua maioria, coeficiente de correlação acima de 90% e baixo erro padrão (Tabela 4).

Tabela 4. Estimativas dos parâmetros do modelo Gompertz: $Y = \beta_0 e^{-e^{\beta_1 - \beta_2 t}} + \varepsilon$, ajustado para as variáveis altura total (*ht*) e diâmetro (*dap*) de teca, sob diferentes doses de SS, boro e intensidades de desrama, em sistema silvipastoril, em Alta Floresta, MT e, respectivas estatísticas de exatidão ($r_{y\hat{y}}$) e de precisão (S_{yx}) das equações

Trat ⁽¹⁾ .	β_0	β_1	β_2	r_{yy}	S_{yx}
<i>ht</i> (m)					
000	11,3556	1,2826	0,0638	0,9320	0,8847
001	11,7420	1,2919	0,0605	0,9194	0,9607
002	10,5121	1,2583	0,0632	0,9016	0,9985
010	9,9580	1,3345	0,0692	0,8921	1,0671
011 - 012	10,1636	1,3303	0,0741	0,9202	0,9837
100 - 101	10,0983	1,2724	0,0761	0,9238	0,9716
102	10,7952	1,2791	0,0753	0,9644	0,6859
110	9,0950	1,3720	0,0950	0,9274	0,9771
111	9,9263	1,3299	0,0868	0,9422	0,8924
112	9,7722	1,3625	0,0914	0,9266	1,0317
212	9,3394	1,6731	0,1160	0,9318	0,8454
213	9,9011	1,6781	0,1123	0,9515	0,7519
<i>dap</i> (cm)					
000	16,1198	1,4934	0,0718	0,8929	1,5731
001	11,6173	1,5910	0,0928	0,7735	2,1023
002	10,2614	1,8843	0,1152	0,8053	1,8778
010	15,5618	1,5237	0,0655	0,8175	1,9695
011-012	13,0377	1,4124	0,0770	0,8491	1,7469
100-102	13,5098	1,4358	0,0841	0,9061	1,4437
101	11,7516	1,6334	0,1008	0,8521	1,6391
110-111	14,0730	1,5344	0,0883	0,9146	1,4941
112	11,3929	1,8694	0,1236	0,8578	1,6841
212	13,3025	1,5535	0,1009	0,9410	1,0692
213	13,5956	1,7464	0,1118	0,9359	1,2287

⁽¹⁾Trat: o primeiro número representa 0 (0), 300 (1) e 600 (2) g de SS planta⁻¹ e, o segundo, 0 (0) e 2 (1) g de boro planta⁻¹. O terceiro número, representa 0 (0), 1/4 (1) e 1/3 (2) da Hcv para desfolha aos 6 meses e desrama aos 13 meses, e 0 (0), 1/3 (1) e 1/2 (2) nos tratamentos com 0 e 300 g de SS planta⁻¹ a partir dos 18 meses e, 1/2 de desrama da copa viva, iniciando-se aos 13 (212), ou 18 (213) meses, com aplicação de 600 g SS planta⁻¹

As equações ajustadas do modelo Exponencial modificado (Schumacher) para estimativa e tendência de crescimento para *B* e v_{ha} , em função da idade, apresentaram coeficientes de correlação acima de 90% e baixo erro padrão, nos tratamentos com a aplicação de SS (Tabela 5). Nos tratamentos sem desrama e com aplicação de boro (010; 011 e 012) a exatidão das equações foi 88%, com menor precisão.

Tabela 5. Parâmetros do modelo de Schumacher Exponencial modificado na forma $y = \beta_0 e^{-\beta_1/L}$; ajustados para as variáveis de produção, área basal e volume por área de teca sob diferentes doses de supersimples (SS), boro e intensidades de desrama, em sistema silvipastoril, em Alta Floresta, MT, e respectivas estatísticas de exatidão ($r_{y\hat{y}}$) e de precisão (S_{yx}) das equações

Trat. ⁽¹⁾	β_0	β_1	$r_{y\hat{y}}$	S_{yx}
<i>B</i> (m ² ha ⁻¹)				
000 - 001 - 002 - 101	5,6007	51,9775	0,9818	0,0857
010	7,4969	66,7988	0,8750	0,2300
011 - 012	6,1872	55,2229	0,8778	0,2527
100 - 102	6,5754	50,3407	0,9473	0,1909
110 - 212 - 213	7,6767	50,0906	0,9867	0,1037
111-112	5,9497	46,9561	0,9529	0,1793
<i>v_{ha}</i> (m ³ ha ⁻¹)				
000 - 001 - 002 - 101	40,6885	50,7427	0,8711	1,9080
010	51,3741	63,6313	0,8780	1,6977
011 - 012	44,4172	53,3654	0,8817	1,8708
100 - 102	47,0742	48,6330	0,9504	1,3838
110 - 111	55,5082	50,9779	0,9639	1,2915
112	39,5683	43,8812	0,9431	1,4892
212-213	50,2354	45,4821	0,9822	0,8982

⁽¹⁾Trat: o primeiro número representa 0 (0), 300 (1) e 600 (2) g de SS planta⁻¹ e, o segundo, 0 (0) e 2 (1) g de boro planta⁻¹. O terceiro número, representa 0 (0), 1/4 (1) e 1/3 (2) da *hcv* para desfolha aos 6 meses e desrama aos 13 meses, e 0 (0), 1/3 (1) e 1/2 (2) nos tratamentos com 0 e 300 g de SS planta⁻¹ dos 18 aos 34 meses e, 1/2 de desrama da *hcv* iniciando-se aos 13 (212), ou 18 (213) meses, com aplicação de 600 g SS planta⁻¹

As equações ajustadas, para estimar o crescimento *ht* e *dap* (Gompertz) e a produção em *B* e *v_{ha}* (Schumacher) da teca em SSP foram separadas em dois grupos (sem boro e com boro) e permitiu melhor visualização da tendência de crescimento entre os tratamentos (Figura 6).

O crescimento e a produção de teca, com a aplicação de SS, foram consistentemente melhores quando comparados aos tratamentos sem aplicação de SS, independentemente da aplicação de boro, exceto para a testemunha (000) que apresentou tendência de maior crescimento de *dap* em relação a outros tratamentos (Figura 6, Tabelas 4 e 5).

Ao analisar os diferentes níveis de SS em conjunto com a intensidade de desrama, verifica-se maior variação nas respostas de crescimento e produção. A desrama apresentou efeito negativo quando não houve aplicação de SS e de boro, sendo observado menor crescimento em altura nos tratamentos com remoção de maiores *hcv* com a desrama aplicada após um ano de idade, correspondente a 1/3 e 1/2 da *hcv* ($p \leq 0,05$), em comparação com o tratamento 000.

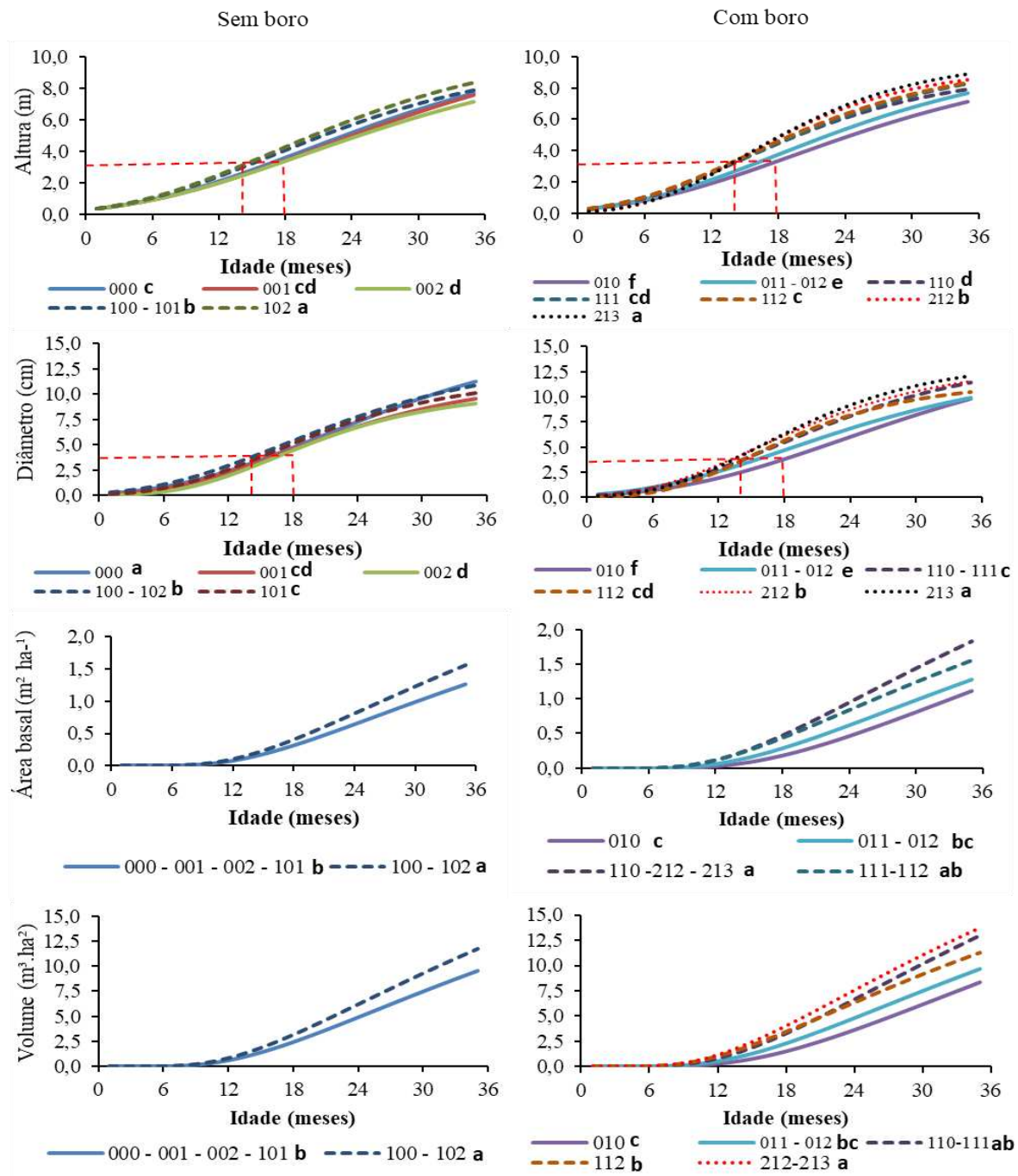


Figura 8. Altura (m), diâmetro (m), área basal ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$) e volume ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) de teca até a idade de 34 meses, sob diferentes doses de SS e B e, intensidades de desrama, em sistema silvipastoril, em Alta Floresta, MT. Na legenda, o primeiro número representa 0 (0), 300 (1) e 600 (2) g de SS planta⁻¹ e, o segundo, 0 (0) e 2 (1) g de boro planta⁻¹. O terceiro número, representa 0 (0), $\frac{1}{4}$ (1) e $\frac{1}{3}$ (2) da *hcv* para desfolha aos 6 meses e desrama aos 13 meses, e 0 (0), $\frac{1}{3}$ (1) e $\frac{1}{2}$ (2) da *hcv* nos tratamentos com 0 e 300 g de SS planta⁻¹, entre 18 e 34 meses e, $\frac{1}{2}$ de desrama da *hcv* iniciando-se aos 13 (212), ou 18 (213) meses, com aplicação de 300+300 g SS planta⁻¹. Linhas sólida, tracejada e pontilhada representam, respectivamente, 0, 300 e 300+300 g SS planta⁻¹. Retângulos tracejados (vermelho) nas figuras de crescimento em *ht* e *dap* indicam a idade em que as plantas atingem a *ht* e *dap* médios de 3 cm,

Aos 34 meses, no tratamento sem SS e boro e, com desrama de $\frac{1}{2}$ da *hcv*, o crescimento em altura foi 7% menor em relação ao tratamento sem desrama (000). Com a adubação de 300 g planta⁻¹, de SS e desrama de $\frac{1}{2}$ *hcv*, a altura da teca foi 6% superior ($p \leq 0,05$) aos tratamentos com menores intensidades de desrama (100, 101). No tratamento sem SS, com boro e sem desrama (010), o crescimento em altura foi menor do que nos tratamentos com desrama ($p \leq 0,05$). Nos tratamentos sem SS e com boro, os níveis 1 e 2 de desrama foram iguais ($p \geq 0,05$) em relação à altura das plantas. Porém, quando não foi realizada a desrama, foram observados menores valores de altura.

O ganho em altura foi de 18% e 21%, respectivamente, para os tratamentos com desrama de $\frac{1}{2}$ da *hcv* a partir de 12 meses (212) ou de 18 meses (213), com a aplicação de 600 g planta⁻¹ de SS (300 + 300) e 2 g de boro em relação ao tratamento sem SS, com boro e sem desrama (010). A desrama de 50% da *hcv* associada a aplicação de SS promoveu maior ($p \leq 0,05$) crescimento em altura das plantas.

A aplicação de 300 g planta⁻¹ de SS, boro e desrama aumentaram o crescimento em diâmetro ($p \leq 0,05$). As plantas no tratamento testemunha (000) apresentaram diâmetros 18% maiores do que no tratamento 002, em que houve a desrama de 50% da *hcv* (Figura 8). Porém, com a aplicação de SS nos tratamentos sem boro essa diferença em relação à testemunha diminuiu.

A aplicação de boro e SS aumentou o *dap* das árvores. Aos 34 meses, o crescimento em diâmetro no tratamento 112 foi 5% e 8% superior ao tratamento 000 e 010, enquanto no tratamento com menor intensidade de desrama (110-111) esse aumento de crescimento em relação a 000 e 010 foi de 2% e 15%, respectivamente. O crescimento em diâmetro no tratamento 213 (600 g planta⁻¹ de SS, 2 g planta⁻¹ de boro e desrama de 50% com início aos 18 meses foi 9%, 21% e 14% maior do que para os tratamentos 000, 010 e 112 ($p \leq 0,05$), respectivamente. Nos tratamentos 212 e 213, a primeira desrama foi realizada aos 13 meses e, aos 18 meses, respectivamente. O crescimento em *dap* e *ht* do tratamento 213, aos 34 meses, foram 5% e 4%, respectivamente, superior ao tratamento 212.

O crescimento estimado em *ht* e *dap*, entre 12 e 18 meses (Tabela 6) auxiliam na identificação da melhor idade para colocar o gado no sistema. Aos 14 meses de idade, a altura média foi de 3,25 m nos tratamentos com 300 ou 600 g SS planta⁻¹, com aplicação de boro, sendo que esse valor atinge 3,61 m aos 15 meses, resultando em maior número de plantas com altura superior a 3 m (altura de referência). Nestas mesmas idades, o *dap* médio destes tratamentos foi de 3,85 e 4,34 cm, respectivamente, sendo que maiores valores foram atingidos com a aplicação de 600 g SS planta⁻¹. Considerando que esses valores são médios, quando as

árvores atingem a média de 3 m de altura ainda ocorrem plantas com dimensões menores. Então, a entrada do gado de pequeno porte (de até cerca de 220 kg) no SS com teca deve ocorrer, aproximadamente, aos 15 meses, pois a altura das árvores dos tratamentos 110, 111, 112, 212 e 213 são superiores a 3,5 m e, certamente haverá menor proporção de árvores com dimensões inferiores ao preconizado para a entrada de gado bovino de corte no sistema.

Tabela 5. Crescimento médio em altura total (m) e diâmetro (cm) de teca estimados pelo modelo de Gompertz, de 12 a 18 meses, sob diferentes doses de supersimples (SS), boro e intensidades de desrama em sistema silvipastoril, Alta Floresta, MT

Trat. ⁽¹⁾	Idade (meses)						
	12	13	14	15	16	17	18
	<i>ht</i> (m)						
000	2,12	2,36	2,60	2,85	3,10	3,36	3,62
001	2,02	2,24	2,47	2,70	2,94	3,19	3,45
002	2,02	2,24	2,46	2,69	2,92	3,16	3,40
010	1,90	2,13	2,36	2,59	2,84	3,09	3,34
011 - 012	2,15	2,40	2,66	2,93	3,20	3,47	3,75
100 - 101	2,41	2,68	2,95	3,23	3,51	3,79	4,07
102	2,52	2,80	3,09	3,38	3,68	3,98	4,28
110	2,58	2,89	3,21	3,53	3,84	4,15	4,46
111	2,61	2,92	3,23	3,55	3,87	4,18	4,49
112	2,65	2,97	3,29	3,62	3,95	4,28	4,60
212	2,48	2,87	3,27	3,67	4,06	4,45	4,83
213	2,46	2,86	3,26	3,67	4,08	4,48	4,87
	<i>dap</i> (cm)						
000	2,46	2,80	3,16	3,54	3,93	4,33	4,75
001	2,32	2,68	3,05	3,43	3,82	4,22	4,62
002	1,97	2,35	2,76	3,19	3,62	4,05	4,48
010	1,92	2,19	2,48	2,79	3,11	3,45	3,79
011 - 012	2,56	2,89	3,23	3,58	3,94	4,30	4,67
100 - 102	2,92	3,31	3,70	4,11	4,53	4,94	5,36
101	2,55	2,95	3,37	3,80	4,23	4,67	5,10
110 - 111	2,82	3,23	3,66	4,10	4,55	5,01	5,46
112	2,62	3,10	3,61	4,13	4,64	5,16	5,65
212	3,25	3,72	4,20	4,70	5,19	5,68	6,16
213	3,04	3,56	4,10	4,66	5,22	5,77	6,32

⁽¹⁾Trat: o primeiro número representa 0 (0), 300 (1) e 600 (2) g de SS planta⁻¹ e, o segundo, 0 (0) e 2 (1) g de boro planta⁻¹. O terceiro número, representa 0 (0), 1/4 (1) e 1/3 (2) da *hcv* para desfolha aos 6 meses e desrama aos 13 meses, e 0 (0), 1/3 (1) e 1/2 (2) nos tratamentos com 0 e 300 g de SS planta⁻¹ dos 18 aos 34 meses e, 1/2 de desrama da *Hcv* iniciando-se aos 13 (212), ou 18 (213) meses, com aplicação de 600 g SS planta⁻¹

A produção em área basal ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$) e volume ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) de teca foram semelhantes para os tratamentos 100 e 102 ($p \leq 0,05$), tendo sido 23% superior aos tratamentos 000-001-002-101. Nos tratamentos com aplicação de SS e boro, a área basal ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$) (tratamento 110-212-213) e o v_{ha} ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) (tratamento 212-213) foram 67% superior ao do tratamento 010. Ou seja, a aplicação de SS ($300 + 300 \text{ g planta}^{-1}$) combinado com a desrama de 50% da *hcv* promoveram aumento na magnitude de $5,28 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$, em volume, com maior incremento médio (IMA de $4,65 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$), aos 34 meses pós plantio. No primeiro ano (13 meses), o v_{ha} no tratamento com $600 \text{ g de SS planta}^{-1}$ foi 58% e 19% maior do que os tratamentos sem SS (000) e com 300 g SS (112), respectivamente.

3.2.1 Distribuição de diâmetros

A diferenciação na distribuição de diâmetros entre os tratamentos com a aplicação de SS, boro e desrama aumentou com a idade (Figura 9).

Aos dez meses de idade, a aplicação de $300 \text{ g de SS planta}^{-1}$, sem boro, promoveu aumento do número de indivíduos a partir da classe de diâmetro de $2,5 \text{ cm}$, em comparação com o tratamento sem SS (Figura 9). Nesta idade, 69% das árvores atingiram alturas superiores a $1,30 \text{ m}$, representando 18% a mais de indivíduos, em relação aos tratamentos sem SS, permitindo iniciar a medição do *dap* desses indivíduos.

Com a aplicação de SS e boro juntos (110, 111 e 112), o número de indivíduos com possibilidade de medição de diâmetros foi mais elevado em relação aos tratamentos com SS e sem boro (100, 101 e 102). Apesar de ainda haver várias árvores com altura inferior a $1,3 \text{ m}$, foi evidente o efeito da aplicação de SS sobre o crescimento das plantas. O tratamento 010 (sem SS, com boro e sem desfolha) apresentou poucas árvores com altura suficiente para medição de *dap* nesta idade.

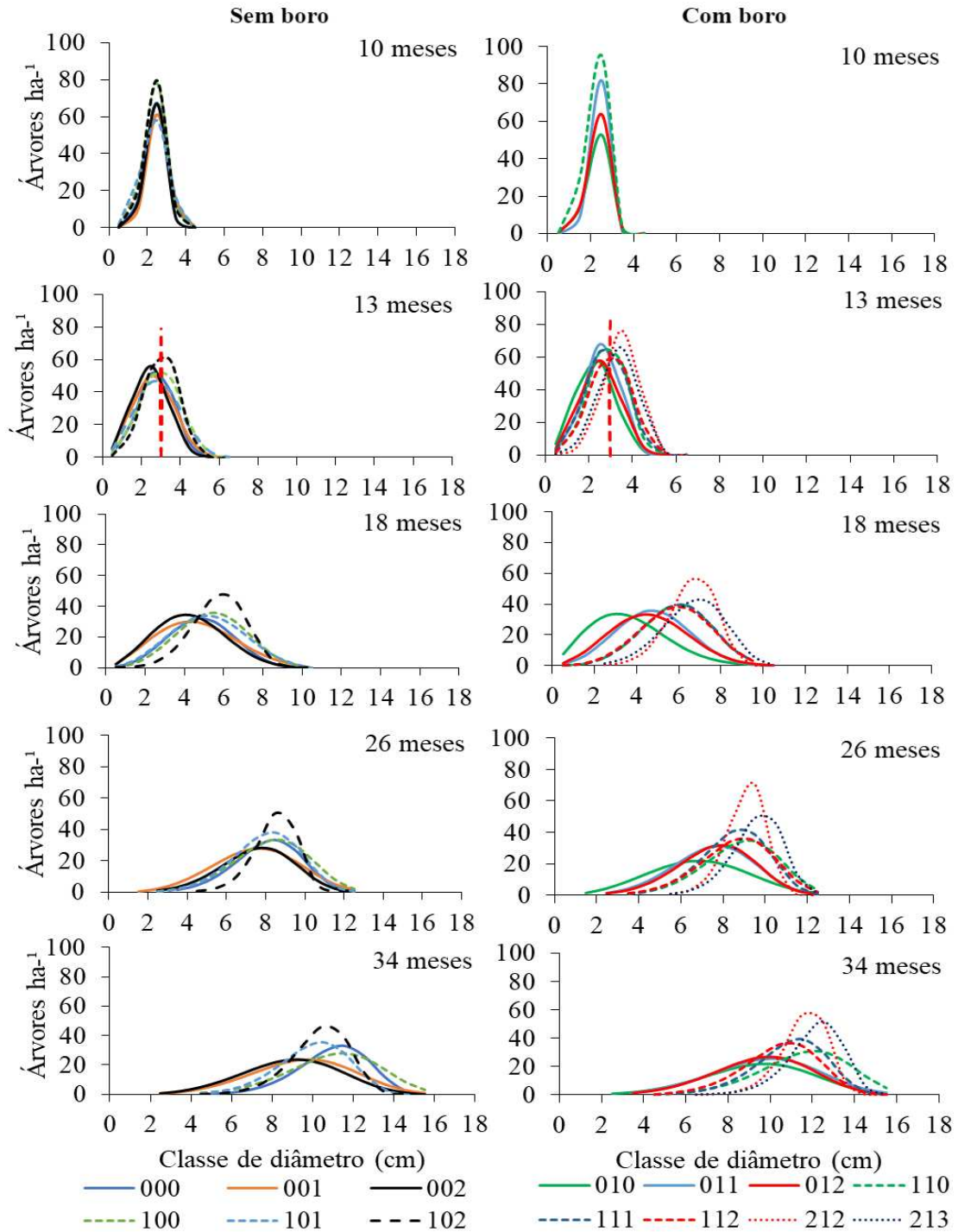


Figura 9. Distribuição de diâmetros de teca, sob diferentes doses de supersimples (SS), boro e desrama aos 10, 13, 18, 26 e 34 meses após plantio, em sistema silvipastoril, em Alta Floresta, MT. Na legenda, o primeiro número representa 0 (0), 300 (1) e 600 (2) g de SS planta⁻¹ e, o segundo, 0 (0) e 2 (1) g de boro planta⁻¹. O terceiro número, representa 0 (0), $\frac{1}{4}$ (1) e $\frac{1}{3}$ (2) da *hcv* para desfolha aos 6 meses e desrama aos 13 meses, e 0 (0), $\frac{1}{3}$ (1) e $\frac{1}{2}$ (2) da *hcv* nos tratamentos com 0 e 300 g de SS planta⁻¹ entre 18 e 34 meses e, $\frac{1}{2}$ de desrama da *hcv* iniciando-se aos 13 (212), ou 18 (213) meses, com aplicação de 600 g SS planta⁻¹. Linhas sólida, tracejada e pontilhada representam, respectivamente, 0, 300 e 600 g SS planta⁻¹

Aos trezes meses, as curvas de distribuição de diâmetros indicam que nos tratamentos com a aplicação de 300 g de SS planta⁻¹ por ocasião do plantio (linhas tracejadas) houve maior deslocamento da curva para a direita em relação aos tratamentos sem SS, independente da aplicação de boro ou desfolha, em comparação com o observado aos 10 meses (Figura 9). Porém, o ponto de máxima concentração de indivíduos estava abaixo de 3 cm de *dap*. Nesta idade, um mês após aplicação adicional de 300 g de SS planta⁻¹, 37% das árvores neste tratamento apresentavam *dap* maior que 3 cm, considerado o limite mínimo de diâmetro para a entrada do gado.

Aos dezoito meses, acentuaram-se as diferenças na distribuição diamétrica. O tratamento 102 (300 g SS planta⁻¹ sem boro e desrama aos 13 meses de 1/3 da *hcv*) já apresentava 52% das árvores com mais de 3 cm de *dap*. Com a aplicação de boro, os tratamentos com SS só no plantio (110, 111 e 112) resultaram em 44%, 43% e 51%, respectivamente, de árvores com mais de 3 cm de *dap*. A aplicação sequencial de SS (300+300) com desrama aos 13 meses de idade (1/2 da *hcv*) (212), também, potencializou o crescimento em diâmetro das plantas e apresentou mais de 67% das árvores com *dap* ≥ 3 cm.

A desrama de 50% da *hcv*, aos 13 meses de idade, associada à aplicação de 600 g (300 + 300) de SS planta⁻¹, potencializou a produção de madeira de qualidade da teca em razão do aumento do diâmetro das árvores.

3.3 Dinâmica de copa da teca em sistema silvipastoril

A aplicação de SS aumentou ($p \leq 0,05$) a área foliar da planta aos seis meses pós plantio, mesmo tendo, em média, o mesmo número de folhas (Tabela 7). As folhas das plantas adubadas com SS apresentaram maiores comprimento e largura. A copa da teca, nos seis primeiros meses, é composta apenas de folhas sésseis, opostas cruzadas, inseridas diretamente no caule (Figura 4), sendo que a sua dimensão depende do número de folhas (NF). Nessa idade, a aplicação de SS influenciou ($p \geq 0,05$) a *hcv* das plantas, que antes da primeira intervenção de desfolha, foi de 1,02 m, com início à 30 cm do solo.

Tabela 7. Número de folhas (NF), comprimento (C), largura (L), área da folha (AF) e área foliar por planta (AF total) de teca aos 6 meses após o plantio, sob diferentes doses de supersimples (SS), boro e desrama em sistema silvipastoril, em Alta Floresta, MT

SS ¹	AF (cm ²)	AF total (cm ²)	NF	C (cm)	L (cm)
0	690,02b	13.647,08b	19,78 ± 4,8a	42,81b	26,19b
1	802,86a	15.046,10a	18,74 ± 5,41a	45,18a	28,99a

¹ (0): 0 g SS planta⁻¹ e (1): 300 g SS planta⁻¹. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem, entre si a 5% de probabilidade, pelo teste Tukey.

Aos 10 meses, idade que ocorreria a segunda intervenção de desfolha, houve perda acentuada de folhas em razão de intenso período seco, o que inviabilizou a execução dessa atividade (Figura 10).



Figura 10. Plantas de teca sob diferentes doses de supersimples (SS), boro e desfolha, aos 10 meses após o plantio, com perda intensa de folhas, em sistema silvipastoril, em Alta Floresta, MT

Após a recomposição da copa das plantas de teca, houve formação de galhos, quando, então, foi realizada a primeira intervenção de desrama aos 13 meses, com esse efeito sendo avaliado na desrama seguinte (aos 18 meses). Os fatores que influenciaram nas variáveis de dinâmica da copa foram a adubação com SS e intensidade de desrama.

A intensidade de desrama influenciou ($p \leq 0,05$) a *hbc* (Tabela 8). A *hbc* foi maior nas intensidades de desrama D_1 e D_2 dos 18 aos 34 meses. No tratamento D_0 (sem desrama) a *hbc* foi menor, o que implica em menor altura de fuste limpo, e isso pode comprometer a produção de madeira livre de nós, para serraria.

A *hcv* não diferiu ($p \geq 0,05$) entre os tratamentos sem e com desrama até os 26 meses. Porém, a adubação com $300 \text{ g planta}^{-1}$ SS (SS_1) promoveu ($p \leq 0,05$) aumento na *hcv* em todas as idades. Aos 34 meses a desrama nas intensidades D_1 e D_2 reduziu ($p \leq 0,05$) a *hcv*, em média, 29% em relação ao tratamento D_0 .

A emissão de novos galhos no tronco das árvores de teca, pós desrama, foram calculados com base nos dados de *hbc*. Ou seja, a rebrota foi avaliada quanto à aplicação de SS e a intensidade de desrama, pois foram os fatores que afetaram a *hbc* (Tabela 8). A maior intensidade de desrama (D_2 - remoção de $\frac{1}{3}$ da *hcv* até os 13 meses e de $\frac{1}{2}$ da *hcv* após os 18 meses) promoveu aumento da rebrota em relação a intensidade de desrama D_1 e D_0 . Apesar do tratamento testemunha apresentar os menores valores de rebrota, aos 26 meses houve aumento

da extensão do fuste com rebrota, pois houve a desrama de 1 m de galhos aos 18 meses para facilitar a aplicação de herbicida.

Tabela 8. Altura da base da copa (*hbc*) e altura da copa viva (*hcv*) aos 18, 26 e 34 meses, antes de cada aplicação de desrama de árvores de teca, e rebrota de galhos (m), pós desrama, sob diferentes doses de supersimples (SS), boro e desrama, em sistema silvipastoril, em Alta Floresta, MT

	<i>hbc</i> (m)			<i>hcv</i> (m)			Rebrota (m)		
	SS		Média	SS		Média	SS		Média
	0	1		0	1		0	1	
18 meses									
D ₀	0,32	0,37	0,35B	3,24	4,14	3,69A	0,10	0,10	0,10
D ₁	0,82	0,94	0,88A	2,95	3,65	3,31A	1,12	1,32	1,22
D ₂	0,86	1,05	0,96A	2,86	3,64	3,25A	1,44	1,82	1,63
Média	0,67a	0,79a	-	3,01b	3,81a	-	0,89	1,08	-
26 meses									
D ₀	1,67	1,33	1,49B	4,00	5,03	4,56A	1,35	0,96	1,16
D ₁	1,91	1,90	1,90A	3,8	4,48	4,15A	1,37	1,24	1,31
D ₂	1,95	1,85	1,90A	3,81	4,8	4,33A	1,57	1,37	1,47
Média	1,85a	1,70a	-	3,86b	4,77a	-	1,43	1,19	-
34 meses									
D ₀	1,61	1,35	1,47B	5,56	6,31	5,97A	-0,06	0,02	-0,02
D ₁	3,07	3,60	3,34A	4,28	4,35	4,32B	1,33	1,66	1,49
D ₂	3,29	3,94	3,63A	3,91	4,21	4,07B	1,39	1,80	1,60
Média	2,66a	2,96a	-	4,56b	4,96a	-	0,89	1,16	-

SS = 0 (0) e 300 (1) g planta⁻¹ e D = desrama da *hcv* de nível 0, 1 e 2, conforme tabela 2. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem, entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste Tukey

O diâmetro da copa foi influenciado pela adubação com SS e pela intensidade de desrama (Tabela 9). Na entrelinha, o diâmetro da copa foi menor no tratamento não adubado (SS₀), apenas aos 13 meses. Na linha de plantio, a copa não foi influenciada pela aplicação de SS.

Quanto a intensidade de desrama, a influência no diâmetro da copa variou em função de sua posição na linha ou entrelinha apenas aos 34 meses. Na entrelinha, quanto maior a intensidade de desrama, menor o diâmetro da copa. Na linha de plantio, o diâmetro da copa não diferiu ($p \geq 0,05$) entre as intensidades D₁ e D₂.

Tabela 9. Diâmetro da copa aos 13, 18, 26 e 34 meses, antes de cada aplicação de desrama de árvores de teca, sob diferentes doses de supersimples (SS), boro e desrama, em sistema silvipastoril, em Alta Floresta, MT

	Entrelinha (m)			Linha (m)		
	SS		Média	SS		Média
	0	1		0	1	
13 meses						
D ₀	1,45	1,77	1,61A	1,53	1,84	1,69A
D ₁	1,59	1,77	1,68A	1,7	1,88	1,79A
D ₂	1,63	1,72	1,68A	1,61	1,79	1,70A
Média	1,56b	1,75a	-	1,62a	1,83a	-
18 meses						
D ₀	2,32	2,59	2,46A	2,18	2,6	2,39A
D ₁	2,2	2,26	2,23A	2,08	2,22	2,15A
D ₂	2,14	2,23	2,19A	2,02	2,27	2,14A
Média	2,22a	2,36a	-	2,09a	2,36a	-
26 meses						
D ₀	3,04	3,28	3,16A	3,02	3,22	3,12A
D ₁	2,91	3	2,96A	2,81	2,85	2,83A
D ₂	2,74	3,08	2,92A	2,81	3,09	2,96A
Média	2,89a	3,12a	-	2,88a	3,05a	-
34 meses						
D ₀	2,98	3,16	3,08A	3,5	3,75	3,64A
D ₁	2,75	2,66	2,71B	2,95	2,81	2,88B
D ₂	2,24	2,49	2,37C	2,18	2,69	2,43B
Média	2,64a	2,77a	-	2,84a	3,08a	-

SS = 0 (0) e 300 (1) g planta⁻¹ e D = desrama da *hcv* de nível 0, 1 e 2, conforme tabela 2. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem, entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste Tukey. (*) valores que não foram avaliados na análise estatística, pois são dados anteriores à primeira desrama do tratamento

O diâmetro de galho no ápice (*dga*), na base (*dgb*) e a altura máxima de galho (*hmg*) foram influenciados pela aplicação de SS aos 13 meses (Tabela 10). A aplicação de SS proporcionou maiores *dga* e *dgb* e houve presença galhos à maiores alturas na copa (*hmg*).

Aos 34 meses, a adubação com SS (300 g planta⁻¹) promoveu o aumento ($p \leq 0,05$) do *dgb* e *dgm* enquanto a intensidade de desrama D₁ e D₂ reduziram ($p < 0,05$) apenas o *dgb*. Quando não houve desrama o *dgb* foi de 3,94 cm indicando que a desrama é necessária e que a aplicação tardia da desrama pode reduzir a qualidade da madeira, devido a maiores diâmetros dos nós.

Tabela 10. Diâmetro dos galhos no ápice (*dga*), meio (*dgm*) e base (*dgb*) da copa e altura máxima de galhos (*hmg*) antes de cada aplicação de desrama de árvores de teca, sob diferentes doses de supersimples (SS), boro e desrama, em sistema silvipastoril, em Alta Floresta, MT

	<i>dga</i> (cm)			<i>dgm</i> (cm)			<i>dgb</i> (cm)			<i>hmg</i>		
	SS			SS			SS			SS		
	0	1	Média	0	1	Média	0	1	Média	0	1	Média
13 meses												
D ₀	1,33	1,44	1,39A	1,37	1,36	1,36A	1,11	1,4	1,26A	1,22	1,56	1,39A
D ₁	1,19	1,41	1,30A	1,19	1,27	1,24A	1,12	1,39	1,26A	1,36	1,53	1,45A
D ₂	1,29	1,25	1,27A	1,36	1,34	1,35A	1,2	1,65	1,42A	1,32	1,59	1,46A
Média	1,27b	1,37a	-	1,31a	1,33a	-	1,15b	1,48a	-	1,30b	1,56a	-
18 meses												
D ₀	2,69	2,71	2,70A	2,32	2,25	2,28A	2,29	1,92	2,10A	1,25	1,58	1,42A
D ₁	2,62	2,23	2,44A	2,05	2,27	2,16A	2,01	2,69	2,35A	1,55	1,66	1,60A
D ₂	2,59	2,25	2,43A	2,17	2,33	2,25A	2,31	2,53	2,42A	1,49	1,85	1,68A
Média	2,63a	2,42a	-	2,18a	2,28a	-	2,20a	2,38a	-	1,43a	1,70a	-
26 meses												
D ₀	2,25	2,52	2,39A	2,07	2,83	2,47A	2,65	2,76	2,71A	-	-	-
D ₁	2,03	2,19	2,12A	2,42	1,99	2,19A	2,32	2,53	2,43A	-	-	-
D ₂	1,88	2,02	1,95A	2,1	2,31	2,21A	2,32	2,53	2,43A	-	-	-
Média	2,06a	2,24a	-	2,20a	2,37a	-	2,43a	2,61a	-	-	-	-
34 meses												
D ₀	3,06	2,72	2,88A	2,9	2,99	2,95A	3,59	4,23	3,94A	3,91	4,05	3,99A
D ₁	2,68	2,61	2,64A	2,88	2,87	2,87A	2,78	2,79	2,78B	4,4	4,95	4,68A
D ₂	2,61	2,78	2,70A	2,29	3	2,64A	2,82	3,23	3,03B	4,46	5,35	4,93A
Média	2,77a	2,70a	-	2,68b	2,95a	-	3,03b	3,42a	-	4,27a	4,80a	-

SS = 0 (0), 300 (1) e 600 (2) g planta⁻¹ e D = desrama da *hcv* de nível 0, 1 e 2, conforme tabela 2. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste Tukey. (*) valores que não foram avaliados na análise estatística, pois são dados anterior a primeira desrama do tratamento

O efeito da aplicação adicional de 300 g planta⁻¹ de SS foi avaliado através de contrastes ortogonais, visando avaliar os efeitos da adubação e da desrama no tamanho da copa (*hbc*, *hcv* e *hmg*) e no diâmetro dos galhos (*dga*, *dgm* e *dgb*) (Tabela 11). A aplicação adicional de 300 g planta⁻¹ de SS foi feita aos 12 meses, e a primeira intervenção de desrama ($\frac{1}{2}$ da *hcv*) realizada aos 13 meses (D₃) e aos 18 meses (D₄) (Tabela 2).

O contraste 1 (C₁) e o 2 (C₂) avaliam o efeito da aplicação de 600 g de SS no tamanho da copa e no diâmetro dos galhos em relação ao tratamento testemunha (0 g de SS) e a adubação com apenas 300 g de SS, respectivamente. Os contrastes C₂ e C₄ visam avaliar o efeito da desrama nas variáveis de copa nos tratamentos sem e com desrama, respectivamente.

A aplicação adicional de SS e a desrama de 50% da *hcv* (D₃ e D₄) afetaram ($p \leq 0,05$) o tamanho da copa e o diâmetro dos galhos em todas as idades avaliadas. A adubação adicional de 300 g SS (600 g planta⁻¹) proporcionou maior tamanho da copa e maiores diâmetros de galhos. Isso indica que tratamentos que promovem o aumento do crescimento da teca necessitam de desrama com intervalos reduzidos, havendo a necessidade de aplicar a desrama em idades mais jovens para a remoção dos galhos antes que atinjam maiores diâmetros. O corte de galhos grossos implica em ferimentos maiores e consequente redução da qualidade da madeira ao final da rotação.

Tabela 11. Quadrados médios da análise de variância (QM) dos contrastes (C₁ a C₄) entre as variáveis altura da base da copa (*hbc*) (m), diâmetro da copa (m) na linha e entrelinha (DC), diâmetro de galhos no ápice (*dga*), meio (*dgm*) e base (*dgb*) da copa (cm) e altura máxima de galhos (*hmg*) (m) antes de cada aplicação de desrama de árvores de teca, sob diferentes doses de supersimples (SS), boro e desrama, em sistema silvipastoril, em Alta Floresta, MT

Fonte variação ¹	<i>hbc</i>		<i>hcv</i>		DC _{Linha}		DC _{Entrelinha}		<i>dga</i>		<i>dgm</i>		<i>dgb</i>		<i>hmg</i>	
	QM	p	QM	p	QM	p	QM	p	QM	p	QM	p	QM	p	QM	p
18 meses																
C ₁ : SS ₀ vs. SS ₂	43,211	0,015	612,331	0,006	87,936	0,001	67,886	0,005	105,607	0,024	58,393	0,018	74,352	0,001	134,491	0,001
C ₂ : D ₀ vs. (D ₃ +D ₄)	4,665	0,000	1373,468	0,000	114,963	0,000	102,939	0,000	121,902	0,000	77,852	0,000	68,852	0,000	164,176	0,000
C ₃ : SS ₁ vs. SS ₂	75,061	0,008	1449,104	0,003	105,585	0,001	99,100	0,003	78,281	0,032	75,967	0,014	94,950	0,001	277,589	0,000
C ₄ : D ₂ vs. (D ₃ +D ₄)	121,288	0,000	956,679	0,000	84,630	0,000	76,261	0,000	82,567	0,000	74,600	0,000	101,787	0,000	277,589	0,000
Média	0,73		3,56		2,28		2,25		2,58		2,30		2,33		1,62	
CV	83,58		60,67		20,39		28,30		48,90		40,70		26,86		27,65	
26 meses																
C ₁ : SS ₀ vs. SS ₂	257,446	0,002	971,369	0,004	115,885	0,001	108,347	0,002	61,469	0,037	70,223	0,007	96,220	0,022	-	-
C ₂ : D ₀ vs. (D ₃ +D ₄)	161,188	0,000	1993,490	0,000	168,800	0,000	158,324	0,000	102,978	0,000	107,852	0,000	137,152	0,000	-	-
C ₃ : SS ₁ vs. SS ₂	277,799	0,002	2652,886	0,002	184,081	0,001	165,089	0,001	102,778	0,023	110,737	0,004	145,549	0,015	-	-
C ₄ : D ₂ vs. (D ₃ +D ₄)	336,774	0,000	1779,999	0,000	168,800	0,000	143,674	0,000	63,873	0,000	83,731	0,000	108,436	0,000	-	-
Média	1,81		4,42		3,07		3,05		2,15		2,32		2,52		-	
CV	43,45		49,93		14,09		16,68		55,14		26,95		48,55		-	
34 meses																
C ₁ : SS ₀ vs. SS ₂	388,582	0,005	2015,054	0,000	93,102	0,008	107,713	0,007	129,495	0,019	105,992	0,000	170,846	0,001	1088,797	0,000
C ₂ : D ₀ vs. (D ₃ +D ₄)	36,847	0,009	4369,612	0,000	147,967	0,000	219,639	0,000	136,759	0,000	137,687	0,000	304,537	0,000	975,414	0,000
C ₃ : SS ₁ vs. SS ₂	764,906	0,002	3193,833	0,000	126,114	0,006	162,000	0,005	137,282	0,018	163,586	0,000	265,780	0,001	2256,242	0,000
C ₄ : D ₂ vs. (D ₃ +D ₄)	1362,991	0,000	1669,485	0,000	89,552	0,000	83,938	0,000	134,465	0,000	120,047	0,000	182,417	0,000	2255,010	0,000
Média	3,00		4,78		2,75		3,01		2,71		2,82		3,13		4,69	
CV	56,95		26,43		24,95		27,44		42,06		21,53		16,71		19,34	

¹SS = 0 (0), 300 (1) e 600 (2) g planta⁻¹ e D = desrama da *hcv* de nível 0, 2 (¹/₃ e ¹/₂), 3 e 4 (¹/₂), conforme Tabela 2.

4 DISCUSSÃO

4.1 Efeito da adubação e da desrama no crescimento inicial da teca

A maior sobrevivência observada com a aplicação de SS e de boro indica que a adubação estimula a emissão e crescimento de raízes, favorecendo a absorção de água e nutrientes. Na fase inicial do crescimento, a teca é dependente da fertilidade do solo como fonte de nutrientes e os fotoassimilados produzidos são canalizados para a formação de copa (expansão da área foliar) e sistema radicular, principalmente raízes finas, que tem como função absorção de água e nutrientes (GONÇALVES et al., 2000).

A teca tem alta demanda por nutrientes, especialmente Ca, e isso aumenta com a idade na seguinte ordem $K > Ca > N > P > Mg$ (ALVARADO, 2006, 2015). A adubação com SS disponibiliza P, Ca e S no solo, que são importantes para o crescimento e desenvolvimento inicial da teca. O Ca é essencial para funções estruturais na parede celular e membranas (MARSCHNER, 2012; WHITE; BROADLEY, 2003), e a sua deficiência pode afetar o crescimento das raízes e da parte aérea da teca (BARROSO et al., 2005). O fósforo é um dos elementos-chave nas funções celulares e no metabolismo do crescimento da planta. É fundamental para que a planta realize o processo fotossintético (CROUS; ÓSVALDSSON; ELLSWORTH, 2015; LUDOVICI, 2004; MEURER, 2007). Além disso, a teca é eficiente em utilizar o P para a formação de raízes (BEHLING et al., 2014).

O estabelecimento inicial das plantas pode ser afetado negativamente pela deficiência de boro, pois, há redução no crescimento das raízes, inibição da expansão foliar e, indiretamente, redução da capacidade fotossintética das plantas (DELL; HUANG, 1997; HODECKER et al., 2014; STONE, 1990; ULUSIK; KARAKAYA; KOC, 2018). Em clones de eucalipto, a deficiência severa de boro promove queda das folhas com morte da gema apical e baixa sobrevivência (FONTAN et al., 2011; MATTIELLO et al., 2009; STONE, 1990). Pita-Barbosa et al. (2016) relataram que, com a aplicação de boro, houve estímulo de produção de raízes e redução da biomassa foliar de um clone de eucalipto tolerante à seca, o que influencia a absorção de água e perdas por transpiração, aumentando a sobrevivência das plantas e produção do povoamento.

É importante ressaltar que no período seco, antes da avaliação do crescimento da teca aos 10 meses pós plantio (agosto/setembro de 2018), houve a ocorrência de temperatura de $\sim 40^{\circ}\text{C}$, baixa umidade relativa do ar e elevado déficit hídrico no solo. Essa condição ambiental estimulou a intensa perda de folhas da teca, ao longo do fuste. Em 2018, de maio a setembro, a

deficiência hídrica no solo foi de 253 mm. Nesta idade, a teca ainda não apresentava galhos, mas apenas folhas inseridas diretamente no fuste, tendo havido queda de todas essas folhas ao final do período seco. Apesar da chuva ter se iniciado em setembro, o déficit hídrico persistiu até outubro, aumentando a intensidade da seca de ponteiros. Por ocasião da avaliação das plantas aos 13 meses, em dezembro de 2018, os tratamentos sem aplicação de boro, independentemente da aplicação de SS, apresentaram elevada percentagem de plantas com seca de ponteiros, em decorrência do período com deficiência hídrica, que se estendeu até outubro. Nesse período de seca, as plantas estavam dependentes do boro no solo, mas, como a falta de água reduz a quantidade de boro absorvido pelas plantas (MATTIELLO et al., 2009) houve indução ao surgimento de sintomas severos de seca de ponteiros.

Para clones de eucalipto, o estresse hídrico é a principal causa da seca de ponteiro (MATTIELLO et al., 2009; REIS et al., 2018). E, mesmo um único episódio de seca de ponteiro, o seu efeito torna-se persistente, com prejuízos ao estabelecimento inicial do povoamento, especialmente quando requer crescimento rápido e precoce, além dos danos a qualidade da madeira e redução do rendimento na serraria (DELL; HUANG, 1997; LEHTO; RUUHOLA; DELL, 2010; STONE, 1990). Os efeitos da deficiência de boro nas espécies florestais e a bifurcação das árvores são minimizados e até prevenidos com a aplicação de boro, via solo ou foliar (CELESTRINO et al., 2015; LEHTO; RUUHOLA; DELL, 2010; TURNER et al., 2021). Para a teca, a aplicação de boro reduz o número de árvores com sintomas de seca de ponteiro, e associada a aplicação de SS preveniu a ocorrência da seca de ponteiro nas plantas até a idade de 34 meses.

A seca de ponteiro causa a perda de dominância apical da teca, reduzindo o crescimento em altura da planta. Essa redução em altura afeta a produção de madeira bem como o tempo para entrada de bovino de corte no sistema, que é definida pela altura e diâmetro da planta de modo a reduzir os danos às árvores (UGALDE ARIAS, 2013). Assim que inicia o período chuvoso, a teca apresenta elevada capacidade de recomposição da copa, emitindo brotações no ápice e os galhos começam a se desenvolver na base da copa. Estas brotações no ponto em que houve a seca de ponteiro são manejadas através da recondução da rebrota através da remoção de brotos, mantendo o dominante. Porém, essa prática não implica em correção da tortuosidade gerada na primeira tora, que apresenta maior valor agregado. Havendo seca de ponteiro recorrente nos anos subseqüentes pode ocorrer a morte da planta ou dano irreversível ao tronco inviabilizando seu uso para produção de madeira serrada de qualidade (LEHTO; RUUHOLA; DELL, 2010; STONE, 1990).

No Brasil, o estado do Mato Grosso tem o potencial para a produção de teca devido aos fatores climáticos e edáficos (MEDEIROS et al., 2019a, 2019b). Atualmente, estima-se que existam no estado de Mato Grosso acima de quatro mil hectares implantados com o sistema silvipastoril com a teca como componente arbóreo. Havendo preferência e tradição do investidor na criação de gado bovino de corte, espaçamentos amplos, conforme adotado no presente estudo (20 x 3 m), com o plantio da teca ou outra espécie arbórea de elevado valor, tem, dentre outras, a função de agregar valor à “criação de gado” e não de competir com a atividade fim da empresa.

Ressalta-se que com esta densidade reduzida de árvores há redução de custos na aplicação de técnicas de manejo, como adubação e manutenção do povoamento. Também, o custo da desrama em menor número de árvores é reduzido mesmo quando aplicada em intervalos reduzidos e a maiores alturas da árvore, visando maior produção de madeira limpa e, conseqüentemente, maior retorno econômico. No presente estudo, foram realizadas intervenções de desrama a cada seis meses, porém, como a rebrota na extensão do tronco já desramado é muito intensa, aconselha-se o uso de intervalos ainda mais reduzidos, possibilitando a remoção da rebrota antes que os galhos atinjam diâmetro elevado (> 2 cm) (FONTAN et al., 2011; RADÍO; DELGADO, 2014; REIS et al., 2014). Galhos com diâmetro acima de 2 cm já podem promover redução na qualidade da madeira em razão de se ter maior extensão do ferimento da desrama. No caso de *Picea sitchensis*, nós derivados de galhos de até 5 cm de diâmetro são tolerados, provavelmente, porque o processo de oclusão é mais eficiente (WEST, 2014). É provável que para a teca o limite de diâmetro do galho a ser removido tenha que ser reduzido porque há rebrota intensa na área do ferimento da desrama e, com a remoção dessa brotação, a área do ferimento pode aumentar substancialmente.

A adubação com SS promoveu aumento do crescimento em *ht* e *dap* da teca, provavelmente, devido ao aumento de nutrientes disponível no solo na camada de 0-20 cm, notadamente o Ca, P e S (ALVARADO; FALLAS, 2004; DIAS et al., 2015; FOLTRAN et al., 2019). O maior *dap* observado na testemunha está relacionado a menor sobrevivência das plantas após 13 meses, onde, a menor competição por recursos de crescimento, na linha, propiciou o aumento do diâmetro.

No SSP com teca, recomenda-se a entrada do componente animal após as plantas atingirem alturas mínimas de 3 a 4 m (UGALDE ARIAS, 2013), para reduzir danos às plantas. Com a aplicação de 300 ou 600 g de SS planta⁻¹ e 2 g de boro e desrama de, no máximo, 50% da altura da copa viva da planta é possível antecipar o tempo para introduzir o gado no sistema em relação ao tempo utilizado na empresa quando do início desse estudo. Considerando que

quando as árvores atingem a altura média de 3 m ainda ocorrem muitas plantas com dimensões menores, a entrada do gado no SS com teca, nas condições do presente estudo, deve ocorrer, aproximadamente, aos 15 meses, pois as árvores dos tratamentos 111, 112, 212 e 213 apresentam altura média superior a 3,5 m e, certamente, haverá baixa proporção de árvores com dimensões inferiores a 3-4 m. Na idade de 15 meses o *dap* para estes tratamentos variou, em média, entre 4,10 e 4,70 cm, favorecendo, também, a entrada de gado envolvendo reduzido danos às árvores. Em SSP, todos os componentes do sistema devem ser analisados para a maximização das receitas. O tratamento 110, embora tenha apresentado *dap* igual ao tratamento 111, não é indicado porque não envolve a desrama, que é uma técnica requerida para produzir madeira de qualidade.

A adubação (com SS e boro), combinada com a intensidade de desrama D₂, (que consiste na remoção de $\frac{1}{3}$ da *hcv* até os 13 meses e, remoção de $\frac{1}{2}$ da *hcv* a partir dos 18 meses), promove aumento na área basal ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$) e volume ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) de teca até os 34 meses. Isso porque a escolha da intensidade da desrama aplicada ponderou a proporção de copa viva e a fase de crescimento da teca. A aplicação adicional de SS associada a intensidade de desrama de 50% aplicada a cada seis meses, também, possibilita o aumento em volume ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) até os 34 meses. Isso significa que os nutrientes no solo disponibilizados pela aplicação adicional de SS contribuíram com o maior acúmulo de biomassa, pois, o P e Ca promovem aumento no crescimento da planta e no desenvolvimento radicular da teca (BARROSO et al., 2005; ZHOU et al., 2012).

A aplicação de desrama nos tratamentos sem adubação reduziu o crescimento da teca, provavelmente porque os nutrientes são fatores limitantes para o crescimento e para a recuperação da copa após a desrama. Em um povoamento de *Eucalyptus globulus* a remoção de 20% da área foliar reduziu o crescimento quando em sítio de baixa qualidade, no sítio de alta qualidade a redução no crescimento ocorreu após a remoção de 60% da área foliar (FORRESTER et al., 2013). De acordo com (Forrester et al., (2013) os efeitos negativos da desrama sobre o crescimento são maiores em povoamentos não fertilizados ou em sítios de baixa qualidade.

A adubação com 600g de SS por planta⁻¹ (300 +300) possibilita a redução do tempo para a entrada do gado no SSP, além de apresentar aumento de 58% no volume em relação à testemunha e 19% em relação à aplicação de 300 g de SS. A decisão sobre a quantidade de SS a ser usada deve se basear, também, em análise econômica. É, também, necessário estudos com doses intermediárias de SS e aplicações parceladas na primeira estação de crescimento, quando as árvores são mais responsivas à adubação.

4.2 Efeito da adubação e desrama na dinâmica de copa

Considerando a necessidade de obter resultados de crescimento rápido das árvores de teca para antecipar a entrada dos animais no sistema, foi aplicada a desfolha até a altura de $\frac{1}{4}$ ou $\frac{1}{3}$ da *hcv*, no início da primeira estação seca (seis meses de idade), visando a redução de perdas de água por transpiração no período seco e, conseqüentemente, maior altura das plantas devido redução de plantas com seca de ponteiros. Porém, em razão de ter ocorrido perda total das folhas em todos os tratamentos (setembro/2018) em consequência de elevadas temperaturas (até 40°C) e estresse hídrico durante o primeiro período seco, não foi possível avaliar o efeito dessa desfolha de forma adequada.

A aplicação de SS no plantio aumentou a área foliar (14,1%) até os seis meses, indicando a importância da adubação no estabelecimento do povoamento. A formação de superfície fotossintetizante possibilita a obtenção de maior produção. Também, com maior área foliar, há aumento da formação de raízes, favorecendo o aproveitamento dos nutrientes (BEHLING et al., 2014, 2018).

Apesar da acentuada perda das folhas, associadas à ocorrência de temperaturas elevadas (no período seco), houve a recuperação da copa, nos tratamentos fertilizados, sem perdas significativas de crescimento da planta. A remoção de área foliar da teca (desfolha), início do primeiro período seco do povoamento, associada com a adubação, pode favorecer o crescimento das plantas em sistema silvipastoril. Isso, porque, na região central do Brasil, durante o período seco, há ocorrência de temperatura de ~40°C, baixa umidade relativa do ar (< 30%), déficit hídrico no solo, e ocorrência de baixa precipitação pluviométrica (< 500 mm mês⁻¹). Essa condição ambiental estimula intensa perda de folhas da teca, antes dos 10 meses de idade, e, seca de ponteiro. Até, aproximadamente, 15 meses os plantios clonais de teca não possuem galhos, com a copa constituída apenas por folhas inseridas no fuste (SANTOS, 2015). A perda de folhas é um mecanismo fisiológico da teca para não perder água. No entanto, antecipar esse processo através da remoção de área foliar, pode reduzir a demanda hídrica da planta e manter a capacidade de crescimento mesmo em condições de estresse (JACKSON; WALLACE; ONG, 2000; JIN et al., 2018) e, com isso, minimizar a seca de ponteiro.

A desrama da teca visa obtenção de fuste limpo, entretanto, em plantios com maiores espaçamentos há maior intensidade de rebrota dos galhos no ponto em que houve o ferimento, devido a maior exposição a luz solar (BRISCO; NOBLES, 1966; CHELLIAH; RAVI; MUTHURASU, 2021). A rebrota dos galhos é um desafio na silvicultura da teca, principalmente porque têm potencial de produzir nós de maior tamanho em razão da

necessidade de sucessivas intervenções para sua remoção. Nesse estudo, 100% das árvores avaliadas apresentaram rebrotas mesmo em intervalos de 6 meses. Para espécies de *Eucalyptus sp.*, nós derivados de galhos com 2-2,5 cm de diâmetro produziram algum grau de defeito na madeira (WEST, 2014). Segundo Polli *et al.*, (2006) para reduzir os danos à qualidade da madeira da teca, são necessárias intervenções regulares de desramas em ciclos mais curtos, de modo que os galhos apresentem menor diâmetro. Para a teca, ainda há necessidade de estudos para determinar o diâmetro de galhos que podem afetar resistência e qualidade da madeira, entretanto para eucalipto, nós, derivados de galhos com diâmetro superior a 3,5 cm, pode causar defeitos que reduzem seriamente a resistência estrutural da madeira (WEST, 2014).

Nas árvores de teca, quanto maior a intensidade de desrama, maior a rebrota dos galhos. Contudo, sem realizar a desrama há e aumento de galhos grossos e redução da altura de fuste livre de nós, o que são elementos, que reduzem a qualidade da madeira, conforme relatado para eucalipto (FONTAN *et al.*, 2011; LIMA, 2003). Como a cicatrização do ferimento da desrama é mais rápida quando os galhos são mais finos e a planta mais jovem (PULROLNIK *et al.*, 2005) é aconselhável o planejamento de intervenções de desrama em idades mais jovens e em intervalo reduzido (FONTAN *et al.*, 2011). Intensidades maiores de desrama podem, também, implicar na perda de dominância apical gerando emissão de brotação na porção do tronco já desramado, o que implica em redução da efetividade da desrama aplicada. Considerando que a teca apresenta galhos mais grossos e longos na base da copa, a *hcv* a ser removida deve ser menor para evitar redução drástica de área foliar e consequente redução de crescimento da planta (ALMEIDA, 2003; LIMA, 2003).

Além da adubação, a intensidade e a época de início da desrama influenciam no crescimento da teca em sistema silvipastoril. A extensão do núcleo nodoso aumenta quando se inicia a desrama em idades mais avançadas em razão de maior diâmetro da planta e principalmente, do diâmetro dos galhos (FONTAN *et al.*, 2011; MONTAGU; KEARNEY; SMITH, 2003; POLLI *et al.*, 2006). Ou seja, a primeira intervenção de desrama deve ser realizada em idades mais jovens visando a obtenção de menor núcleo nodoso.

5 CONCLUSÕES

A aplicação de, no mínimo, 300g de SS e 2g de boro no primeiro ano de implantação do povoamento de teca estimula o crescimento em diâmetro e altura. A aplicação do boro e SS, previne a seca de ponteiros e, conseqüentemente, favorece o crescimento em altura da planta. Assim, o diâmetro e a altura mínimos para a entrada do gado no sistema são atingidos mais cedo, permitindo antecipar a idade de entrada de animais no sistema silvipastoril adotado (teca

x braquiária), e, conseqüentemente, a obtenção de receita em povoamentos de teca anda jovens. A desfolha/desrama da teca é importante para a melhoria da qualidade da madeira e, com a eliminação dos galhos da base evita-se danos à árvore pelo gado. Com a aplicação de SS, de boro e de desrama é possível antecipar a entrada do gado no SSP com teca em até três meses e obter maior produção de madeira de qualidade para serraria. A desrama deve começar no primeiro ano e deve ser aplicada em intervalos curtos para obter maior proporção de madeira limpa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, M. L. **Desrama artificial em clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* com diferentes arquiteturas de copa**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) —Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2003.
- ALVARADO, A. Nutrición y fertilización de la teca. **Informaciones Agronomicas**, n. 61, p. 1–8, abr. 2006.
- ALVARADO, A. Plant nutrition in tropical forestry. Em: **Tropical Forestry Handbook**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2015. p. 1–91.
- ALVARADO, A.; FALLAS, J. L. La saturación de acidez y el encalado sobre el crecimiento de la teca (*Tectona grandis* L.f.) en suelos ácidos de Costa Rica. **Agronomía Costarricense**, v. 28, n. 1, p. 81–87, 2004.
- ANSOLIN, R. D. et al. Strategic diagnosis of Livestock-Forest Integration systems in northern Mato Grosso. **Floresta**, v. 50, n. 1, p. 1001–1010, 2020.
- BABACAN, E. K.; KAYA, S. Comparison of parameter estimation methods in weibull distribution. **Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences**, v. 38, n. 3, p. 1609–1621, 2020.
- BARROSO, D. G. et al. Diagnóstico de deficiência de macronutrientes em mudas de teca. **Revista Árvore**, v. 29, n. 5, p. 671–679, out. 2005.
- BEHLING, M. et al. Eficiência de utilização de nutrientes para formação de raízes finas e médias em povoamento de teca. **Revista Árvore**, v. 38, n. 5, p. 837–846, 2014.
- BEHLING, M. et al. Relações entre parte aérea e raízes em povoamentos de teca. **Revista Ceres**, v. 65, n. 6, p. 463–473, 2018.
- BRISCO, C. B.; NOBLES, R. W. Effects of pruning teak. Research Note ITF-RN-11. Rio Piedras, Puerto Rico: USDA-Forest Service, **Institute of Tropical Forestry**, n. 11, p. 1-6, 1966. Disponível em: <<https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/39885>>. Acesso em: 23 mar. 2022.
- BUDIADI; WIDIYATNO; ISHII, H. Response of a clonal teak plantation to thinning and pruning in Java, Indonesia. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 29, n. 1, p. 44–53, 2017.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas**. 5ª ed. Editora UFV, 2017.
- CELESTRINO, T. D. S. et al. Sources and application methods of boron in *Eucalyptus* crop. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 6, p. 3579–3594, 9 dez. 2015.
- CHELLIAH, B.; RAVI, A.; MUTHURASU, N. Modern Silvicultural practices and productivity of teak. In: RAMASAMY, Y.; GALEANO, E.; WIN, T. T. (Eds.). **The Teak Genome. Compendium of Plant Genomes**. Springer, Cham, 2021. p. 27–44.
- CROUS, K. Y.; ÓSVALDSSON, A.; ELLSWORTH, D. S. Is phosphorus limiting in a mature *Eucalyptus* woodland? Phosphorus fertilisation stimulates stem growth. **Plant Soil**, v. 391, p. 293–305, 2015.

DELL, B.; HUANG, L. Physiological response of plants to low boron. **Plant and Soil**, v. 193, n. 1–2, p. 103–120, 1997.

DIAS, K. G. DE L. et al. Coffee yield and phosphate nutrition provided to plants by various phosphorus sources and levels PHOSPHORUS SOURCES AND LEVELS. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 39, n. 2, p. 110–120, 1 mar. 2015.

KEOGH, R. M. **The future of teak and the high-grade tropical hardwood sector: solving the tropical hardwood crisis with emphasis on teak**: Working Paper FP/44E. Rome, Italy: [s.n.]. Disponível em: <<https://www.fao.org/3/k6549e/k6549e00.pdf>>.

KOLLERT, W.; WALOTEK, P. J. **Global teak trade in the aftermath of Myanmar's log export ban**. Rome, Italy: Disponível em: <<https://www.fao.org/forestry/plantedforests/67508@170537/en/>>.

FARIA, G. **Resultados de avaliação econômica destacam a importância do planejamento na ILPF - Portal Embrapa**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agrossilvipastoril/busca-de-noticias/-/noticia/31904477/resultados-de-avaliacao-economica-destacam-a-importancia-do-planejamento-na-ilpf?p_auth=idqWdmuk>. Acesso em: 17 abr. 2022.

FOLTRAN, E. C. et al. Phosphorus pool responses under different P inorganic fertilizers for a eucalyptus plantation in a loamy Oxisol. **Forest Ecology and Management**, v. 435, p. 170–179, 2019.

FONTAN, I. C. I. et al. Growth of pruned eucalypt clone in an agroforestry system in southeastern Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 83, n. 2, p. 121–131, 2011.

FORRESTER, D. I. et al. Growth and physiological responses to silviculture for producing solid-wood products from Eucalyptus plantations: An Australian perspective. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 9, p. 1819–1835, 15 abr. 2010.

FORRESTER, D. I. et al. Effect of thinning, pruning and nitrogen fertiliser application on light interception and light-use efficiency in a young Eucalyptus nitens plantation. **Forest Ecology and Management**, v. 288, p. 21–30, 2013a.

FORRESTER, D. I. Growth responses to thinning, pruning and fertiliser application in Eucalyptus plantations: A review of their production ecology and interactions. **Forest Ecology and Management**, v. 310, p. 336–347, 15 dez. 2013b.

GONÇALVES, J. L. DE M. et al. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. Em: GONÇALVES, J. L. DE M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 1–57.

HODECKER, B. E. R. et al. Boron delays dehydration and stimulates root growth in Eucalyptus urophylla (Blake, S.T.) under osmotic stress. **Plant and Soil**, v. 384, n. 1–2, p. 185–199, 2014.

JACKSON, N. A.; WALLACE, J. S.; ONG, C. K. Tree pruning as a means of controlling water use in an agroforestry system in Kenya. **Forest Ecology and Management**, v. 126, n. 2, p. 133–148, 2000.

JAYAWARDHANE, J. et al. The effect of quality attributes in determination of price for plantation-grown Teak (*Tectona grandis*) logs in Sri Lanka. **Annals of Forest Research**, v. 59, n. 1, p. 105–116, 2016.

JEREZ-RICO, M. C. S. A. Planted teak forests. In: KOLLERT, W.; KLEINE, M. (Eds.). **The global teak study: analysis, evaluation and future potential of teak resources**. Vienna: International Union of Forest Research Organization (IUFRO), 2017. p. 49–70.

JIN, S. et al. Effects of pruning and mulching measures on annual soil moisture, yield, and water use efficiency in jujube (*Ziziphus jujube* Mill.) plantations. **Global Ecology and Conservation**, v. 15, p. e00406, 1 jul. 2018.

KUMI, J. A. et al. Influence of management practices on stand biomass, carbon stocks and soil nutrient variability of teak plantations in a dry semi-deciduous forest in Ghana. **Trees, Forests and People**, v. 3, 3 nov. 2021.

LANGE, A. et al. Degradação do solo e pecuária extensiva no norte de Mato Grosso. **Nativa**, v. 7, n. 6, p. 642–648, 2019.

LEHTO, T.; RUUHOLA, T.; DELL, B. Boron in forest trees and forest ecosystems. **Forest Ecology and Management**, v. 260, n. 12, p. 2053–2069, 15 dez. 2010.

LEVENBERG, K. A method for the solution of certain non-linear problems in least squares. **Source: Quarterly of Applied Mathematics**, v. 2, n. 2, p. 164–168, 1944.

LIMA, A. P. L. DE. **Desrama artificial em clone de *Eucalyptus grandis* (HILL ex MAIDEN) efeitos sobre o crescimento, a dinâmica de copa e o tempo de desrama**. 2003. 195f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2003.

LUDOVICI, K. H. Soil biology and tree growth: tree roots and their interaction with soil. In: **Encyclopedia of Forest Sciences**. Elsevier, 2004. v. 2p. 1195–1201.

MARQUARDT, D. W. An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. **Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics**, v. 11, n. 2, p. 431–441, 1963.

MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. Third Edition ed. Elsevier, 2012.

MATTIELLO, E. M. et al. Transporte de boro no solo e sua absorção por eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1281–1290, out. 2009.

MEDEIROS, R. A. et al. Productive potential of *Tectona grandis* in Midwest Brazil. **Advances in Forestry Science**, v. 6, n. 4, p. 803, 2019a.

MEDEIROS, R. A. et al. Growth and structural development of *Tectona grandis* in different cultivation systems in Brazil. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 8, p. 138–155, 2019b.

MEURER, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p. 66–86.

- MICHETTI, M. et al. **Mapeamento da produção silvicultural em Mato Grosso**. Cuiabá, MT: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.arefaforesta.org.br/uploads/downloads/Mapeamento-da-Producao-Silvicultural-em-MT-IMEA-2021.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2022.
- MONTAGU, K. D.; KEARNEY, D. E.; SMITH, R. G. B. The biology and silviculture of pruning planted eucalypts for clear wood production - A review. **Forest Ecology and Management**, v. 179, n. 1–3, p. 1–13, 2003.
- MOYA, R.; PEREZ, D. Effects of physical and chemical soil properties on physical wood characteristics of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 20, n. 4, p. 248–257, 2008.
- MURTHY, D. N. P.; XIE, M.; JIANG, R. **Weibull Models**. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2004.
- PITA-BARBOSA, A.; HODECKER, B. E. R.; BARROS, N. F. DE. Boron as mitigator of drought damage in *Eucalyptus*: a genotype-dependent mechanism? **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 112, p. 851–861, 21 dez. 2016.
- POLLI, H. Q. et al. Qualidade da madeira em clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden submetido a desrama artificial. **Revista Árvore**, v. 30, n. 4, p. 557–566, ago. 2006.
- PULROLNIK, K. et al. Crescimento de plantas de clone de *Eucalyptus grandis* [HILL ex MAIDEN] submetidas a diferentes tratamentos de desrama artificial, na região de cerrado. **Revista Árvore**, v. 29, n. 4, p. 495–505, 2005.
- RADÍO, M. I. L.; DELGADO, D. M. **Management of young teak plantations in Panama-effect of pruning and thinning**. Master thesis—Alnarp: Swedish University of Agricultural Sciences, 2014.
- REGAZZI, A. J.; SILVA, C. H. O. Testes para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear em dados de experimento com delineamento em blocos casualizados. **Revista Ceres**, v. 57, n. 3, p. 315–320, 2010.
- REIS, G. G. DOS et al. Dieback, leaf area index and yield of young eucalypt clones plantation in the Brazilian savannah region. **Revista Árvore**, v. 41, n. 3, 2018.
- REIS, G. G. et al. Desrama artificial e desbaste para produção de madeira serrada. In: VALE, A. B. DO et al. (Eds.). **Eucaliptocultura no Brasil: Silvicultura, Manejo e Ambiência**. 1ª ed. SIF, 2014. p. 283–301.
- SANTOS, H. G. DOS et al. O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada. **Embrapa**, p. 67, 2011.
- SANTOS, M. L. DOS. **Partição de biomassa e nutrientes em plantios clonais e seminais de teca**. Dissertação—Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2015.
- SCHUMACHER, F. X.; HALL, F. DOS S. Logarithmic expression of timber-tree volume. **Journal of Agricultural Research**, v. 47, n. 9, p. 719–734, 1933.
- SILVA, C. C. DA et al. Modelos alométricos para estimar a área do limbo foliar de teca. **Nativa**, v. 8, n. 1, p. 129, 5 fev. 2020.

SILVA, F. R. DA; WOJCIECHOWSKI, J. C.; MORAIS, V. A. Aplicação de um modelo de estimativa da produção futura em povoamento de *Tectona grandis* no Mato Grosso. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 2, p. 16432–16438, 2021.

SOUZA, A. P. et al. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. **Nativa**, v. 1, n. 1, p. 34–43, 2013.

STONE, E. L. Boron deficiency and excess in forest trees: A review. **Forest Ecology and Management**, v. 37, n. 1–3, p. 49–75, 1990.

TURNER, J. et al. Boron nutritional management in Australian forest plantations. **Trees, Forests and People**, v. 5, 1 set. 2021.

UGALDE ARIAS, L. A. **Teak: new trends in silviculture, commercialization and wood utilization**. Cartago: International Forestry and Agroforestry, 2013.

ULUISIK, I.; KARAKAYA, H. C.; KOC, A. The importance of boron in biological systems. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 45, p. 156–162, jan. 2018.

VÍQUEZ, E.; PÉREZ, D. Effect of pruning on tree growth, yield, and wood properties of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. **Silva Fennica**, v. 39, n. 3, p. 381–390, 2005.

WEST, P. W. Pruning. *In: Growing Plantation Forests*. Springer-Verlag, 2014. p. 131–146.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Calcium in plants. **Annals of Botany**, v. 92, n. 4, p. 487–511, 2003.

ZHOU, Z. et al. Effects of calcium, boron and nitrogen fertilization on the growth of teak (*Tectona grandis*) seedlings and chemical property of acidic soil substrate. **New Forests**, v. 43, n. 2, p. 231–243, 2012.

CONCLUSÕES GERAIS

A aplicação de 6000 kg ha⁻¹ de gesso aumentou em 27% a produção em volume (*vha*) em relação ao tratamento testemunha, com IMA de 14,8 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, aos 105 meses. Além disso, a aplicação do gesso agrícola, promoveu maior sobrevivência das árvores e a redução do tempo para a introdução do gado no sistema silvipastoril.

A adubação com SS e boro promoveu maior sobrevivência, crescimento e produção das plantas de teca. A adubação com 300 g SS planta⁻¹ e 2 g boro planta⁻¹ pode ser utilizada para prevenir os sintomas de seca de ponteiro até a idade de 34 meses. O efeito positivo da adubação e da desrama, no crescimento e produção da teca em sistema silvipastoril, permitem antecipar a entrada do gado bovino de pequeno porte. E, para antecipar a entrada do gado bovino no sistema silvipastoril com teca, é requerida a aplicação de gesso, e, ou de pelo menos 300 g de SS planta⁻¹ e de 2 g de boro planta⁻¹ no primeiro ano do povoamento, para estimular o crescimento em diâmetro e altura e proporcionar maior resistência da árvore a danos pelos animais.

Em razão do elevado custo do gesso e de fertilizantes e, dos custos de sua aplicação, principalmente quando há parcelamento, há necessidade de se fazer análise de relação custo-benefício para melhor definir a dosagem desses elementos. Maior crescimento das plantas foi obtido com dosagens máximas estudadas (6000 kg ha⁻¹ de gesso e, 300 + 300 g planta⁻¹ de SS e 2 g planta⁻¹ de boro). O efeito de valores intermediários entre as dosagens mais elevadas de gesso e supersimples, ou mesmo a adoção da gessagem e da adubação, em conjunto, devem ser analisadas.

O manejo da teca em sistema silvipastoril deve, também, levar em consideração o uso de técnicas que visem a obtenção de madeira de qualidade para a serraria. Assim, há necessidade de adoção de técnicas que visem a obtenção de fustes retilíneos, o que pode ser atingido com a prevenção de ocorrência de seca de ponteiros, conforme foi observado com a aplicação de supersimples e boro. Também, as técnicas de manejo devem levar em consideração a obtenção de árvores com maior diâmetro para aumentar a eficiência no seu aproveitamento para produção de peças com maior valor agregado.

A adoção da gessagem, bem como a aplicação de supersimples e boro, favoreceram o crescimento em altura e diâmetro das plantas. Porém, maior qualidade da madeira pode ser obtida com desrama artificial adequada. A remoção de galhos deve ocorrer o mais cedo possível, principalmente, em árvores de teca, uma vez que há aumento rápido do diâmetro dos galhos basais, resultando em ferimentos de maior tamanho quando esses galhos são removidos

e, conseqüentemente, demandará maior tempo para a oclusão desse ferimento gerando maior diâmetro do núcleo nodoso. Após a desrama da teca, ocorre a rebrota em parte do fuste. No presente estudo, essa rebrota foi removida a cada seis meses ou um ano, conforme tratamentos de desrama pré-definidos. É necessário realizar essa desbrota em períodos mais curtos para evitar a formação de novos galhos grossos. O efeito destas técnicas adotadas no presente estudo sobre a qualidade da madeira deve ser avaliado em idades mais avançadas.